

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunication

Spécialité : Réseaux de Télécommunication (RT)

Thème

Etude et conception d'un système d'antenne large bande pour les applications 5G

Réalisé par : HELLAL NAHIDA et HARBI SARRA

Soutenu publiquement, le juin 2022 , devant le jury composé de :

Mr CHEIKH BLED MOHAMED	Professeur	Université de Tlemcen	Président
Mme Belhadef Yamina	MCA	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme GOURARI FATIMA.Z	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr MOSBAH .A	DIRECTEUR DE RECHERCHE	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : 2021-2022

Remerciement

Ce travail de mémoire a été effectué au Laboratoire de Télécommunications, Département de télécommunications (TTL) de la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr-Belkaïd Tlemcen.

Cette recherche s'est réalisée grâce au soutien et à l'encouragement de plusieurs personnes qui ont contribué chacune à leur façon à l'atteinte de l'objectif que constitue le dépôt de ce mémoire. Nous tenons à leurs adresser un très grand merci.

Avant toute chose, nous remercions Dieu tout Puissant, miséricordieux et clément, pour nous avoir donné santé, patience, Volonté et courage.

Nous tenons aussi à remercier nos chères familles pour leur soutien, leur engagement et leur amour inconditionnel.

Nous voudrions exprimer par ce modeste travail notre gratitude, notre reconnaissance, et nos grands remerciements à notre encadrante, Mm « **GOURARI FATIMA ZOHRA** », Maître de conférences à l'Université Abou-Bekr-Belkaïd-Tlemcen, pour nous avoir proposé ce sujet et pour nous avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques, aussi pour sa disponibilité et sa gentillesse.

Nous remercions très sincèrement tout particulièrement les membres de jury qui ont accepté d'évaluer et juger notre travail.

Nous exprimons notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaborés à notre formation durant notre cursus universitaire à l'Université Abou-Bekr-Belkaïd-Tlemcen

Enfin, nous ne voudrions pas oublier de remercier toute personne qui nous aidions de loin ou de près à réaliser ce travail.

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 l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père.

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 : mon adorable mère.

A mon adorable petite sœur, qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mon frère Ali

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

Hellal Nahida....

Dédicace

A ma très chère mère Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mon très cher père Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mon seul unique frère et mes grandes sœurs Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

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

Merci.

Harbi Sarra...

Résumé

Le développement de la technologie de communication cellulaire entre actuellement dans la 5e génération (5G) qui a pour défi d'atteindre une vitesse élevée, une efficacité énergétique et une fiabilité du système. Une partie importante du développement de la technologie 5G est le développement de conceptions d'antennes pour prendre en charge les performances du réseau 5G. La technologie cellulaire 5G nécessite des antennes à hautes performances, entrées multiples-sorties multiples .

La technologie 5G nécessite un large spectre pour atteindre les performances souhaitées. Cela nécessite le développement d'une antenne pouvant supporter une large bande passante ou une antenne ultralarge bande.

Lors du développement de la conception de l'antenne 5G, la taille et les dimensions de La conception de l'antenne 5G ont été développées à la fréquence des ondes millimétriques conformément aux recommandations de la Fédéral Communication Commission (FCC). La FCC propose une règle pour les fréquences à large bande sans fil, à savoir les bandes de fréquences inférieures à 6 GHz.

Dans ce projet de fin d'étude nous proposons des antennes large bande pour les applications 5G qui offrent une large bande passante et une polarisation circulaire.

Les paramètres de conception de l'antenne et les résultats simulés seront obtenus à l'aide du logiciel commercial CST. L'antenne proposée peut être utilisée pour diverses applications sans fil telles que les applications large bande, ultra large bande, 5G et sans fil.

Mots clé : 5g, large bande, antenne compacte, CST (micro wave studio)

Abstract

The development of cellular communication technology is currently entering the 5th generation (5G) which is challenged to achieve high speed, energy efficiency and system reliability. An important part of 5G technology development is the development of antenna designs to support 5G network performance. 5G cellular technology requires high-performance, multiple-input multiple-output (MIMO) antennas.

5G technology requires a broad spectrum to achieve the desired performance. This requires the development of an antenna that can support a wide bandwidth or an ultra-wideband antenna.

When developing the 5G antenna design, the size and dimensions of The 5G antenna design was developed at the millimeter wave frequency in accordance with the Federal Communication Commission (FCC) recommendations. The FCC proposes a rule for wireless broadband frequencies, namely frequency bands below 6 GHz.

In this capstone project we propose broadband antennas for 5G applications that offer wide bandwidth and circular polarization.

The antenna design parameters and simulated results will be obtained using the commercial software CST. The proposed antenna can be used for various wireless applications such as broadband, ultra broadband, 5G and wireless applications.

Keywords : 5g, broadband, compact antenna, CST (micro wave studio)

ملخص

يدخل تطوير تكنولوجيا الاتصالات الخلوية حاليًا الجيل الخامس 5G الذي يواجه تحديًا يتمثل في تحقيق السرعة العالية وكفاءة الطاقة وموثوقية النظام. يتمثل جزء مهم من تطوير تقنية في تطوير تصميمات الهوائي لدعم أداء شبكة 5G. تتطلب تقنية الخلوية هوائيات عالية الأداء مع مدخلات متعددة المخرجات.

تتطلب تقنية 5G طيفًا واسعًا لتحقيق الأداء المطلوب. يتطلب ذلك تطوير هوائي يمكنه دعم هوائي النطاق العريض أو النطاق العريض للغاية.

أثناء تطوير تصميم هوائي 5G ، تم تطوير حجم وأبعاد تصميم هوائي بتردد موجي ملليمتر وفقًا لتوصيات لجنة الاتصالات الفيدرالية . تقترح لجنة الاتصالات الفيدرالية (FCC) قاعدة لترددات النطاق العريض اللاسلكية.

في مشروع نهاية الدراسة هذا، نقدم هوائيات النطاق العريض لتطبيقات التي توفر نطاقًا تردديًا عاليًا واستقطابًا دائريًا.

سيتم الحصول على بارامترات تصميم الهوائي ونتائج المحاكاة باستخدام البرمجيات التجارية . يمكن استخدام الهوائي المقترح للعديد من التطبيقات اللاسلكية مثل النطاق العريض والنطاق العريض للغاية و اللاسلكي.

الكلمات الرئيسية: جرام، النطاق العريض، هوائي مدمج، CST (استوديو الموجة الدقيقة)

SOMMAIRE

Remerciement	I
Dédicace	II
Dédicace	III
Résumé	IV
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	X
Introduction générale	1
Chapitre I:	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Réseaux cellulaires.....	4
I.3 Evolution des standards de télécommunications cellulaires	5
I.4 Communications mobiles et sans fil de 5e génération	6
I.5 Les Objectifs de 5G.....	7
I.6 Architecture de la technologie 5G	8
I.6.1 Nouvel génération réseaux d'accès (NG-RAN)	10
I.6.2 5G Réseau central (5GC).....	11
I.7 Spectre pour 5G	12
I.8 Les 10 piliers de 5G	13
I.8.1 Évolution des RAT existants.....	13
I.8.2 Déploiement Hyperdense sur petites cellules	13
I.8.3 Réseaux auto-organisés.....	13
I.8.4 Communication de type machine	14
I.8.5 Développement de RATS à ondes millimétriques.....	14
I.8.6 Refonte des liens de liaison	14
I.8.7 Efficacité énergétique	14
I.8.8 Attribution d'un nouveau spectre pour la 5G.....	14
I.8.9 Partage du spectre	15
I.8.10 Virtualisation RAN	15
I.9 Cas d'utilisation et défis	15
I.10 Cas d'utilisation de l'internet mobile	16
I.11 Cas d'utilisation de l'Internet des objets.....	16

I.12 La 5G dans le monde	17
I.13 Nouvelles applications	19
I.14 Conclusion	20
Chapitre II: Généralités sur les antennes	20
II.1 Introduction	20
II.2 Définition d'une antenne	20
II.3 La théorie des antennes	21
II.4 Le rôle des antennes.....	21
II.5 Les paramètres des antennes	22
II.5.1 Diagramme de rayonnement	22
II.5.2 Directivité	25
II.5.3 Gain	25
II.5.4 Facteur d'antenne	26
II.5.5 La polarisation	27
II.5.5.1 Polarisation elliptique.....	28
II.5.5.2 Polarisation circulaire	28
II.5.6 Impédance d'entrée d'une antenne	30
II.5.7 Bande passante.....	31
II.5.8 L'efficacité du rayonnement.....	32
II.5.9 La puissance apparente rayonnée	33
II.6 Type d'antennes	33
II.7 Antenne microruban.....	35
II.7.1 Structure générale des antennes patch microrubans.....	36
II.8 Avantages et inconvénients	37
II.9 Alimentation des antennes patch.....	38
II.9.1 Alimentation par câble coaxial	38
II.9.2 Alimentation par ligne microbande	39
II.10 Conclusion	40
Chapitre III : Etude et conception d'un système d'antennes large bande pour les applications 5G.....	42
III.1 Introduction	43
III.2 Modélisation d'une antenne patch microruban	43
III.3 Modèle de ligne de transmission	43
III.3.1 Effet de frange :	44

III.3.2 Exigences de conception :	47
III.3.3 Procédure de conception.....	47
III.4 Méthodes d'alimentation des antennes patchs	48
III.4.1 Ligne microruban.....	48
III.4.2 Sonde coaxiale.....	48
III.4.3 Couplage d'ouverture	49
III.4.4 Couplage de proximité.....	50
III.5 Adaptation de la ligne d'alimentation à l'antenne.....	51
III.6 Réduction de la taille de l'antenne patch	53
III.7 Structure de l'antenne	54
III.8 Etude paramétrique	54
III.8.1 Effet de la largeur de la ligne de d'alimentation " w_f " :	55
III.8.2 Effet de la longueur de l'encoche « F_i » :	55
III.8.3 Effet de la largeur de l'encoche " G_{pf} " :	56
III.9 Résultats de la simulation.....	57
III.10 Conclusion :	58
Conclusion générale	57
Bibliographie	VIII

Liste des figures

Figure I.1:Comparaison 4G / 5G.	4
Figure I.2:Un réseau cellulaire de base.	5
Figure I.3:Un réseau cellulaire de base.	8
Figure I.4:session PDU et flux QOS : plan utilisateur (UP).	9
Figure I.5:la séparation fonctionnelle entre NG-RAN et 5GC.	10
Figure I.6:Architecture de NG-RAN.	10
Figure I.7:architecture du système 5G, no-roaming.	12
Figure I.8:Spectre 5G.	13
Figure I.9:le classement de la 5G dans le monde.	19
Figure I.10:Applications des réseaux 5G.	19
Figure II.1:Rayonnement d'une antenne. [7]	20
Figure II.2:Schéma de principe d'un système de communication radio. [10].	22
Figure II.3:Exemple de diagramme de rayonnement.	23
Figure II.4:Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E, en dB.	24
Figure II.5:Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H, en dB.	24
Figure II.6:Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E et H en coordonnées polaires, en fonction de u, en dB.	25
Figure II.7:Polarisation du champ électromagnétique [11].	27
Figure II.8:Référentiel du champ électrique.	28
Figure II.9:Onde polarisée circulairement.	29
Figure II.10:Onde polarisée linéairement.	30
Figure II.11:Circuit équivalent d'une antenne.	31
Figure II.12:Utilisations des différentes bandes de fréquence.	32
Figure II.13:antenne fouets.	34
Figure II.14:Les antennes cadres.	34
Figure II.15:exemple antenne yagi.	35
Figure II.16:Exemple d'une antenne microruban.	36
Figure II.17:Géométrie d'une plaque rectangulaire.	36
Figure II.18:Structure d'une antenne patch microruban.	37
Figure II.19:Alimentation par câble coaxial.	39
Figure III.1:Antenne patch rectangulaire et son modèle équivalent de ligne de transmission.	44
Figure III.3:Le champ électrique et le constant diélectrique effectif.	45
Figure III.4:Démonstration de l'effet de frange sur la longueur électrique.	46
Figure III.5:Circuit équivalent de la ligne d'alimentation microstrip.	48
Figure III.6:La méthode de la ligne d'alimentation.	49
Figure III.7:Le couplage d'ouverture et son modèle de circuit équivalent.	50
Figure III.8:Le couplage de proximité et son modèle de circuit équivalent.	51
Figure III.9:Une antenne patch rectangulaire avec une ligne d'alimentation insérée (γ_0).	52
Figure III.11:La géométrie de l'antenne proposée.	54
Figure III.12:Le coefficient de réflexion pour différentes largeur de la ligne d'alimentation.	55

Figure III.13:Le coefficient de réflexion pour différentes longueurs du l'encoche.....56

Liste des tableaux

Tableau 1. 1 Résumé des générations de communications mobiles6
Tableau3. 1:Dimensions de l'antenne.54

Introduction générale

Introduction générale

Au cours des dernières années, nous avons assisté à une augmentation exponentielle du nombre d'applications et de technologies innovantes dans les différents domaines, Cette évolution s'accompagne de l'apparition de nouveaux services liés à l'internet, Le nombre total d'objets interconnectés va dépasser les 50 milliards. Le monde se numérise de plus en plus et tout devient de plus en plus connecté. Les objets seront interconnectés entre eux, avec l'Internet et avec des milliards de personnes. Bien que le réseau 4G actuel basé sur la norme LTE (Long Term Evolution) ait apporté de nombreuses solutions telles que l'augmentation du débit et de la bande passante par rapport à l'ancien réseau 3G basé sur la norme LTE par rapport aux anciennes générations de réseaux mobiles Les nouvelles générations des smartphones, tablettes et ordinateurs portables utilisent la technologie IP pour permettre une navigation confortable sur Internet. Cependant, en raison de l'essor des objets connectés avec leurs différentes catégories d'usages différents, ce réseau, dont le spectre de fréquences est quelque peu surchargé, ne pourra pas répondre aux différents besoins.

Face à cette explosion technologique, une nouvelle révolution est en marche, avec l'introduction de la 5G, une nouvelle norme mobile pour les systèmes de télécommunications mobiles. Cette norme s'ouvre pour satisfaire les besoins actuels mais aussi ceux du futur, lorsque nous aurons des centaines de milliards d'objets connectés, des voitures autonomes que nous utiliserons régulièrement, et que nous consommerons beaucoup plus de films de bien meilleure définition. L'objectif de la 5G n'est pas seulement de répondre à la pénurie de bande passante ou à un plus grand débit, mais aussi d'atteindre une latence ultra-faible, de réduire la consommation d'énergie et de fournir un service de haute qualité partout.

L'objectif de notre travail consistera à l'étude et conception d'une antenne multiservice pour application 5G. Il est divisé en trois chapitres. Dans **le premier chapitre**, nous offrons un aperçu général des informations récentes sur la 5e génération (architecture, spectre, objectif, 10 piliers, etc.).L'objectif du **deuxième chapitre** est d'introduire les paramètres de base des antennes de manière progressive. La construction générale d'une antenne microruban, ainsi que ses types et les stratégies d'alimentation les plus répandues dans la ligne microruban.

Le troisième chapitre se concentre sur la conception et la simulation d'une antenne intégrée large bande et être employée dans diverses applications de 5ème génération.

CHAPITRE I :
LA TECHNOLOGIE
5G

I.1 Introduction

La prochaine génération de technologie sans fil mobile sera dénommée la « 5G ». Comme son nom l'indique, elle fait suite aux précédentes générations de la téléphonie mobile. La première génération de téléphones mobiles (« 1G »), les « téléphones de voiture », vit le jour vers 1980 ; introduits sur le marché par Motorola, ces téléphones fonctionnaient comme des radios et utilisaient leurs fréquences en mode analogique. Au début des années 1990, les téléphones de deuxième génération (« 2G ») furent développés avec une évolution vers les réseaux numériques : les débits d'échanges de données pour ces téléphones étaient bien inférieurs à 1000 bits par seconde (bps) mais des améliorations significatives en termes de performance ont été introduites en l'an 2000 (« 2,5G »).

Peu de temps après, apparut la troisième génération (« 3G »), et la vitesse de débit de données atteignit 100000 bps ; l'amélioration était considérable, puisqu'il devenait possible de transmettre des appels vidéo limités, et de fournir des connexions Internet à des vitesses raisonnables. Des améliorations furent introduites dans le codage numérique de la communication (« 3.5G », vers 2009 ; « 3.9G » en 2012) [1].

En 2015, avec la norme suivante (dite génération « 4G »), des vitesses de transmission dix fois supérieures devinrent possible. Depuis le passage vers les réseaux cellulaires au début des années 1990, la téléphonie mobile a reposé sur un modèle défini : les opérateurs construisaient leurs réseaux, puis vendaient leurs services sous forme d'abonnements avec engagement aux consommateurs. Il était important de « verrouiller » le consommateur, et aux États-Unis par exemple, cela a été accompli en subordonnant l'achat du téléphone mobile à un abonnement d'assez longue durée.

Étant donné que les utilisateurs, eux, étaient mobiles, des accords inter-opérateurs furent passés pour permettre aux consommateurs de transiter sur d'autres réseaux, généralement avec suppléments financiers. Bien que ces frais d'itinérance aient été fermement maintenus aux États-Unis, ils ont été supprimés en 2017 dans l'ensemble de la Communauté européenne, dans le cadre de la mise en œuvre d'une stratégie pour un unique marché numérique [1].

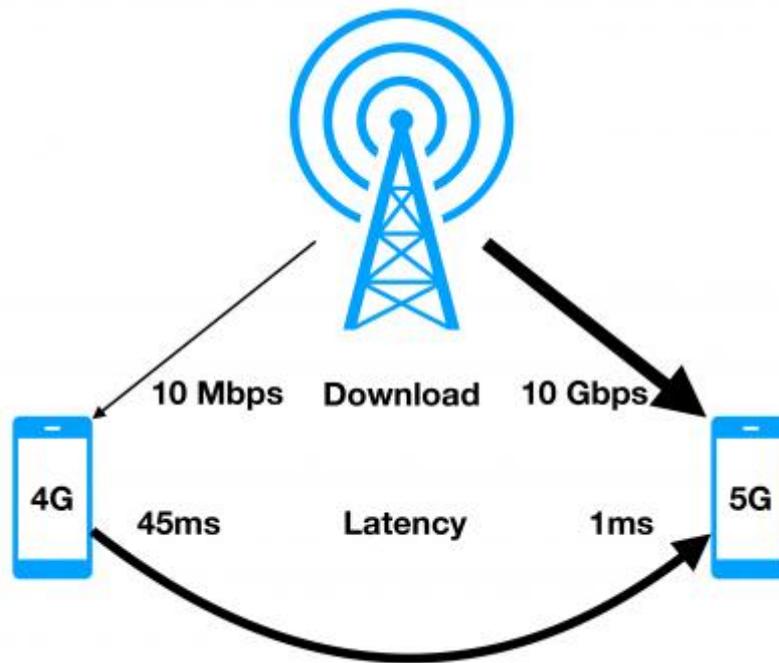


Figure I.1: Comparaison 4G / 5G.

