

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Département d'Electronique et Des Télécommunications



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Présenté par :

BOUAKA Asma

TEMMAR Louiza

Thème :

Simulation d'un réseau d'antennes pour les mobiles 5G avec CST Microwave Studio

Soutenu publiquement

Le : 25/06/2018

Devant le jury :

M ^r MEKIMAH Boualem	MA (A)	Président / examinateur	UKM Ouargla
M ^r AOUNALLAH Naceur	MC (B)	Encadreur	UKM Ouargla
M ^{me} BERHAB Souad	MA (B)	Examinatrice	UKM Ouargla

Année universitaire 2017/2018



REMERCIEMENTS

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.*

Nos parents, nos frères et sœurs pour leur soutien indéfectible.

*L'ensemble du personnel Enseignant et Administratif de
L'université d'Ouargla*

*Un remerciement et une reconnaissance particulière à notre
encadreur Mr **AOUNALLAH NACEUR** pour ses conseils
Avérés, ses efforts et son écoute particulière.*

*Nous n'oublions pas de remercier **MEKIMAH Boualem,**
BERHAB Souad, BELHEDRI Abdelkrim pour leur aide,
nous vous en sommes reconnaissants*

Merci à tous

Asma et Louiza



DEDICACES

*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 et à mes grands-parents.

Je le dédie à mes très chers frères et sœurs.

*A toute ma grande famille Bouaka et Cheriet, surtout ma
grand-mère Halima et Bouhafis Cheriet et Bouaka Mohamed.*

*Une dédicace à tous mes amis : Rime, Basma, Nora, Maria
..., et tous ceux qui connaissent Bouaka Asma.*

Une dédicace spéciale à tous mes amis.

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire

À mon binôme ;

BOUAKA Asma



Dédicaces

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.

Mes parents, mes frères, ma famille et mes frères, qui continuent à me soutenir dans ces efforts et qui sont la plus grande source d'inspiration pour mes rêves.

Pour khezzane Hicham qui était la lumière qui a allumé ma vie et qui était le plus grand partisan de moi dans toutes mes études et qui cherche à atteindre le sommet des rangs, merci pour le don de Dieu à moi.

Merci, Dieu, car tu m'as doté d'amour et de joie, et m'aide dans toute ma vie.

Un grand merci à vous, Louiza, car vous avez toujours été et jamais merveilleux et puissant, je demande à Dieu le succès.

Temmar Louíza



Sommaire

Remerciments	I
Dédicaces	II
Liste des Figures	VII
Liste de Tableaux	IX
Introduction Generale	1
<i>Chapitre I : Aspects Généraux Sur La 5G</i>	
I.1.Introduction	4
I.2.Bref historique	4
I.3.La 5 ^{eme} génération	5
I.4.Vision de 5G	6
I.4.1.Application	7
I.4.2.Scénarios d'utilisation	9
I.5. Architecture de réseau mobile 5G	10
I.6.Technologies émergentes pour réseaux 5G	11
I.6.1. MIMO Massive	12
I.6.2.Petites cellules	13
I.6.3.Full duplex	13
I.6.4.Formation de faisceaux (Beamforming)	14
I.6.5.Multiplexage NOMA (accès multiple non orthogonal)	14
I.6.6.Gamme millimétrique	14
I.6.7.Internet des objets (IoT)	14
I.6.8.Communication Device-to-Device (D2D)	14
I.6.9. Prise en charge native de la communication machine-to-machine (M2M)	15
I.6.10. Software Defined Network (SDN)	15

I.6.11. Network Fonction Virtualisation(NFV)	15
I.6.12. CloudRAN (C-RAN)	15
I.7. Conclusion	16
<i>Chapitre II :Les Antennes Imprimées Et La Bande Millimétrique</i>	
II.1. Introduction	17
II.2. Defintion d'une Antenne	17
II.3. Paramètres caractéristiques d'une Antennes	17
II.3.1. Impédance d'entrée	17
II.3.2. Coefficient de réflexion	17
II.3.3. Rapport d'onde stationnaire (ROS)	18
II.3.4. Diagramme de rayonnement	18
II.3.5.Directivité	19
II.3.6. Gain	19
II.3.7. Fréquence de résonance et bande passante	19
II.4. Antennes imprimée	20
II.4.1. Structure d'une antenne imprimée	20
II.4.2. Avantages et inconvénients de l'antenne patch	21
II.4.3. Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch	21
II.4.4. Techniques d'alimentation des antennes patch	22
II.5. Réseau d'antennes imprimées	24
II.5.1. La Configuration de réseau d'antenne patch	25
II.5.2. Configuration de l'alimentation du réseau d'antennes	26
II.6. La bande millimétrique	27
II.6.1. Pourquoi la bande 28GHz ?	28
II.6.2. Antennes patch dans la bande millimétrique	28
II.7. Conclusion	29

