

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلكايد - تلمسان
Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



Mémoire

Présenté pour l'obtention du **diplôme de Master**
En : Systèmes des Télécommunications
Présenté Par : Yahla Ahlem et Elbachir Mohamed Amine

Sujet :

Etude Et Conception d'une Antenne Multiservice Pour Application 5G

Soutenu en septembre 2020, devant les jurys composés de :

Mr IRID .M.H	MCA	Univ. Tlemcen	Président
Mme GOURARI .F.Z	MCB	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr MOSBAH .A	Professeur/Autres	Univ. Tlemcen	Co-Directeur de mémoire
M/Mme/Melle XXX	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur 1

Année universitaire:2019-2020

Remerciement

Nous profitons de cette occasion pour remercier :

*Avant tout, ALLAH, le tout puissant, de nous avoir donné le
Courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche.*

*Tous ceux qui de près ou de loin ont participé à notre
Éducation.*

*Un remerciement et une reconnaissance particulière à notre
Encadreur **Mm GOURARI FATIMA ZOHRA** pour ses
conseils Avérés, ses efforts et son écoute particulière.*

*Nous n'oublions pas de remercier « **Mr MOSBAH
ABDELKADER** » pour leur aide, nous vous en sommes
reconnaisants.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements au
membre de jury. « **Mr IRID MOHAMED HADJ** » et « **Mr
GOUTI ABDELLAOUI** » Veuillez accepter dans ce travail
notre sincère respect et notre profonde reconnaissance.*

Merci à tous

Dédicace

*C'est avec une joie que je dédie ce travail à ceux qui m'ont été
une source d'inspiration et de volonté.*

*A Ma mère et Mon père qui a quitté le monde, mais sa
mémoire n'a pas et n'a jamais fait et ne me quittera pas
Je dédie très chaleureusement ce mémoire*

À Mon mari.

Je le dédie à mon frère Khaled et mes très chères

Sœurs Kheira et Wissem.

A toute ma grande famille Yahla et Zenagui

Une dédicace à tous mes amis ..., et tout ceux qui

connaissent Yahla Ahlem

Dédicace

*Je dédie ce travail à Ma mère qui attendait
Toujours l'origine du jour, que Dieu bénisse ma
Mère, et la plus belle et la plus merveilleuse de ce
Que Dieu m'a donné.*

*Pour Ma Femme qui était la lumière qui a
Allumée ma vie et qui était la plus grand partisan de moi
Dans mes études et qui cherche à atteindre le
Sommet des rangs, merci pour le don de Dieu à moi.*

*Une dédicace spécial à ma cher sœur Nora
Mes frères, mes sœurs et ma grande famille
« Elbachir » qui continuent à me soutenir dans ces efforts
et qui sont la plus grande source d'inspiration pour mes
Rêves.*

*Une dédicace à tous mes amis ..., et tous ceux qui
connaissent Elbachir Mohamed Amine*

Résumé :

Les systèmes de communication sans fil de cinquième génération (5G) peuvent prendre en charge tout spectre allant de 400 MHz à 90 GHz. Au début de la phase de déploiement des systèmes commerciaux 5G, les bandes inférieures à 6 GHz (environ 3,5 / 4,5 GHz) et millimétriques (24–28 et 39 GHz) attirent beaucoup l'attention. Les fournisseurs de services prévoient d'utiliser les fréquences inférieures à 6 GHz (3,5 / 4,5 GHz) pour une mise en oeuvre plus facile et uni des systèmes 5G surtout pendant la phase d'introduction de cette nouvelle technologie. Dans ce contexte, nous proposons dans ce travail de concevoir et de réaliser une antenne intégrée qui rayonne dans plusieurs bandes afin d'être utilisée dans des différents services de la 5eme génération.

Le travail commencera par la simulation de l'antenne avec le logiciel CST avant de passer à la fabrication sur substrats (FR-4). Après une campagne de mesures pour évaluer les performances de l'antenne réalisée.

Mots clés : réseaux mobile,5G ; Antenne multiservice, patch ; CST

Abstract:

The Fifth generation (5G) wireless communication systems can support any spectrum from 400 MHz to 90 GHz. At the start of the deployment phase of commercial 5G systems, the bands below 6 GHz (approximately 3.5 / 4.5 GHz) and millimeter (24–28 and 39 GHz) are attracting a lot of attention. Service providers plan to use frequencies below 6 GHz (3.5 / 4.5 GHz) for easier and smoother implementation of 5G systems especially during the phase of introduction of this new technology. In this context, we propose in this work to design and produce an integrated antenna that radiates in several bands in order to be used in various services of the 5th generation.

Work will begin with the simulation of the antenna with CST software before moving on to fabrication on substrates (FR-4). After a measurement campaign to assess the performance of the antenna carried out.

Keywords : mobile networks, 5G; Multiservice antenna, patch, CST

Résumé

ملخص:

يمكن لأنظمة الاتصالات اللاسلكية من الجيل الخامس (G5) أن تدعم أي طيف من 400 ميگاهرتز إلى 90 جيجاهرتز. في بداية مرحلة نشر أنظمة G5 التجارية ، تحظى النطاقات الأقل من 6 جيجاهرت (حوالي 3.5 / 4.5 جيجاهرت) والمليمتر (24-28 و 39 جيجاهرتز) باهتمام كبير. يخطط مقدمو الخدمات الاستخدام ترددات أقل من 6 جيجاهرتز (3.5 / 4.5 جيجاهرتز) من أجل تنفيذ أسهل وأكثر سلاسة لأنظمة G5 خاصة أثناء مرحلة إدخال هذه التقنية الجديدة. في هذا السياق ، نقترح في هذا العمل تصميم وتنفيذ هوائي متكامل يشع في نطاقات متعددة لاستخدامه في خدمات مختلفة من الجيل الخامس.

سيبدأ العمل بمحاكاة الهوائي باستخدام برنامج CST قبل الانتقال إلى التصنيع على الركائز (FR-4). بعد إجراء حملة من القياسات لتقييم أداء الهوائي.

الكلمات الرئيسية: شبكات المحمول ، G5 ؛ هوائي متعدد الخدمات ، CST ، رقعة ؛

Table des matières :

Remerciements	VI
Dédicace.....	VI
Résumé.....	VI
Table des Matières	VI
Liste des Figures	VI
Liste des tableaux	VI
Listes des acronymes et abréviations.....	VI
Les symboles.....	VI
Introduction Générale	1
Chapitre I : La technologie 5G.....	3
I.1. Introduction	4
I.2. Réseaux cellulaires.....	5
I.3. Evolution des standards de télécommunications cellulaires.....	6
I.4. Communications mobiles et sans fil de 5e génération.....	9
I.5. Les Objectifs de 5G	10
I.6. Architecture de la technologie 5G	11
I.6.1. Concepts généraux	11
I.6.2. Modèle de référence d'architecture	12
I.7. Spectre pour 5G	15
I.8. 10 piliers de 5G	16
I.9. Cas d'utilisation et défis	18
I.9.1. Cas d'utilisation de l'Internet mobile	19
I.9.2. Cas d'utilisation de l'Internet des objets	20
I.10. La conclusion.....	22
Chapitre II: les paramètres fondamentaux des antennes.....	23
II.1. La théorie des antennes	24

II.2. Problème de rayonnement	24
II.3. Paramètres fondamentaux d'antenne.....	25
II.3.1. Modèles de rayonnement.....	25
II.3.2. Impédance d'entrée.....	27
II.3.3.Facteur de qualité	28
II.3.4.Bande passante	28
II.3.5.Efficacité radiologique	29
II.3.6.Puissance rayonnée moyenne	29
II.3.7. Directivité	30
II.3.8.Gain.....	31
II.3.9.Polarisation.....	32
II.4.Types d'antennes.....	33
II.5.Antenne micro ruban	35
II.5.1. Structure générale de l'antenne patch micro ruban	35
II.5.2. Avantages et inconvénients.....	36
II.6.Techniques d'alimentation	37
II.6.1.Alimentation en ligne par micro ruban (micro ruban décalé)	37
II.6.2.Alimentation coaxiale	38
II.6.3.Alimentation couplée à l'ouverture	39
II.6.4.Alimentation couplée de proximité	40
II.7.La conclusion	41
Chapitre III : Conceptions Et Caractérisation D'antennes multiservice 5g	42
III.1.Introduction.....	43
III.2.Antenne Microstrip Patch	43
III.2.1.Modélisation d'une antenne patch micro ruban.....	43
III.2.2.Modèle de ligne de transmission.....	44
III.2.3.Exigences en matière de conception.....	44
1. Matériaux du substrat (ϵ_r).....	44
2. Hauteur du substrat (h).....	44
3. Fréquence de résonance (fr).....	45

Sommaire

III.2.4.Procédure de conception.....	45
III.3.Description du problème	45
III.4 Choix de l'outil de simulation	46
III.5.Conception d'antenne	46
III.6.Résultat de simulation	48
III.7.Etude paramétrique	51
III.8.Conclusion	53
Conclusion générale	54
La bibliographie.....	56

Liste des Figures :

Chapitre I :

Figure I. 1: Une vue schématique de l'histoire des communications cellulaires.....	4
Figure I. 2: Un réseau cellulaire de base.....	5
Figure I. 3: Evolution des standards cellulaires.....	7
Figure I. 4: Caractéristiques principales des normes 3GPP / ETSI.....	8
Figure I. 5: Principaux moteurs des générations de communications cellulaires passées et de la 5G.....	10
Figure I. 6: Architecture du système autonome 5G [21].....	12
Figure I. 7: Identifications mondiales (UIT) et régionales du spectre pour la 5G.....	15
Figure I. 8 : 10 piliers de 5G	16
Figure I. 9: Vision globale de la 5G.....	19

Chapitre II :

Figure II. 1: Sphériques coordinaat plane and principal E and H planes.....	26
Figure II. 2 : Circuit équivalent d'antennes.....	27
Figure II. 3 : Comparaison d'une antenne directive avec un radiateur isotrope.....	31
Figure II. 4 : Illustration des polarisations linéaires, circulaires et elliptiques.....	32
Figure II. 5 : Exemples d'antennes électriquement petites, petit dipôle et petite boucle.....	33
Figure II. 6 : Exemples d'antennes résonnantes: dipôle demi-onde et patch	34
Figure II. 7 : Antenne spirale comme exemple d'antenne à large bande. [11].....	34
Figure II. 8 : Exemples d'antennes à ouverture: antenne parabolique et antenne cornet	35
Figure II. 9: Structure d'une antenne patch micro ruban.....	35
Figure II. 10: Alimentation de ligne micro ruban.....	37
Figure II. 11 : Alimentation coaxiale.....	38
Figure II. 12 : Alimentation couplée à l'ouverture.....	39
Figure II. 13 : Alimentation couplée de proximité.....	40

Chapitre III :

Figure III. 1 : Antenne patch rectangulaire et son modèle de ligne de transmission équivalent44

Figure III. 2 : La géométrie de l’antenne proposée.....47

Figure III. 3 : le coefficient de réflexion obtenu de la simulation.....48

Figure III. 4 : Diagramme de rayonnement de l’antenne proposée.....49

Figure III. 5 : a et b est ROS a 3.5GHz, 26 GHz et 39GHz.....50

Figure III. 6 : Le coefficient de réflexion pour différentes largeur de la ligne d’alimentation51

Figure III. 7 : Le coefficient de réflexion pour différentes largeur du rectangle.....52

Figure III. 8 : Le coefficient de réflexion pour différentes longueurs du stub.....52

Figure III. 9 : Influence de la permittivité du substrat sur le Coefficient de réflexion de l’antenne patch.....53

Liste des tableaux :

Tableau III 1 :Dimensions de l'antenne.....47

Listes des acronymes et abréviations

1G : la première Génération

3G : la troisième génération

3GPP : 3rd Generation Partnership Project

4G : la Quatrième génération

5G : la cinquième génération

AF : Application Function

AMF : Core Access and Mobility Management Function .

AMPS : Advanced Mobile Phone System

AN : Access Network

AUSF : Authentication Server Function .

BS : Base Station

BW : Bandwidth

CDMA: Code Division Multiple Access

CEPT : The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations

CN : Core Network

CN : Core Network .

CP : Control Plane

DC : Direct Current

DL : Downlink

DN : Data network

EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution

EGPRS : Enhanced General Packet Radio Service

EIRP : Effective Isotropic Received Power. It is the amount of power an isotropic antenna would need in order to produce equivalent radiation with that of a directional antenna.

EM ElectroMagnetism

FDD : Frequency -Division Duplex

FDMA : Frequency Division Multiple Access

GPRS : General Packet Radio Service

GSM : Global System for Mobile Communications

HF : High Frequency, the frequency range covering 3 MHz-30 MHz in the electromagnetic spectrum

HSDPA : High Speed Downlink Packet Access

HSPA : High Speed Packet Access
HSUPA : Speed Uplink Packet Access
IC : Integrated Circuit
IMT : International Mobile Technologie
LTE : Long Term Evolution
LTE-A : Long Term Evolution-Advanced
MBB : Mobile BroadBand
MIMO : Multiple Input Multiple Output
MSA :Microstrip Antennas
MTC : massive Machine Type Communication
NEF : Network Exposure Function
NEF : Network Exposure Function
NF : Network Functions
NFV : Network Function Virtualization
NFV : Network Function Virtualization
NFV : Network Function Virtualization
NG-RAN : New Generation-Radio Access Network
NMT : Nordic Mobile Telephone
NRF : NF Repository Function
NSSAI : Network Slice Selection Assistance Information
NSSF : Network Slice Selection Function
NSSF : Network Slice Selection Function
OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCF : Policy Control function
PDC : Personal Digital Cellular
PLMN : Public Land Mobile Network
QoE : Quality Of user Experience
QoS : Quality of Service
RAN : Radio Access Network
RAT : Radio Access Technology
RAT : Radio Access Technology
RF : Radio Frequency

Listes des acronymes et abréviations

RFID : Radio Frequency Identification, a generic term for technologies that use electromagnetic coupling and radio waves to identify objects or people

S Parameters : Scattered Parameters, one method of describing the network parameters with respect to power waves.

SCM : Security Context Management

S-CPICH :Secondary Common Pilot Channel

SDCCH :Standalone Dedicated Control Channel

SDN : Software Defined Networking

SDR : Software Designed Radio

SMS : Short Message Service

TACS : Total Access Communications System

TD-CDMA : Time Division CDMA

TDD : Time-Division Duplex

TDMA : Time Division Multiple Access

TE : Transverse Electric mode, a transmission mode in waveguides that have only the electric field vector perpendicular to the direction of propagation.

TEM : Transverse Electric and Magnetic mode: a transmission mode in transmission lines and free space where electric and magnetic fields are orthogonal with each other and with the direction of propagation.

TM : Transverse Magnetic mode, a transmission mode in waveguides that have only the magnetic field vector perpendicular to propagation.

UDM : Unified Data Management

UDM : Unified Data Management Function

UDR : Unified Data Repository .

UE : User Equipment

UIT-R : International Telecommunication Union-*Radiocommunication Sector*

UL : Uplink

UMTS : Universal Mobile Telecommunication Services

UP : User-Plane

UPF : User-plane function

USIM : Universal Subscriber IdentityModule

W-CDMA : Wideband Code Division Multiple Access

Wifi: Wireless Fidelity

Les symboles :

E : Intensité du champ électrique (V/m)

H : Intensité du champ magnétique (A/m)

D : Densité de flux électrique (C/m²)

B : Densité du champ magnétique (T, Wb / m²)

J : Densité de courant électrique (A / m²)

A : Potentiel de vecteur magnétique

M : Densité de courant magnétique

ρ : Densité de charge (C / m³)

μ : Perméabilité magnétique (H / m)

ϵ : Permittivité électrique (E / m); pour la permittivité relative ϵ_r ; pour la permittivité dans l'espace libre ϵ_0

ω : Vitesse angulaire

γ : la constante de propagation

α : Constante d'atténuation (Np / m)

β : Constante de phase (rad / s)

σ : Conductivité électrique

P : Flux d'énergie entrant ou sortant d'un système; P_{TX} pour la puissance transmise; P_R pour la puissance reçue.

P : Vecteur de Poynting (W / m²); **P_{av}** pour la densité de puissance moyenne ou le vecteur de Poynting (V / m)

r : distance de la source (m) ou de l'une des coordonnées sphériques (ϕ, θ, r)

Q : Facteur de qualité, Q_t pour le total Q, Q_{rad} pour le rayonnement Q; Q_c pour la conduction Q; Q_d pour diélectrique Q et Q_{sw} pour onde de surface

K : Constante utilisée pour calculer la perte de rayonnement et le facteur de qualité respectif

f : La fréquence; f_0 ou f_R pour la fréquence de résonance; Δf pour la différence des fréquences d'intérêt maximales et minimales.

e : Efficacité de rayonnement, e_0 pour une efficacité totale, e_r une efficacité correspondante et e_{cd} une efficacité liée au diélectrique de conduction

Γ : Coefficient de réflexion (unité moins)

R : Résistance, R_L résistance tenant compte de la conduction. R_L pour la résistance aux radiations

$D(\theta, \phi)$: Directivité

$U(\theta, \phi)$: Intensité de rayonnement dans une direction donnée (W / m^2), U_0 pour intensité moyenne

$G(\theta, \phi)$: Gain dans une direction donnée, G pour un gain maximum

\hat{u}_{co} : Vecteur d'unité de Co-polarisation

\hat{u}_{cross} : Vecteur d'unité de polarisation croisée

Introduction générale :

Ces dernières années, nous assistons à un développement exponentiel de nouvelles applications et technologies dans les domaines de la santé, des médias, de l'industrie, du transport, de l'énergie... Cette évolution va de pair avec l'apparition de nouveaux services liés à une multiplication des objets connectés dont leur nombre va atteindre les 50 milliards. Le monde devient de plus en plus digitalisé où tout est connecté. Les objets seront connectés entre eux, sur internet et avec des milliards de personnes. Cette augmentation nécessite de nombreux progrès sur les systèmes de télécommunications mobiles, bien que, le réseau 4G actuel reposant sur la norme LTE (Long Term Evolution) a apporté de nombreuses solutions comme l'augmentation du débit et de la bande passante comparé aux anciennes générations de réseaux mobiles. En utilisant la technologie IP, les nouvelles générations permettent une navigation internet confortable avec les Smartphones, les tablettes ou les ordinateurs portables. Cependant, ce réseau dont le spectre de fréquence est assez surchargé ne pourra plus bien assurer les diverses exigences dues à l'essor des objets connectés avec leurs différentes catégories d'usages.