Malgré son nom, la 5G ne consiste pas en une amélioration des normes précédentes de télécommunications. Il s'agit plutôt d'une innovation de rupture qui va les révolutionner et qui est susceptible d'apporter des changements radicaux dans les modèles commerciaux ayant cours chez les opérateurs [1].

Ce chapitre présente un aperçu général sur l'évolution de la 5ème génération.

I.2 Réseaux cellulaires

Par définition, un réseau cellulaire est un système qui doit répondre aux contraintes de la mobilité dans le réseau, par l'étendue du réseau et par ondes radio qui lui sont allouées.

Un système de réseau cellulaire couvre l'ensemble d'infrastructures spécialement aux équipements d'acheminement de communication vers les mobiles et les ondes radio, dans le cas d'un réseau cellulaire de lien entre le terminal de l'abonné et l'opérateur [2].

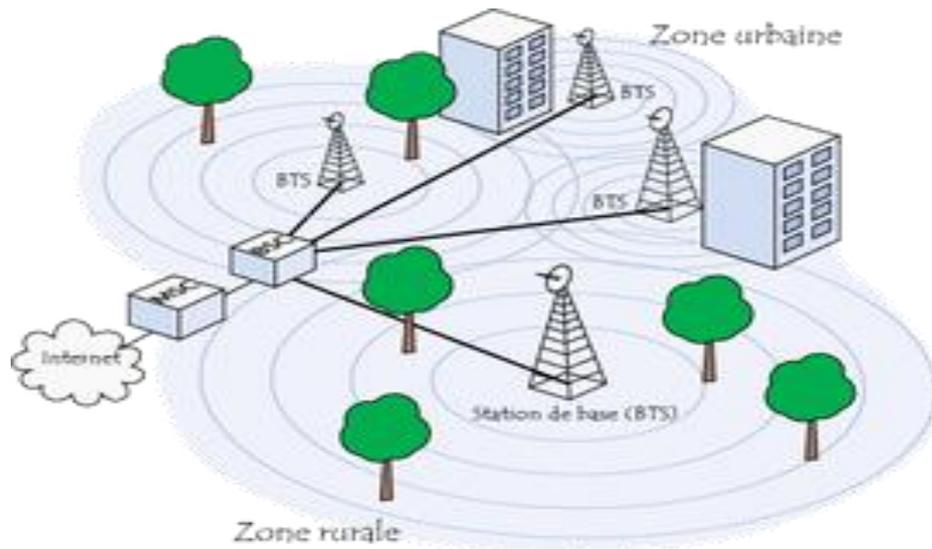


Figure I.2: Un réseau cellulaire de base.

I.3 Evolution des standards de télécommunications cellulaires

Le réseau du téléphone mobile a subi plusieurs développements dans le temps. On distingue 4 générations :

1ère génération : apparaissant dans les années 1980 basée sur un système mobile de service vocal analogique.

2ème génération : est le premier système mobile vocal numérique, qui a été développé en 1990 par l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA).

3ème génération : du milieu des années 1990 au 2000, l'évolution a touché l'accès multiple par division de codage (CDMA).

4ème génération : L'augmentation du taux de données est l'objectif principal de cette génération développé en 2010 fournissent des services de messagerie multimédia (MMS), diffusion vidéo numérique (DVB) et plus de clarification pour regarder la télévision à long terme.

Evolution (LTE) est le principal système 4G, il fournit des services de haute qualité (QoS), et une meilleure sécurité des données que les générations précédentes.

Le tableau 1.1 récapitule les caractéristiques spécifiques des différentes générations de systèmes de communication mobiles

Génération	1G	2G	3G	4G	5G
Fréquences	900MHz	900 et 1800MHz	1900-2024MHz 2110-2200MHz	800MHz et 2600MHz	28GHZ 37GHZ 39GHZ 64-71GHZ
1ère année de déploiement	1981	1992	2001	2010	2020
Techniques d'accès	FDMA	TDMA	CDMA	OFDM	SCMA
Débits réels	-	9.6Kbps	384kbps HSPA 14.4Mbps HSPA+ 42Mbps	150Mbps	10Gbps

Tableau 1. 1 Résumé des générations de communications mobiles

I.4 Communications mobiles et sans fil de 5e génération

La définition la plus simple de la 5G est que c'est la technologie mobile. Il est conçu pour être un système robuste et fiable en augmentant l'efficacité Spectre réseau, offrant des débits très élevés, vitesse d'accès garantie Rapide depuis le wifi. La cinquième génération (5G) devrait :

- Capacité à transférer plus rapidement de grandes quantités de données, à connecter de manière fiable un grand nombre d'appareils et à traiter de grandes quantités de données en un temps record.
- Permet des applications telles que la maison et le bâtiment intelligents, la ville intelligente, la vidéo 3D, le travail et les jeux dans le cloud, les services de télésanté, la réalité virtuelle et augmentée et les communications de masse de machine à machine pour les systèmes

d'automatisation industrielle. Les réseaux 3G et 4G ont actuellement des difficultés à supporter ces services.

- Permet le contrôle à distance des véhicules ou des machines dans la zone Dangereux ou difficiles d'accès, comme dans les zones d'exploitation minière et construction.
- Fournit un débit et des capacités plus élevés pour prendre en charge les communications machine à machine à grande échelle et fournit des services à faible latence (latence) extrêmement fiables pour prendre en charge les applications urgentes.

I.5 Les Objectifs de 5G

La 5G devrait avoir un impact important sur la société (personnes et objets). Le besoin de plus de données sur le réseau sans fil, la demande d'un service de meilleure qualité sont les facteurs qui ont conduit à l'émergence du réseau 5G. L'un des plus grands avantages de la 5G est sa capacité à créer un réseau mondial [3].

La révolution de la 5G vise comme objectif :

- Assurer un accès internet haut débit depuis un smart phone ou tablette.
- Atteindre les meilleurs débits (1 Gb par seconde).
- forfaits data plus volumineux : le volume de données devra être 1000 fois plus élevé.
- l'amélioration de la vitesse de transmission des données.
- Avoir un temps de « latence » plus court qui donne l'impression que le réseau est très réactif.
- Avoir Moins d'antennes : le nombre de terminaux pouvant être connectés par antenne devra être 100 fois supérieur, mais le nombre d'antennes dépend surtout des fréquences utilisées.
- 90% de réduction en utilisation énergie du réseau.
- Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie.
- 1000 fois plus de bande passante par unité de la surface.
- 99,999% de disponibilité.

I.6 Architecture de la technologie 5G

Un réseau 5G est composé d'un réseau d'accès 5G (AN) et d'un réseau cœur 5G. Le réseau d'accès lui-même est constitué de la nouvelle génération de réseau d'accès radio (NG-RAN), qui utilise la nouvelle interface radio 5G(NR), et/ou un non 3GPP AN connecté au réseau cœur 5G. Les différentes entités de réseau sont connectées par un réseau de transport TCP/IP sous-jacents, qui prend en charge les fichiers QOS [4].

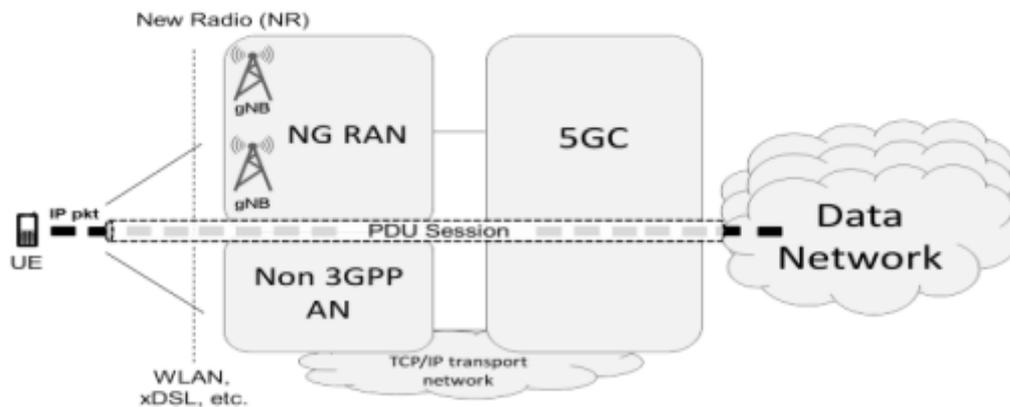


Figure I.3: Un réseau cellulaire de base.

Comme le montre la figure [I.3] le réseau 5G connecte l'équipement d'utilisateur (UE) à des réseaux de données externes. La session PDU représente le service de connectivité 5G, elle constitue par une séquence de tunnels NG dans le 5GC plus un ou plusieurs porteurs radios sur l'interface radio. Cet ensemble de "tubes" relie finement le UE à ses fonctions de contrôle ainsi que le réseau de données externe pour l'échange de trafic d'utilisateur figure [I.4] [4].

Une session PDU est très similaire à un porteur EPS à LTE, sauf pour le modèle QOS et les unités de données des utilisateurs supportées. En effet, une session PDU peut transporter non seulement les paquets IP de l'utilisateur mais aussi l'ETHERNET où les cadres non survenus, permettant ainsi une communication de la couche-2 entre les groupes d'UE. Le modèle 5G est basé sur le nouveau concept de flux de QOS, où un flux est la plus grande granularité de la différenciation QOS [4].

Les différents flux de QOS peuvent appartenir à une seule session PDU.

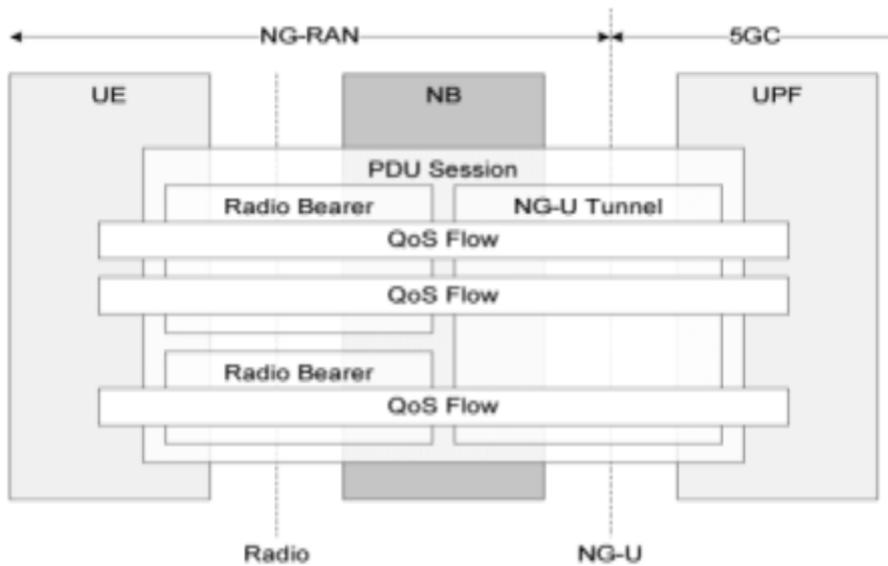


Figure I.4: session PDU et flux QoS : plan utilisateur (UP).

La figure [I.5] montre les divisions entre les fonctions 5G exécutées dans le NG-RAN et le 5G cœur, en bordure, le NG-RAN est le responsable de l'établissement, la maintenance et la libération des parties des sessions PDU qui traversent l'interface radio. Il face le problème de l'insuffisance physique (ex : interférences, réduction énergétique etc.), les handover inter-gNB, et le multiplexage de la session (planification).les fonctions de 5GC gèrent les parties restantes des parties PDU ainsi que tous les autres processus non liés à l'accès radio (gestion de la mobilité, sécurité adresses IP, allocation etc.) [4].

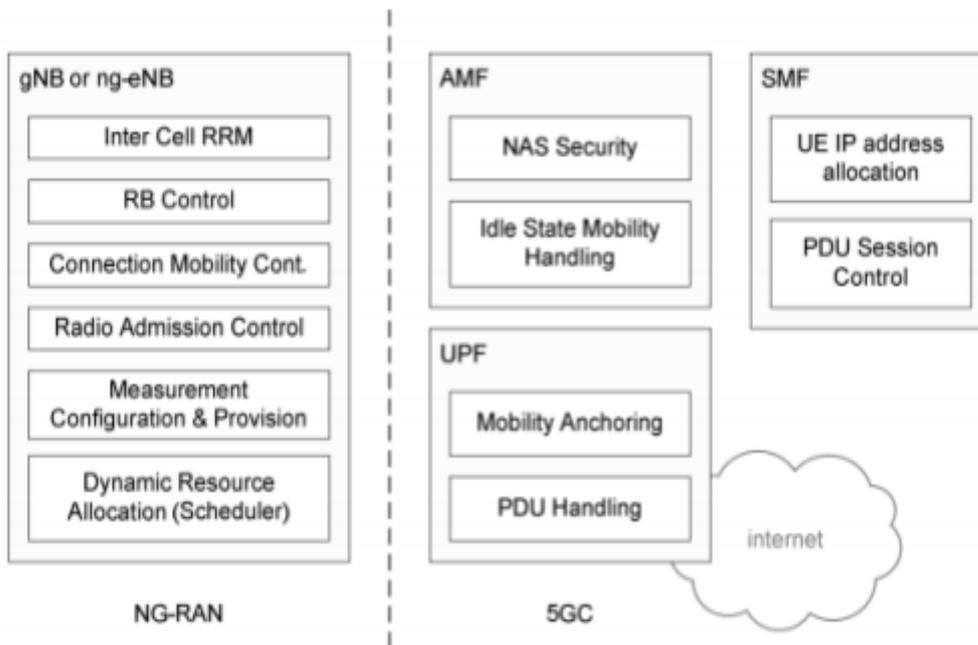


Figure I.5: la séparation fonctionnelle entre NG-RAN et 5GC.

I.6.1 Nouvel génération réseaux d'accès (NG-RAN)

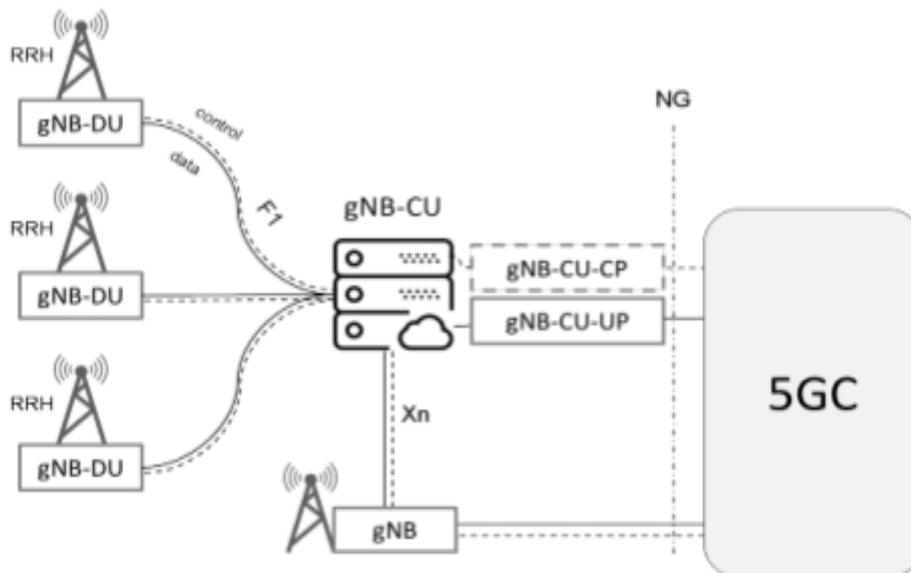


Figure I.6: Architecture de NG-RAN.

Comme représenté dans la figure [I.6], le NG-RAN s'agit d'un ensemble de stations de bases 5G, appelées gNBs, qu'elles sont connectées au 5GC à travers un ensemble d'interfaces logiques. Les gNBs peuvent être interconnectés à travers l'interface Xn pour améliorer les fonctions de mobilité (handover) et de gestion (coordination d'interférences intercellulaires) [4].

Le fonctionnement de la gNB est parfois réparti. Dans ce cas, l'architecture résultante est formée par une unité centrale (gNB-CU) qui nécessite une ou plusieurs unités distribuées (gNB-DU) et connectée à une carte radio distante (RRH). L'unité centrale est encore divisée en deux parties, une pour les fonctions de plan de contrôle (gNB-CU-CP) et l'autre pour les fonctions de plan d'utilisateur (gNB-CU-UP) [4].

I.6.2 5G Réseau central (5GC)

La décomposition des fonctions exécutées par les nœuds de réseau des générations précédentes a conduit à une architecture 5G complètement définie en termes de fonctions de réseau exposées sous formes de services.

Comme se produit dans le NG-RAN, il y a une séparation entre le plan contrôle et utilisateur. Dans le plan utilisateur il y a une ou plusieurs fonctions UP (UPFs), qui effectuent principalement le transfert de paquets entre les différents tunnels de NG-U figure [I.4] qui forment la session PDU. Toutes les autres fonctions du réseau appartiennent au plan contrôle [4].

Un autre changement radical par rapport aux générations précédentes est la modélisation d'interface, qui a été passée de " l'orientation-bit point-à-point " (bit-oriented point-to-point) vers " l'orientation-web basé-service " (web-oriented service-based). En effet, 5GC a une architecture basée sur le service applicable par tout, les procédures sont définies comme des services de sorte qu'il est possible de les réutiliser [4].

Il existe une interface point-à-point normalisée, soit réelle ou logique, entre toute paire d'entités de réseau 2g, 3G et 4g en interaction. Cette interface utilise un protocole spécial orienté-bit. Dans le core 5G, les interactions entre les entités du plan contrôle utilisent des interfaces basées sur les services prises en charge par des outils web tels que HTTP/2, REST et JSON [4].