Chapitre III : Simulation Et Résultats

III.1. Introduction	30
III.2. Description du logiciel de simulation CST	30
III.3. Conception et simulation du réseau d'antennes pour la bande des 28 GHz	30
III.3.1. Conception de l'antenne patch résonante à 28 GHz	31
III.3.2. Mise en place de réseaux d'antennes pour la bande des 28 GHz à partir de l'élément précédemment conçu.	38
III.4. Comparaison avec un article de recherche	45
III.5. Conclusion	46
Conclusion Générale	47
Références Bibliographiques	48
Annexe	51

Liste des Figures

Chapitre I : Aspects Généraux Sur La 5G

Figure I.1: Evolution des générations de réseaux mobiles	4
Figure I.2: Evolution des applications de la 4G vers la 5G	8
Figure I.3: Scénarios d'utilisation des IMT pour 2020 et au-delà	9
Figure I.4: MIMO Massive	12
Figure I.5: Petites cellules	13
Figure I.6: Une architecture générale de réseau cellulaire 5G	16

Chapitre II : Les Antennes Imprimées Et La Bande Millimétrique

Figure II.1: Exemple d'un diagramme de rayonnement en 3D, et diagramme dans le plan YoZ (gain en dB)	18
Figure II.2: Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne	20
Figure II.3: Structure d'une antenne imprimée	20
Figure II.4: Différentes forme des éléments rayonnants	21
Figure II.5: Analogie optique du mécanisme de rayonnement	22
Figure II.6: Alimentation par une ligne micro ruban	23
Figure II.7: Alimentation par sonde coaxiale	23
Figure II.8: Alimentation par couplage électromagnétique	24
Figure II.9: Alimentation par couplage fente	24
Figure II .10: Géométrie d'un réseau antenne patch 4x4	25
Figure II.11 : Réseau antenne patch réel 4x4	25
Figure II. 12: Différentes configurations de réseaux d'antennes:(a) :linéaire,(b) : circulaire, (c) : planaire, (d): tridimensionnelle	26
Figure II.13: Alimentation série de réseau d'antennes	26
Figure II.14: Alimentation parallèle de réseau d'antennes	27
Figure II.15: Micro-ondes et spectre de fréquences ondes millimétriques	28
Figure II.16: Absorption atmosphérique sur les fréquences millimétriques (en dB / Km)	28

Chapitre III : Simulation Et Résultats

Figure III.1: Un patch rectangulaire avec deux fentes en forme de U	31
--	----

Figure III.2: Variation de S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence	33
Figure III.3: VSWR en fonction de la fréquence	33
Figure III.4: Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) de l'antenne patch	34
Figure III.5: Diagramme de rayonnement (directivité) de l'antenne patch	34
Figure III. 6: Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ$) de l'antenne patch	34
Figure III. 7: Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=90^\circ$) de l'antenne patch	35
Figure III.8: Efficacité totale de l'antenne patch	35
Figure III.9: (Gain- Directivité) (dB) de l'antenne patch	36
Figure III.10: Courant de surface de l'antenne patch	36
Figure III.11: La directivité de l'antenne patch	37
Figure III.12: Le gain de l'antenne patch	37
Figure III.13: Structure du réseau d'antenne 2 x 1	38
Figure III.14: Le réseau d'alimentation d'entreprise	39
Figure III.15: S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence	40
Figure III.16: rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence	40
Figure III.17: Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) de réseau d'antenne 2x1	41
Figure III.18: Diagramme de rayonnement (directivité) de réseau d'antenne 2x1	41
Figure III.19: Diagramme de rayonnement ($\phi=0^\circ$) de réseau d'antenne 2x1	41
Figure III.20: Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$) de réseau d'antenne 2x1	42
Figure III.21: Efficacité totale de réseau d'antennes 2x1	42
Figure III.22: (Gain- Directivité (dB)) de réseau d'antennes 2x1	42
Figure III.23: Courant de surface de réseau d'antenne 2x1	43
Figure III.24: La directivité de réseau d'antennes 2x1	43
Figure III.25: Le gain de réseau d'antenne 2x1	44