Face à cet éclatement technologique, une nouvelle révolution s'annonce avec un nouveau standard des systèmes de télécommunications mobiles, dénommé 5G. Ce standard ouvre des perspectives pour répondre aux besoins actuels, mais également ceux du futur, quand nous posséderons plusieurs centaines de milliards d'objets connectés, des voitures autonomes que nous utiliserons régulièrement et que nous consommerons encore plus de vidéos de bien meilleure définition. Le but de la 5G ce n'est pas seulement de répondre aux déficits liés à la bande passante ou à l'augmentation de débit, mais d'obtenir un temps de latence ultra-court, de réduire la consommation énergétique avec un service de qualité omniprésent.

L'objectif de notre travail consistera à l'étude et conception d'une antenne multiservice pour application 5G. Il est structuré autour de trois chapitres :

Dans le **premier chapitre**, nous présentons un large aperçu sur des récentes informations concernant la 5^{ème} génération (l'architecture, le spectre, l'objectif, les 10 piliers.....etc.)

Introduction Générale

Le **deuxième chapitre** a pour but dans un premier temps d'introduire les paramètres fondamentaux des antennes. Ensuite, nous présentons la structure générale d'une antenne micro ruban et les quatre techniques d'alimentation les plus utilisées dans la ligne micro ruban.

Le **troisième chapitre** a pour objectif de concevoir et de simuler une antenne intégrée qui rayonne dans plusieurs bandes afin d'être utilisée dans des différents services de la 5eme génération.

Chapitre I

La technologie 5G

I.1 Introduction :

Le réseau cellulaire mobile se développe depuis les années 1970. Le réseau mobile de première génération (1G) était basé sur l'accès multiple par répartition en fréquence (FDMA) (Figure I. 1). Il a fourni un service vocal analogique aux utilisateurs mobiles. Après environ 10 ans, l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) a été développé dans le réseau de deuxième génération (2G) qui a permis le service vocal numérique et le service à faible débit de données.

Du milieu des années 1990 aux années 2000, l'accès multiple par division de codage (CDMA) a été utilisé pour développer le réseau mobile de troisième génération (3G).

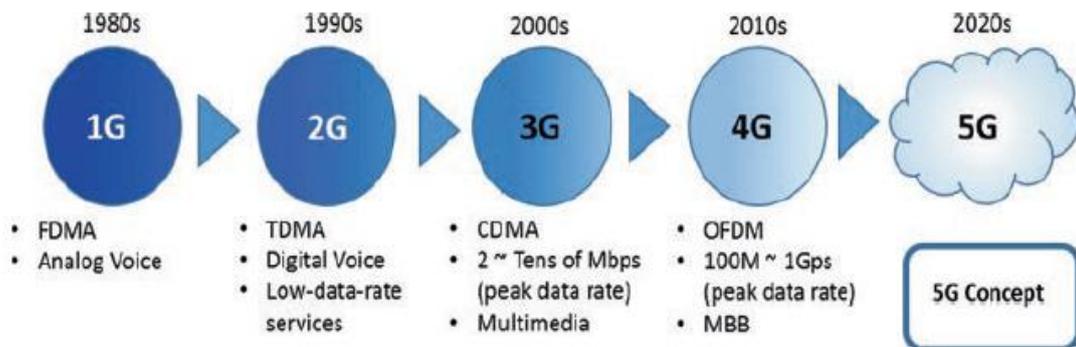


Figure I. 1 : Une vue schématique de l'histoire des communications cellulaires

En 2005, l'industrie a commencé à développer le réseau de téléphonie mobile (4G) de quatrième génération qui vise à fournir du MBB (Mobile BroadBand) partout.

Le Secteur des radiocommunications (UIT-R) a joué un rôle important dans le développement des réseaux mobiles 3G. En raison du grand succès des réseaux mobiles 1G et 2G. Par conséquent, de nombreuses parties prenantes ont participé au développement de la 3G. Afin de coordonner l'utilisation du spectre dans différentes régions pour les technologies mobiles 3G appropriées, l'UIT-R a établi des procédures pour traiter l'attribution du spectre pour le réseau mobile 3G et définir la technologie d'interface. La bonne radio qui peut être diffusée à travers ces spectres à travers le monde. Dans ce contexte, l'Union internationale des technologies mobiles (IMT-2000) a été identifiée, car un ensemble de technologies a été identifié comme les technologies de visage pour le réseau mobile 3G (IMT-2000). Ces procédures offrent des opportunités équitables aux développeurs souhaitant développer le réseau mobile et définir les exigences de performances nécessaires pour garantir que la technologie candidate puisse répondre efficacement aux exigences.

Cette procédure a été développée et appliquée au développement de la 4G et de la 5G à l'UIT-R. Cela a abouti à la spécification de la famille IMT-2000: "3G" et "IMT-Advanced" "4G", IMT-2020 pour "5G".

I. 2 Réseaux cellulaires :

Dans les réseaux cellulaires ou plus généralement mobiles, les terminaux des utilisateurs situés dans une zone géographique donnée sont desservis par plusieurs stations de base. Chaque station de base dessert simultanément un certain nombre de terminaux situés dans la zone de couverture de la station de base, comme illustré dans la **Figure I. 2**. Une telle zone de couverture est appelée cellule, ce qui permet de partitionner une zone géographique étendue en cellules [1].

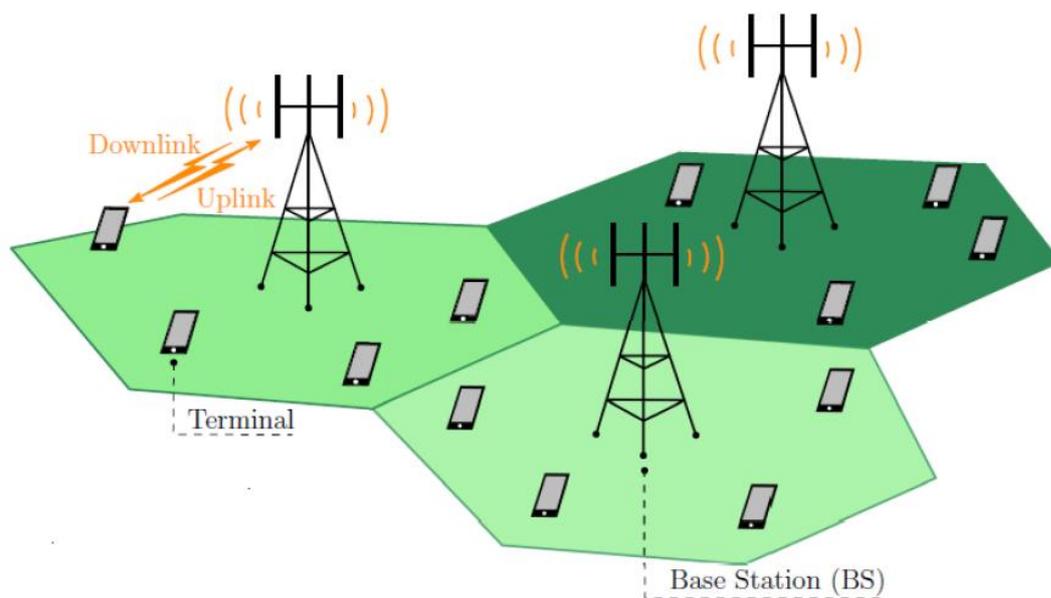


Figure I. 2:Un réseau cellulaire de base

La communication entre les terminaux et BS est bidirectionnelle ou au format duplex. Sur la liaison descendante (DL), la station de base transmet des signaux aux terminaux affectés, alors que sur la liaison montante (UL), les terminaux transmettent des signaux à la station de base, comme illustré dans la **Figure I. 2**. En général, TDD et le FDD sont utilisés comme schémas de transmission en duplex.

Une mesure de performance pertinente des réseaux cellulaires est le débit de la zone. La métrique de performance de débit surfacique, est donnée par :

$$\text{Débit de surface [bit/s/km}^2\text{]} = B \text{ [Hz]} \cdot D \text{ [cells/km}^2\text{]} \cdot SE \text{ [bit/s/Hz/cell]} \quad (1.1)$$

Où B est la largeur de bande de communication, D la densité de cellules moyenne et SE l'efficacité spectral par cellule. Par conséquent, pour améliorer le débit de couverture des réseaux cellulaires, nous pouvons :

- Allouer plus de bande passante.
- Ajouter plus de BS.
- Améliorer la SE.

L'augmentation de la bande passante n'est pas aussi attrayante, car le spectre de fréquences est une ressource naturelle à coût élevé et confronté à la rareté. En outre, cela implique également l'utilisation de bandes de fréquences beaucoup plus élevées, ce qui limite la portée de la communication. Malgré cela, des bandes de longueurs d'onde millimétriques peuvent être utilisées pour les applications à courte portée. Densifier le réseau, en employant plus de BS, est une tâche difficile sans déplacer les BS plus près des terminaux, ce qui augmente les risques d'être dans l'ombre, réduisant ainsi la couverture. Ce sont les principales raisons pour lesquelles il est préférable d'améliorer la SE. Une façon d'améliorer le SE consiste à utiliser plusieurs antennes au niveau de la station de base pour collecter plus d'énergie à partir des ondes électromagnétiques [2].

I. 3 Evolution des standards de télécommunications cellulaires :

La Figure I. 3 illustre un bref historique chronologique des systèmes radio cellulaires depuis leur création dans les années 70 (c.-à-d. 1G, la première génération) jusqu'aux années 2020 (c.-à-d. 5G, la cinquième génération).

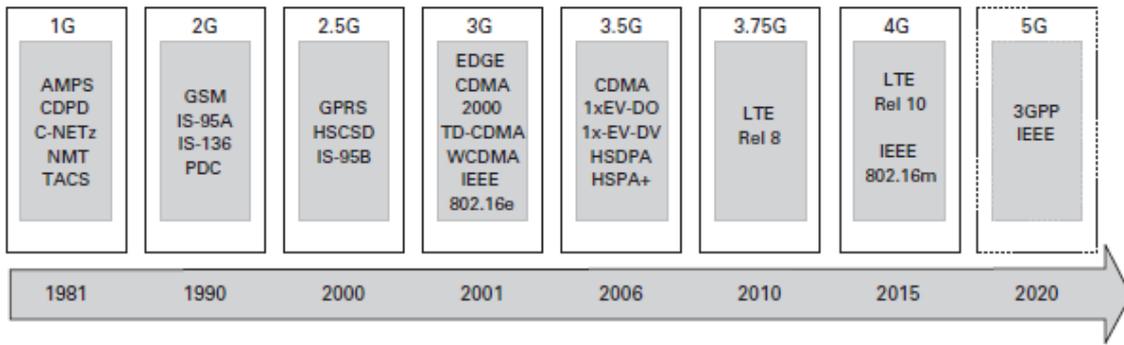


Figure I. 3: Evolution des standards cellulaires.

L'année 1981 a vu la naissance des premiers déploiements commerciaux des normes cellulaires mobiles de première génération (1G) telles que Nordic Mobile Téléphone (NMT) dans les pays nordiques; C-Netz dans L'Allemagne. Les normes 1G sont appelées normes analogiques car elles utilisent la technologie analogique.

La Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT) a décidé en 1982 de développer un système de communication mobile paneuropéen 2G, qui a été déployée à l'échelle internationale à partir de 1991. L'introduction de la 2G a été caractérisée par l'adoption de la technologie de transmission et de commutation numériques. La communication numérique a permis des améliorations considérables dans la qualité de la voix et la capacité du réseau, et a offert une croissance sous forme de services supplémentaires et d'applications avancées telles que le service de messages courts (SMS) pour le stockage et la transmission d'informations textuelles.

Le but principal du GSM était de créer un réseau de téléphonie vocale numérique commun qui permettait l'itinérance internationale à travers l'Europe. Le GSM est basé sur une méthode hybride d'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) / accès multiple par répartition en fréquence (FDMA), contrairement aux systèmes 1G basés uniquement sur FDMA [3].

L'évolution de la 2G, appelée 2.5G, a introduit des services de données à commutation par paquets en plus des données vocales et à commutation de circuits. Les principales normes 2.5G, General Packet Radio Service (GPRS) et TIA / EIA-951, étaient respectivement des extensions du GSM et du TIA / EIA IS-95A. Peu de temps après, le GSM a évolué vers l'Enhanced.

Classification 2000 (IMT-2000). En janvier 1998, le CDMA en deux variantes - Accès multiple par répartition en code à large bande (WCDMA) et CDMA par répartition dans le temps (TD-CDMA) - a été adopté par l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI) en tant que système universel de télécommunications mobiles (UMTS). L'UMTS était

le principal système de communication mobile 3G et l'un des premiers systèmes cellulaires à être qualifié pour les IMT-2000. Six interfaces radio ont été qualifiées pour répondre aux exigences des IMT-2000, dont trois technologies basées sur CDMA, une version de GSM / EDGE appelée UWC-1362 et deux technologies basées sur OFDMA [5].

La deuxième évolution UMTS, commercialement acceptée comme 4G, s'appelle Long Term Evolution (LTE) [7][8], et se compose d'une nouvelle interface aérienne basée sur l'Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) et d'une nouvelle architecture et d'un réseau central (CN) appelé System Architecture Evolution / Evolved Packet Core (SAE / EPC).

Fin 2007, les premières spécifications LTE ont été approuvées dans 3GPP en tant que LTE. Le marché mondial de la téléphonie mobile cellulaire comptait environ 7,49 milliards d'abonnés [9] à la mi-2015, où la famille GSM / EDGE, y compris EGPRS pour la connectivité des données, est le principal réseau d'accès radio (RAN) utilisé.

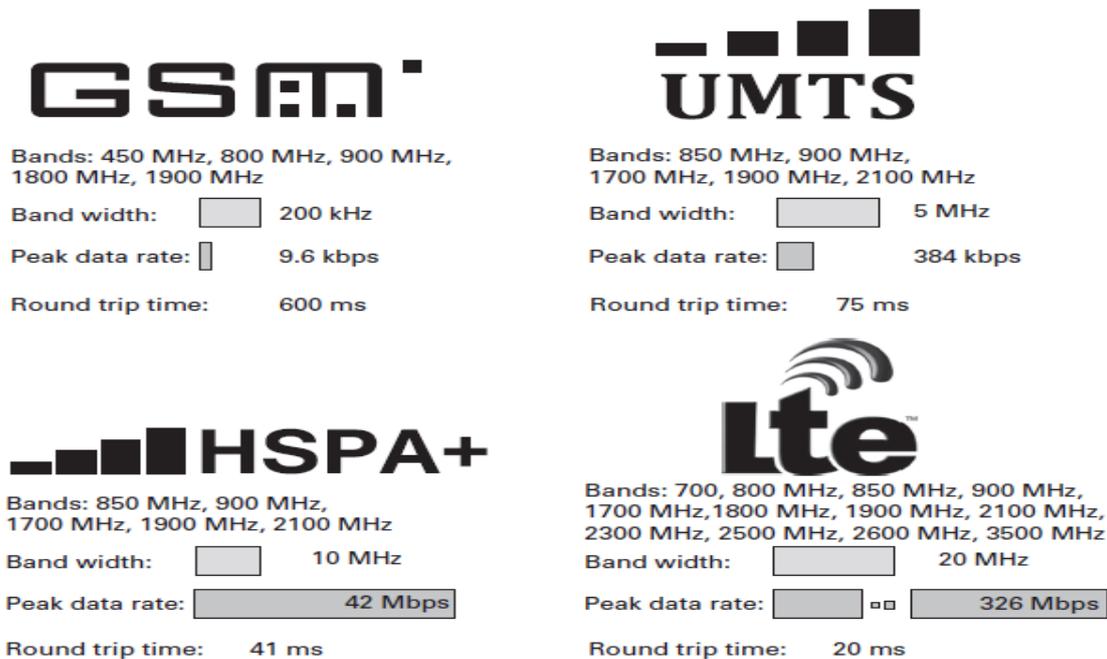


Figure I.4:Caractéristiques principales des normes 3GPP / ETSI.

Le standard 4G dominant, le LTE, a capturé environ 910 millions d'abonnés (soit 12% du marché total) à la fin de 2015 et devrait atteindre 4,1 milliards d'abonnements d'ici 2021 [10], ce qui en fait la plus grande technologie mobile. Illustre les principales caractéristiques des normes 3GPP actuellement sur le marché, soulignant la tendance à une utilisation généralisée du spectre, des bandes passantes plus élevées, une efficacité spectrale plus élevée et une latence plus faible.

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

La 5e génération (5G) de communications mobiles et sans fil devrait avoir un impact important sur la société et l'industrie qui ira bien au-delà des technologies de l'information et des communications (TIC) champ. Bien qu'il existe déjà une large pénétration des services mobiles à large bande aujourd'hui, la 5G devrait permettre le prochain niveau de connectivité humaine et d'interaction homme à homme ou homme à environnement, par exemple avec une utilisation généralisée de la réalité virtuelle ou augmentée [11], la vidéo en point de vue libre [12] et la télé-présence.

D'autre part, la 5G devrait permettre des communications ultra-fiables à faible latence (URLLC) et des communications massives de type machine (mMTC), fournissant les motifs de la monde entièrement connecté d'humains et d'objets. Du point de vue des TIC généralement appelés industries verticales, qui peuvent bénéficier d'une connectivité mobile et sans fil omniprésente [13].