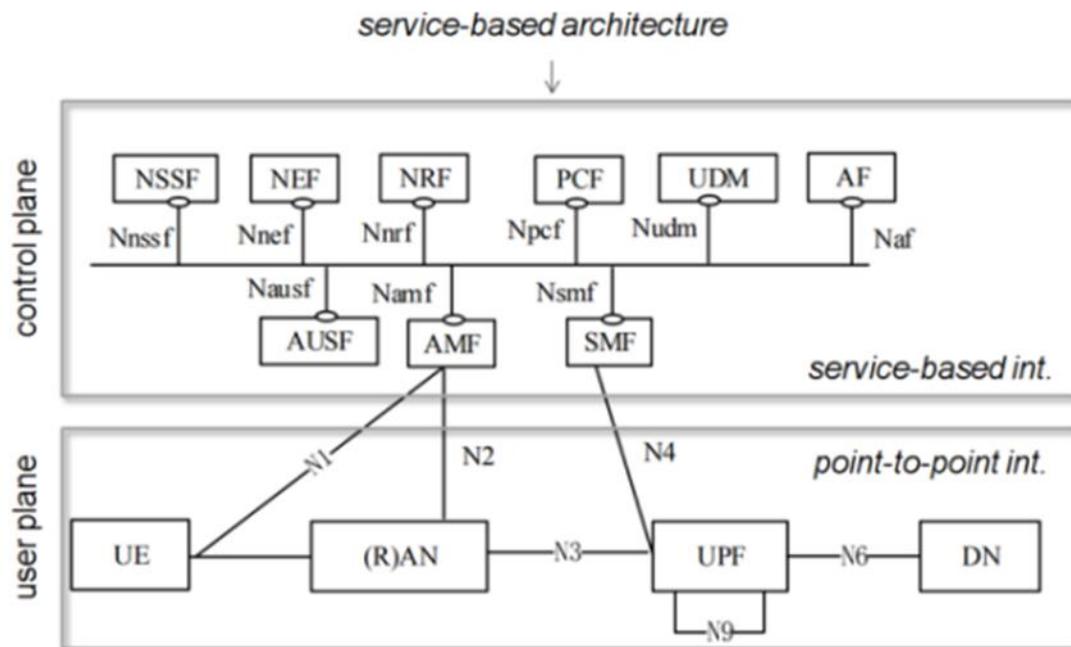


Figure I.7: architecture du système 5G, no-roaming.

I.7 Spectre pour 5G

Pour fonctionner, un réseau mobile s'appuie sur des fréquences et des antennes pour les utiliser. Sans fréquences, donc, pas de 5G. En effet, les communications numériques utilisent des bandes de fréquence pour transmettre les données.

Le réseau 5G a besoin d'utiliser plusieurs bandes de fréquences. Et chaque bande de fréquences a des propriétés bien distinctes.

- Dans les fréquences basses, on trouve une bonne portée du signal, mais des débits moindres.
- Par contre dans les fréquences hautes, on trouve des débits élevés mais une portée du signal plus faible.

À termes, trois bandes de fréquences 5G seront utilisées par le réseau mobile. Et, c'est l'agrégation de ces trois bandes de fréquences qui permettra à la 5G d'offrir autant de possibilités d'usages :

- La bande des 3,5 GHz est celle qui a été attribuée en exclusivité à la 5G, à l'issue d'un long processus d'attribution et d'enchères. C'est celle qui offre les meilleurs débits.
- Les fréquences de la 2G, 3G, 4G (700 Mhz, 800 Mhz, 900 Mhz, 1,8 Ghz, 2,1 Ghz, 2,6 Ghz), que les opérateurs peuvent basculer en 5G.

La bande des 26 GHz est celle qui permettra à la 5G d'exprimer tout son potentiel. Elle sera attribuée à la 5G dans les années à venir.

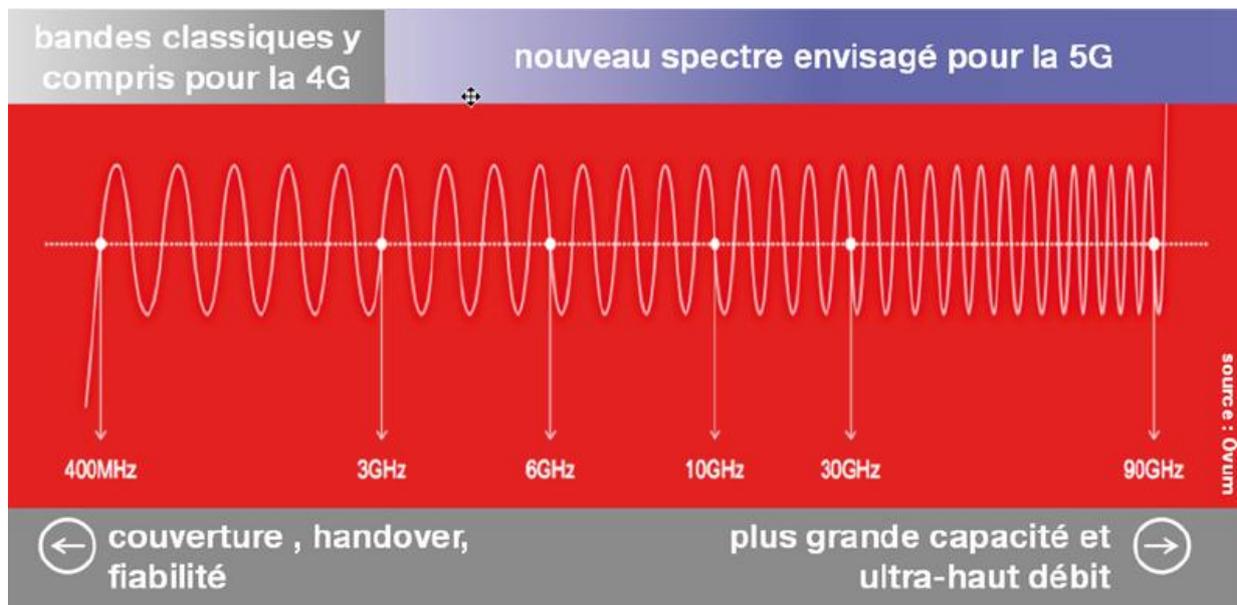


Figure I.8: Spectre 5G.

I.8 Les 10 piliers de 5G

Nous identifions 10 blocs de construction clés pour la 5G, nous élaborons chacun de ces blocs et soulignons leur rôle et leur importance pour atteindre la 5G.

I.8.1 Évolution des RAT existants

5G NR (New Radio) est une nouvelle technologie d'accès radio (RAT) développée par le 3GPP pour le réseau mobile 5G (cinquième génération). Elle a été conçue pour être la norme mondiale pour l'interface radio des réseaux 5G. La série de spécifications 38 du 3GPP fournit les détails techniques de la 5G NR, la RAT au-delà du LTE.

I.8.2 Déploiement Hyperdense sur petites cellules

Le terme "small cell" est un fourre-tout qui décrit toutes les stations de base mobiles susmentionnées, utilisées pour renforcer les signaux dans les zones intérieures, comme les centres commerciaux et les bureaux.

I.8.3 Réseaux auto-organisés

La capacité des réseaux auto-organisés (SON) est un autre élément clé de la 5G. Comme à mesure que le nombre de petites cellules augmente, SON prend de l'ampleur. Près de 80 % du trafic sans fil est généré à l'intérieur. Afin de transporter une telle quantité de trafic, nous avons besoin d'une petite haute densité requise - déploiement d'unités dans des boîtiers montés et principalement entretenus par l'utilisateur - non contrôlés par l'opérateur.

I.8.4 Communication de type machine

MTC est un catalyseur 5G, la conversion du réseau du réseau câblé central au réseau de communication doit être poussée et permettre le partage de l'infrastructure sans fil entre plusieurs opérateurs

I.8.5 Développement de RATS à ondes millimétriques

La 5G mmWave est une technologie cellulaire révolutionnaire, qui donne accès à une largeur de bande et à une capacité massives disponibles dans les bandes de fréquences supérieures à 24 GHz.

I.8.6 Refonte des liens de liaison

Alors que les opérateurs commencent à migrer de la 4G vers la 5G, ils doivent prendre en charge la nature changeante du réseau mobile. Il est clair que l'un des facteurs les plus importants à prendre en compte est l'architecture actuelle et future du réseau d'accès radio (RAN). Le RAN est le lien que les sites radio utilisent pour se connecter au réseau de transport et comme un RAN peut être géographiquement dispersé, il peut être difficile à gérer. Comme le RAN est l'endroit où les fournisseurs de services dépensent le plus d'argent, tout développement ou évolution du RAN visant à améliorer l'efficacité ou à réduire les coûts opérationnels doit être sérieusement pris en considération.

I.8.7 Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est définie comme étant le nombre de bits transmis par Joule d'énergie et elle comporte deux aspects :

- Côté réseau, l'efficacité énergétique correspond à la quantité de bits d'information reçue ou transmise par les utilisateurs, par unité de consommation d'énergie du réseau d'accès radioélectrique (RAN) (en bit/joule)
- Côté dispositif, l'efficacité énergétique correspond à la quantité de bits d'information par unité de consommation d'énergie du module de communication (en bit/joule)

I.8.8 Attribution d'un nouveau spectre pour la 5G

Le spectre 5G est une gamme de radiofréquences dans la gamme inférieure à 6 GHz et la gamme de fréquences à ondes millimétriques (mmWave), soit 24,25 GHz et plus. Le spectre 5G fait référence aux fréquences radio qui transportent les données de l'équipement de l'utilisateur (UE) aux stations de base cellulaires jusqu'au point final des données.

I.8.9 Partage du spectre

Partage du spectre Ericsson introduit une nouvelle façon de déployer la 5G qui réutilise le matériel/spectre/sites, augmente la couverture de la bande moyenne/haute, et offre un chemin clair vers la 5G autonome, permettant aux opérateurs de déplacer les investissements en capital des nouveaux sites vers de nouveaux cas d'utilisation autonome de la 5G.

I.8.10 Virtualisation RAN

Le dernier mais non le moindre catalyseur de la 5G est la virtualisation RAN, permettant Partagez l'infrastructure sans fil entre plusieurs opérateurs. la virtualisation du réseau devrait Poussez du réseau central filaire (commutateurs et routeurs) vers le RAN.

I.9 Cas d'utilisation et défis

Aujourd'hui, à l'ère de l'Internet des objets, nous créons de nouveaux types de machines, grandes et petites, à une vitesse incroyable. La connexion de ces machines entre elles offre de grandes opportunités mais constitue aussi d'importants défis à relever. Les réseaux 3G/4G/LTE actuels réussissent parfaitement à connecter les personnes mais peinent à relier les machines entre elles, dans la mesure où leur conception résulte d'une série de compromis. Par exemple, les réseaux 4G/LTE n'offrent pas les délais les plus courts, car cela aurait une incidence défavorable sur la bande passante qu'ils pourraient fournir. De même, la programmation soignée des utilisateurs individuels grâce à des échanges de messages multiples engendre un débit plus élevé et un accès plus équitable, mais sollicite dans le même temps fortement les ressources de la batterie des combinés.

La 5G ne devrait ainsi pas échapper à la règle, mais poserait de nouveaux défis au domaine des télécommunications comme :

- Moins de temps de latence.
- Une consommation énergétique minimale.
- Une 5G partout, et à plusieurs vitesses adaptées à un monde ultra-connecté.
- Le principal défi pour 5G est le nombre massif de machines connectées et la croissance de 1000x dans le trafic mobile.

I.10 Cas d'utilisation de l'internet mobile

L'internet mobile bouleverse le paradigme traditionnel de l'activité mobile, permettant des expériences utilisateur inégalées et ayant un impact significatif sur la vie professionnelle et personnelle des gens. L'internet mobile deviendra omniprésent d'aujourd'hui et au-delà.

Encourager l'évolution continue de la façon dont les humains s'engagent avec les données .en adoptant une approche plus immersive des services, offrir aux utilisateurs l'expérience ultime par exemple :

- Services vidéo, tels que la vidéo immersive Ultra Haute Définition (UHD) et vidéo en trois dimensions (3D)
- Réalité augmentée
- Réalité virtuelle
- Applications de jeux en ligne
- Cloud mobile / Cloud de bureau
- Internet tactile
- Informatique à distance
- Connectivité 3D: avion
- Connectivité 3D: drones
- Robots collaboratifs
- Services de type diffusion, comme les nouvelles et informations locales, régionales et nationales
- Bureau intelligent

L'expansion future de l'internet mobile entraînera une augmentation massive du trafic mobile, déclenchant une nouvelle vague de mises à niveau et une révolution dans la technologie des communications mobiles et dans l'ensemble du secteur des télécommunications. L'ensemble du secteur L'augmentation du trafic de données mobiles sera considérable, le trafic mondial de données mobiles sera multiplié par 20 000 entre 2010 et 2030.

I.11 Cas d'utilisation de l'Internet des objets

L'internet des objets (IoT) a étendu la portée des services de communications mobiles au-delà des communications interpersonnelles pour inclure l'interaction entre les terminaux (appareils intelligents) et les personnes et les objets, permettant aux technologies de communications mobiles de pénétrer de nouvelles industries et de nouveaux domaines. Des

applications telles que la santé mobile, l'internet des véhicules (IoV), le contrôle industriel et la surveillance de l'environnement seront à l'origine de la croissance explosive des applications IoT, permettant de connecter des centaines de milliards de dispositifs à un réseau et de créer un véritable "internet de tout". Cela entraînera l'émergence de nouvelles industries à grande échelle, ainsi que la vie inépuisable des communications mobiles. Simultanément, le grand nombre de dispositifs mis en réseau et les diverses communications mobiles IoT seront confrontés à des obstacles supplémentaires en raison de ces services.

Voici quelques exemples d'applications IoT possibles :

- Surveillance du réseau intelligent et des infrastructures critiques
- Surveillance de l'environnement
- L'agriculture intelligente
- Services pour la santé en ligne

La manipulation d'objets à distance, comme la chirurgie à distance, en est un exemple.

- Internet pour véhicules / conduite
- Les vêtements de sport, par exemple, sont des vêtements intelligents.
- Réseaux de capteurs
- Vidéosurveillance en mouvement
- Villes "intelligentes"
- Transports intelligents

I.12 La 5G dans le monde

En Europe

Les efforts de recherche passés en Europe ont permis de nombreuses avancées dans les communications mobiles, ce que nous tenons pour acquis aujourd'hui. Celles-ci incluent le standard GSM 2G (utilisé à ce jour par 80% des réseaux mobiles du monde) et les technologies utilisées dans le système de télécommunications mobiles universelles 3G (UMTS) et les standards 4G LTE. Le développement rapide de la technologie 5G revêt désormais une importance capitale pour que l'Europe puisse stimuler l'économie, renforcer la compétitivité de son industrie et créer de nouveaux emplois [5].

En Amérique du Nord

La recherche en Amérique du Nord est en général différente de celle en Europe et tend à être davantage basée sur les universités et les industries. Contrairement à l'Europe, il n'y a pas de financement public pour coordonner les efforts de recherche aux États-Unis et au Canada. Bien entendu, aux États-Unis, le financement de la recherche dans les universités provient de secteurs publics tels que la National Science Foundation (NSF) et la Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA). Cependant, la recherche dans les universités tend à être davantage basée sur les intérêts individuels. En ce qui concerne la 5G, les universités et les entreprises privées s'associent pour examiner certaines des technologies potentielles. Par exemple, l'Institut polytechnique de l'Université de New York (NYU Poly) et Samsung se sont associés pour étudier et développer des solutions mmWave pour la 5G [5].

En Asie

L'Asie suit le même objectif que l'Europe en créant une feuille de route 5G. En Corée du Sud, le forum 5G a été créé, tandis que la Chine est responsable du programme IMT 2020. Bien qu'il existe en général de nombreuses autres initiatives, certaines d'entre elles reçoivent un financement du gouvernement, tandis que d'autres ne sont que des efforts de coordination visant à sensibiliser l'industrie au 5G au niveau régional ou, au-delà, au niveau national. Plus spécifiquement, la Chine, le Japon et la Corée du Sud sont les principaux pays d'Asie menant des recherches sur la 5G. La recherche en Chine initiée par le gouvernement et menée conjointement par le biais de partenariats universitaires-industriels en est généralement à ses débuts. Ceux du Japon et de la Corée du Sud, tous deux initiés et menés conjointement par des partenariats industrie-université, ont obtenu certains résultats, tels que le réseau de test de communication pour la 5G, établi par NTT (Nippon Telegraph & Telephone) et Samsung Electronics, avec 10 Gbps Débits de transmission atteints en fréquences porteuses de 11 GHz et 28 GHz, respectivement [5]. Cette figure nous montre le classement de la 5ème génération dans le monde.

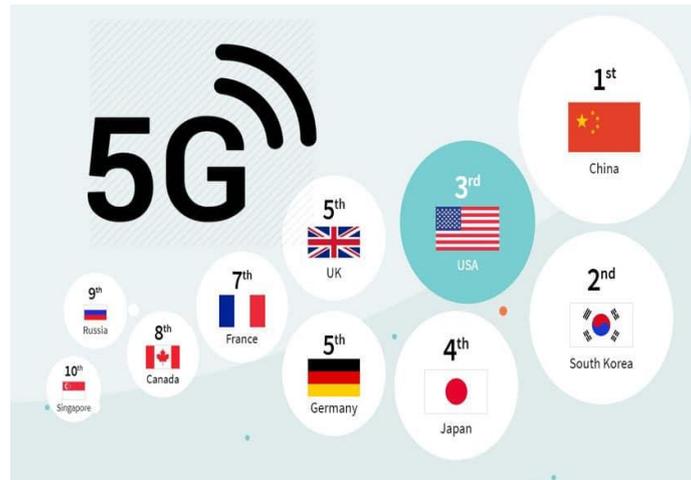


Figure I.9: le classement de la 5G dans le monde.

I.13 Nouvelles applications

L'essor de la 5G permettra le déploiement massif de l'Internet des objets (IoT), et il peut être très bénéfique s'il est utilisé à des fins industrielles ou dans des applications liées à la santé. Les différentes applications de la 5G sont illustrées par la figure [I.10].



Figure I.10: Applications des réseaux 5G.