Liste Des Tableaux

Tableau I.1: Résumé des générations de communications mobiles	5
Tableau I.2: Capacités et valeurs clés 5G de l'UIT-R	7
Tableau I.3: Comparaison entre les couches OSI et 5G	10
Tableau II.1: les avantages et inconvénients de l'antenne patch	21
Tableau III.1: Dimensions de l'antenne patch.	31
Tableau III.2: Paramètres fondamentaux de l'antenne patch.	37
Tableau III.3: Paramètres du réseau d'antennes patch 2x1.	39
Tableau III.4: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes 2x1.	44
Tableau III .5: Comparaison entre notre étude et l'étude référentielle (dans le cas d'une seule antenne patch).	45
Tableau III .6 : Comparaison entre notre étude et l'étude référentielle (dans le cas d'un réseau d'antenne patch 2x1).	45

A decorative graphic of a scroll with a green outline and grey circular accents at the corners. The text is centered on the scroll.

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

Au cours des dernières décennies, les communications mobiles ont contribué de manière significative au développement économique et social des pays développés. Actuellement, ils représentent une partie indispensable de la vie quotidienne pour des millions de personnes dans le monde, une situation qui devrait continuer à augmenter jusqu'à devenir plus inévitable au futur.

Les nombreux opérateurs à travers le monde mettent en œuvre le LTE (Long Term Evolution) pour fournir un accès à des temps d'accès plus courts et une plus grande efficacité que les avancées 3G et 3.5G. Il est également dans le développement et la mise en œuvre du LTE-A est une évolution 4G. Par conséquent, on s'attend à ce qu'il y ait des défis importants pour le nouveau système de communication mobile qui commence à émerger, c'est-à-dire la génération V (5G) [1].

La principale caractéristique des réseaux 5G est qu'ils sont conçus pour que l'utilisateur puisse se connecter simultanément à plusieurs technologies sans fil et échanger entre eux. 5G se concentre sur les appareils qui prennent en charge la voix sur IP (VoIP), où l'utilisateur verra un taux élevé de transmission de données (débit de données d'envoi) et un volume approprié de l'appel. Cette technologie vise à répondre à toutes les exigences des clients qui aspirent à des fonctionnalités avancées dans les téléphones mobiles [2].

Récemment, une partie du spectre électromagnétique connu sous le nom bande millimétrique qui a été suggéré pour une utilisation dans la 5G, où plusieurs GHz de cette partie du spectre peut être utilisé pour fournir des commandes élevées de la taille des données pour les utilisateurs de téléphones mobiles, peuvent également prendre en charge les connexions entre les petites cellules dans ces fréquences, il existe un large spectre disponible, car il n'est pas utilisé actuellement. Les fréquences 28, 38, 71-76 et 81-86 GHz sont les plus confortables dans ce segment du spectre, selon des mesures récentes. En raison des faibles longueurs d'onde de mmWave, des antennes de grande capacité peuvent être fabriquées dans les deux petits appareils portables comme dans les stations de base [3] [4], [5], [6].

Exécuter et analyser le comportement d'appareils tels que les antennes n'est pas chose aisée, sans outils de simulation tels que CST Microwave Studio, spécialisés et équipés pour le calcul numérique rapide et précis, permettant de gagner du temps et d'économiser dans le processus de mise en œuvre.

Introduction Générale

Notre recherche vise à étudier la communication de cinquième génération et le champ d'étude des formes d'antennes d'ondes millimétriques. Pour se conformer au problème de la recherche, l'objectif suivant est proposé en général: Mise en œuvre des bandes d'antenne dans la bande des 28 GHz pour une utilisation potentielle en 5G.

Afin de résoudre le problème de recherche et atteindre l'objectif global, les recherches se trouvant dans la littérature proposent sur les objectifs spécifiques suivants:

- ✚ Caractériser le ruban millimétrique et les antennes micro-ondes, et déterminer les propriétés qui permettent de les utiliser en 5G.
- ✚ Rechercher une bande de 28 GHz et des réseaux d'antennes pour cette bande, indiquant la possibilité d'effectuer en 5 G.
- ✚ Identifier les paramètres de base des antennes et des types d'antennes utilisés pour les gammes de fréquences millimétriques.
- ✚ Décrivez les outils qui seront utilisés pour simuler des antennes pour des ondes millimétriques.