Pour ne citer que quelques exemples¹, la 5G devrait :

- ✓ favoriser la 4e révolution industrielle, également dénommée industrie 4.0 [14] ou Internet industriel, en permettant une communication critique en termes de fiabilité et de latence entre les machines ou entre les machines et les humains, dans les environnements industriels.
- ✓ jouent un rôle clé pour le secteur automobile et le transport en général, par exemple en permettant formes avancées de conduite en collaboration et protection des usagers de la route vulnérables [15], ou augmentation efficacité dans le transport ferroviaire [16]
- ✓ permettre le contrôle à distance de véhicules ou de machines dans des zones dangereuses ou inaccessibles, comme par exemple dans les domaines de l'exploitation minière et de la construction [17];
- ✓ révolutionner les services de santé, par exemple grâce à la possibilité de produits pharmaceutiques intelligents sans [18];
- ✓ accélérer et, dans certains cas, permettre l'adoption de solutions pour les villes dites intelligentes, améliorer la qualité de vie grâce à une meilleure gestion de l'énergie [19]
- ✓ En fin de compte, directement ou indirectement à travers les impacts déclarés sur les industries verticales, la 5G est susceptible d'avoir un impact énorme sur le mode de vie et les sociétés dans lesquelles nous vivons [20].

La grande diversité mentionnée des moteurs technologiques et les cas d'utilisation sont une caractéristique unique de la 5G par rapport aux générations précédentes de communications cellulaires, comme l'illustre la figure 4. Plus précisément, les générations précédentes ont toujours été adaptées à un besoin particulier et à un écosystème commercial particulier, comme le haut débit mobile dans le cas de l'évolution à long terme (LTE). 5G est dès le début associé au besoin de prise en charge multiservice et multi-locataire. 5G est généralement comprise comme comprenant une variété de technologies radio étroitement intégrées, telles que le LTE amélioré (eLTE), Wifi et différentes variantes de nouvelles interfaces radio 5G adaptées aux différentes bandes de fréquences, tailles de cellules ou besoins de service.

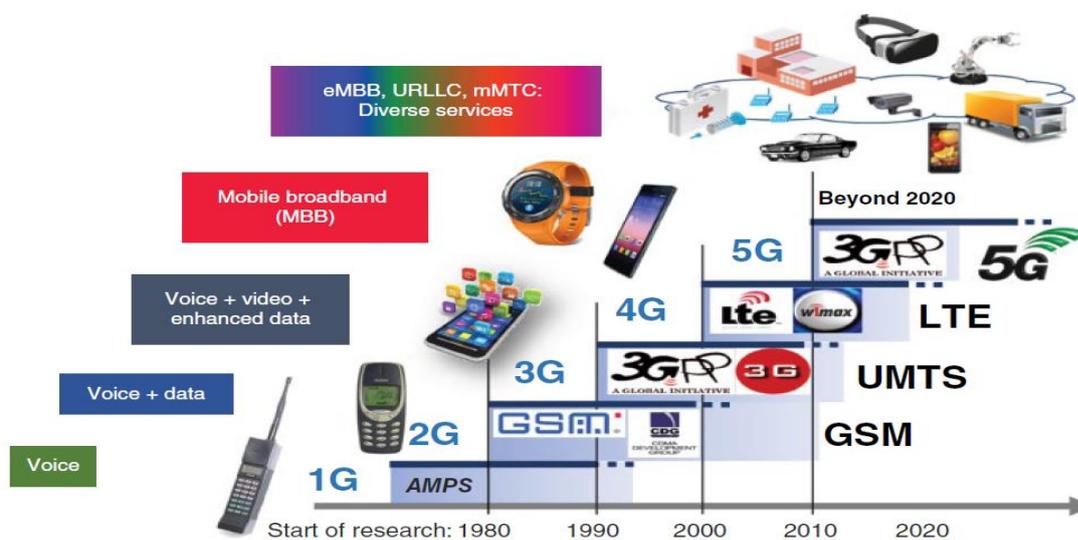


Figure I.5: Principaux moteurs des générations de communications cellulaires passées et de la 5G.

I. 5 Les Objectifs de 5G :

La 5G est l'Internet du futur. Cette technologie comprendra un réseau d'accès radio et un cœur de réseau convergent combinant accès fixe et accès mobile. Il s'agit notamment d'augmenter les débits et la capacité des réseaux, mais aussi de préparer l'évènement de « L'internet des objets ». Parmi les principaux objectifs :

- Le premier objectif à atteindre concerne le débit montant et descendant alloué à chaque utilisateur afin d'assurer un accès internet haut débit depuis un smart phone ou tablette. De plus gros forfaits data : le volume de données devra être 1000 fois plus élevée
- 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.

- Un temps de « latence » plus court donne l'impression que le réseau est très réactif (d'obtenir un délai de transmission inférieur à 10 ms).

- Plus de batterie, moins de consommation.

I.6 Architecture de la technologie 5G :

I.6.1 Concepts généraux :

L'architecture du système 5G est définie pour prendre en charge la virtualisation des fonctions réseau (NFV) et la mise en réseau définie par logiciel (SDN). La conception du système 5G prévoit séparation structurelle du matériel et des logiciels. Les principes clés de la conception d'une architecture de système 5G sont spécifiés dans [21].

- Séparez ainsi les fonctions Plan utilisateur (UP) de la fonction Plan de contrôle (CP)

Assurer une évolutivité indépendante, une évolution et un déploiement flexible.

- Conception modulaire permettant un découpage réseau efficace.

- Séparation du réseau d'accès (AN) et du réseau central (CN).

- Le réseau central doit être conçu comme un réseau central convergé avec une interface AN-CN commune intégrant différents types d'accès 3GPP et non 3GPP.

- L'architecture doit prendre en charge l'accès simultané aux services locaux et centralisés.

- L'architecture doit prendre en charge l'itinérance avec à la fois le trafic acheminé à domicile et la répartition du trafic local dans le PLMN visité.

I.6.2 Modèle de référence d'architecture :

L'architecture du système 5G se compose de l'ensemble des fonctions réseau (NF) comme illustré dans la figure 5.

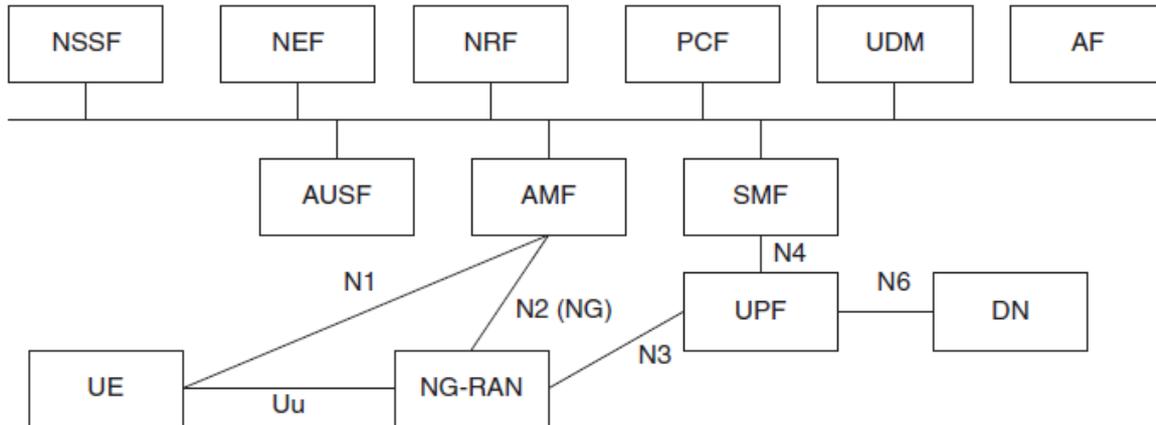


Figure I.6: Architecture du système autonome 5G [21].

Fonction de serveur d'authentification (AUSF). L'AUSF prend en charge la fonction de serveur d'authentification (AUSF).

Fonction Core Access and Mobility Management (AMF). La fonction Access and Mobility Management (AMF) comprend les fonctionnalités suivantes:

- Terminaison de l'interface RAN CP (N2).
- Arrêt du NAS (N1), chiffrement du NAS et protection de l'intégrité.
- Gestion des inscriptions.
- Gestion des connexions.
- Gestion de l'accessibilité.
- Gestion de la mobilité.
- Interception légale (pour les événements AMF et interface avec le système LI).
- Assurer le transport des messages SM entre l'UE et SMF.
- Proxy transparent pour le routage des messages SM.
- Authentification et autorisation d'accès.
- Fonction d'ancrage de sécurité (SEAF). Cela interagit avec l'AUSF et l'UE,
 - Reçoit la clé intermédiaire établie à la suite de l'authentification UE Processus. Dans le cas d'une authentification basée sur USIM, l'AMF récupère Matériel de sécurité de l'AUSF.
- Gestion du contexte de sécurité (SCM). Le SCM reçoit une clé du SEAF qui il utilise pour dériver des clés spécifiques au réseau d'accès.

Réseau de données (DN), par exemple services d'opérateur, accès Internet ou services tiers. La fonction d'exposition au réseau (NEF) fournit un moyen d'exposer en toute sécurité les services et capacités fournies par les fonctions réseau pour les fonctions d'application. De plus, il fournit un moyen pour les fonctions d'application de fournir en toute sécurité des informations à le réseau 3GPP; par exemple, modèle de mobilité et modèle de communication. NF Repository Function (NRF) prend en charge les fonctionnalités suivantes:

- Fonction de découverte de service. Reçoit une demande de découverte NF de l'instance NF Et fournit les informations sur les instances NF découvertes (à découvrir) à l'instance NF.
- Gère le profil NF des instances NF disponibles et de leurs services pris en charge.
- La fonction de gestion de session (SMF) comprend les fonctionnalités suivantes:
 - Création, modification et libération de session, y compris la maintenance du tunnel entre
 - Le nœud UPF et AN.
 - Affectation et gestion des adresses IP UE.
 - Sélection et contrôle de la fonction UP.
 - Configure la direction du trafic à l'UPF pour acheminer le trafic vers la destination appropriée.
 - Terminaison des interfaces vers les fonctions de contrôle de politique.
 - La partie contrôle de l'application des politiques et de la qualité de service.
 - Interception légale (pour les événements SM et l'interface avec le système LI).
 - Collecte des données de charge et prise en charge des interfaces de charge.
 - Contrôle et coordination de la collecte des données de tarification à l'UPF.
 - Notification de données de liaison descendante.
 - Fonctionnalité d'itinérance.
 - Fonction de plan utilisateur (UPF), qui comprend les fonctionnalités suivantes:
 - Point d'ancrage pour la mobilité intra / inter-RAT.
 - Acheminement et transfert de paquets.
 - Inspection des paquets et partie du plan utilisateur de l'application des règles de politique.
 - Interception légale (collection UP).
 - Rapports d'utilisation du trafic.
 - Classificateur de liaison montante pour prendre en charge le routage des flux de trafic vers un réseau de données.

- gestion de la qualité de service pour le plan utilisateur; par exemple, filtrage de paquets, déclenchement, débit UL / DL mise en vigueur.
- Vérification du trafic de liaison montante (mappage de flux SDF vers QoS).
- Mise en mémoire tampon des paquets de liaison descendante et déclenchement de la notification des données de liaison descendante.

La fonction de contrôle des politiques (PCF) prend en charge un cadre de politique unifié pour régir le réseau .Le PCF fournit des règles de politique aux fonctions du plan de contrôle pour les faire appliquer leur. Il accède aux informations d'abonnement pertinentes pour les décisions de politique dans un Unified Référentiel de données (UDR). Unified Data Management (UDM) prend en charge les fonctionnalités suivantes:

- Traitement des informations d'identification pour l'authentification 3GPP AKA.
- Gestion de l'identification des utilisateurs.
- Autorisation d'accès.
- Gestion des inscriptions / mobilité.
- Gestion des abonnements.
- Gestion des SMS.

La fonction d'application (AF) est spécifiée et déployée par l'opérateur. En tant que fonction de confiance, il est autorisé d'interagir directement avec d'autres NF et avec le 3GNP Core Network afin de fournir des services. Des exemples de services pourraient être l'influence de l'application sur Routage du trafic ou interaction avec le cadre de politique pour le contrôle de politique [21, 22].

La fonction de sélection de tranche réseau (NSSF) prend en charge les fonctionnalités suivantes:

- Sélection de l'ensemble des instances de tranche de réseau desservant l'UE.
- Détermination des informations d'assistance de sélection de tranche de réseau autorisées (NSSAI).
- Déterminer l'ensemble AMF à utiliser pour desservir l'UE ou, en fonction de la configuration, une liste des AMF candidats, éventuellement en interrogeant la NRF.

L'architecture du système 5G identifie les points de référence suivants:

- N1: point de référence entre l'UE et l'AMF.
- N2: Point de référence entre le réseau d'accès radio de nouvelle génération (NG-RAN) et l'AMF.
- N3: point de référence entre le NG-RAN et l'UPF.

- N4: Point de référence entre le SMF et l'UPF.
- N6: point de référence entre l'UPF et un réseau de données.
- N9: point de référence entre deux UPF.

De plus, chaque fonction réseau dans l'architecture 5G contient sa propre interface basée sur les services. L'architecture du système 5G permettant une interaction directe entre les NF, deux les interfaces des deux extrémités sont impliquées dans le dialogue respectif en utilisant une structure de message commune. Par exemple, une interaction entre PCF et SMF permet au PCF d'avoir une politique dynamique et un contrôle de tarification dans une SMF au moyen de:

- Mise en place d'une session PDU par la SMF;
- Demande de décision de politique et de contrôle de taxation de la SMF à la PCF;
- Fourniture d'une politique et d'une décision de contrôle de tarification du PCF au SMF;
- remise des événements de réseau et des paramètres de session PDU du SMF au PCF;
- Fin de la session PDU par la SMF ou la PCF.

I.7 Spectre pour 5G :

L'un des principaux changements lors du passage des générations précédentes de communications mobiles à la cinquième génération est l'utilisation du spectre à des fréquences radicalement plus élevées dans la gamme des ondes millimétriques. 3GPP a décidé de prendre en charge la plage allant de moins de 1 GHz à 52,6 GHz dès les premières versions de NR [23]. Une des principales raisons de ce changement est la disponibilité de grandes quantités de spectre avec de très grandes.

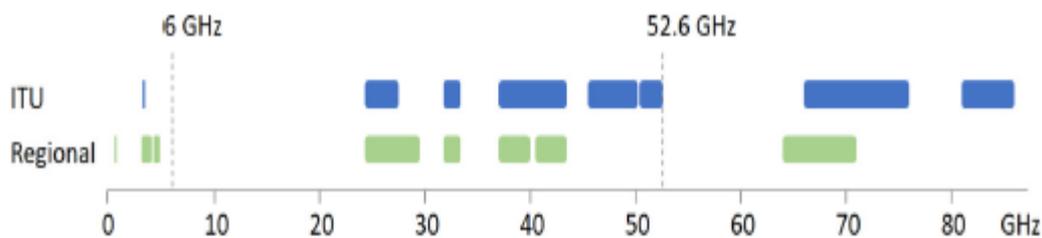


Figure I. 7:Identifications mondiales (UIT) et régionales du spectre pour la 5G.

Des bandes passantes de l'ordre de plusieurs GHz. Bien que le spectre des ondes millimétriques semble très attrayant, Les défis sont également nombreux:

- La perte de transmission augmente considérablement si les techniques de multi antenne et de formation de faisceau ne sont pas utilisées.
- Le bruit de phase et la puissance de sortie sont dégradés.
- Il n'y a pas de spectre non utilisé, ce qui signifie que la coexistence, avec par exemple des systèmes à satellites seront nécessaires lorsque des niveaux de brouillage acceptables doivent être garantis.

Par conséquent, la 5G est conçue par 3GPP (NR) pour une utilisation flexible des fréquences sur toute la gamme de fréquences. Un fonctionnement conjoint à des fréquences plus basses et à des fréquences plus élevées est pris en charge afin de fournir à la fois une couverture fiable (en utilisant par exemple des fréquences inférieures à 6 GHz) et une capacité et des débits très élevés lorsque possible (là où une couverture en ondes millimétriques est disponible).

II.8 10 piliers de 5G :

Nous identifions 10 blocs de construction clés pour la 5G, illustrés par la figure 7. Dans ce qui suit, nous élaborons chacun de ces blocs et soulignons leur rôle et leur importance pour atteindre la 5G.

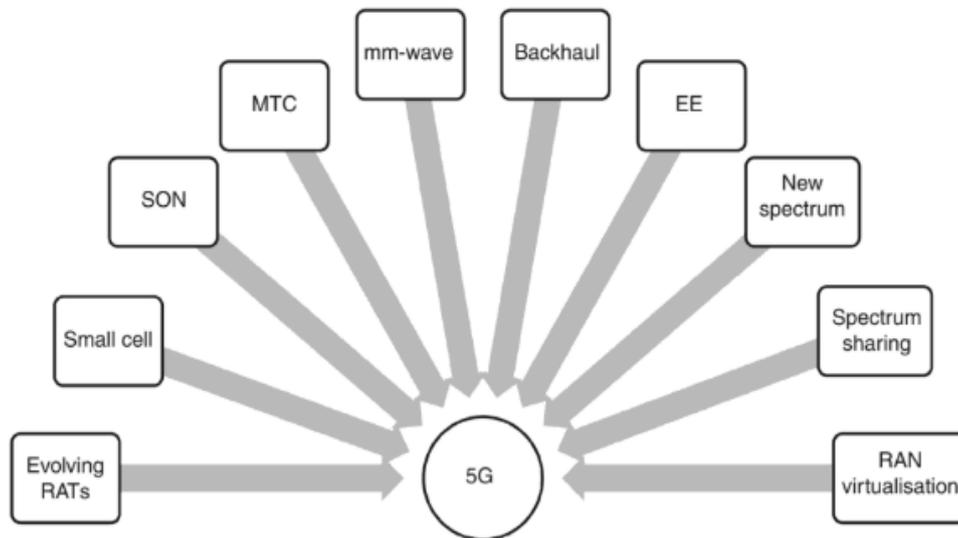


Figure I.8:10 piliers de 5G

1.Évolution des RAT existants :

La 5G ne sera guère un RAT spécifique, il est plutôt probable qu’il s’agira d’une collection de RAT comprenant l’évolution de celles existantes complétées par de nouveaux designs

révolutionnaires. En tant que telle, la première et la solution la plus économique pour faire face au resserrement de la capacité de 1000x est l'amélioration des RAT existants en termes de SE, EE et latence, ainsi que la prise en charge du partage RAN flexible entre plusieurs fournisseurs

2. Déploiement Hyperdense sur petites cellules :

Le déploiement hyperdense de petites cellules est une autre solution prometteuse pour répondre à la crise de capacité de 1000x, tout en apportant également de l'EE supplémentaire au système. Cette solution innovante, également dénommé HetNet, peut aider à améliorer considérablement l'efficacité spectrale de la zone ($b / s / \text{Hz} / \text{m}^2$).