I.14 Conclusion

La 5G possède une portée beaucoup plus large que les précédentes générations de systèmes de communication mobile large bande. Les scénarios traditionnels du large bande mobile n'ont pas seulement été améliorés, ils ont aussi été étendus à des cas d'utilisation impliquant des communications ultrafiabiles présentant un faible temps de latence et des communications massives de type machine. Les travaux de l'UIT visant à élaborer des normes internationales pour les IMT-2020 en étroite collaboration avec toutes les parties prenantes de la 5G sont bien avancés, parallèlement aux aspects relatifs à la gestion et à l'identification du spectre.

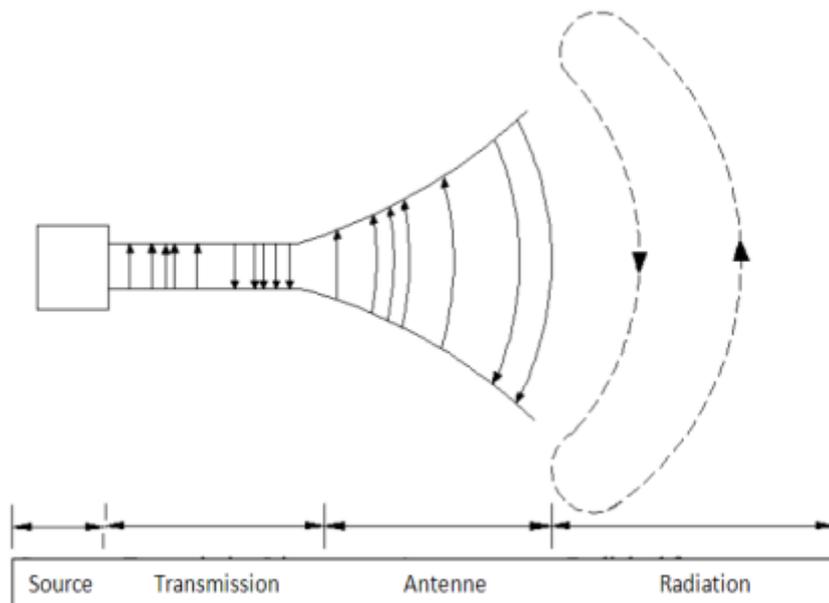
CHAPITRE II :
GÉNÉRALITÉS SUR
LES ANTENNES

II.1 Introduction

Pour décrire les performances d'une antenne, des définitions de différents paramètres sont nécessaires. Certains des paramètres sont interdépendants et tous n'ont pas besoin d'être spécifiés pour description complète des performances de l'antenne. Les définitions des paramètres sont données dans ce chapitre. Beaucoup de ceux entre guillemets proviennent des définitions standard IEEE de Termes pour les antennes (IEEE Std 145-1983).

II.2 Définition d'une antenne

L'une des définitions les plus justes d'une antenne est donnée dans la norme IEEE des définitions des termes pour les antennes. D'après cette norme, une antenne est un moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio [6]. Plus concrètement, c'est un dispositif qui reçoit des signaux d'une ligne de transmission, les convertit en ondes électromagnétiques et les diffuse dans l'espace libre lorsque l'antenne est en mode d'émission. En mode de réception, elle capte tout simplement les ondes électromagnétiques incidentes et les reconvertit en signaux. La figure [II.1] en fait une illustration très simple [7]



Activer

Figure III: Rayonnement d'une antenne. [7]

L'antenne peut être utilisée (en particulier dans un système de communication) pour diriger l'énergie du rayonnement dans une direction, et de la réduire ou l'annuler dans d'autres directions selon les fréquences. Ceci dit, l'antenne n'est plus seulement un outil de transmission, mais également un dispositif de transition. En conséquence la forme d'une antenne est commandée par un besoin particulier. C'est pourquoi, les antennes prennent tantôt les formes d'ouverture, de patch, de réflecteurs, de lentilles, d'ensemble d'éléments, etc. Une bonne conception de l'antenne peut assouplir les exigences du système et améliorer la performance globale du système [7].

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). Les antennes sont utilisées sur une large gamme de fréquence (ou de longueur d'onde) pour un grand nombre d'applications différentes [8].

II.3 La théorie des antennes

Une antenne est définie comme une partie d'un système d'émission ou de réception conçue pour envoyer ou recevoir des ondes électromagnétiques. Les antennes étant des dispositifs essentiellement passifs, leur réception est déduite de leurs propriétés de rayonnement. Le chapitre commence par un dilemme impliquant la radioactivité. Les paramètres de base et les types d'antennes sont ensuite abordés.

II.4 Le rôle des antennes

L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :

*Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation.

*Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées

*Transmettre le plus fidèlement possible une information [9].

Si nous considérons un système de communication sans fil le plus simple qui soit,

Celui-ci serait composé d'un bloc d'émission et d'un bloc de réception. Ces deux blocs seraient séparés par un canal de propagation dans lequel le signal émis transite avant d'être reçu

Comme le montre la figure [II.2] :



Figure 12: Schéma de principe d'un système de communication radio. [10]

II.5 Les paramètres des antennes

Les caractéristiques d'une antenne sont multiples. La conception de l'antenne implique l'optimisation de ces qualités pour l'application concernée. Certains de ces paramètres sont : diagramme de rayonnement, directivité, gain d'une antenne, facteur d'antenne, polarisation d'une onde, impédance d'une antenne, largeur de bande, l'efficacité du rayonnement et la puissance apparente rayonnée. Cette section examine en détail chacun de ces éléments.

II.5.1 Diagramme de rayonnement

La représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne porte le nom de diagramme de rayonnement. La direction du maximum de rayonnement est appelée l'axe de rayonnement de l'antenne. La représentation de cette fonction donne les caractéristiques du rayonnement dans l'espace. Classiquement, on a pris l'habitude de représenter le diagramme de rayonnement dans deux plans perpendiculaires qui sont : le plan E et le plan H. Le plan E est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ électrique. Le plan H est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ magnétique. Certaines représentations en trois dimensions ont l'avantage de montrer toutes les directions de rayonnement dans l'espace figure [II.3] mais permettent difficilement une appréciation quantitative. La figure est en coordonnées logarithmiques. Ceci permet de mieux voir les détails pour les faibles valeurs, dans les lobes latéraux [11].

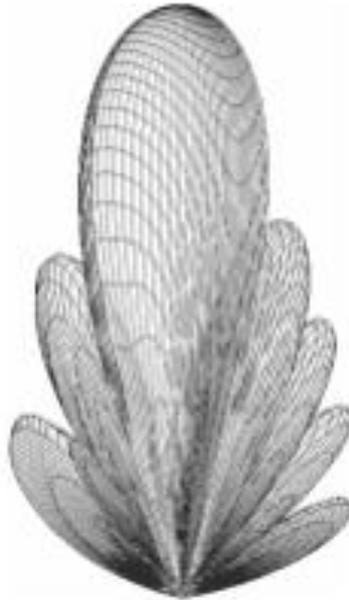


Figure 13: Exemple de diagramme de rayonnement.

Le diagramme de rayonnement, généralement en coordonnées logarithmiques, est présenté soit en coordonnées rectangulaires, soit en coordonnées polaires, dans les deux plans perpendiculaires (E et H). Le diagramme de rayonnement de la figure [II.3] est présenté ci-dessous sous ces différentes formes. Les coordonnées rectangulaires sont utilisées sur la figure [II.4] pour présenter le diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E et, sur la figure [II.5], dans le plan H. Sur la figure [II.6], la représentation en coordonnées polaires est utilisée pour représenter ces diagramme [11] .

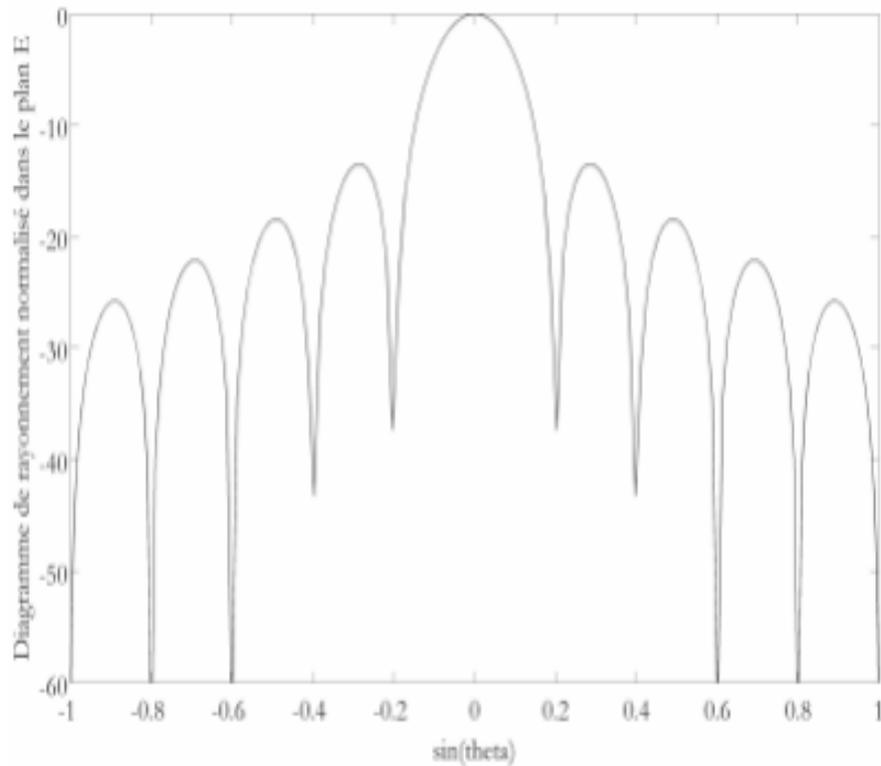


Figure 14: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E, en dB.

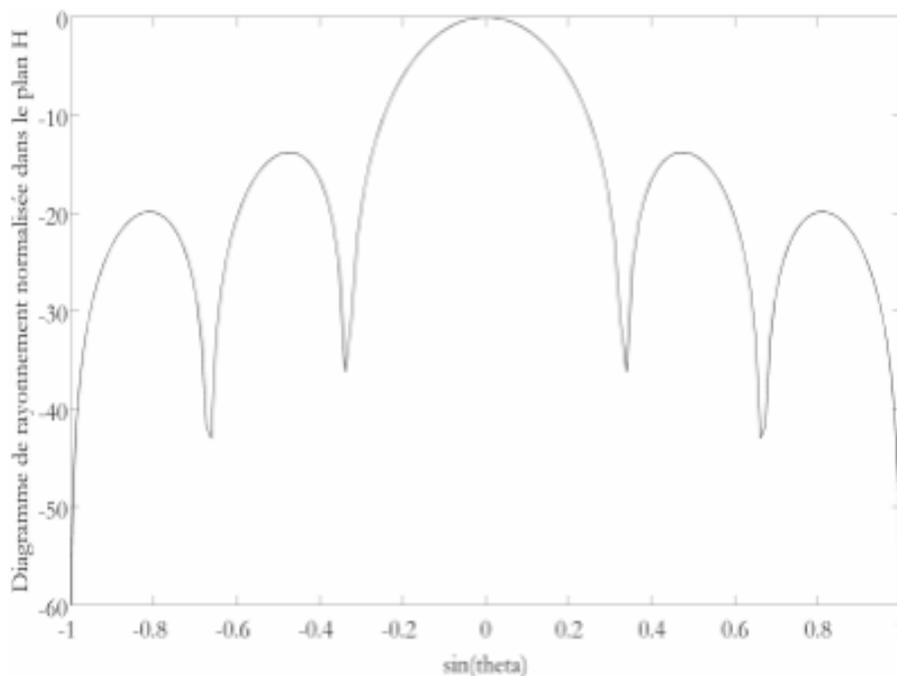


Figure 15: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H, en dB.

Dans les plans E et H, respectivement. La valeur du maximum est de 0 dB, obtenu dans la direction du maximum qui correspond à de l'axe de l'antenne.

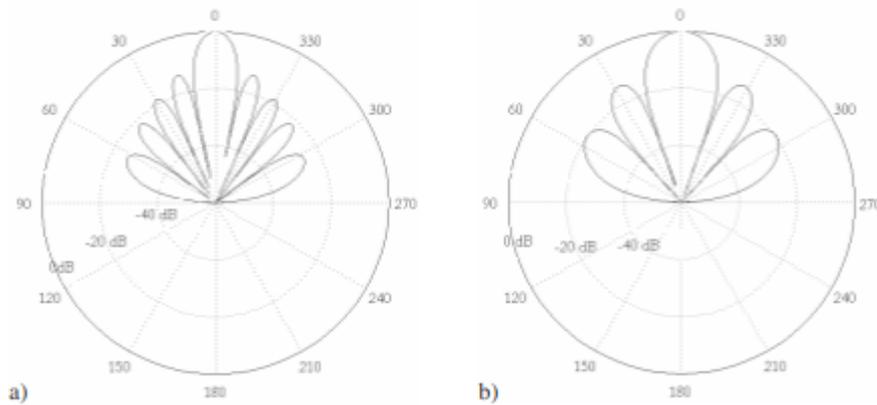


Figure 16: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E et H en coordonnées polaires, en fonction de u , en dB.

II.5.2 Directivité

La directivité d'une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions de l'espace. La directivité est définie comme : le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction de l'antenne par rapport à l'intensité de puissance que rayonnerait la source isotrope. Elle est donnée par la relation suivante [13] :

$$D(\theta, \varphi) = P(\theta, \varphi) / P(\theta, \varphi)_{iso} = P(\theta, \varphi) / (P_r / 4\pi) \quad (1.17)$$

Avec :

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

II.5.3 Gain

Le gain est une quantité descriptive de la performance d'une antenne. Le gain d'une antenne isotrope est pris comme une référence unité (0 dB). Le gain d'une antenne dans une direction donnée est le rapport de l'intensité de rayonnement et de celle d'une antenne isotrope [14].

$$G(\theta, \varphi) = P(\theta, \varphi) / (P_a / 4\pi) \quad (2.17)$$

Avec :

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

II.5.4 Facteur d'antenne

Le facteur d'antenne F_A est utilisé en mesure. Il donne le rapport entre le champ électrique efficace rayonné et la tension mesurée juste derrière l'antenne. Les calculs de rayonnement utilisent l'amplitude du champ électrique (champ crête). Dans ce paragraphe, nous utilisons le champ efficace :

$$E_{\text{eff}} = E / \sqrt{2} \quad (3.17)$$

Considérons le rayonnement provenant sur une antenne de réception. Il est caractérisé par la densité surfacique de puissance S_r .

D'après les définitions précédentes :

$$S_r = E_{\text{eff}}^2 / Z \quad (4.17)$$

La puissance reçue P_r par l'antenne est fonction de la densité surfacique de puissance et de l'aire effective de réception A_r :

$$P_r = S_r A_r \quad (5.17)$$

Or l'aire effective de réception dépend du gain de l'antenne de réception, G_r , de la longueur d'onde λ :

$$A_r = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r \quad \text{donc} \quad P_r = \frac{E_{\text{eff}}^2 \lambda^2}{Z} \frac{G_r}{4\pi} \quad (6.17)$$

Par ailleurs, la puissance reçue directement derrière l'antenne vérifie aussi la relation entre la tension et l'impédance caractéristique Z_0 de la ligne :

$$P_r = \frac{V^2}{Z_0} = \frac{E_{\text{eff}}^2}{Z} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r \quad (7.17)$$

En introduisant le facteur d'antenne F_A , comme le rapport entre le champ électrique efficace reçu et la tension induite aux bornes de l'antenne :

$$F_A = \frac{E_{\text{eff}}}{V} \quad (8.17)$$

On obtient :

$$F_A = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{Z}{Z_0} \frac{4\pi}{G_r}} \quad (9.17)$$

II.5.5.1 Polarisation elliptique

La polarisation d'une onde est décrite de façon générale par le lieu de l'extrémité du champ électrique lors de sa propagation. Pour décrire l'état de polarisation d'une onde, on regarde l'onde arriver. Lorsque les pertes sont nulles, l'extrémité du champ électrique décrit alors une courbe fermée qui est, dans le cas le plus général, une ellipse. La polarisation rectiligne est le cas particulier d'une ellipse d'excentricité nulle. Considérons un champ électrique quelconque repéré par rapport au référentiel sphérique de la figure [II.8].

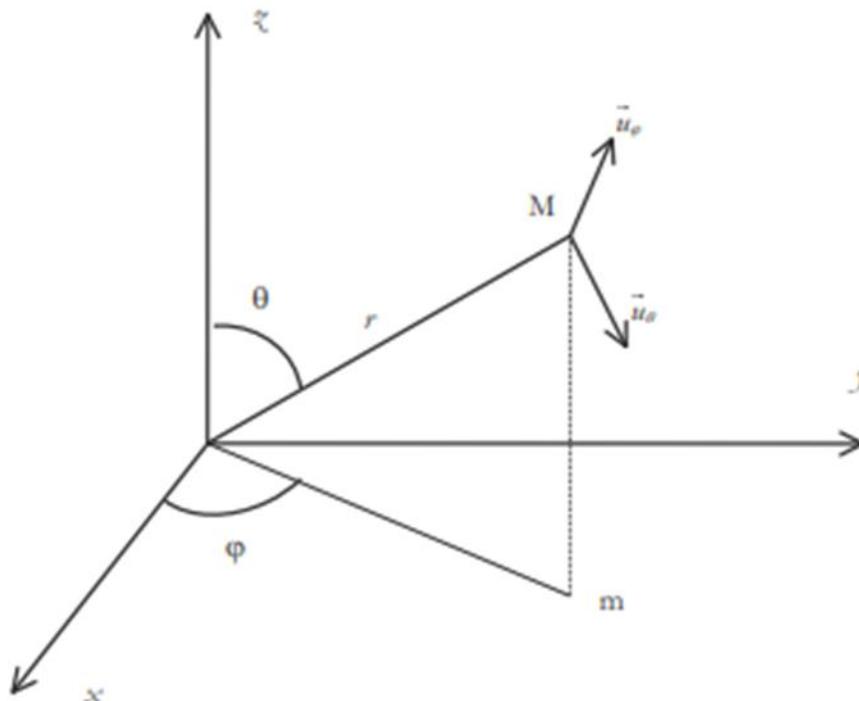


Figure II.18: Référentiel du champ électrique.