Parmi les objectifs spécifiques proposés, les questions scientifiques suivantes se posent :

Quelles sont les propriétés de la gamme millimétrique et les antennes qui déterminent leur utilisation en 5G ? Quelle est la recherche dans la bande des 28 GHz et les arrangements d'antennes pour cette bande, qui démontrent leur mise en œuvre potentielle dans la 5G? Quels sont les paramètres de base des antennes et des types d'antennes utilisés pour la fréquence millimétrique et quelles sont les antennes les plus couramment utilisées? Quels instruments sont utilisés pour simuler des antennes pour des ondes millimétriques? Comment implémenter un réseau d'antennes pour la bande des 28 GHz, en utilisant CST Microwave Studio?

Pour atteindre les objectifs fixés, le présent manuscrit de recherche a été organisé et basé sur: Introduction générale, trois chapitres, conclusions générales, recommandations, références bibliographiques et annexes.

Le chapitre I présente les aspects généraux de la technologie de communication 5G de la téléphonie mobile.

Dans le deuxième chapitre, les paramètres de base des antennes, les caractéristiques de la bande millimétrique du spectre radioélectrique, ainsi que les principales caractéristiques des antennes micro-ondes sont révélés. Enfin, des recherches sur la bande des 28 GHz et le réseau d'antennes de cette fréquence à partir de mmWave sont affichées.

Introduction Générale

Dans le troisième chapitre, les étapes à suivre pour concevoir et simuler les arrangements des antennes à l'aide des outils logiciels CST Microwave Studio sont fournies. Ensuite, les résultats de simulations sont illustrés avec des interprétations. Enfin, une brève comparaison est suivie afin de montrer les avantages et les performances de notre modèle de réseau antenne proposé.



Chapitre I : **Aspects Généraux Sur** **La 5G**

I.1.Introduction :

La cinquième génération (5G) de la téléphonie mobile sans fil est l'une des technologies les plus récentes dans le domaine des communications sans fil [7]. Cette avancée devrait fournir un très grand service en termes de rapidité, de diversité et de facilité. La 5G nous conduira à une « communauté de communication durable » où les appareils mobiles joueront un plus grand rôle dans le changement positif de la vie quotidienne des gens.

Il y a beaucoup de questions et de discussions sur la définition des caractéristiques clés de la 5G, donc dans ce chapitre nous allons fournir un large aperçu sur des récentes informations concernant la 5^{ème} génération.

I.2.Bref Historique :

Le réseau de la téléphonie mobile a été historiquement et principalement divisé en quatre générations. Chaque génération a des caractéristiques spécifiques qui la distinguent par rapport aux autres. Chaque génération est différente de l'autre en termes de la fréquence, le débit de données, le nombre maximum d'utilisateurs ... etc.

En observant la figure I.1, nous voyons une période de 10 ans entre les principales générations de technologies de communication sans fil.