3. Réseaux auto-organisés :

La capacité des réseaux d'auto-organisation (SON) est un autre élément clé de la 5G. Au fur et à mesure que la population des petites cellules augmente, la SON gagne en dynamisme. Près de 80% du trafic sans fil est généré à l'intérieur. Pour transporter cet énorme trafic, nous avons besoin de petites hyperdenses – déploiements de cellules dans des logements installés et entretenus principalement par les utilisateurs – hors du contrôle des opérateurs.

4. Communication de type machine :

Outre les personnes, la connexion des machines mobiles est un autre aspect fondamental de la communication 5G. La communication de type machine est une application émergente où l'un ou les deux utilisateurs finaux de la session de communication impliquent des machines.

5. Développement de RATS à ondes millimétriques :

Le spectre traditionnel sous 3 GHz est de plus en plus encombré et les RATS actuels approchent de la limite de capacité de Shannon. À ce titre, des recherches sur l'exploration des bandes d'ondes cm et mm pour la communication mobile ont déjà été lancées. , les résultats semblent prometteurs.

6. Refonte des liens de liaison :

La refonte des liaisons de liaison est le prochain problème critique de la 5G. Parallèlement à l'amélioration du RAN, les liaisons de liaison doivent également être repensées pour transporter la quantité énorme de trafic utilisateur généré dans les cellules.

7. Efficacité énergétique :

L'EE restera un problème de conception important lors du développement de la 5G. Aujourd'hui, les technologies de l'information et de la communication (TIC) consomment jusqu'à 5% de l'électricité produite dans le monde et sont responsables d'environ 2% des émissions mondiales de gaz à effet de serre – à peu près l'équivalent de la les émissions créées par l'industrie aéronautique.

8. Attribution d'un nouveau spectre pour la 5G :

Un autre problème critique de la 5G est l'allocation de nouveaux spectres pour alimenter les Communications sans fil au cours de la prochaine décennie. L'augmentation du trafic de 1000x peut difficilement être gérée en améliorant uniquement le spectre ou par l'hyper-densification.

9. Partage du spectre :

Le processus réglementaire pour la nouvelle attribution de spectre prend souvent beaucoup de temps, de sorte que l'utilisation efficace du spectre disponible est toujours d'une importance cruciale. Des modèles innovants d'attribution de spectre (différents de l'attribution traditionnelle sous licence ou sans licence) peuvent être adoptés pour surmonter les limitations réglementaires existantes

10. Virtualisation RAN :

le dernier mais non le moindre catalyseur de la 5G est la virtualisation du RAN, permettant le partage de l'infrastructure sans fil entre plusieurs opérateurs. La virtualisation du réseau doit être poussée du réseau central câblé (commutateurs et routeurs) vers le RAN.

I.9 Cas d'utilisation et défis :

Il est prévu qu'il y aura un grand nombre de cas d'utilisation dans la prochaine ère 5G. Dans [24], une vision globale de la vie 5G est illustrée à la Fig. 8. La 5G va pénétrer dans chaque élément de notre société future et créer un écosystème d'information multidimensionnel, centré sur l'utilisateur. La 5G va briser la limitation du temps et de l'espace pour permettre une expérience utilisateur immersive et interactive. La 5G raccourcira également la distance entre

l'homme et les choses et mettra en œuvre une intégration transparente pour réaliser une interconnexion facile et intelligente entre les personnes et toutes choses. 5G sera

Nous permettent de réaliser la vision - «L'information est à portée de main, et tout restera en contact».

Il existe un grand nombre de cas d'utilisation proposés par différentes organisations .L'Internet mobile et l'Internet des objets (IoT) sont les deux principaux moteurs du marché pour le développement futur des communications mobiles [24], et ils déclencheront une large gamme de cas d'utilisation.



Figure I.9: Vision globale de la 5G

I.9.1 Cas d'utilisation de l'Internet mobile :

L'Internet mobile perturbe le modèle commercial traditionnel des communications mobiles, permettant des expériences utilisateur sans précédent et ayant un impact profond sur tous les aspects du travail et de la vie des gens. À l'horizon 2020 et au-delà, l'Internet mobile encouragera l'évolution continue de la façon dont les informations humaines interagissent et offrira aux utilisateurs une expérience ultime grâce à une approche plus immersive services comprenant mais sans s'y limiter:

- ✓ Services vidéo, tels que la vidéo immersive Ultra Haute Définition (UHD) et vidéo en trois dimensions (3D)
- ✓ Réalité augmentée
- ✓ Réalité virtuelle
- ✓ Partage vidéo / photo dans le stade / rassemblement en plein air
- ✓ 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

Le développement futur de l'Internet mobile déclenchera la croissance du trafic mobile par milliers à l'avenir et favorisera une nouvelle vague de mises à niveau et une révolution dans les technologies de communications mobiles et l'industrie des télécommunications dans son ensemble. À l'horizon 2020 et au-delà, il y aura une croissance explosive du trafic de données mobiles. Le Groupe de promotion IMT-2020 (5G) estime que le trafic mondial de données mobiles augmentera de plus de 200 de 2010 à 2020, et de près de 20 000 fois de 2010 à 2030.

I.9.2 Cas d'utilisation de l'Internet des objets :

L'IoT (Internet of Things) a étendu la portée des services de communications mobiles, des communications interpersonnelles à l'interconnexion entre les terminaux (appareils intelligents) et entre les personnes et les choses, permettant aux technologies de communications mobiles de pénétrer dans des secteurs et des domaines plus larges. D'ici 2020 et au-delà, des applications telles que la santé mobile, l'Internet des véhicules (IoV), la maison intelligente, le contrôle industriel et la surveillance de l'environnement stimuleront la croissance explosive des applications IoT, facilitant la connexion de centaines de milliards d'appareils à un réseau créant un véritable «Internet de tout». Cela donnera naissance à des industries émergentes d'une ampleur sans précédent et insufflera une vitalité infinie aux communications mobiles. Parallèlement, le nombre massif d'appareils interconnectés et les

services IoT diversifiés poseront également de nouveaux défis aux communications mobiles.

Les cas d'utilisation potentiels de l'IoT comprennent :

- ✓ Smart Grid et surveillance des infrastructures critiques
- ✓ Surveillance de l'environnement
- ✓ Agriculture intelligente
- ✓ Les compteurs intelligents
- ✓ Services de cyber santé
- ✓ Manipulation d'objets à distance comme la chirurgie à distance
- ✓ Conduite automobile / Internet des véhicules
- ✓ Smart wear ables, comme le sport
- ✓ Réseaux de capteurs
- ✓ Vidéosurveillance mobile
- ✓ Villes intelligentes
- ✓ Transport intelligent
- ✓ Maison intelligente
- ✓ Contrôle industriel...

I. 10 La conclusion:

5G devrait avoir d'innombrables cas d'utilisation, dont beaucoup ne sont pas imaginés aujourd'hui. Il est en effet positionné pour répondre aux demandes et aux contextes d'affaires de 2020 et au-delà. Il est nécessaire de fournir, un débit beaucoup plus élevé, une latence beaucoup plus faible, une fiabilité ultra-élevée, une densité de connectivité beaucoup plus élevée et une plage de mobilité plus élevée. Cela permettrait de fournir beaucoup plus de services que la voix et les données.

Ce chapitre contient des informations plus importantes sur la technologie 5G. Pour cela nous présentons l'évolution standard des télécommunications cellulaires, l'architecture, le spectre et les cas d'utilisations de la cinquième génération.

Chapitre II

Les Paramètres Fondamentaux Des Antennes

II.1 La théorie des antennes :

Les termes et définitions IEEE pour les antennes définissent une antenne comme «la partie d'un système d'émission ou de réception conçue pour émettre ou recevoir des ondes électromagnétiques». Depuis, les antennes sont des dispositifs réciproques passifs; leur réception est implicitement comprise à partir de leurs caractéristiques de rayonnement. Le chapitre commence par un problème de rayonnement. Ensuite, les paramètres et types d'antennes fondamentaux sont discutés. [25]

II.2 Problème de rayonnement :

Le problème de rayonnement d'antenne implique de trouver les valeurs des champs électrique \mathbf{E} et magnétique \mathbf{H} qui sont créés à la suite d'un courant (source) impressionné, \mathbf{J} . [26]. Certaines des méthodes de création du courant imposé sont discutées en ce qui concerne les antennes à microruban. Pour l'instant, concentrons-nous sur la recherche de la solution une fois que nous avons \mathbf{J} . Utiliser les équations de boucle des équations de Maxwell est suffisant. Nous savons par la loi de Gauss que

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (1.1)$$

En utilisant l'identité vectorielle $\nabla \cdot \nabla \times \mathbf{A} = 0$, nous avons un potentiel vectoriel \mathbf{A} , tel que

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A} \quad (1.2)$$

En remplaçant l'équation 2.2 dans l'équation 2.13, nous obtenons

$$\nabla \times (\mathbf{E} + j\omega\mathbf{A}) = \mathbf{0} \quad (1.3)$$

Maintenant, nous pouvons calculer \mathbf{E} et \mathbf{H} à partir de \mathbf{A} . Par conséquent, il suffit de trouver la solution pour les fonctions potentielles. En substituant ainsi les termes dans les équations de Maxwell par \mathbf{A} et en utilisant des identités vectorielles, nous obtenons [27; 26]

$$\nabla^2 \mathbf{A} + \omega^2 \epsilon \mu \mathbf{A} = -\mu \mathbf{J} \quad (1.4)$$

Le potentiel vectoriel total \mathbf{A} , est alors calculé comme, [27;26]

$$\mathbf{A} = \iiint_V (\mathbf{J} \mu e^{-j\beta r} / 4\pi r) dV \quad (1.5)$$

L'équation (1.5) peut être modifiée en une distribution de courant et géométrique donnée pour résoudre le problème d'antenne. Par exemple, si nous prenons un dipôle idéal dirigé dans la direction z , l'intégrale de volume se réduit à une intégrale linéaire sur une longueur infinitésimale ΔZ .

Les valeurs de \mathbf{E} et \mathbf{H} , également appelées champs rayonnés sont ensuite résolues une fois que \mathbf{H} est résolu, \mathbf{E} peut être résolu à partir de la loi d'Ampère et pour le champ lointain comme nous pouvons ignorer \mathbf{J} . Il convient de noter que le choix du plan de coordonnées approprié est décisif pour résoudre facilement le problème.

La puissance et la densité de puissance s'écoulant d'un volume entourant l'antenne peuvent être calculées avec la relation donnée dans la section. Une densité de puissance imaginaire correspond à des ondes stationnaires, plutôt qu'à des ondes mobiles associées au rayonnement. Par conséquent, la puissance imaginaire indique l'énergie stockée comme dans tout appareil réactif. En fonction de la distance de l'antenne, les valeurs de \mathbf{E} , \mathbf{H} et \mathbf{S} (densité de puissance) sont appelées valeurs de champ proche et de champ lointain. [28; 26]

II.3 Paramètres fondamentaux d'antenne:

Une antenne est caractérisée par plusieurs paramètres. La conception de l'antenne signifie l'optimisation de ces caractéristiques pour l'application requise. Certains de ces paramètres sont le diagramme de rayonnement, l'impédance d'entrée, le facteur de qualité, la largeur de bande, l'efficacité du rayonnement, la puissance rayonnée moyenne, la directivité, le gain et la polarisation. Chacun de ces éléments est abordé dans cette section.

II.3.1 Modèles de rayonnement :

Les termes et définitions d'antenne IEEE définissent le diagramme de rayonnement comme «la distribution spatiale d'une quantité qui caractérise le champ électromagnétique généré par une antenne». [25]

Les quantités représentées dans les diagrammes de rayonnement sont généralement la densité de flux de puissance, l'intensité du rayonnement, la directivité, la phase, la polarisation et l'intensité du champ électrique ou magnétique. Les quantités pourraient être représentées mathématiquement mais la représentation graphique est assez courante. [25]

Les quantités peuvent être données en une, deux ou trois dimensions. Les représentations 1D et 3D sont courantes. Dans la représentation 1D, une des quantités mentionnées ci-dessus est représentée par contre, pour constante ou vice versa. Habituellement, les plans avec lesquels tracer sont appelés plan principal E et plan principal H. «Le plan E principal d'une antenne à polarisation linéaire est le plan contenant le vecteur de champ électrique et la direction du rayonnement maximal.» La même définition suit pour le plan H principal par rapport au vecteur de champ magnétique. [28; 25]

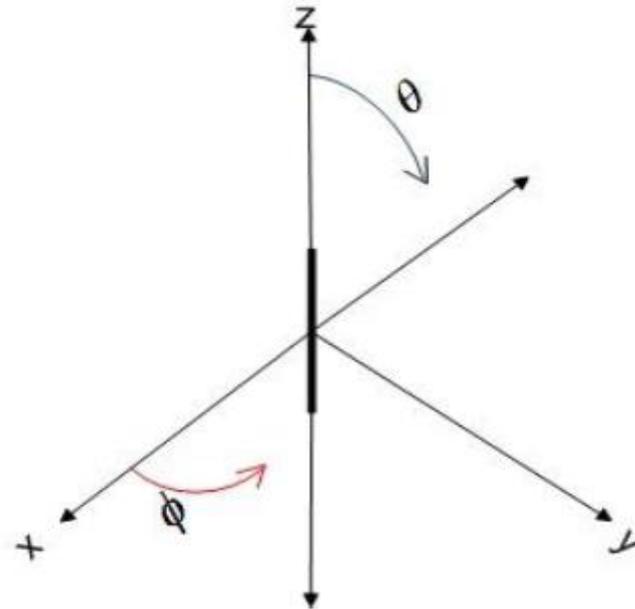


Figure II. 1: Sphériques coordinat plane and principal E and H planes

Une autre option consiste à choisir le plan **xy** appelé le plan azimut et le plan **yz** ou l'élévation comme indiqué pour une antenne positionnée sur la figure ci-dessus. Habituellement (comme sur la figure), le plan **xy** aura le plan **H** principal et le plan **yz** aura le plan **E** principal si l'antenne est positionnée pour avoir son gain maximum par rapport à l'axe **y**. Il convient de noter que cette définition devrait être modifiée pour s'adapter à l'orientation de l'antenne dans le système de coordonnées utilisé. [28; 26; 25]

II.3.2 Impédance d'entrée :

Une antenne peut être modélisée comme une source de courant avec une impédance d'entrée en série. [29]

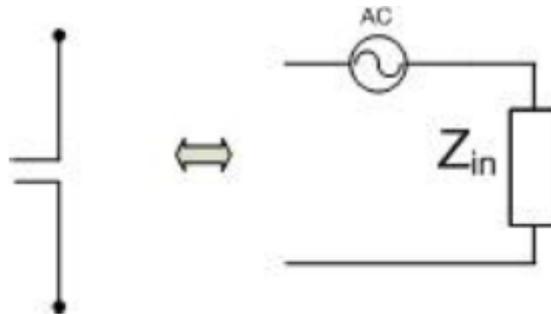


Figure II. 2: Circuit équivalent d'antennes

Ici, Z_{in} est appelée l'impédance d'entrée de l'antenne. En général, l'impédance d'entrée d'antenne est une grandeur complexe qui a des parties réelles et imaginaires qui dépendent de la fréquence. Théoriquement, la résistance et la réactance présentent une symétrie par rapport à la fréquence de résonance.

Les parties réelles représentent la puissance rayonnée et perte de puissance due à la conduction; pendant ce temps, les parties imaginaires rendent compte de la puissance réactive qui revient à la source.

L'adaptation d'impédance est une partie importante de toutes les conceptions d'antennes aussi longtemps que le transfert de puissance maximale est concerné. Une bonne adaptation nécessite que l'impédance d'entrée de l'antenne soit égale au conjugué complexe de l'impédance source / alimentation. [28; 29; 30]

$$Z_{in} = Z_{feed}^* \quad (1.6)$$

L'utilisation de 50ohm terminaisons dans différents blocs de communication a été la norme. Par conséquent, la plupart des conceptions d'antennes visent à rendre l'impédance à 50ohm dans la bande passante nécessaire. [29]

II.3.3 Facteur de qualité :

Est 2π fois l'énergie stockée dans les champs excités par l'antenne à l'énergie rayonnée et dissipée par cycle. [25] Il s'agit d'un facteur de mérite qui est représentatif des pertes d'antenne, à savoir: les pertes par rayonnement, conduction (ohmique), diélectrique et par ondes de surface. Le facteur de qualité total est alors représenté par [31]

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \tag{1.7}$$

$$Q_d = 1 / \tan\delta \tag{1.8}$$

$$Q_c = h\sqrt{\pi f \mu \sigma} \tag{1.9}$$

$$Q_{rad} = \left(\frac{2\omega\epsilon_r}{h(\frac{Gt}{l})} k \right) \tag{1.10}$$

$\frac{Gt}{l}$: Signifie conductance par longueur et

$$K = \frac{\iint_{area} |E|^2 dA}{\oint_{perimeter} |E|^2 dl} \tag{1.11}$$

Comme le montrent les équations ci-dessus, **Qrad** est inversement proportionnelle à la largeur du substrat, **h** et donc pour les substrats très minces, c'est le facteur dominant.