II.5.5.2 Polarisation circulaire

Si le champ E dessine un cercle dans le plan d'onde, on parle de polarisation circulaire. Le sens de rotation de E définit une polarisation :

- Droite, si l'onde tourne dans le sens trigonométrique
- Gauche, si l'onde tourne dans le sens horaire

On peut se souvenir du sens de rotation en utilisant ses mains. En pointant son pouce vers soi, on regarde dans quel sens s'enroulent les autres doigts; en choisissant la main qui permet de reproduire le sens de rotation de l'onde polarisée (main gauche ou main droite), on détermine le sens de la polarisation [12].

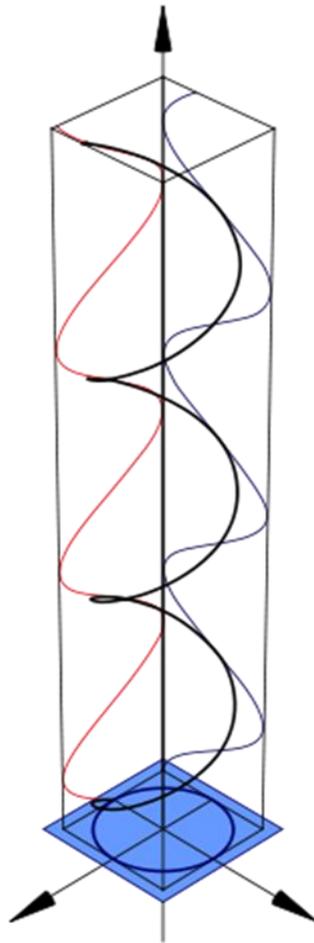


Figure 19: Onde polarisée circulairement.

Si le champ E décrit un segment dans le plan d'onde, on dit que la polarisation est linéaire. On peut la voir comme une polarisation elliptique pour laquelle l'un des deux axes de l'ellipse de polarisation serait réduit à un point [12].

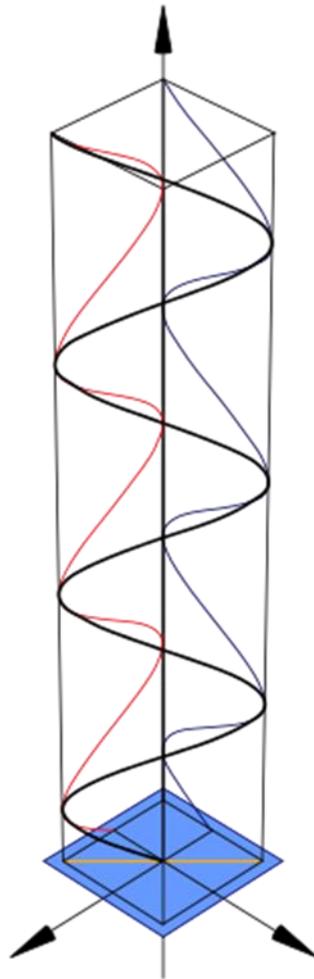


Figure 20: Onde polarisée linéairement.

II.5.6 Impédance d'entrée d'une antenne

Les éléments essentiels d'un émetteur sont un générateur d'ondes connecté à une ligne de propagation, elle-même reliée à l'antenne. Chacune de ces trois parties présente une impédance propre complexe. Pour des antennes réciproques, l'impédance de l'antenne est la même en émission ou en réception [11].

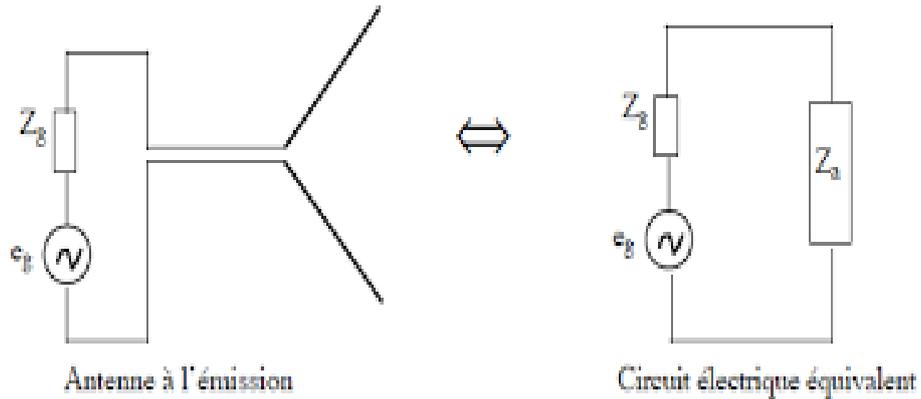


Figure 21: Circuit équivalent d'une antenne.

On appelle impédance d'entrée de l'antenne l'impédance vue à l'entrée de ce composant. Elle est représentée par :

$$Z_A = R_A + jX_A \tag{13.17}$$

L'impédance d'entrée de l'antenne est utilisée pour insérer cet élément de façon optimale dans la chaîne de l'émetteur (ou du récepteur). Si l'impédance caractéristique de la ligne de propagation est Z_0 et l'impédance d'entrée de l'antenne Z_A , le signal se réfléchit à l'entrée de l'antenne avec un coefficient Γ dont l'expression est :

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \tag{14.17}$$

Dans la majorité des cas, l'impédance du générateur vaut 50Ω . C'est une impédance standard en hyperfréquences [11].

II.5.7 Bande passante

La bande passante ΔF , pour une certaine valeur du rapport d'onde stationnaire S à l'entrée de l'antenne, est donnée par :

$$\frac{\Delta F}{F_{RES}} = \frac{S-1}{Q\sqrt{S}} \tag{15.17}$$

Q : étant le facteur de qualité.

Pour augmenter la bande passante d'une antenne, il faut diminuer Q et donc augmenter les pertes, ce qui, dans certains cas, entraîne une diminution de l'efficacité.

Par ailleurs, il faut aussi noter que lorsque l'on diminue le volume utile de l'antenne, on augmente son facteur de qualité et la bande passante devient alors plus faible. Les bandes passantes des antennes de géométrie simple sont de l'ordre de 0,5 à 5 % [17].

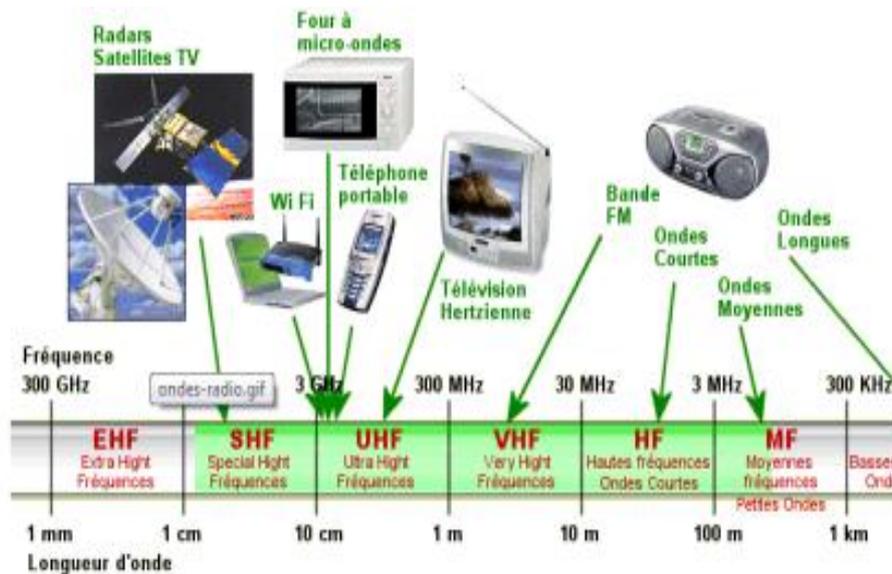


Figure 22: Utilisations des différentes bandes de fréquence.

II.5.8 L'efficacité du rayonnement

L'efficacité de rayonnement d'une antenne est une mesure qui tient compte des pertes aux bornes d'entrée et dans la construction de l'antenne. à l'intérieur de la construction de l'antenne, et aux bornes d'entrée.

L'efficacité totale e_c est employée pour tenir compte des pertes sur les ports d'entrée et dans la structure de l'antenne.

Ces pertes peuvent être dues à :

1. réflexions en raison de la désadaptation entre la ligne de transmission et l'antenne
2. pertes RI^2 (conduction et diélectrique)

En général, l'efficacité totale peut être écrite comme :

Avec

$$e_0 = e_r e_c e_d \tag{16.17}$$

e_r Efficacité de réflexion ($=1-|\tau|^2$)

Il est très difficile de calculer ou de séparer les pertes de conduction et diélectrique d'une antenne et dans la plupart des cas elles sont mesurées et elles sont généralement groupées ensemble pour former l'efficacité e_{cd} . La résistance R_L est employée pour représenter les pertes de conduction-diélectrique. [11]

L'efficacité de conduction-diélectrique e_{cd} est donnée par [11] :

$$e_{cd} = \frac{R_r}{R_l + R_r} \tag{17.17}$$

II.5.9 La puissance apparente rayonnée

La puissance apparente rayonnée (PAR) est une mesure théorique standardisée de l'énergie des ondes radioélectrique émises par une antenne exprimée en watts ou en dBm

$$p(\text{dBm}) = 10 * \log(P(\text{mW}))$$

elle résulte de la différence entre les gains et les pertes d'un système de transmission. la PAR prend en compte la puissance de sortie de l'émetteur et les pertes dues aux lignes, connecteurs, et le gain de l'antenne .

La PAR est estimée en référence à une émission produite par une antenne dipôle idéale (dont le gain est généralement exprimé en dBd), contrairement à la PIRE qui est estimée en référence à une antenne isotrope idéale (dont le gain est généralement exprimé en dBi) il est communément admis que le rapport entre la PAR et la PIRE est de 2,15dB, du fait de l'écart de gain entre l'antenne dipôle idéale et l'antenne isotrope idéale : $PIRE(\text{dBm}) = PAR(\text{dBm}) + 2,15$

II.6 Type d'antennes

Les antennes peuvent être classées en plusieurs modèles. Une approche pour les catégoriser est basée sur leur bande passante et leur taille.

Généralement, il existe une grande variété de techniques pour la réalisation des antennes, chacune d'elles possède ses propres caractéristiques et sert à une application bien déterminée.

Voici les types d'antennes les plus fréquents :

1. **Les antennes fouets** : ont un gain très faible. Elles ne sont conseillées que pour des réceptions particulièrement faciles (proximité immédiate de l'émetteur). Elles sont le plus souvent réservées à un usage à l'intérieur. Elles devront être dressées ou couchées en fonction de la polarisation. [18]



Figure 23: antenne fouets.

2. **Les antennes cadres** : sont aussi très fréquentes. Elles sont en fait constituées d'une boucle circulant à l'intérieur d'un boîtier. C'est aussi une antenne d'intérieur [18].

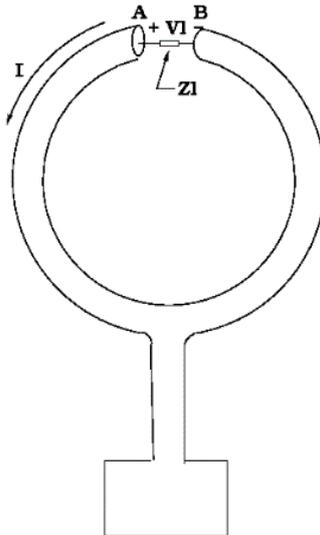


Figure 24: Les antennes cadres.

3. **Les antennes "8"** : sont les plus utilisées en intérieur. Comme leur nom l'indique, le dispositif de réception est une double boucle. A l'arrière de celle-ci, on trouve un grillage qui sert de réflecteur, privilégiant ainsi les ondes provenant de l'avant de l'antenne. Pour une

polarisation verticale, le 8 doit être pivoté pour former un symbole infini " ∞ ". Elles offrent un gain appréciable [18]

Ces deux derniers modèles ont une bande passante limitée aux ondes UHF. Pour couvrir les bandes VHF, elles sont alors souvent accompagnées de brins télescopiques (comme les antennes pour la FM). Pour rappel, la bande VHF n'est pas utilisée actuellement pour la T.N.T. [18]

4. **Les antennes Yagi** : sont les plus courantes pour les réceptions en extérieur, sur le toit. De par leur forme, on les appelle souvent "antennes râteau". Le gain est souvent proportionnel au nombre d'éléments (les dents du râteau). Ceux-ci doivent être placés dans la même orientation que la polarisation. La tige reliant les éléments doit pointer très précisément vers l'émetteur. Certains modèles prévoient des panneaux réflecteurs à l'arrière et même plusieurs tiges en parallèle. Pour une réception T.N.T., les antennes Yagi VHF ne sont pas utilisables. Il existe aussi des versions de ce type pour un usage à l'intérieur [18]

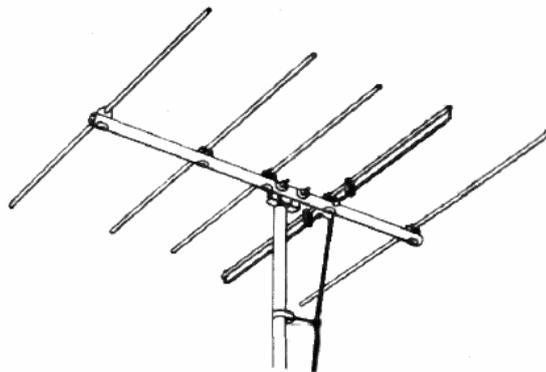


Figure II.125: exemple antenne yagi.

II.7 Antenne microruban

Aussi appelé antenne planaire, Parmi le type d'antenne le plus utile en hyperfréquences ($f > 1$ GHz). Il Constitue d'une plaque de métal sur un substrat diélectrique. Plusieurs formes sont utilisées, mais rectangulaire et circulaire sont les plus communs, Populaire depuis les années 1970 [18].

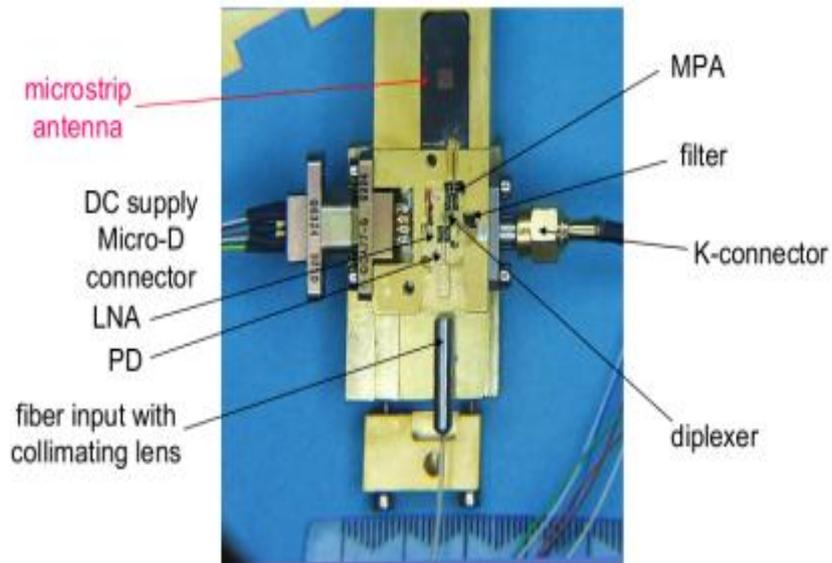


Figure 26: Exemple d'une antenne microruban.

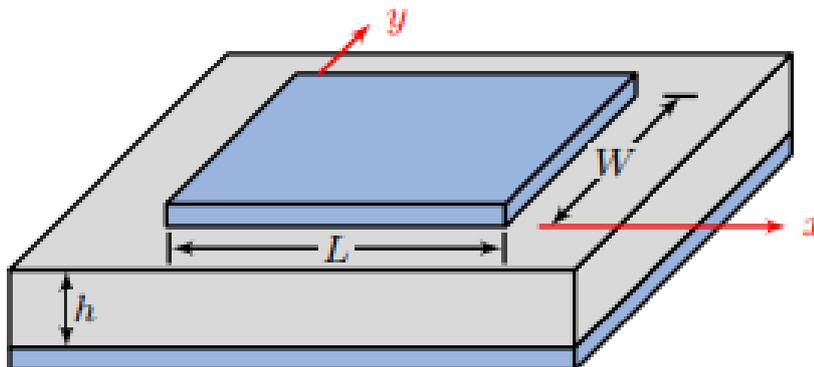


Figure 27: Géométrie d'une plaque rectangulaire.

L est la dimension de résonance (environ $\lambda/2$), Typiquement $W > L$ (meilleure largeur de bande), mais $W < 2L$ $W = 1.5L$ commun

II.7.1 Structure générale des antennes patch microrubans

L'antenne imprimée appelée aussi antenne patch, est un transducteur qui, en émission, convertit un signal électrique d'une ligne de transmission en une onde électromagnétique qui se propage dans l'espace libre. L'opération inverse se produit lors de la réception, ce qui représente le principe d'une antenne en général [19]

Dans sa configuration de base, l'antenne imprimée est constituée d'un plan de masse métallique conducteur recouvrant la partie inférieure d'un substrat diélectrique, soit d'une manière totale ou partielle Figure [II.18]. Une ou plusieurs couches de substrat pouvant avoir des permittivités relatives égales ou différentes, d'épaisseur h et de tangente de pertes $\text{tg } \delta$, peuvent être appliquées. Il est plus judicieux d'utiliser des matériaux à faible permittivité ($\epsilon_r < 3$) pour éviter les pertes dans le diélectrique qui causent une réduction des performances de l'antenne [20]. Sur la partie supérieure, nous trouvons un élément rayonnant qui a un volume et une forme selon l'application. Les dimensions de cet élément conditionnent la fréquence de résonance de l'antenne. Le rectangle et le cercle sont les formes les plus usuelles en pratique, car elles sont faciles à analyser [21].