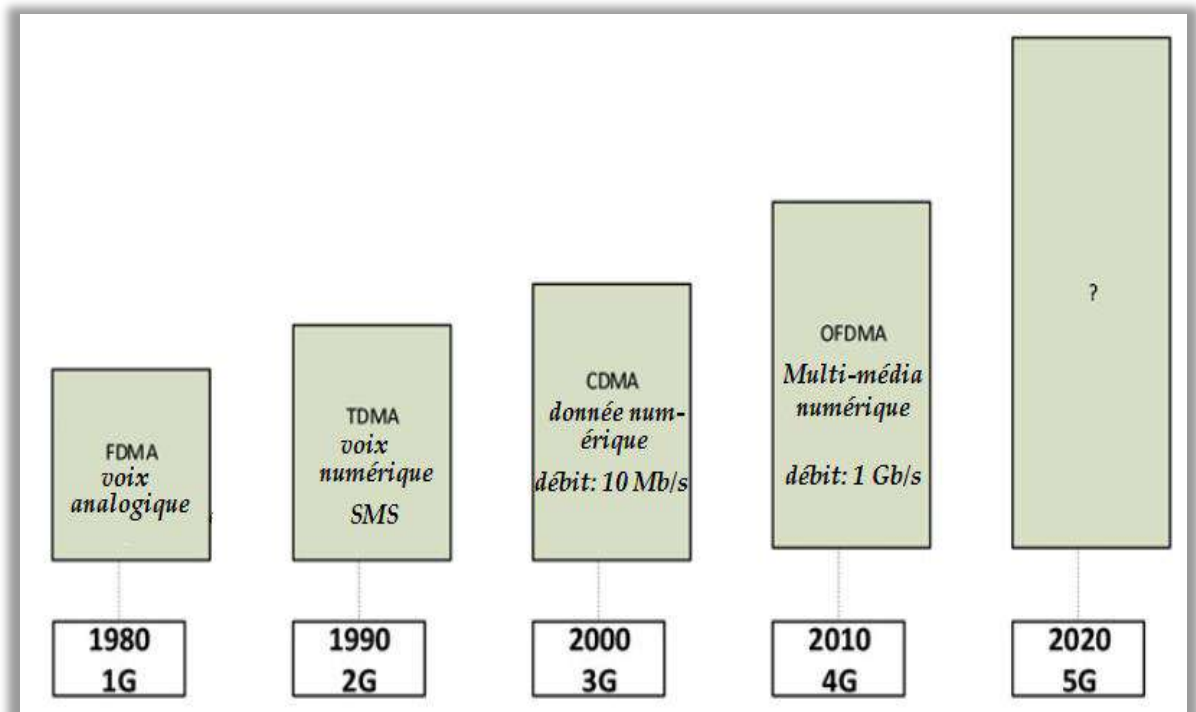


Figure I.1: Evolution des générations de réseaux mobiles.

Le tableau I.1 récapitule les caractéristiques spécifiques des différentes générations de systèmes de communication mobiles.

Tableau I. 1: Résumé des générations de communications mobiles [8].

Génération	1G	2G	3G	4G	5G
1^{ère} année de déploiement	1981	1992	2001	2010	2020
Débit de données	2 Kb/s	64 Kb/s	2 Mb/s	100 Mb/s	10 Gb/s
Fréquences	900 MHz	900 MHz et 1,8 GHz	800/900MHz 1,7 à 1,9GHz 2100 MHz	800MHz 900MHz 1800MHz 2100MHz 2600MHz	28GHz 37 GHz 39 GHz 64 –71 GHz
Description fonctionnelle générale	Téléphones cellulaires analogiques	Téléphones cellulaires numériques (GSM/CDMA)	Première bande passante mobile utilisant des protocoles IP (WCDMA 2000)	Le haut débit mobile sur un standard unifié (LTE)	Internet tactile - Améliorer le réseau de communication M2M

I.3. La 5^{ème} Génération :

La 5G (réseaux mobiles ou systèmes sans fil de 5eme génération) englobe un ensemble de technologies qui constituent la prochaine grande phase des normes de télécommunications mobiles à partir de l'évolution des normes actuelles 4G LTE (évolution à long terme). Le réseau 5G est validé par l'ITU (International Télécommunication Union) et le consortium 3GPP (3rd Génération Partner hip Project).La mise en œuvre des normes devrait entrer officiellement en

vigueur vers 2020 [9]. Il n'y a pas de définition unique de 5G [10]. Cependant, dans la définition la plus simple possible, 5G est la cinquième génération de réseaux cellulaires. C'est la prochaine étape dans la technologie mobile, ce que les téléphones et les tablettes du futur seront utilisés pour les données.

Chaque génération de réseau a une durée de vie d'environ 20 ans. Les travaux sur la 4G ont débuté en 2003 pour un lancement en 2010 et jusqu'en 2030. De son côté, la 5G est en réflexion depuis 2012, pour un lancement commercial en 2020.

Une nouvelle génération de téléphonie mobile est spécifiée principalement par deux acteurs : l'un concerne les exigences de performance technique IMT-2020 de l'UIT-R (Union internationale des télécommunications) qui s'achève en février 2017, l'autre est le rapport technique sur les scénarios et les exigences 3GPP (Projet de hanche pour les partenaires de troisième génération) qui est achevé en mars 2017 [9].

5G vise à fournir un débit de données très élevé pour un grand nombre d'utilisateurs et à prendre en charge plusieurs communications simultanément pour déployer un grand nombre de capteurs, et également améliorer l'efficacité spectrale du réseau.

I.4.Vision de 5G :

Les systèmes de communication mobiles et sans fil 5G nécessiteront un mélange de nouveaux concepts de système pour augmenter l'efficacité spectrale et énergétique. Les visions et les exigences pour les systèmes sans fil 5G sont décrites ci-dessous [11].

Tableau I. 2: Capacités et valeurs clés 5G de l'UIT-R [12].