II.3.4 Bande passante :

La bande passante est généralement définie comme [28]

$$BW = \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q_t} \tag{1.12}$$

La valeur peut alors être donnée en pourcentage. Cette définition est légèrement modifiée pour les MSAs car elle ne prend pas en compte l'adaptation d'impédance aux bornes d'entrée de l'antenne. Une définition plus pertinente est donnée dans le chapitre suivant. [28]

II.3.5 Efficacité radiologique :

L'efficacité de rayonnement d'une antenne est un mérite qui prend en compte les pertes aux bornes d'entrée et à l'intérieur de la structure de l'antenne. Les pertes aux bornes d'entrée sont provoquées par la réflexion provoquée par un décalage d'impédance avec l'alimentation ou une perte I^2R . Les pertes au sein de la structure expliquent les pertes de conduction et diélectriques. L'efficacité globale du rayonnement peut être écrite comme [28]

$$e_0 = e_r e_{cd} \quad (1.13)$$

Où e_0 est l'efficacité totale de rayonnement, $e_r = 1 - |\Gamma|^2$ est la réflexion (efficacité de désadaptation). e_{cd} est l'efficacité de conduction-diélectrique, mathématiquement (en conséquence de la longue relation de puissance)

$$e_{cd} = \frac{R_r}{R_r + R_l} \quad (1.14)$$

Où R_r représente les pertes de rayonnement et R_l est une résistance pour représenter les pertes diélectriques de conduction. Habituellement, e_{cd} lui-même est considéré comme l'efficacité de l'antenne car si la réflexion est considérée indépendamment. e_{cd} peut être donné des intervalles de facteurs de qualité pour un MSA comme, [32]

$$e_{cd} = \frac{Q_t}{Q_{rad}} \quad (1.15)$$

II.3.6 Puissance rayonnée moyenne :

Le vecteur de poudrage représente la densité de flux de puissance. La puissance rayonnée moyenne (P_{rad}) d'un volume est ainsi calculée en intégrant le vecteur Poynting sortant du volume. [33; 28; 26]

$$P_{rad} = \iint P_{av} \cdot dS \quad (1.16)$$

L'intensité de rayonnement est alors définie comme «le rapport de la puissance totale rayonnée par une antenne par unité d'angle solide». [34]

$$U(\theta, \phi) = R^2 P_{av} \quad (1.17)$$

II.3.7 Directivité :

«La directivité d'une antenne dans une certaine direction est le rapport de l'intensité de rayonnement dans cette direction à l'intensité de rayonnement de l'antenne moyenne dans toutes les directions. L'intensité moyenne $U(\theta, \phi)$ est égale à la puissance totale rayonnée, P_{rad} , divisée par 4π . » [25]

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \quad (1.18)$$

La valeur calculée dans l'équation 1.18 est le modèle de directivité pour différentes valeurs de (θ, ϕ) Si un seul nombre est utilisé pour voir le chiffre du mérite, alors le nombre représente la directivité maximale. Ce nombre est généralement exprimé en dB.

La figure ci-dessous compare les diagrammes de rayonnement polaire d'une antenne isotrope et d'une certaine directive. Un radiateur isotrope est «une antenne sans perte hypothétique ayant une intensité de rayonnement égale dans toutes les directions [25]». Les antennes directives ont un ou plusieurs lobes principaux et peuvent avoir des lobes latéraux et un lobe arrière.

Comme on peut le voir sur la **Figure II.3**, une antenne directionnelle a une puissance concentrée dans certaines directions. Si l'on considère une antenne directionnelle sans perte et une antenne isotrope, la puissance totale consommée dans toute la région sera la même.

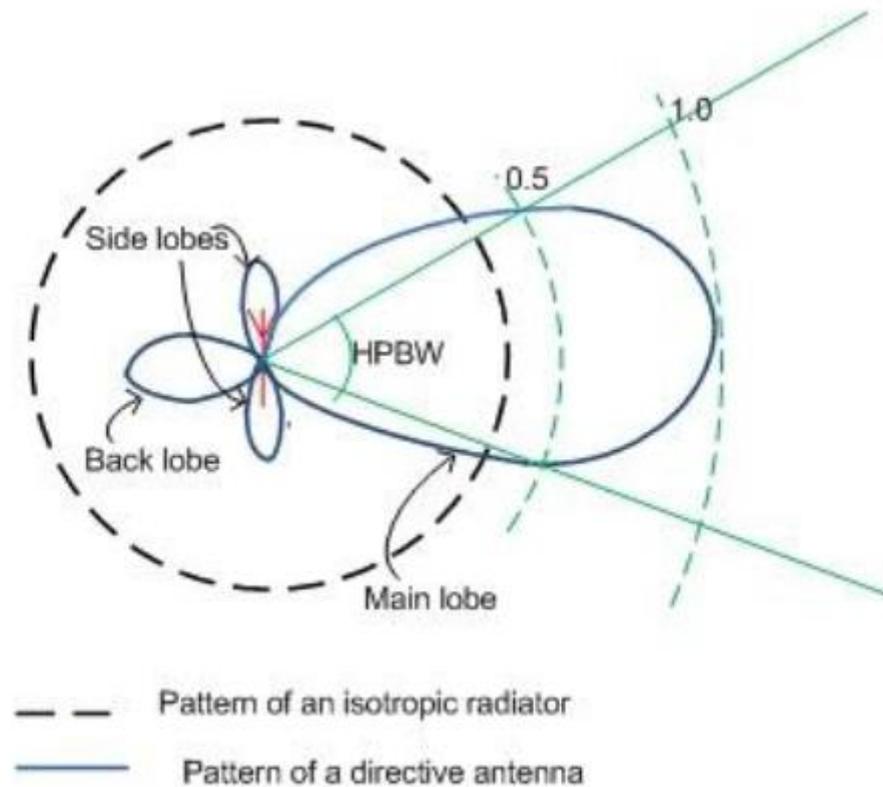


Figure II.3: Comparaison d'une antenne directive avec un radiateur isotrope.

La largeur du demi-faisceau de puissance (HPBW) est égale à l'angle auquel la puissance est réduite de 3 dB par rapport au maximum.

II.3.8 Gain :

Le gain de l'antenne est la directivité y compris les autres pertes. Si une antenne est sans perte dissipative, alors dans une direction donnée, son gain est égal à sa directivité. [25]
 Mathématiquement

$$G(\theta, \phi) = ecdD(\theta, \phi) \tag{1.19}$$

Le gain est généralement exprimé par rapport à une antenne isotrope idéale (dB) [30]. Cependant, l'optimisation du gain nécessite le concept d'EIRP (Effective Isotropic Received Power). Pour une certaine antenne directionnelle, nous avons une PIRE dont une antenne isotrope aurait besoin pour produire un rayonnement équivalent. [33]

$$EIRP = PTX(dB) + GTX(dB) \tag{1.20}$$

La raison de la spécification de l'EIRP est que les normes font référence à l'EIRP. Aux États-Unis, par exemple, une antenne d'une puissance de crête de 1 W (30 dBm) avec un gain de 6 dBi est autorisée pour chaque augmentation de 1 dB de gain d'antenne, la puissance de crête doit être réduite de 1 dB [34]. De cette façon, la PIRE (*Effective Isotropic Received Power*) est maintenue constante

II.3.9. Polarisation :

La polarisation d'une onde rayonnée par une antenne indique les caractéristiques de direction et d'amplitude du vecteur de champ électrique lorsqu'il se propage dans la direction donnée. Lorsque la direction n'est pas indiquée, la polarisation est considérée comme la polarisation dans la direction du gain maximum. [25]

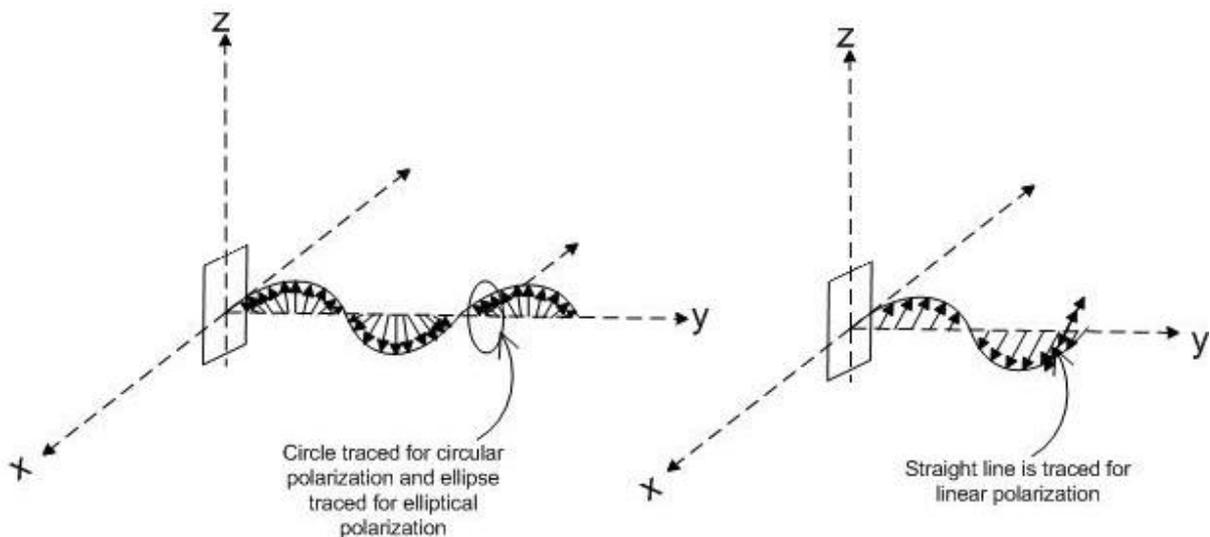


Figure II. 4: Illustration des polarisations linéaires, circulaires et elliptiques.

Lorsque l'onde rayonnée par une antenne se propage, elle dessine une image dans le plan perpendiculaire à sa propagation - une ligne, un cercle ou une ellipse. L'utilisation de la polarisation orthogonale pour fournir deux canaux de communication pour chaque bande de fréquence a conduit à s'intéresser à la pureté de la polarisation. La co-polarisation est la polarisation qu'une antenne est désirée de rayonner et la polarisation croisée est la polarisation orthogonale à la co-polarisation [25].

Il existe différentes définitions des plans de référence pour la polarisation croisée et la co-polarisation. Une façon selon Ludwig [35] dans un système de coordonnées rectangulaire ou sphérique attribuant un vecteur unitaire comme co-polaire et l'autre comme polarisation

croisée. Mais une définition plus significative des antennes linéaires est donnée par Ludwig connu sous le nom de Ludwig 3. [35]

$$\begin{aligned} \hat{u}_{co} &= \sin(\phi) \hat{\theta} + \cos(\phi) \hat{\phi} \\ \hat{u}_{cross} &= \cos(\phi) \hat{\theta} - \sin(\phi) \hat{\phi} \end{aligned} \tag{1.21}$$

Où \hat{u}_{co} représente le vecteur co-polaire et \hat{u}_{cross} représente le vecteur polaire croisé. Selon la direction du mode d'excitation du champ électrique, la polarisation verticale et horizontale doit être liée à la polarisation croisée et à la copolarisation. Par exemple, si nous supposons que la composante verticale est la direction \mathbf{y} (en coordonnées cartésiennes), alors si nous avons \mathbf{E}_y comme composante principale du mode guide d'ondes, la copolarisation est identique à $\mathbf{E}_{vertical}$ et la polarisation croisée est identique à $\mathbf{E}_{horizontal}$. [36]

II.4 Types d'antennes :

Les antennes peuvent être divisées selon différents motifs. Une façon de les classer est principalement leur taille et leur bande passante [37].

1. Antennes électriquement petites : antennes telles que dipôles courts et fils en boucle. Les boucles peuvent prendre d'autres formes telles que l'ellipse, le rectangle, etc.

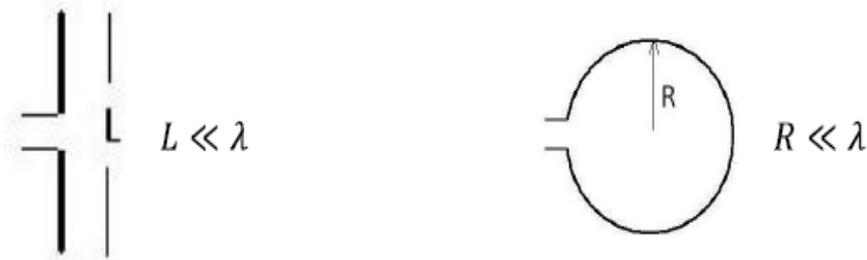


Figure II. 5: Exemples d'antennes électriquement petites, petit dipôle (gauche) et petite boucle (droite)

Les antennes électriquement petites se caractérisent par de petites résistances aux radiations et de plus grandes résistances aux pertes. Par conséquent, ils ont un petit gain. Ils ont également une bande passante étroite.

2. Antennes résonnantes : dipôle demi-onde et antenne patch sont les meilleurs exemples d'antennes résonnantes

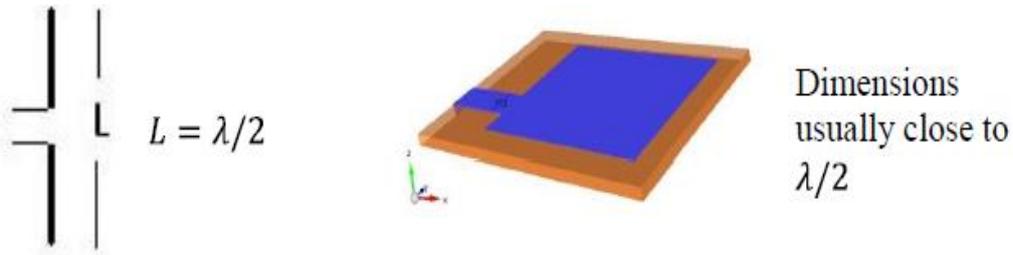


Figure II. 6:Exemples d'antennes résonnantes : dipôle demi-onde (gauche) et patch (droite).

Ces antennes ont généralement un gain relativement faible et une bande passante étroite. Ces catégories d'antennes sont l'une des plus couramment utilisées dans la vie quotidienne. Plus de discussion sur ces antennes est donnée dans les chapitres suivants.

3. Antennes à large bande: les antennes spirales et les matrices de réseaux dipolaires périodiques log appartiennent à cette catégorie.



Figure II. 7: Antenne spirale comme exemple d'antenne à large bande. [39]

Les antennes à large bande ont des gains modérés à importants, une large bande passante et des tailles moyennes.

4. Antennes d'ouverture: Les antennes d'ouverture sont des antennes qui ont des ouvertures pour guider l'onde vers le rayonnement. Les antennes à cornet et les antennes à réflecteur parabolique appartiennent à ces antennes.



Figure II. 8:Exemples d'antennes à ouverture: antenne parabolique (gauche) et antenne cornet (droite)

Les antennes à ouverture ont une grande taille et un grand gain. La parabole dans les antennes à réflecteur est utilisée pour réfléchir l'onde provenant de l'alimentation placée devant elle. Les antennes à corne ont des formes qui ressemblent à un guide d'ondes d'ouverture guidant une onde dans l'espace libre

II.5 Antenne microruban :

II.5.1 Structure générale de l'antenne patch microruban :

Une antenne microruban est généralement constituée d'un substrat diélectrique pris en sandwich entre un patch rayonnant sur le dessus et un plan de masse de l'autre côté, comme le montre la **Figure II.9** Le patch est généralement constitué de matériaux conducteurs tels que le cuivre ou l'or et peut prendre toutes les formes possibles. Le patch rayonnant et les lignes d'alimentation sont généralement photogravés sur le substrat diélectrique.

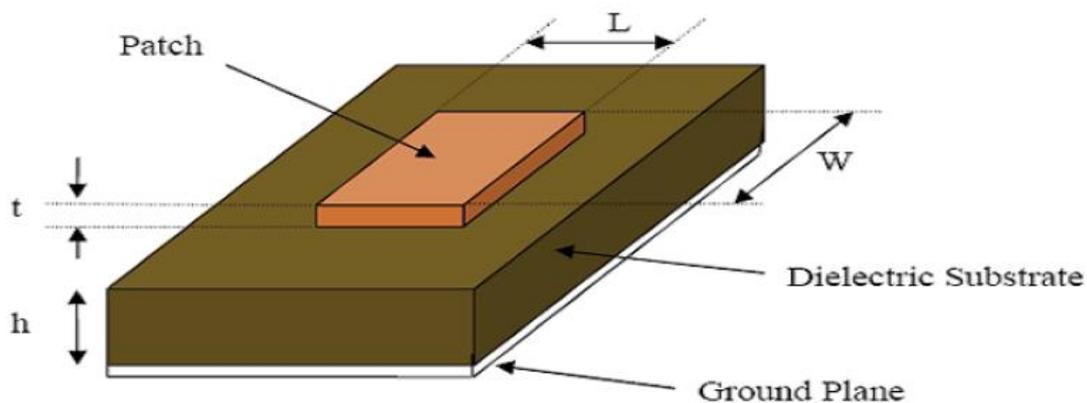


Figure II. 9: Structure d'une antenne patch microruban

Pour simplifier l'analyse, le patch est généralement carré, rectangulaire, circulaire, triangulaire et elliptique ou une autre forme courante. Pour un patch rectangulaire, la longueur L du patch est généralement de l'ordre de $0,3333 \lambda_0 < L < 0,5 \lambda_0$, où λ_0 est la longueur d'onde de l'espace libre. Le patch est sélectionné pour être très fin tel que $t \ll \lambda_0$ (où t est l'épaisseur du patch). La hauteur h du substrat est généralement de $0,003 \lambda_0 \leq h \leq 0,05 \lambda_0$. Le constant diélectrique du substrat ϵ_r est généralement compris entre $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ [38].

II.5.2 Avantages et inconvénients :

Les antennes à microruban sont utilisées comme antennes intégrées dans les appareils sans fil portables tels que les téléphones cellulaires, et sont également utilisées dans les communications par satellite. Certains de leurs principaux avantages sont indiqués ci-dessous:

- Poids léger et faible coût de fabrication.
- Prend en charge la polarisation linéaire et circulaire.
- Peut être facilement intégré avec des circuits intégrés micro-ondes.
- Capable d'opérations double et triple fréquence.
- Mécaniquement robuste lorsqu'il est monté sur des surfaces rigides.