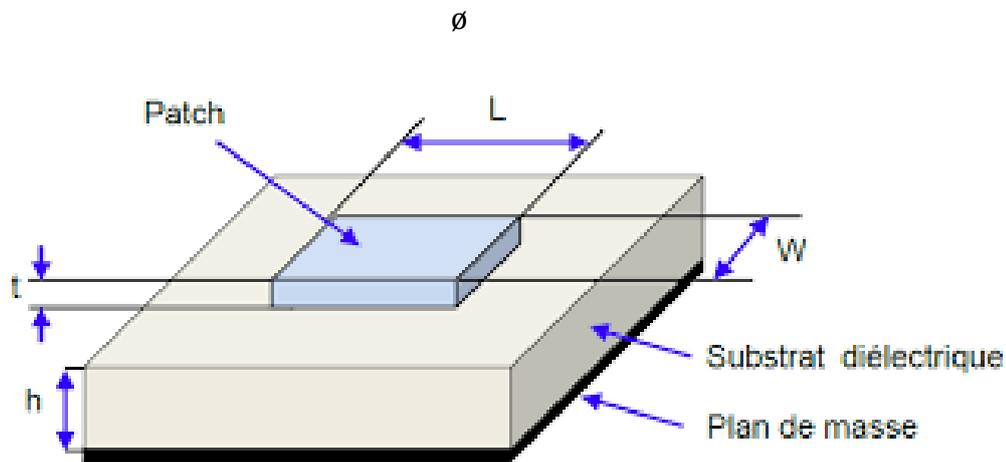


Figure 28: Structure d'une antenne patch microruban.

II.8 Avantages et inconvénients

Les antennes microruban sont utilisées comme antennes intégrées dans les appareils sans fil portables comme les téléphones cellulaires, ainsi que dans les communications par satellite.

Voici quelques-uns de leurs avantages les plus importants :

- Profil faible.
- Facile à fabriquer (méthodes standards de circuits intégrés hyperfréquences).
- Facile à alimenter (coax, microruban).
- Facile à utiliser en matrice.

-Rayonnement presque hémisphérique, directivité moyenne (6 à 8 dB).

Les antennes micro ruban présentent aussi des inconvénients, Voici quelques-uns de leurs principaux :

-Faible largeur de bande (peut être amélioré). Largeur de bande de quelques pourcents.

- Rendement un peu plus faible que d'autres types d'antennes.

-Rendement limité par perte de conducteur et diélectrique, et ondes de surface.

- Pertes conducteurs et diélectriques plus élevées pour un substrat mince.

- Pertes d'onde de surface plus élevées pour un substrat épais.

II.9 Alimentation des antennes patch

La technique d'alimentation représente un élément important sur la conception d'antenne patch, il peut être transféré l'énergie en hyperfréquence du système de transmission vers l'antenne. L'adaptation d'impédance d'entrée, la polarisation, les modes de fonctionnement, le parasite de rayonnement, les ondes de surface et la géométrie de l'antenne sont affectés par ces techniques d'alimentation.

Les techniques d'alimentation des antennes imprimées peuvent être classées en deux catégories :

*Alimentation par contacte (par sonde ou ligne micro-ruban).

*Alimentation sans contacte (couplage électromagnétique par ligne ou par fente)

II.9.1 Alimentation par câble coaxial

Le conducteur du câble coaxial connecté à l'extérieur du plan de masse jusqu'au patch figure [II.19]. Ce type d'alimentation présente des avantages tels que la facilité de fabrication, faible parasite de rayonnement et l'adaptation. Mais il offre une bande passante étroite et il est difficile à modéliser particulièrement pour des épaisseurs du substrat supérieures à $0.02\lambda_0$, où λ_0 est la longueur d'onde dans l'espace libre. Cette alimentation occupe moins d'espace par rapport à l'alimentation par ligne micro-ruban [22].

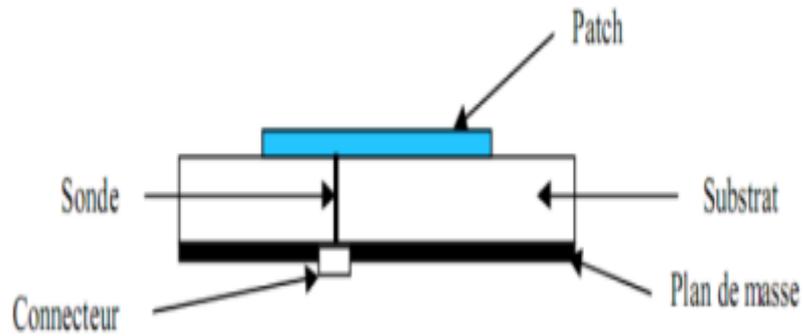


Figure 29:Alimentation par câble coaxial.

II.9.2 Alimentation par ligne microbande

Un patch micro ruban excité par une ligne microbande figure [II.20], cette ligne est définie comme une bande conductrice de largeur plus petite que celle du patch [23]. La ligne microbande est connectée directement au bord du patch pour transférer la puissance maximale, il faut que l'impédance de bord soit adaptée à l'impédance de la ligne d'alimentation [15]

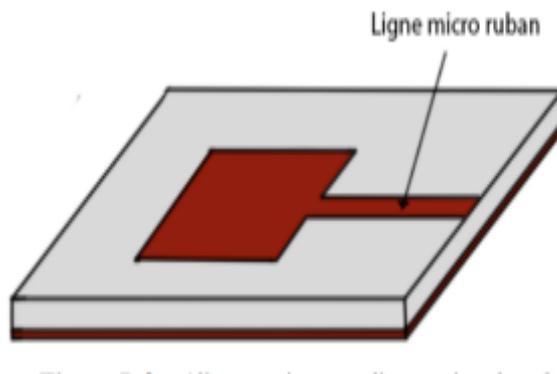


Figure II.20 : Alimentation par ligne microbande.

Cette technique d'alimentation présente l'avantage d'être graver la ligne sur le même substrat avec le patch, et d'être aussi facile à fabriquer et facile à modéliser [16].

II.10 Conclusion

Enfin, ce chapitre se compose de deux parties :

La première partie couvre les caractéristiques fondamentales des antennes, telles que les diagrammes de rayonnement, le facteur de qualité, et la directivité, chaque paramètre étant décrit en détail. La deuxième partie traite des nombreux types d'antennes.

La deuxième section aborde la structure générale d'une antenne microruban, ainsi que ses principaux avantages et inconvénients, de même que les quatre stratégies d'alimentation microruban les plus courantes.

CHAPITRE III :
ETUDE ET CONCEPTION D'UNE
D'ANTENNE LARGE BANDE POUR
LES APPLICATIONS 5G

III.1 Introduction

Sur un terminal d'utilisateur, la technologie 5G nécessite des antennes avec des caractéristiques innovantes. Ce besoin pose de nombreux défis de conception en termes d'équilibre acceptable entre les questions de conception technologique et les objectifs commerciaux tels que le faible coût, la petite taille, l'efficacité de rayonnement, le gain d'antenne augmenter la performance, et ainsi de suite. Plus précisément, les bandes d'ondes millimétriques. [23]

Les antennes microruban avec un positionnement coplanaire des éléments rayonnants et des éléments et du réseau d'alimentation, entre autres choix, semblent être une solution solide pour obtenir un élément fonctionnel avec un bon équilibre entre les performances et la complexité de fabrication pour les applications 5G. Par rapport aux conceptions standard LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic), les antennes microruban imprimées sur un substrat Duroid ont présenté de bonnes performances[23].

Dans ce travail, nous proposons de concevoir et de construire une antenne intégrée qui peut émettre dans une large bande et être utilisée dans diverses applications de 5ème génération.

III.2 Modélisation d'une antenne patch microruban

Une antenne microruban peut être modélisée ou analysée à l'aide de diverses méthodes et techniques, Les techniques les plus populaires et les plus connues sont les modèles de ligne de transmission, de cavité et d'onde complète. Le modèle de ligne de transmission est utilisé dans ce travail et les étapes de la conception d'une antenne patch rectangulaire, qui est largement utilisée, ont été discutées. [23]

III.3 Modèle de ligne de transmission

Dans ce modèle, l'antenne est traitée comme s'il s'agissait d'une ligne de transmission à microruban. La représenter comme deux fentes étroites parallèles rayonnantes, qui ont une largeur de W et une hauteur de h , séparées par une longueur de L

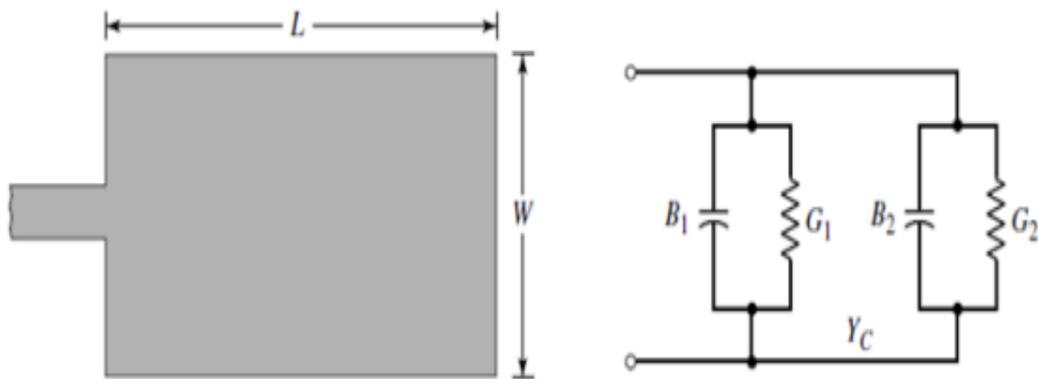


Figure 30: Antenne patch rectangulaire et son modèle équivalent de ligne de transmission. [22]

A- patch rectangulaire

B- modèle équivalent de transmission

Lors de la conception de l'antenne, plusieurs effets et facteurs doivent être pris en compte.

III.3.1 Effet de frange (Fringing) :

Cet effet est dû au fait que le patch a des dimensions finies (W et L). Comme illustré 5le long de la longueur sur la Figure [III.2] (a) et (b) pour les deux fentes rayonnantes de l'antenne, le champ électrique s'étend vers l'extérieur à partir des bords électriques, ce qui fait que la longueur et la largeur semblent électriquement plus longue que ce qu'elle est. L'effet de frange a un impact plus important sur la longueur (L) car cette dimension contrôle la fréquence à laquelle l'antenne est utilisée. L'antenne résonne la quantité de frange est fonction du rapport entre la longueur de l'antenne (L) et la hauteur du substrat (h), soit (L) et (h). Substrat (h) qui est (L/h), ainsi que du matériau du substrat.

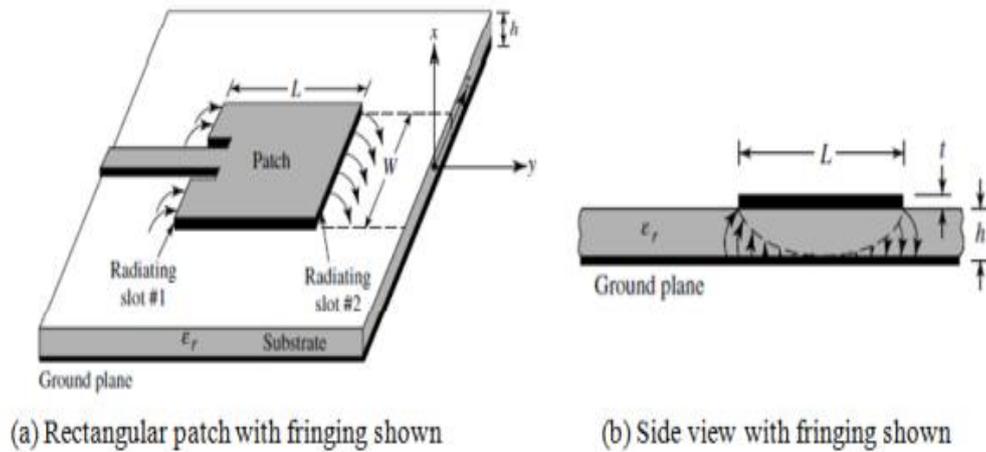


Figure III.2: L'antenne patch avec vue latérale montrant les franges. [7]

Le deuxième facteur influençant la frange est le matériau du substrat. L'antenne est traitée comme une ligne microruban, elle est entourée de deux constantes diélectriques différentes, l'air et le substrat. Le substrat. Cela signifie que le champ électrique traversera deux matériaux ; cependant, Toutefois, comme le montre la Figure [III.3], il sera principalement dans le substrat. Quoi qu'il en soit, la constante diélectrique de l'air doit être prise en compte afin d'estimer correctement la quantité de franges[7].

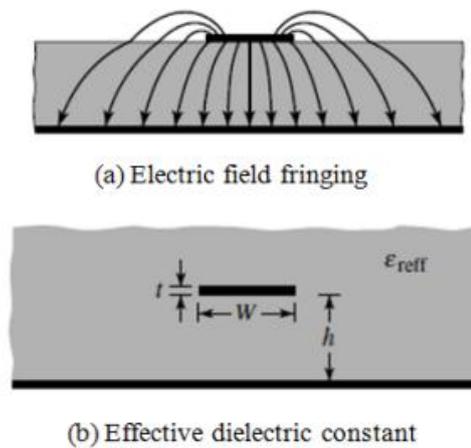


Figure III.3 :Le champ électrique et le constant diélectrique effectif.

Pour ce faire, on introduit une constante diélectrique effective (ϵ_{reff}). Puisque le microstrip patch se trouve entre l'air et le substrat, les valeurs de (ϵ_{reff}) doivent être entre 1 et ϵ_r . L'équation (3.1) montre comment calculer le constant diélectrique effectif. [7]

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-0,5} \quad (3.1)$$

Comme nous l'avons mentionné plus haut, l'effet de frange fera paraître la taille de l'antenne plus grande que sa longueur réelle figure [III.4].

En raison de cet effet, la longueur utilisée pour déterminer la fréquence de résonance doit être recalculée. La fréquence de résonance effective est donc contrôlée en faisant varier la longueur de l'antenne L . La nouvelle extension de la longueur de l'antenne ΔL peut être calculée et utilisée ultérieurement dans la conception de l'antenne pour déterminer la longueur effective L_{eff} que l'antenne aura à cause de la frange. L'extension de la longueur est une fonction du rapport entre la largeur de l'antenne patch (W) et la hauteur (h) de l'antenne, comme l'exprime l'équation (3-2) [7]

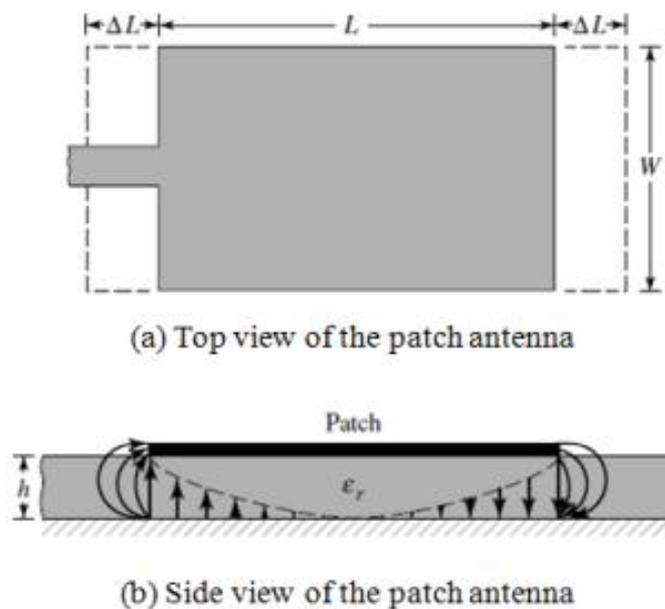


Figure III.4 : Démonstration de l'effet de frange sur la longueur électrique.

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (3.2)$$

Ainsi, la longueur effective de l'antenne peut être décrite par :

$$L_{eff} = L + \Delta L \quad (3.3)$$

III.3.2 Exigences de conception :

Pour concevoir l'antenne, il faut un certain nombre de variables d'entrée, qui peuvent être choisies en fonction des exigences de conception. . Ces variables sont les suivantes

a) Le matériau du substrat (r) :

Il existe de nombreux types de matériaux de substrat qui peuvent être utilisés pour concevoir une antenne patch à microruban. Le constant diélectrique de ces matériaux est compris entre 2,2 et 12. Les constantes diélectriques qui sont hautement souhaitables pour une bonne performance de l'antenne se situent dans la partie inférieure de la gamme, car elles fournissent une meilleure efficacité, une plus grande largeur de bande et des champs peu contraignants, mais au prix d'une plus grande taille d'élément de patch. [20]

b) Hauteur du substrat (h) :

La hauteur du substrat est normalement bien inférieure à la longueur d'onde de l'espace libre (λ_0), et elle varie entre $0.003\lambda_0 < h < 0.05\lambda_0$. Plus cette couche est épaisse, plus les champs libres de rayonnement dans l'espace. Quand une couche plus mince est choisie, l'efficacité de l'antenne diminue[7].

c) Fréquence de résonance (fr) :

Il s'agit de la fréquence à laquelle l'antenne doit fonctionner pour répondre aux normes sur lesquelles l'application 5G fonctionne.

III.3.3 Procédure de conception

A partir des données d'entrée (h, r, et fr), les étapes suivantes sont suivies pour trouver la largeur (W) et la longueur (L) de l'antenne patch requise :

1-La largeur de l'antenne est calculée à l'aide de l'équation (3-4) :

$$W = \frac{c}{2 \cdot fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.4)$$

où c , est la vitesse de la lumière en espace libre.

2- La longueur de l'antenne patch est déterminée en utilisant (3-1), (3-2), et l'équation suivante (3-5).

$$L = \frac{c}{2 \cdot f \cdot r \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (3.5)$$

III.4 Méthodes d'alimentation des antennes patches

Il existe différents types d'alimentation pour les antennes patch à micropoints. Les plus courants sont :

III.4.1 Ligne microruban

Semblable à l'antenne patch, la ligne d'alimentation microstrip est une bande conductrice dont la largeur est généralement inférieure à celle de l'antenne patch. La ligne d'alimentation microstrip possède un certain nombre de propriétés qui en font une méthode d'alimentation souhaitable. Parmi les avantages, une ligne d'alimentation microstrip est relativement simple à fabriquer, facile à adapter à l'antenne et simple à modéliser. La figure 3.5 montre le modèle de circuit équivalent d'une ligne d'alimentation microruban qui se compose d'un condensateur, d'une inductance et d'une résistance en parallèle, connectés à une autre inductance en série. [22]

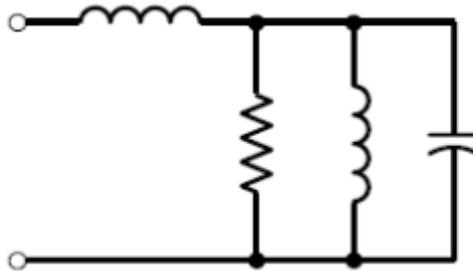


Figure III.5 : Circuit équivalent de la ligne d'alimentation microstrip.

III.4.2 Sonde coaxiale

Contrairement à la ligne d'alimentation en microruban où le signal est alimenté parallèlement à l'antenne patch, le signal dans la sonde coaxiale est alimenté par le dessous de l'antenne patch. Ici, le conducteur intérieur de la sonde coaxiale est connecté à la plaque rayonnante et le conducteur extérieur de la sonde coaxiale est connecté à l'antenne rayonnant et le conducteur extérieur du coaxial est connecté à la plaque de masse de l'antenne. Cette méthode

d'alimentation illustrée à la Figure [III.6] est également facile à mettre en œuvre. Le modèle de circuit équivalent est le même que celui utilisé pour la ligne d'alimentation en microruban mentionnée précédemment. [22]

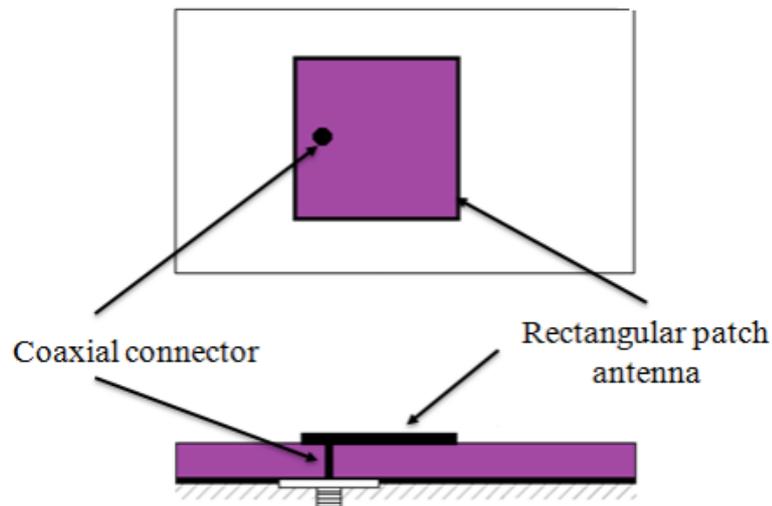


Figure 31: La méthode de la ligne d'alimentation.

III.4.3 Couplage d'ouverture

La géométrie de l'antenne patch à couplage d'ouverture est présentée dans la Figure [III.7] (a). L'élément rayonnant en microbande est gravé sur la partie supérieure du substrat de l'antenne, et la ligne d'alimentation en microruban est gravée sur le bas du substrat d'alimentation. L'épaisseur et les constantes diélectriques de ces deux substrats peuvent donc être choisies indépendamment pour optimiser les fonctions électriques distinctes du rayonnement et du circuit. Ce type d'alimentation permet de surmonter certains des problèmes rencontrés par les alimentations conductrices, mais il est également le plus difficile à fabriquer. La figure [III.7] (b) illustre le circuit équivalent. [22]

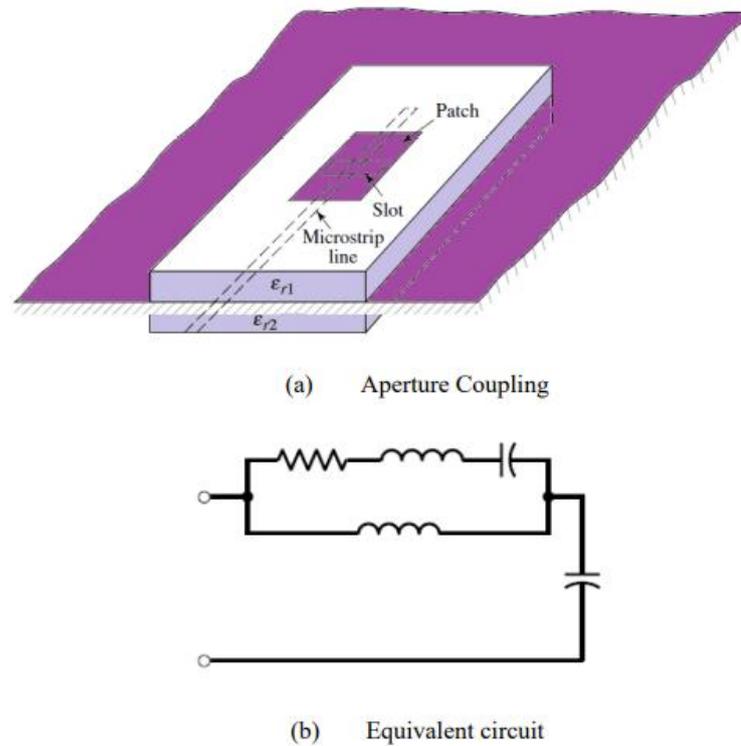
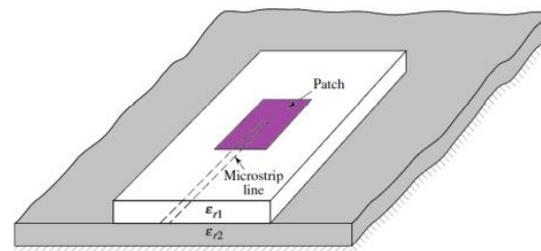


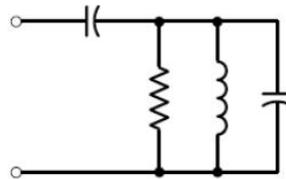
Figure III.32: Le couplage d'ouverture et son modèle de circuit équivalent.

III.4.4 Couplage de proximité

Le couplage de proximité est une méthode d'alimentation où un mécanisme de couplage est utilisé pour alimenter une antenne figure [III.8] (a). bien que cette méthode d'alimentation ait une bande passante plus large que les autres méthodes présentées. Le couplage de proximité est simple à modéliser, mais sa fabrication est plus complexe. La figure [III.8](b) montre le circuit équivalent de la ligne. [22]



(a) Proximity coupling



(b) Equivalent circuit

Figure 33: Le couplage de proximité et son modèle de circuit équivalent.

La ligne microruban s'avère avoir les propriétés requises pour la conception de l'antenne patch souhaitée.

III.5 Adaptation de la ligne d'alimentation à l'antenne

Il existe une différence de largeur entre la ligne d'alimentation et l'antenne qui y est connectée. ce qui entraîne une différence d'impédance d'entrée. En raison de cette variation d'impédance, une désadaptation se produira, provoquant un dysfonctionnement de l'antenne. En raison de cette variation d'impédances, une inadéquation se produira, entraînant la réflexion d'un pourcentage plus élevé du signal d'alimentation. Cela aura un impact négatif sur l'efficacité et le gain de l'antenne. La méthode de la ligne d'alimentation insérée figure [III.9] est couramment utilisée avec les lignes d'alimentation microruban pour permettre une meilleure adaptation à l'antenne microruban. Ce qui résout ce problème. [22]

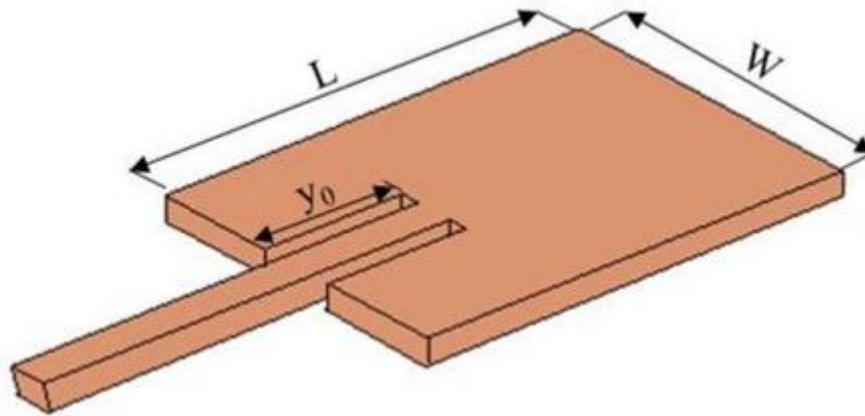


Figure 34: Une antenne patch rectangulaire avec une ligne d'alimentation insérée (y_0).

La théorie de la méthode de la ligne d'alimentation insérée est basée sur la variation du courant de tension à l'intérieur de l'antenne patch. Le courant à l'intérieur du patch est à son minimum sur les bords du patch et atteint son maximum vers le milieu du patch. Minimum sur les bords du patch et atteint une magnitude maximale près du milieu de l'antenne patch. D'après loi d'ohms, on peut en conclure qu'il est possible de contrôler l'impédance d'entrée de l'antenne que la ligne d'alimentation voit en modifiant l'endroit où elle est alimentée dans l'antenne. Le site donne l'impédance d'entrée requise. La figure [III.10] montre cette relation, qui peut être calculée dans l'équation (3-6) [23]

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2(\pi y_0 / L) \quad (3.6)$$

La méthode de la ligne d'alimentation insérée est l'une des méthodes couramment utilisées qui sont efficaces, faciles à mettre en œuvre et qui seront mises en œuvre pendant cette conception. facile à mettre en œuvre et qui sera appliquée au cours de cette conception.

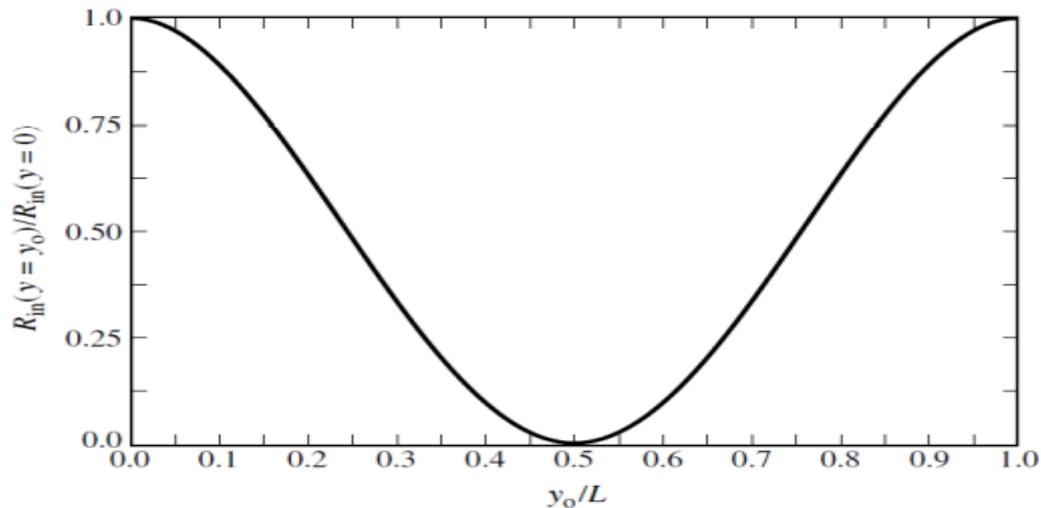


Figure III.10 : Alimentation de la ligne microruban en insert et variation de la résistance d'entrée normalisée.

III.6 Réduction de la taille de l'antenne patch

La technique de structure microstrip défectueuse (DMS) a été utilisée pour réduire la taille de l'élément patch utilisé comme bloc de construction. Cette méthode utilise le facteur d'onde lente (SWF) dans les lignes de microbande pour optimiser les dimensions des antennes patch rectangulaires. SWF spécifie la relation entre le nombre d'ondes en espace libre (k_0) et la constante de propagation (β) de l'onde de transmission. Pour une ligne microruban sans perte, le SWF est déterminé comme suit :[23]

$$SWF = \sqrt{\epsilon_{reff}} \quad (3.7)$$

où (ϵ_e), est la permittivité effective du matériau. La constante de propagation est déterminée par (4-8) où (k_0), est le nombre d'onde en espace libre.

$$\beta = \sqrt{\epsilon_{reff} K_0} \quad (3.8)$$

Le SWF d'une ligne microruban augmente lorsqu'une discontinuité est introduite dans le parcours de l'onde électromagnétique qui augmente l'impédance caractéristique de la ligne.

III.7 Structure de l'antenne

L'antenne patch large bande de la figure [III.11] est conçue pour rayonner à 3,5 GHz (la bande sub 6 GHz). L'antenne patch proposée convient parfaitement aux services de communication personnels, aux applications de réseau local sans fil et à d'autres applications similaires. Utilisations et applications du système de positionnement global.

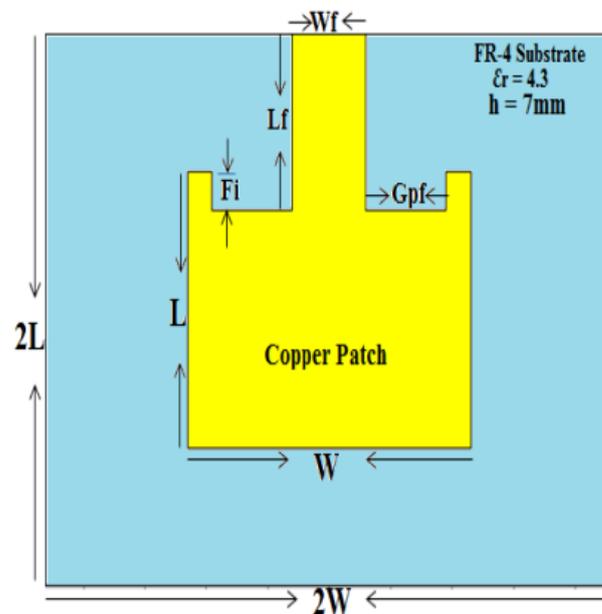


Figure III.11 : La géométrie de l'antenne proposée.

Le matériau Flame Retardant-4 (FR-4) avec un constant diélectrique (ϵ_r) de 4,3, est utilisé comme substrat de l'antenne patch microstrip avec une épaisseur de 7mm. La figure [III.11] montre la structure en perspective de l'antenne proposée optimisée pour 3.5 GHz. Dans la simulation CST MW Studio. Le tableau III.1 montre les dimensions de l'antenne proposée.

Paramètres	L	W	Fi	Gpf	Wf	h	Lf	Mt
Dimensions(mm)	29	46	4	13	12	7	18.5	0.8

Tableau III.1: Dimensions de l'antenne.

III.8 Etude paramétrique

Le but de cette recherche est de démontrer comment les différents éléments de l'antenne affectent le coefficient de réflexion. La simulation par ordinateur est utilisée pour faire une analyse paramétrique de l'antenne proposée (CST).

III.8.1 Effet de la largeur de la ligne de d'alimentation "wf" :

Pour obtenir la bande de fréquences souhaitée, on peut varier la largeur de la ligne d'alimentation "wf". Comme le montre la figure [III.12]

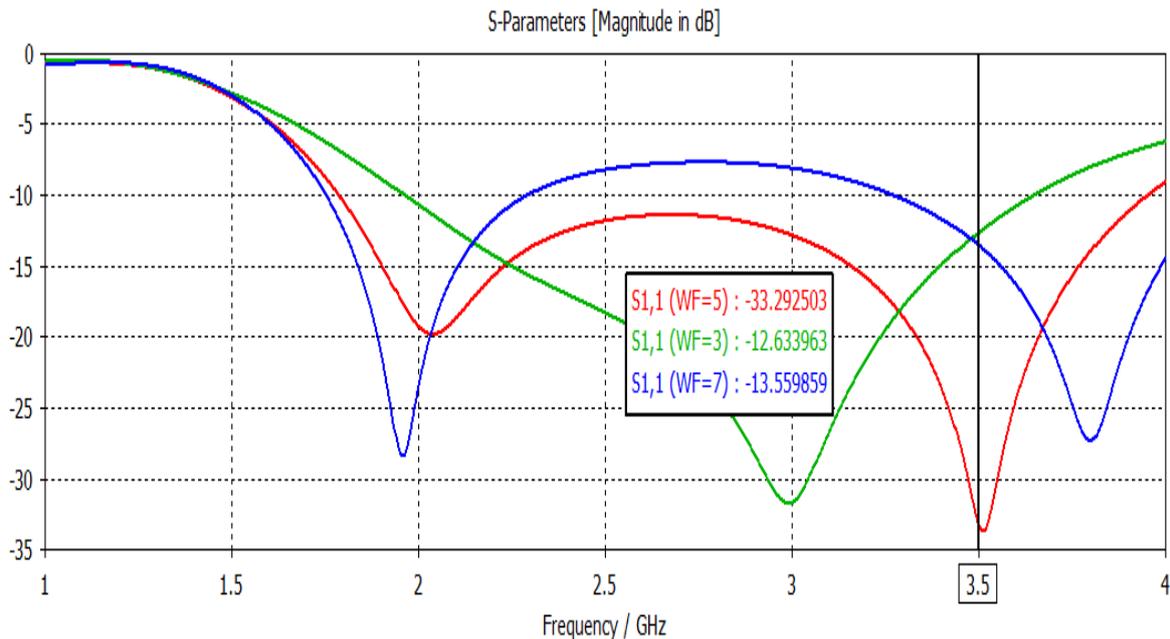


Figure 35: Le coefficient de réflexion pour différentes largeurs de la ligne d'alimentation.

Comme nous pouvons le voir sur la Figure III.12, le coefficient de réflexion varie remarquablement lorsque la largeur de la ligne d'alimentation varie de 3 à 7 mm, l'adaptation est meilleure pour $W_f = 5$ mm.

III.8.2 Effet de la longueur de l'encoche «Fi» :

Comme le montre la figure [III.13], le coefficient de réflexion varie remarquablement lorsque la longueur de l'encoche varie de 0.5 à 3.5 mm, l'adaptation est meilleure pour $F_i = 2$ mm.