Les antennes patch à microruban présentent plus d'inconvénients que les antennes conventionnelles. Certains de leurs principaux inconvénients sont indiqués ci-dessous:

- Bande passante étroite.
- Faible efficacité et gain.
- Rayonnement étranger provenant des alimentations et des jonctions.
- Faible capacité de gestion de puissance.
- Excitation des ondes de surface.

II.6 Techniques d'alimentation :

Les antennes patch microruban peuvent être alimentées par une variété de méthodes. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories : contact et non contact. Dans la méthode de mise en contact, la puissance RF est envoyée directement au patch rayonnant à l'aide d'un élément de connexion tel qu'une ligne microruban. Dans le schéma sans contact, un couplage de champ électromagnétique est effectué pour transférer la puissance entre la ligne microruban et le patch rayonnant. Les quatre techniques d'alimentation les plus utilisées sont la ligne microruban, la sonde coaxiale (les deux schémas de contact), le couplage d'ouverture et le couplage de proximité (les deux schémas sans contact).

II.6.1 Alimentation en ligne par microruban (microruban décalé) :

Dans ce type de technique d'alimentation, une bande conductrice est connectée directement au bord du patch microruban, comme illustré à la **Figure II.10**. La bande conductrice est plus petite en largeur par rapport au patch. Ce type d'agencement d'alimentation présente l'avantage que l'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure plane.

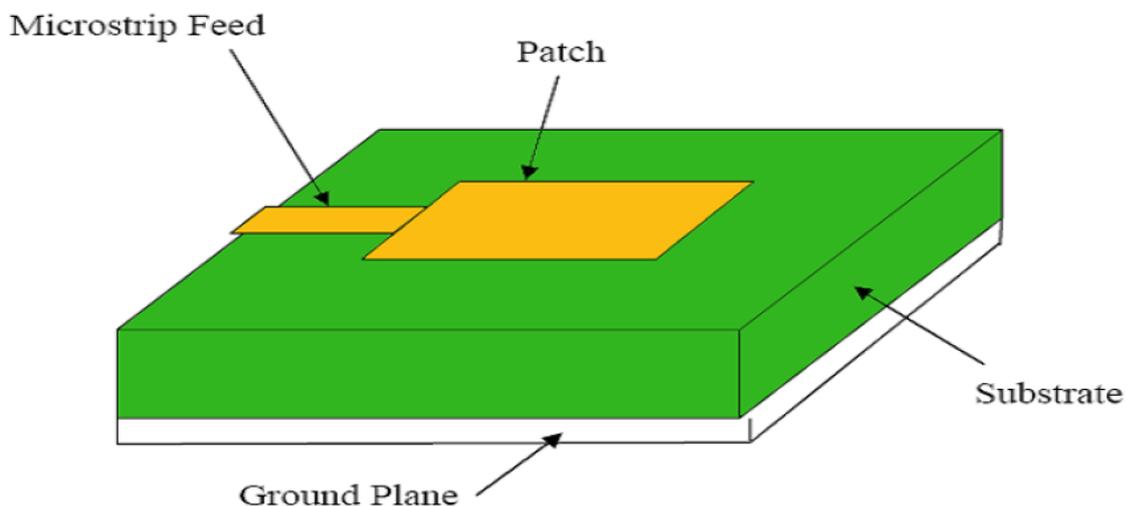


Figure II. 10: Alimentation de ligne microruban

Une découpe en médaillon peut être incorporée dans le patch afin d'obtenir une bonne adaptation d'impédance sans avoir besoin d'un élément d'adaptation supplémentaire. Ceci est

obtenu en contrôlant correctement la position de l'encart. Il s'agit donc d'une technique d'alimentation facile, car elle offre une facilité de fabrication et une simplicité de modélisation ainsi qu'une adaptation d'impédance. Cependant, à mesure que l'épaisseur du substrat diélectrique augmente, les ondes de surface et le rayonnement d'alimentation parasite augmentent également, ce qui entrave la bande passante de l'antenne. Ce type de technique d'alimentation entraîne des effets indésirables de polarisation croisée.

II.6.2 Alimentation coaxiale :

L'alimentation coaxiale ou alimentation par sonde est l'une des techniques les plus couramment utilisées pour l'alimentation des antennes patch microruban. Comme le montre la **Figure II.11**, le conducteur intérieur du connecteur coaxial s'étend à travers le diélectrique et est soudé au patch rayonnant, tandis que le conducteur extérieur est connecté au plan de masse.

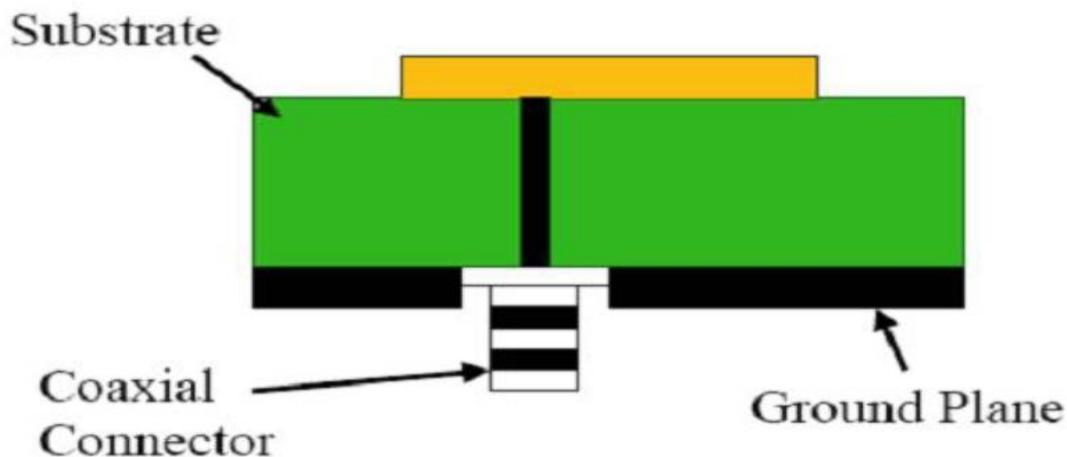


Figure II. 11: Alimentation coaxiale

Le principal avantage de ce type de schéma d'alimentation est que l'alimentation peut être placée à n'importe quelle position souhaitée à l'intérieur du patch afin d'obtenir une adaptation d'impédance. Cette méthode d'alimentation est facile à fabriquer et a de faibles effets de rayonnement parasite. Cependant, son inconvénient majeur est qu'il offre une bande passante étroite et est difficile à modéliser car un trou doit être percé dans le substrat. De plus, pour les substrats plus épais, l'augmentation de la longueur de la sonde rend l'impédance d'entrée plus inductive, ce qui entraîne des problèmes d'adaptation.

En utilisant un substrat diélectrique épais pour améliorer la bande passante, l'alimentation de ligne microruban et l'alimentation coaxiale souffrent de nombreux inconvénients tels que le rayonnement d'alimentation parasite et le problème d'adaptation. Les techniques d'alimentation sans contact décrites ci-dessous résolvent ces problèmes.

II.6.3 Alimentation couplée à l'ouverture :

Dans le couplage d'ouverture comme indiqué sur la **Figure II.12**, l'élément de patch à microruban rayonnant est gravé sur le dessus du substrat d'antenne, et la ligne d'alimentation à microruban est gravée sur le fond du substrat d'alimentation afin d'obtenir un couplage d'ouverture. L'épaisseur et les constantes diélectriques de ces deux substrats peuvent ainsi être choisies indépendamment pour optimiser les fonctions électriques distinctes du rayonnement et des circuits. L'ouverture de couplage est généralement centrée sous le patch, conduisant à une polarisation croisée plus faible en raison de la symétrie de la configuration. La quantité de couplage de la ligne d'alimentation au patch est déterminée par la forme, la taille et l'emplacement de l'ouverture. Étant donné que le plan de masse sépare le patch et la ligne d'alimentation, le rayonnement parasite est minimisé.

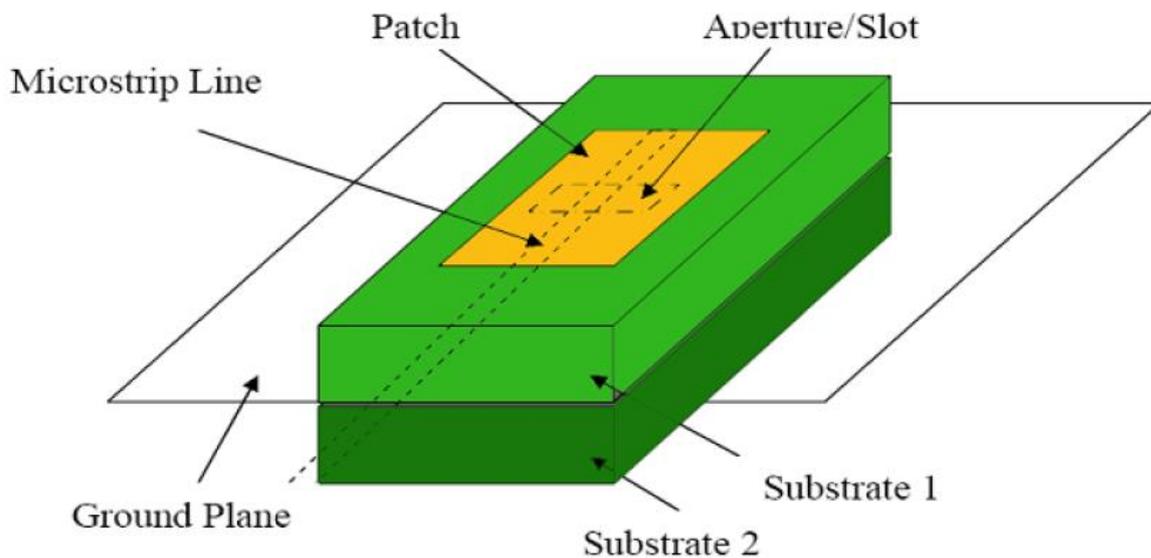


Figure II. 12:Alimentation couplée à l'ouverture

Généralement, un matériau diélectrique élevé est utilisé pour le substrat inférieur et un matériau épais, à faible constante diélectrique est utilisé pour le substrat supérieur afin d'optimiser le rayonnement du patch. Ce type de technique d'alimentation peut donner une bande passante très élevée d'environ 21%. L'effet des rayonnements parasites est également

très moindre par rapport à d'autres techniques d'alimentation. L'inconvénient majeur de cette technique d'alimentation est qu'elle est difficile à fabriquer en raison des couches multiples, ce qui augmente également l'épaisseur de l'antenne.

II.6.4 Alimentation couplée de proximité :

Ce type de technique d'alimentation est également appelé schéma de couplage électromagnétique. Comme le montre la **Figure II.13**, deux substrats diélectriques sont utilisés de telle sorte que la ligne d'alimentation se trouve entre les deux substrats et le patch rayonnant est au-dessus du substrat supérieur. Le principal avantage de cette technique d'alimentation est qu'elle élimine les rayonnements parasites et fournit une bande passante très élevée d'environ 13%, en raison de l'augmentation de l'épaisseur électrique de l'antenne patch microruban. Ce schéma permet également de choisir entre deux supports diélectriques différents, un pour le patch et un pour la ligne d'alimentation afin d'optimiser les performances individuelles.

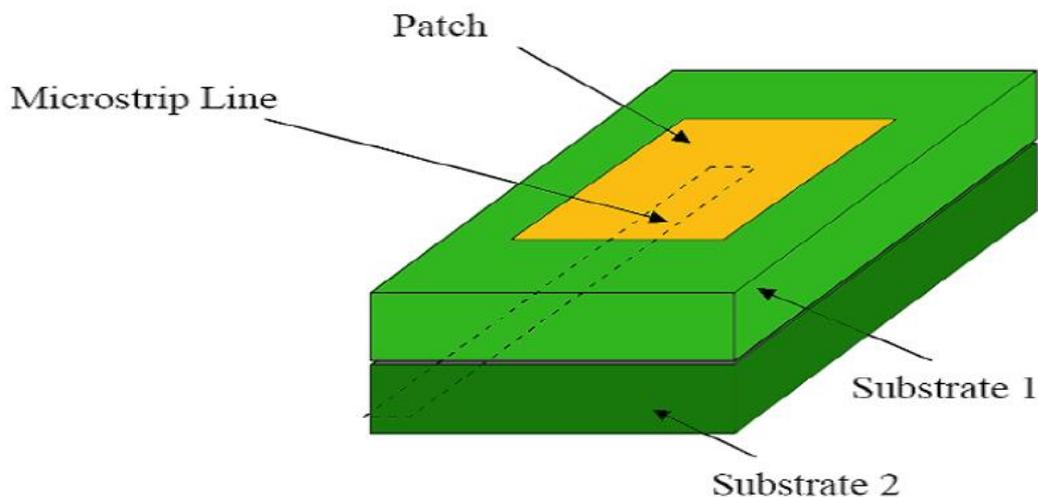


Figure II. 13: Alimentation couplée de proximité

L'inconvénient majeur de ce schéma d'alimentation est qu'il est difficile à fabriquer en raison des deux couches diélectriques qui nécessitent un alignement correct. De plus, il y a une augmentation de l'épaisseur globale de l'antenne.

II.7 La conclusion :

Finalement ce chapitre contient deux parties:

La première présente les paramètres fondamentaux des antennes : modèles de rayonnement, facteur de qualité, efficacité, la directivité ou on a détaillé chaque paramètre. Et par la suite, les différents types des antennes dont elles sont classés principalement par leur taille et leur bande passante.

La deuxième partie présente la structure générale d'une antenne micro ruban, leurs principaux avantages et inconvénients ainsi que les quatre techniques d'alimentation les plus utilisées dans la ligne micro ruban.

Chapitre III
Conceptions Et
Caractérisation
D'antennes
multiservice 5G

III.1 Introduction :

La technologie 5G exige des antennes avec des fonctionnalités inédites sur un terminal utilisateur [40;41]. Cette exigence soulève de nombreux défis de conception pour parvenir à un compromis raisonnable entre les problèmes de conception technologique et les critères commerciaux - faible coût, petite taille, efficacité du rayonnement, gain d'antenne, performances à large bande, etc. Principalement sur des bandes d'ondes millimétriques [40;42].

Entre autres options, les antennes micro ruban avec placement coplanaire des éléments de rayonnement et du réseau d'alimentation semblent être un bon choix pour obtenir un élément fonctionnel avec un bon équilibre entre performances et complexité de fabrication pour les applications 5G. Les antennes micro ruban imprimées sur un substrat Duroid ont démontré de bonnes performances par rapport aux conceptions traditionnelles de la technologie LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics) [40;43]

Nous proposons dans ce travail de concevoir et de réaliser une antenne intégrée qui rayonne dans plusieurs bandes afin d'être utilisée dans des différents services de la 5^{ème} génération.

III.2 Antenne Microstrip Patch :

III.2.1 Modélisation d'une antenne patch micro ruban :

Une antenne micro ruban peut être modélisée ou analysée en utilisant différentes méthodes et techniques. La technique la plus utilisée est la ligne de transmission.

Le modèle de ligne de transmission est utilisé dans ce travail et les étapes de conception d'une antenne patch rectangulaire.

III.2.2 Modèle de ligne de transmission :

Ce modèle traite l'antenne comme s'il s'agissait d'une ligne de transmission microruban, puis la représente sous la forme de deux fentes étroites rayonnant parallèlement, qui ont une largeur de W et une hauteur de h , séparées par une longueur de L (**figure III.1**).

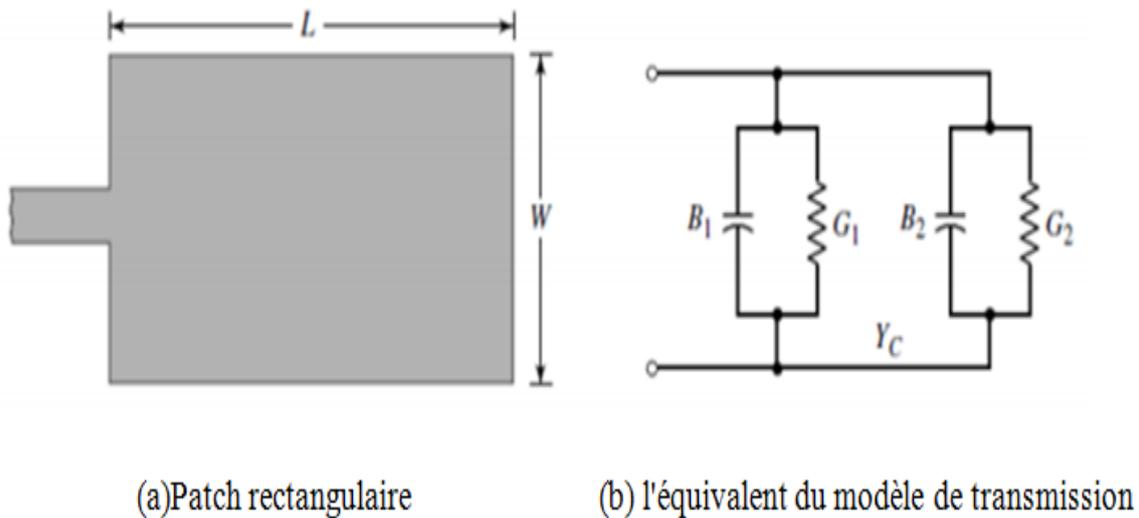


Figure III.1: Antenne patch rectangulaire et son modèle de ligne de transmission équivalent.

III. 2.3 Exigences en matière de conception:

Pour concevoir l'antenne, un certain nombre de variables d'entrée sont nécessaires, qui peuvent être choisies en fonction des exigences de conception. Les entrées sont :

1-Matériaux du substrat (ϵ_r):

Il existe de nombreux types de matériaux de substrat qui peuvent être utilisés pour concevoir une antenne patch micro ruban. Le constant diélectrique de ces matériaux est compris entre 2,2 et 12. Les constantes diélectriques qui sont hautement souhaitables pour les performances des antennes se situent dans la partie inférieure de la gamme parce qu'elles fournissent une meilleure efficacité, une plus grande largeur de bande et des champs plus lâches, mais au prix d'une plus grande taille des éléments de patch.