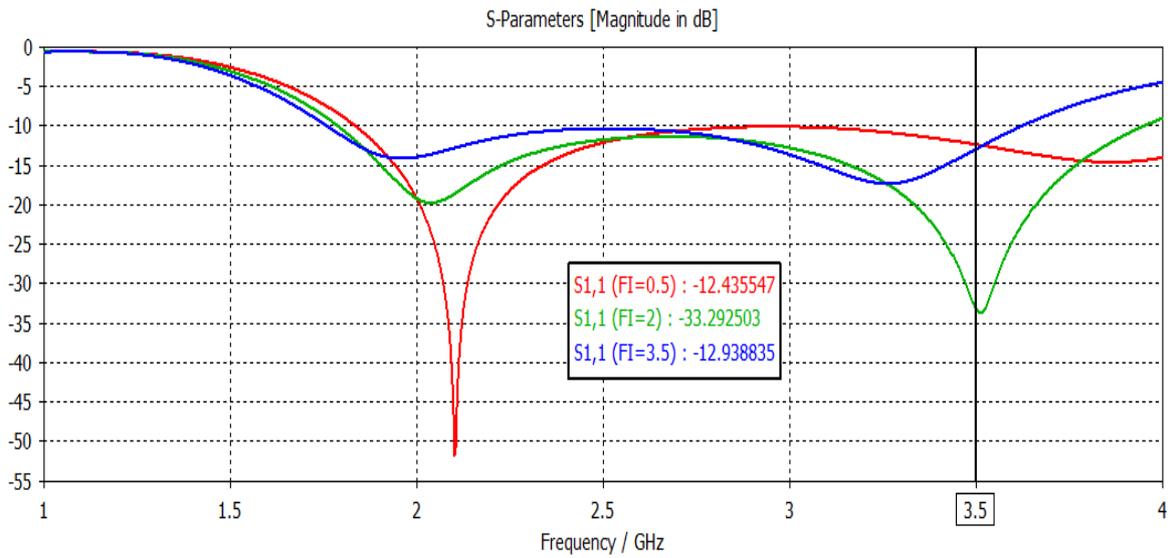


Figure III.13 : Le coefficient de réflexion pour différentes longueurs de l'encoche.

III.8.3 Effet de la largeur de l'encoche " Gpf" :

Ce paramètre peut être modifié pour améliorer l'adaptation comme la montre la figure [III.14]. Alors nous pouvons le considérer comme paramètre clé.

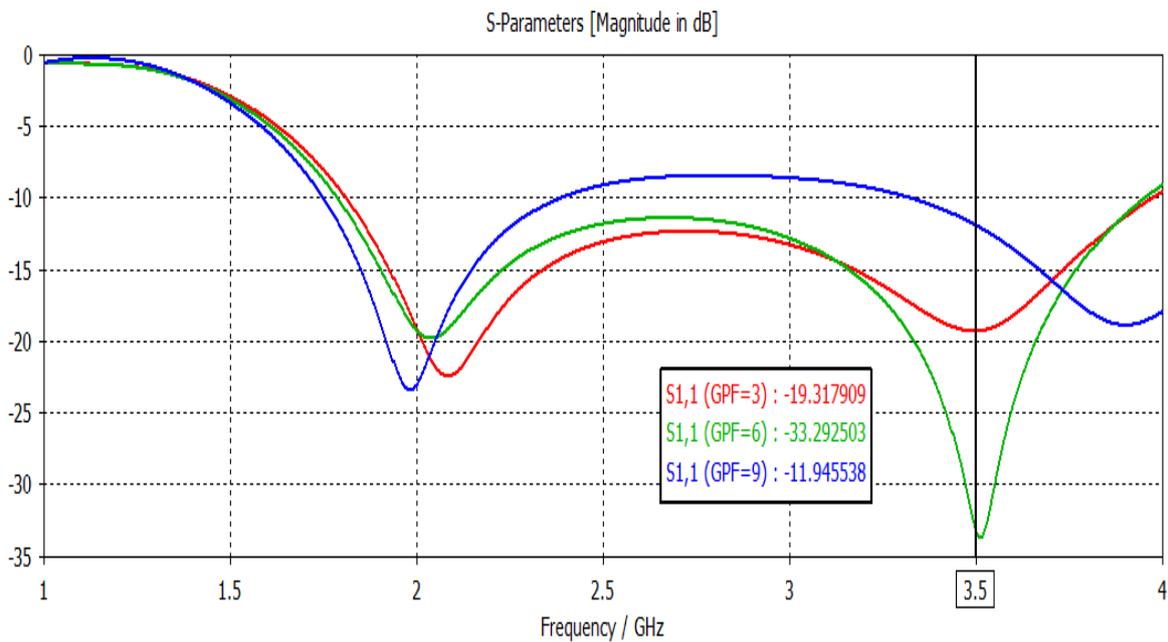


Figure III.14 : Le coefficient de réflexion pour différentes largeur de l'encoche.

Les utilisations des encoches permettent un meilleur contrôle de l'exigence d'adaptation. Comme le montre la Figure III.14, nous observons qu'une petite variation de ± 3 mm autour de la valeur nominale $G_{pf} = 6$ mm ce qui diminue le niveau d'adaptation.

III.9 Résultats de la simulation

Le logiciel CST a été utilisé pour étudier les performances de l'antenne. Le coefficient de réflexion dérivé de la simulation est présenté sur la figure [III.15]

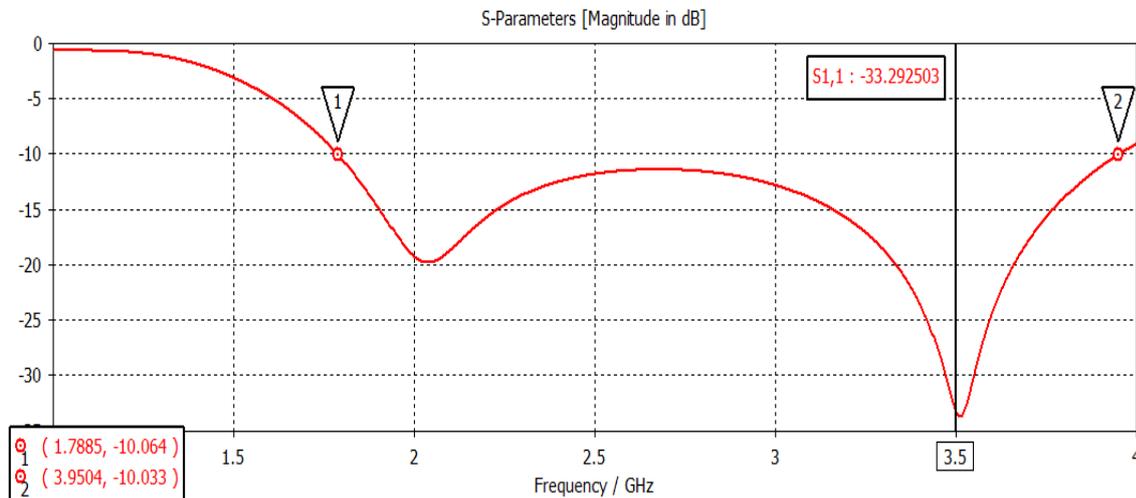


Figure III.15 : le coefficient de réflexion S_{11} obtenu de la simulation.

La courbe du coefficient de réflexion S_{11} montre que l'antenne conçue résonne à 3.5 GHz avec un coefficient de réflexion maximal de -33.29 dB avec une large bande passante est égale à 2.17 GHz.

La figure [III.16], nous pouvons voir que la valeur du ROS de l'antenne proposée est d'environ $1,04 < 2$ (bien adapté)

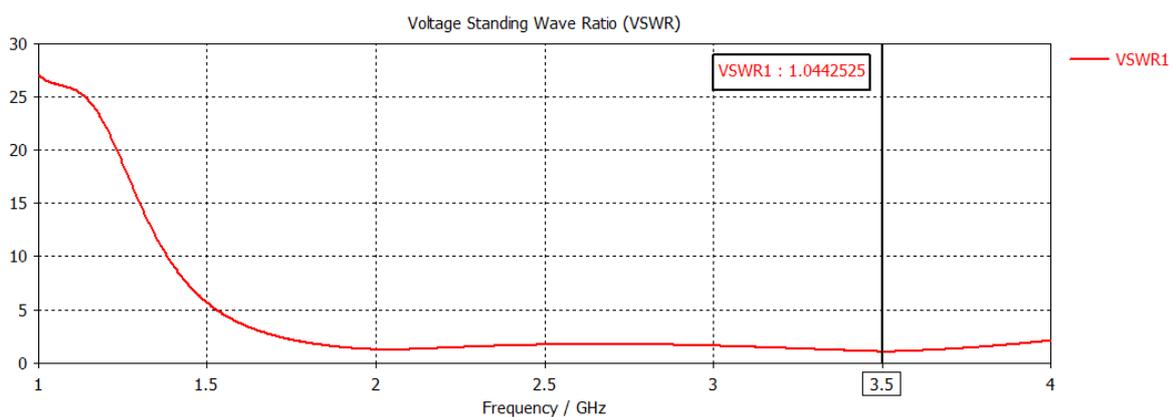


Figure III.16: ROS de l'antenne.

La figure [III.17] montre le diagramme de rayonnement en champ lointain de l'antenne. A partir de cette figure, nous pouvons voir que le gain de l'antenne est d'environ 3,332 db le rendement total de l'antenne peut être calculé comme étant de 55,74%.

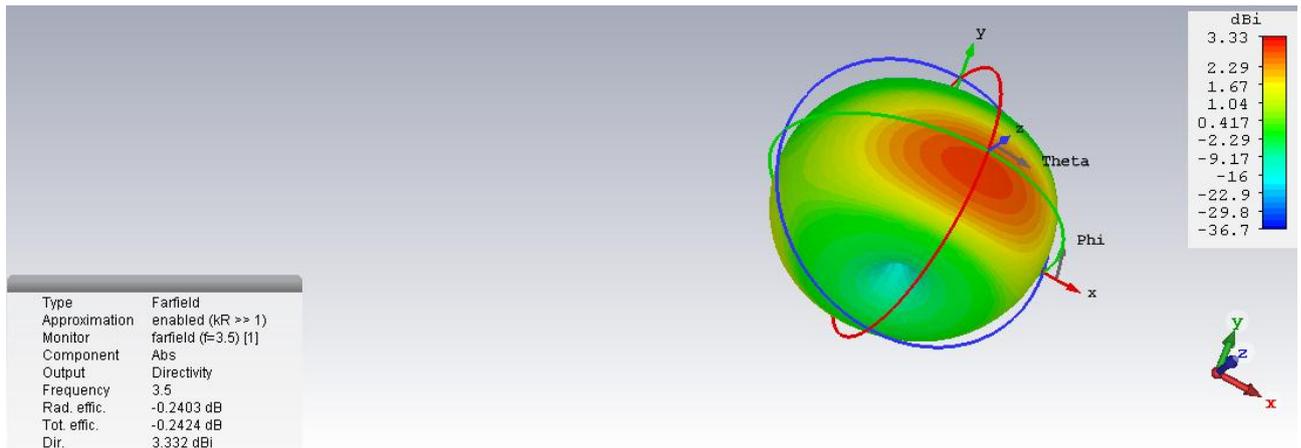


Figure III.17: Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée.

La figure [III.18] montre le diagramme de gain en champ lointain de l'antenne proposée, l'amplitude du lobe principal est de 3,34 dBi, la direction du lobe principal est de 167.0 deg, la largeur de faisceau angulaire de 3 db .

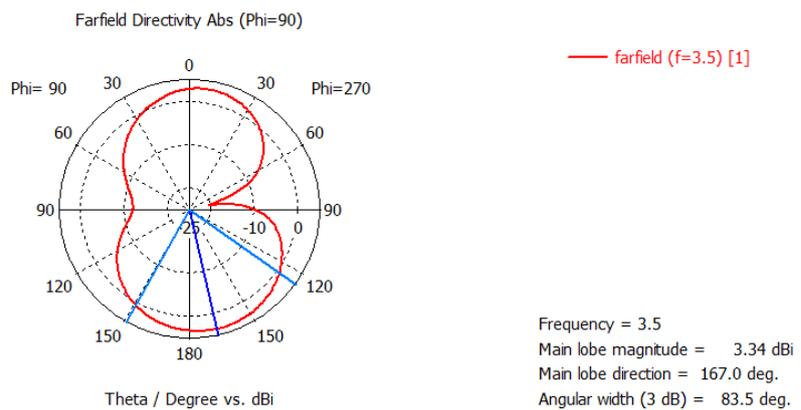


Figure III.18:Modèle de gain de champ (FAR).

III.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons créé une antenne qui peut transmettre des données dans une large bande de fréquences pour les applications 5G. Pour ce faire, nous avons utilisé les outils CST Microwave Studio pour l'analyse et la simulation, et nous avons mené une recherche paramétrique pour comprendre l'impact des différentes propriétés physiques de l'antenne. Enfin. Nous pouvons affirmer que l'antenne patch est simple à construire, surtout lorsqu'on utilise des techniques d'adaptation pour réduire la réflexion et obtenir la bonne fréquence de résonance.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce document de recherche est dans le domaine de la conception et de l'étude d'une antenne multiservice pour une application assez importante des communications sans fil. Le modèle de réseau d'antennes qui sera simulé peut être très bénéfique pour La cinquième génération d'appareils de téléphonie cellulaire fait encore l'objet de recherches et de développement. Le modèle proposé a été proposé comme solution pour les applications 5G et a été créé en utilisant le programme de simulation CST. De nombreuses approches sont employées tout au long du processus de conception, notamment des procédures de conception telles que le calcul des paramètres théoriques, la déclaration des valeurs des paramètres, la sélection de la meilleure méthode d'excitation et l'évaluation de l'antenne en fonction des résultats obtenus.

En premier, Nous avons commencé par une partie théorique sur les généralités des différentes générations de téléphones que le monde a connus et leurs évolutions, suivie d'une présentation sur les antennes en général et les patches en particulier, où nous avons abordé leurs propriétés et caractéristiques, ainsi que les différentes formes d'une antenne patch et leurs avantages et inconvénients. Ensuite, une partie était réservée à la conception, qui consistait d'abord à présenter l'outil de simulation CST, puis étudier les paramètres qui peuvent influencer ces qualités.

Les résultats de la recherche présentés dans ce document sont les suivants :

-La facilité avec laquelle nous avons pu fabriquer une antenne patch, notamment grâce à l'utilisation de techniques d'adaptation et de logiciels de simulation, qui nous ont permis d'examiner et d'identifier la fréquence de résonance nécessaire.

-L'antenne patch est extrêmement importante en raison de ses nombreux avantages par rapport aux antennes traditionnelles.

Enfin, dans le dernier chapitre du manuscrit, nous avons utilisé le logiciel CST Microwave pour vérifier l'exactitude de notre modèle d'antenne imprimée, après quoi nous avons analysé les résultats.

Bibliographie

[1] <https://journals.openedition.org/netcom/2869>

[2] «<http://slideplayer.fr/slide/4253519>,» 15 4 2021. [En ligne].

[3] FEI Hu « Opportunities in 5g Networks a Research and development Perspective » Livre, 5 avril 2016.

[4] Detti, Andrea. "Functional architecture." CNIT - Electronic Eng. Dept., Université de Rome Tor Vergata.

[5] Rodriguez, Jonathan, ed. "Fundamentals of 5G mobile networks". John Wiley & Sons, 2015

[6] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", 2005, John Wiley & Sons, INC.

[7] Kamil, Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz), grade du Maitre ès sciences (M.Sc), Université du Québec, 2011.

[8]Thème Dimensionnement et planification des liens de transmission dans les réseaux de téléphonie mobile Réalisé par: Mme. Asmaa BOULAKAKEZ Mme. Mme. Zineb OGGAD

Promotion: 2015/2016

[9] Md. Ashikur Rahman, Moinul Hossain, IbnulSanjid Iqbal, Syed Sobhan, " Design and Performance Analysis of A Dual-band Microstrip Patch Antenna for Mobile WiMAX, WLAN, Wi-Fi and Bluetooth Applications", 3rd international conference on informatics, electronics & vision 2014.

[10]Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication
THEME Etude et simulation d'un antenne SIW Par : MADOUN AMINA Promotion :
2016/2017 Université Dr Tahar Moulay

[11] <http://solger.free.fr/liens/Livres/les-antennes-theorie-conception-et-application.pdf>

[12] http://sesp.esep.pro/fr/pages_polarisation/decouvrir-polarisation_impression.html

[13] Keit.R.Caver and James.W.Mink , «Microstrip antenna Technology», IEEE.1981.

[14] https://www.univ-chlef.dz/ft/wp-content/uploads/2020/04/Plyco_cours_Antennes.pdf

- [15] Lazebnik, M.; Okoniewski, M.; Booske, J.H.; Hagness, S.C. Highly accurate Debye models for normal and malignant breast tissue dielectric properties at microwave frequencies. *IEEE Microw. Wirel. Compon.* 2007, 17, 822–824. [Google Scholar] [CrossRef]
- [16] Leila Chouitti, "contribution à l'étude d'antenne imprimées rectangulaires doubles bandes et multi-bandes tenant compte de l'effet de couplage", Thèse magistère, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2009.
- [17] G. Kossiavas, R. Staraj, C. Luxey, A. Papiernik, "Antennes imprimées- Bases et principes", *Technique de l'ingénieur*, Référence E3310, 05/ 2007**
- [18] https://ds.static.rtf.be/article/pdf/les-types-d-antennes-les-plus-frequets-1264499695.pdf?fbclid=IwAR2RNffaW2elvEbA2rc8Nam3Zh_R9mUk8oW9xumyP7HGDmPb5fbdhn0AH4U
- [19] T. J. Cui, D. Smith, et R. Liu, Éd., *Metamaterials*. Boston, MA: Springer US, 2010. doi: 10.1007/978-1-4419-0573-4.
- [20] R. Pandeewariet S. Raghavan, « Microstrip antenna with complementary split ring resonator loaded ground plane for gain enhancement », *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 57, no 2, p. 292-296, févr. 2015, doi: 10.1002/mop.28835.
- [21] P.D. Tung, P. H. Lam, et N. T. QuynhHoa, « A MINIATURIZATION OF MICROSTRIP ANTENNA USING NEGATIVE PERMITIVITY METAMATERIAL BASED ON CSRRLOADED GROUND FOR WLAN APPLICATIONS », *Vietnam J. Sci. Technol.*, vol. 54, no 6, p. 689, déc. 2016, doi: 10.15625/0866-708X/54/6/8375.
- [22] L. Gharsalli, « Approches bayésiennes en tomographie micro-ondes : applications à l'imagerie du cancer du sein », thèse de Doctorat, université Paris-Sud, Avril 2015.
- [23] D.M. POZAR "Microstrip Antennas ", *IEEE*, Vol.80 N° 1, pp .79-91, January 1992.