2- Hauteur du substrat (h) :

La hauteur du substrat est normalement bien inférieure à la longueur d'onde en espace libre (λ_0), et elle varie entre $0,003\lambda_0 < h < 0,05\lambda_0$. Plus cette couche est épaisse, mieux les champs

Chapitre III Conceptions Et Caractérisation D'antennes multiservice 5g

de rayonnement dans l'espace sont liés de manière lâche. Lorsqu'une couche plus fine est choisie, l'efficacité de l'antenne diminue.

3- Fréquence de résonance (f_r) :

Il s'agit de la fréquence sur laquelle l'antenne doit fonctionner et qui est réglée pour répondre aux normes sur lesquelles le système fonctionne.

III. 2.4 Procédure de conception :

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

- La largeur de l'antenne :

$$W = \frac{c}{2.f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Où (c), est la vitesse de la lumière dans l'espace libre.

- La longueur de l'antenne patch :

$$L = \frac{c}{2.f_r \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

III.3 Description du problème :

Les antennes patch sont des antennes résonnantes par nature, caractérisées par une bande passante extrêmement faible. De plus, ils sont généralement légers et faciles à installer car ils sont très utilisés dans les applications aéronautiques, satellitaires et missiles [44]. La simplicité, le faible coût de fabrication et la flexibilité de configuration selon des géométries spécialisées sont les avantages de l'antenne patch dans la structure.

Les champs frangeants entre le bord du patch et le plan de masse font rayonner l'antenne patch microruban. Une meilleure performance de l'antenne nécessite un substrat diélectrique épais ayant une faible constante diélectrique, qui offre un meilleur rendement, une plus grande largeur de bande et un meilleur rayonnement. Cependant, une telle configuration se traduit par une grande taille d'antenne. La conception d'une antenne patch microruban compacte exige des constantes diélectriques plus élevées, qui sont moins efficaces et se traduisent par une bande passante plus étroite.

Chapitre III Conceptions Et Caractérisation D'antennes multiservice 5g

Par conséquent, une optimisation doit être obtenue entre les dimensions de l'antenne et les performances de l'antenne, c'est ce qui arrive à notre conception et les auteurs doivent opter pour une série d'optimisations avant que le résultat souhaité n'utilise un constant diélectrique plus élevée.

III.4 Choix de l'outil de simulation :

CST MICROWAVE STUDIO est un logiciel complet pour l'analyse et de la conception électromagnétique dans la gamme haute fréquence. Il simplifie l'insertion des structures en fournissant un solide en 3D pour modéliser à la fin chaque élément.

CST MICROWAVE STUDIO fait partie de la suite CST Design Studio et offre un certain nombre de soldeurs différents, pour différents domaines d'applications. Étant donné qu'aucune de ces méthodes ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'applications. Le logiciel contient quatre techniques de simulation différentes (transientsolver, frequency domainsolver, integralequationsolver, eigenmodesolver) pour mieux répondre à leurs applications particulières [45]

Le solveur le plus flexible est le « transientsolver » ou solveur transitoire, permettant de faire la simulation d'une large bande de fréquences simultanément dans la même tentative de calcul. (Contrairement à un grand nombre de simulateurs ou soldeurs qui utilisent l'approche par pas de fréquence).

III.5 Conception d'antenne :

La figure III.2 montre l'antenne patch micro ruban qui est conçue pour rayonner à 1,9 GHz, 2,45 GHz et 3,19 GHz. L'antenne patch proposée convient parfaitement à l'intégration avec des applications de services de communication personnels, des applications de réseau local sans fil et des applications de systèmes de positionnement global.

Le substrat utilisé dans notre travail, pour les simulations de toutes les antennes réalisées est du type FR4 avec une permittivité relative $\epsilon_r = 4.3$, des pertes diélectriques illustrées par le paramètre $\text{tg}\delta = 0.0018$ et une épaisseur $h = 1.6 \text{ mm}$

L'antenne est alimentée par une ligne microruban de 50Ω .

Chapitre III Conceptions Et Caractérisation D'antennes multiservice 5g

Les différentes valeurs des paramètres géométriques de l'antenne sont mentionnées dans le Tableau III 1 ci-dessous :

Tableau III 1 Dimensions de l'antenne.

Paramètres	L1	L2	L3	L4	L5	W1	W2	WS1	Ls1	S1	S2
Dimensions (mm)	3,46	7,88	1,60	1	0,49	4,22	1.19	1.05	0.65	0.375	0.07

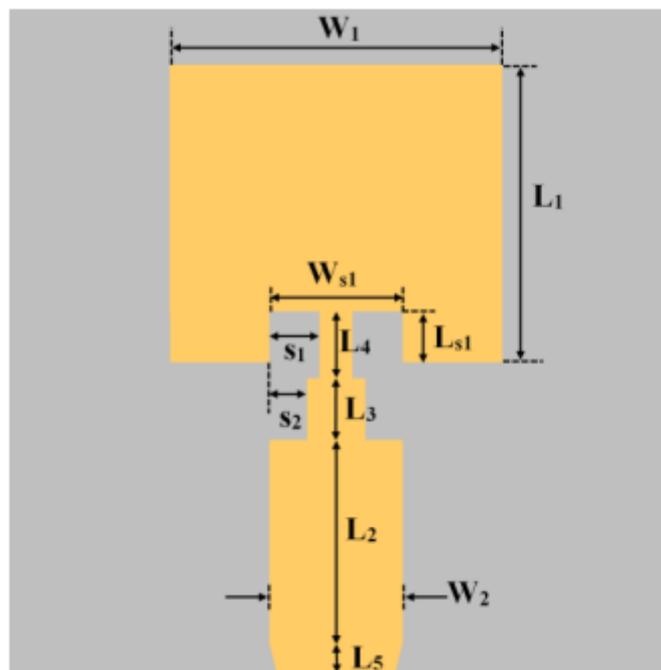


Figure III.2: La géométrie de l'antenne proposée

Les dimensions L_1 et W_1 déterminent la fréquence centrale [7,8], et pour un patch rectangulaire régulier, l'impédance de bord est de 144Ω . Cependant, une ligne d'alimentation avec une telle impédance impliquait des dimensions physiques hors de portée de nos capacités de fabrication, principalement une fraiseuse avec une résolution de $150\ \mu\text{m}$.

En raison de cette circonstance, nous avons d'abord conçu une ligne d'alimentation de $50\ \Omega$ et l'alimentation n'a pas été effectuée sur le bord du patch mais dans un point intérieur en utilisant une encoche rectangulaire. Les pièces de la ligne d'alimentation de dimensions L_3 et L_4 constituent un adaptateur d'impédance quart d'onde en cascade. Les dimensions de l'encoche conditionnent le réglage fin de l'adaptation d'impédance.

III. 6Résultat de simulation :

La performance de l'antenne a été étudiée en utilisant le logiciel CST. La figure III.3 illustre le coefficient de réflexion obtenu de la simulation.

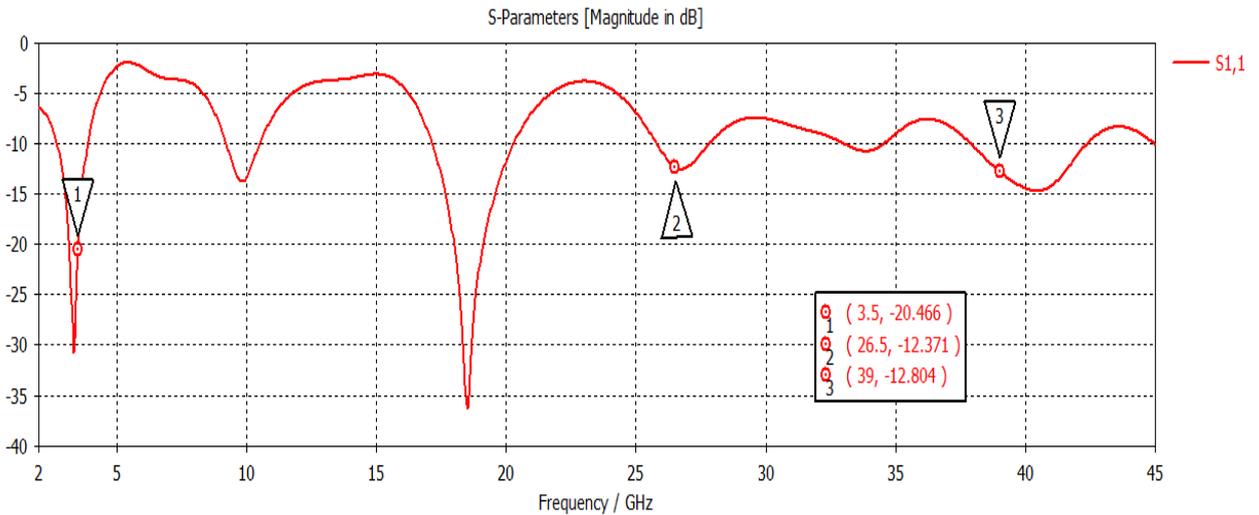


Figure III.3 : le coefficient de réflexion S11 obtenu de la simulation.

La courbe du coefficient de réflexion S11 montre que l'antenne conçue résonne à 3.5 GHz avec un coefficient de réflexion maximal de -20.46 dB et -12.37dB et -12.80 sont obtenus pour les fréquences de résonance de 26.5GHz et 39GHz respectivement.

La figure III.4 montre les diagrammes de rayonnement de l'antenne proposée à 3.5GHz, 26.5 GHz et 39GHz. On peut voir que l'antenne offre un diagramme de rayonnement omnidirectionnel à $f_1=3.5\text{GHz}$, avec un gain de 1.81dBi. à $f_2=26.5\text{GHz}$, le gain est meilleur de 5.4dBi.et à $f_3=39\text{GHz}$, on a un gain maximal de 6.74dBi

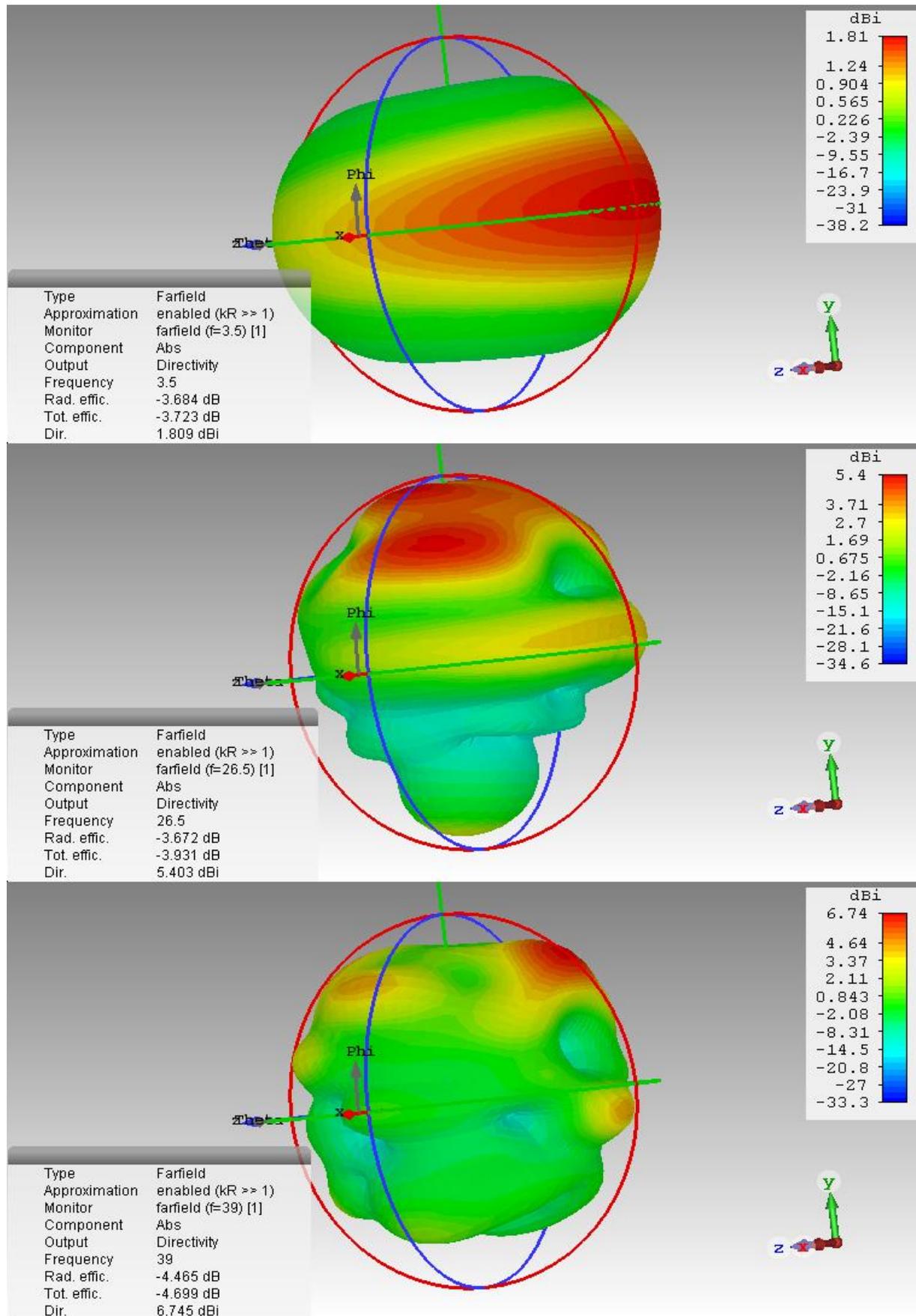


Figure III.4 : Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée.

Chapitre III Conceptions Et Caractérisation D'antennes multiservice 5g

Le rapport d'onde stationnaire de tension VSWR (Voltage Standing wave Ratio) est représenté sur la figure III.5. Nous remarquons que le VSWR <2 pour les trois fréquences de résonnances.

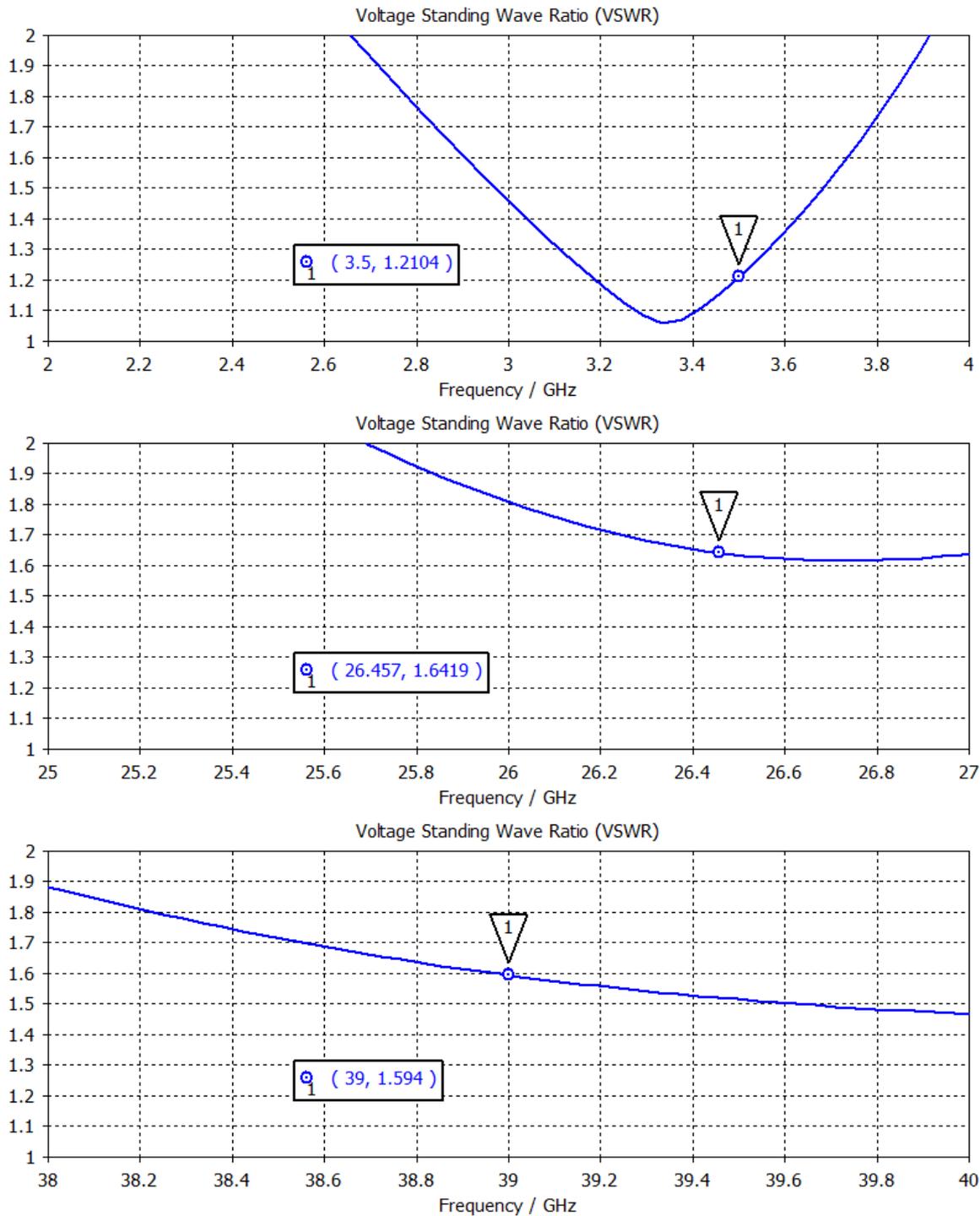


Figure III.5:(VSWR) pour les fréquences 3.5GHz, 26 GHz et 39GHz.

III. 7 Etude paramétrique :

L'objectif de cette étude est de montrer les effets des différents éléments de l'antenne sur le coefficient de réflexion. L'étude paramétrique de l'antenne proposée est réalisée par simulation informatique (CST).

❖ Effet de la largeur de la ligne de d'alimentation "w2" :

La largeur de la ligne de d'alimentation "w2" peut varier pour obtenir la bande de fréquence désirée. Comme nous pouvons le voir sur la Figure III.6, nous trouvons aussi une large bande à partir de la fréquence 33 GHz

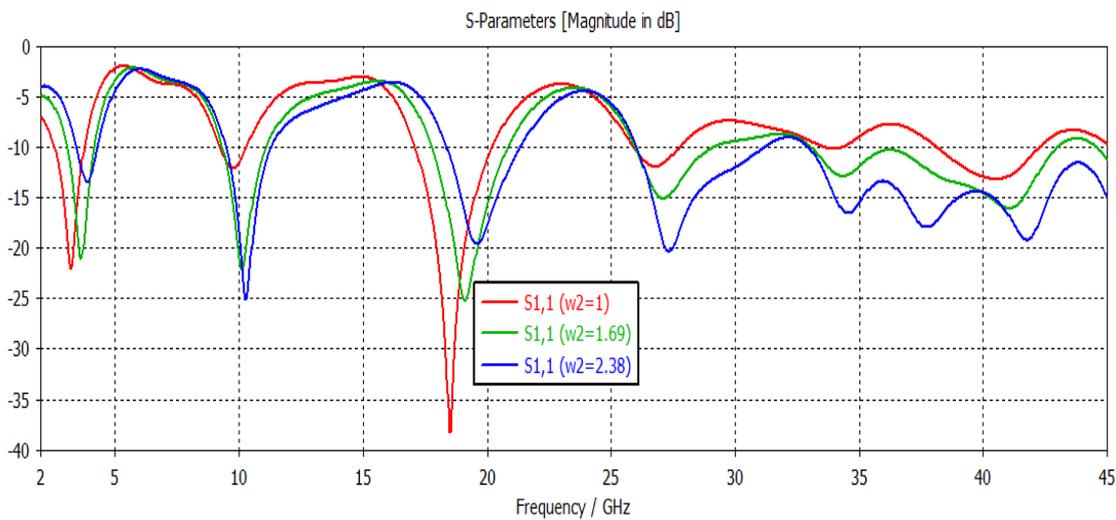


Figure III.6 : Le coefficient de réflexion pour différentes largeurs de la ligne d'alimentation.

❖ Effet de la largeur du rectangle "W1" :

Ce paramètre peut être modifié pour améliorer l'adaptation comme la montre la Figure III.7. Alors nous pouvons le considérer comme paramètre clé. La valeur nominale de w₁=8.22.

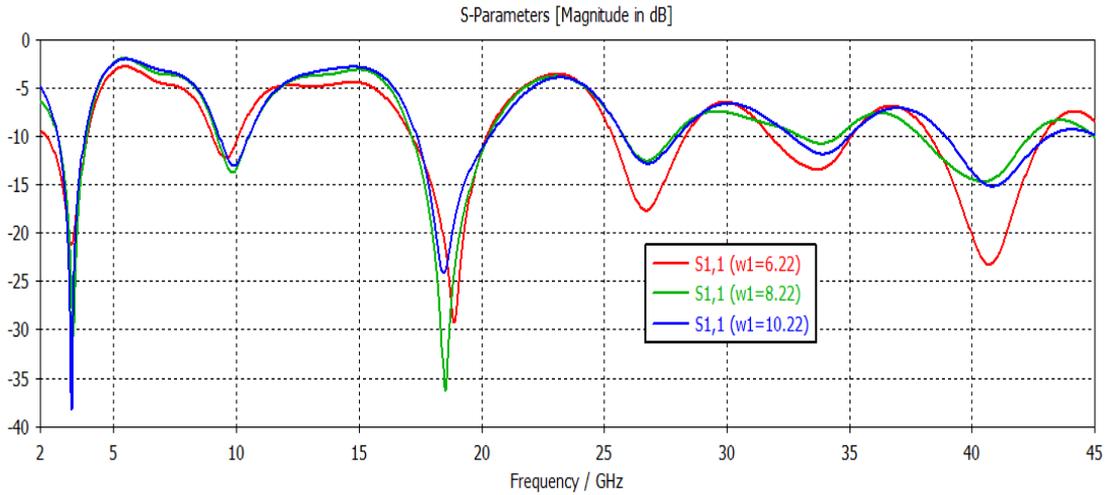


Figure III.7 : Le coefficient de réflexion pour différentes largeur du rectangle

❖ Effet de la longueur du rectangle "L1" :

Comme le montre la figure III.8, une légère variation du coefficient de réflexion pour une variation de 2 mm de la longueur L1.

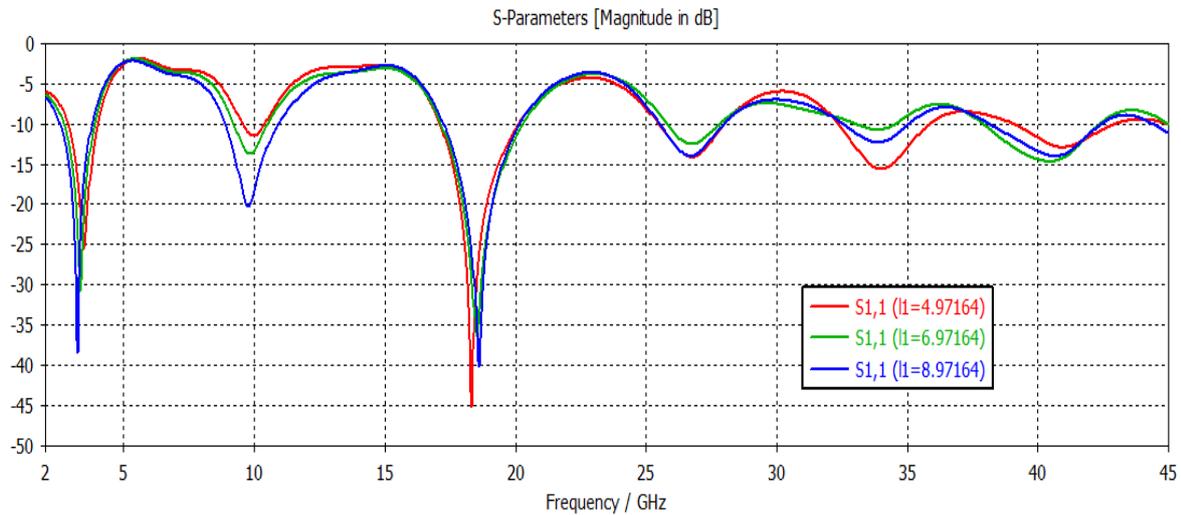


Figure III.8 : Le coefficient de réflexion pour différentes longueurs du stub.

❖ La robustesse de chaque tag par rapport à la présence de matière :

Nous avons étudié la sensibilité de l'antenne patch par rapport à la permittivité du substrat, alors nous avons fait varier ϵ_r (Figure III.9) pour voir l'impact sur les caractéristiques.

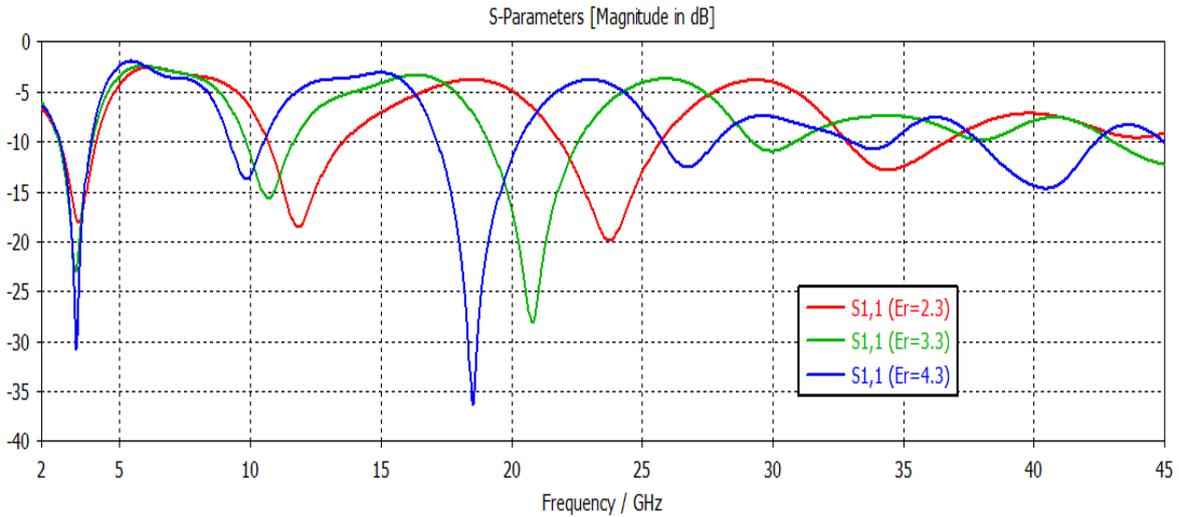


Figure III.9: Influence de la permittivité du substrat sur le Coefficient de réflexion de l'antenne patch.

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une antenne qui rayonne dans une plusieurs bande de fréquence pour application 5G.

Pour ce faire, des outils CST Microwave Studio ont été utilisés pour l'étude et la simulation, nous avons faire une étude paramétrique pour comprendre l'influence des différents paramètres physiques de l'antenne. Finalement. On peut dire que L'antenne patch est une antenne facile à réaliser surtout avec l'utilisation des techniques d'adaptation qui permettent de minimiser le coefficient de réflexion, et de retrouver la fréquence de résonance souhaitée

Conclusion Générale :

Les travaux réalisés dans le présent mémoire de recherche s'inscrivent dans le domaine de la conception et l'étude d'une antenne multiservice pour une importante application de télécommunications. Le modèle de réseau antennaire à simuler peut être très utile pour les appareils téléphoniques mobiles de la 5eme génération qui est encore en voie d'étude et de réalisation.

Le modèle proposé est conçu en utilisant le logiciel de simulation CST, il a été proposé comme solution pour les applications 5G. De nombreuses méthodes sont utilisées à toutes les étapes des procédures de la conception, telles que le calcul théorique des paramètres, la déclaration des valeurs des paramètres, le choix de la meilleure méthode d'excitation et l'évaluation de l'antenne à travers les résultats obtenus.

Dans ce travail, nous avons commencé initialement avec une partie théorique sur les généralités sur les différentes générations téléphoniques dont le monde a vécu et leurs développements, puis une présentation sur les antennes d'une façon générale et les patchs en particulier ou nous avons cité leurs propriétés et leurs caractéristiques ainsi que les différentes formes d'une antenne patch et leurs avantages et inconvénients.

Par la suite, une partie a été réservée à la pratique qui basée en premier lieu à la présentation de l'outil de simulation CST, et en deuxième lieu à la modélisation et l'étude des paramètres qui peuvent influencer sur ces caractéristiques.

Les travaux présentés dans ce travail ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- La facilite de réaliser une antenne patch surtout avec des techniques d'adaptation et logiciel de simulation qui nous a aider à étudier et de retrouver la fréquence de résonance souhaitée.
- L'antenne patch présente une grande importance grâce à ces nombreux avantages par rapport aux antennes classiques.
- La croissance explosive du trafic de données : il y aura une croissance énorme du trafic mondial de données tel qu'il augmentera de plus de 200 fois entre 2010 et 2020 et d'environ 20 000 fois entre 2010 et 2030.
- L'augmentation significative des appareils connectés : alors que les principaux appareils personnels devraient rester des téléphones intelligents. Le nombre des autres types d'appareils, y compris les appareils portables et les appareils MTC, continue d'augmenter.

Conclusion Générale

- La 5G ne s'améliore pas les débits de données seulement. C'est un concept totalement nouveau qui servira de base à un système fiable, durable et efficace offrant des possibilités illimitées pour le monde numérique.
- La poursuite de l'émergence de nouveaux services : différents types de services seront exploités, tels que les services fournis par les entreprises, les industries verticales, les Sociétés Internet, ... etc.

Enfin, dans le dernier chapitre du manuscrit nous avons d'abord vérifié la validité de notre modèle d'antenne imprimée grâce au logiciel CST Microwave, Ensuite interprété les résultats d'analyse

La bibliographie :

- [1] HUANG, H., PAPADIAS, C. B., VENKATESAN, S. MIMO Communication for cellular Networks. Springer Science & Business Media, 2011.
- [2] Björnson, Emil, JakobHoydis, and Luca Sanguinetti. "Massive MIMO networks: Spectral, energy, and hardware efficiency." *Foundations and Trends® in Signal Processing* 11.3-4 (2017): 154-655.
- [3] F. Hillebrand, GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication. Chichester: John Wiley, 2002.
- [4] A.J. Viterbi, CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication. Redwood City: Addison Wesley Longman, 1995.
- [5] International Telecommunications Union Radio (ITU-R), "Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000," Recommendation ITU-R M.1457-12, February 2015.
- [6] H. Holma and A. Toskala, HSDPA/HSUPA for UMTS. Chichester: John Wiley, 2007.
- [7] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, and P. Beming, 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband, 2nd ed. New York: Academic Press, 2008.
- [8] S. Sesia, M. Baker, and I. Toufik, LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice, 2nd ed. Chichester: John Wiley& Sons, 2011.
- [9] GSMA, Definitive data and analysis for the mobile industry [Online] <https://gsmaintelligence.com/>
- [10] Ericsson, Ericsson Mobility Report, Report No. EAB-15:037849, November 2015, www.ericsson.com/res/docs/2015/mobility-report/ericsson-mobility-report-nov-2015.pdf
- [11] Nunatak, White Paper, "Virtual and Augmented Reality", April 2016
- [12] Canon, Press Release, "Canon announces development of the Free Viewpoint Video System virtual camera system that creates an immersive viewing experience", Sept. 2017
- [13] European Commission, White Paper, "5G empowering vertical industries", April 2016
- [14] CGI, White Paper, "Industry 4.0: Making your business more competitive", 2017
- [15] 5G Automotive Association, White Paper, "The Case for Cellular V2X for Safety and Cooperative Driving", Nov. 2016
- [16] CER, CIT, EIM and UIC, White Paper, "A Roadmap for Digital Railways", April 2016
- [17] ABI Research, "Remote Control in Construction Made Possible by 5G", Q3 2017

Bibliographie

- [18] WWRF, White Paper, “A New Generation of e-Health Systems Powered by 5G”, Dec. 2016
- [19] Accenture, White Paper, “How 5G Can Help Municipalities Become Vibrant Smart Cities”, 2017
- [20] A. Osseiran, J. F. Monserrat and P. Marsch (editors), “5G Mobile and Wireless Communications Technology”, Cambridge University Press, June 2016
- [21] ITU-R WP5D, M.2140, “Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)”, Nov. 2017
- [22] ITU-R WP5D, M.2412, “Guidelines for the evaluation of the radio interface technologies for IMT-2020”, Nov. 2017
- [23] ECC, Operational guidelines for spectrum sharing to support the implementation of the current ECC framework in the 3600–3800 MHz range, ECC Report 254, 2016.
- [24] J. Lee, E. Tejedor, K. Ranta-aho, H. Wang, K.T. Lee, E. Semaan, E. Mohyeldin, J. Song, C. Bergljung, S. Jung, Spectrum for 5G: global status, challenges, and enabling technologies, IEEE Communications Magazine 56 (3) (2018) 12–18.1. Whitepaper, 5G vision and requirements, IMT-2020 (5G) Promotion Group.
- [25] "IEEE Standard Definitions of Terms," 1993.
- [26] Warren L. Stutzman, Antenna Theory and Design.: John Wiley & Sons Inc.,1998.
- [27] Constantine A. Balanis, Advanced Engineering Electromagnetics.: John Wiley & Sons, 1989.
- [28] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [30] Pavel Bretchko Reinhold Ludwig, RF Circuit Design: Theory and Applications.NJ: Prentice Hall, 2000
- [31] Daniel M. Dobkin, The RF in RFID. Burlington: Elsevier Inc., 2008.
- [32] K. Carver and J. Mink, "Microstrip Antenna Technology," pp. 2 - 24, 1981.
- [33] David K. Cheng, Field and Wave Electromagnetics.: ADDISON-WISLEY PUBLISHING COMPANY, 1992.

Bibliographie

- [34] A.Ludwig,"The definition of cross polarization,"in *Antennas and Propagation*, IEEE Transactions, 1973, pp. 116-119.
- [35] CST Microwave Studio, Far field Overview, CST software help.
- [36] Norwegian Institute of Science and Technology. [Online]. www.ntnu.no
- [37] Satimo. [Online]. www.satimo.com/contents/products/starlab.
- [38] Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., Ittipiboon, "A., *Microstrip Antenna Design Handbook*", Artech House, Inc, 2001
- [39] Norwegian Institute of Science and Technology. [Online] www.ntnu.no
- [40] W. Roh *et al.*, "Millimeter-Wave Beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: theoretical feasibility and prototype results", *IEEE Comm. Magazine*, pp. 106-113, Feb. 2014.
- [41] X.-P. Chen, K. Wu, L. Han, F. He, "Low-cost high gain planar antenna array for 60-GHz band applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 6, pp. 2126–2129, June 2010.
- [42] Mi. Li, K.-M. Luk, "Low-Cost Wideband Microstrip Antenna Array for 60-GHz Applications", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 6, pp. 3012-3018, June 2014.
- [43] E. Levine, G. Malamud, S. Shtrikman, D. Treves,"A study of microstrip array antennas with the feed network", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 37, pp. 426-434, 1989.
- [44] L.Wang, Y.-X. Guo, W.-X. Sheng, "Wideband high-gain 60-GHz LTCC L-probe patch antenna array with a soft surface", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 61, no. 4, pp. 1802–1809, April 2013.
- [45] N. Belgacem « Conception Des Antennes Pifa Mono-Bande Et Multi-Bandes Gsm, Dcs, Pcs, Umts Et Wifi Pour Téléphones Mobiles » Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2013.

Bibliographie