Capacités clés	Definition	Valeurs
Débit maximal de données	Débit de données maximum atteignable par utilisateur	20 Gb/s
Taux de données expérimenté par l'utilisateur	Débit de données minimum atteignable pour un utilisateur dans un environnement réseau réel	0.1–1 Gb/s
Latence	Durée entre la transmission d'un paquet de données du nœud source et la réception réussie au nœud de destination	1 ms par voie hertzienne
Mobilité	Vitesse relative entre le récepteur et l'émetteur sous certaines conditions de performance	500 km/h
Densité de connexion	Nombre total d'appareils connectés par unité de surface	10^6 / km ²
Efficacité énergétique	Nombre de bits pouvant être transmis par joule d'énergie	100 fois comparé avec IMT – Avancé
Efficacité du spectre	Débit de données par unité de ressource spectrale par cellule (ou par unité de surface)	3–5fois comparé avec IMT – Avancé

I.4.1. Application :

Le besoin de plus de données sur les réseaux sans fil, la demande d'un service de meilleure qualité et la baisse des prix sont parmi les facteurs qui ont conduit à l'émergence de réseaux de la cinquième génération. L'un des plus grands avantages de la 5G est sa capacité à créer un réseau mondial. Ce réseau mondial repose sur l'utilisation de toutes les communications disponibles [10].

- ✚ **Agriculture** : Développe par l'utilisation de capteurs et de moteurs, par exemple, pour mesurer et relier la qualité du sol, la pluie, la température et le vent pour surveiller la croissance des cultures.
- ✚ **Véhicules** : De nombreuses applications concernent la communication sans fil intelligente, par exemple pour réguler les routes, assurer la communication entre véhicule et véhicule et éviter les accidents.
- ✚ **Santé** : comprend plusieurs améliorations mineures au complexe, comme des exercices de contrôle, capteur de la santé des consommateurs, la connectivité sans fil dans les hôpitaux, le suivi des patients, la télésanté, la chirurgie à distance, etc. [13].

La 5G va avoir sans doute de nombreuses autres applications et améliorations incroyables dans tous les domaines.







	Aujourd'hui	Transition vers la 5G	Avec la 5G
 Réseau de radio-communication mobile à large bande	Internet, audio et vidéo partout	Outils supplémentaires	Expériences réelles avec 4K, AR (réalité augmentée) et VR (réalité virtuelle)
 Mobilité, transport et logistique	Informations à la demande	Informations en temps réel, mise en réseau des véhicules	Commande autonome
 Sécurité publique	Communication de données	Transmission des plans de bâtiments, photos et vidéos	Analyse en temps réelle de vidéos en haute définition, drones
 Production	Automatisation des processus	Surveillance à distance	Télécommande et commande de robot depuis le nuage
 Energie	Appareils de mesure et réseau électrique intelligent	Gestion des ressources et automatisation	Intelligence des machines et contrôle en temps réel
 Santé	Mise en réseau des médecins et des patients	Soins en ligne: Surveillance et administration de médicaments	Opérations à distance

Figure I. 2: Evolution des applications de la 4G vers la 5G.

I.4.2.Scénarios d'utilisation :

Les scénarios d'utilisation envisagés pour les IMT à l'horizon 2020 et au-delà peuvent être globalement classés comme suit :

A- Large bande mobile améliorée (EMBB : Enhanced Mobile Broadband) :

Le haut débit (EMBB) est dédié à toutes les applications et à tous les services, ainsi que la connectivité haut débit en extérieur et en intérieur avec uniformité de qualité de service, même en bordure de cellule. Il peut fournir des capacités haut débit entre 100 et 1000 fois la capacité des systèmes mobiles pour les téléphones mobiles, la réalité virtuelle et l'optimiseur, la vidéo 3D et la vidéo HD [11].

B - Communications massives de type machine (MMTC : Massive Machine-Type Communications) :

Ce scénario fournit des connexions à très faible latence, nécessitant environ une milliseconde ou moins, avec des temps de transmission plus courts pour les services réseau avec des exigences extrêmes de disponibilité, de latence et de fiabilité maximale, par exemple. Le terme V2X pour les applications de communications et de fabrication industrielle. Ce terme comprend (V2V) pour l'échange d'informations entre les participants de la circulation en utilisant un véhicule à véhicule, (V2P) de véhicule à piéton ou de véhicule à l'infrastructure (V2I) des communications qui fournissent la sécurité du trafic, l'efficacité, la santé en ligne et la gestion des villes intelligentes (Smart City) [13].

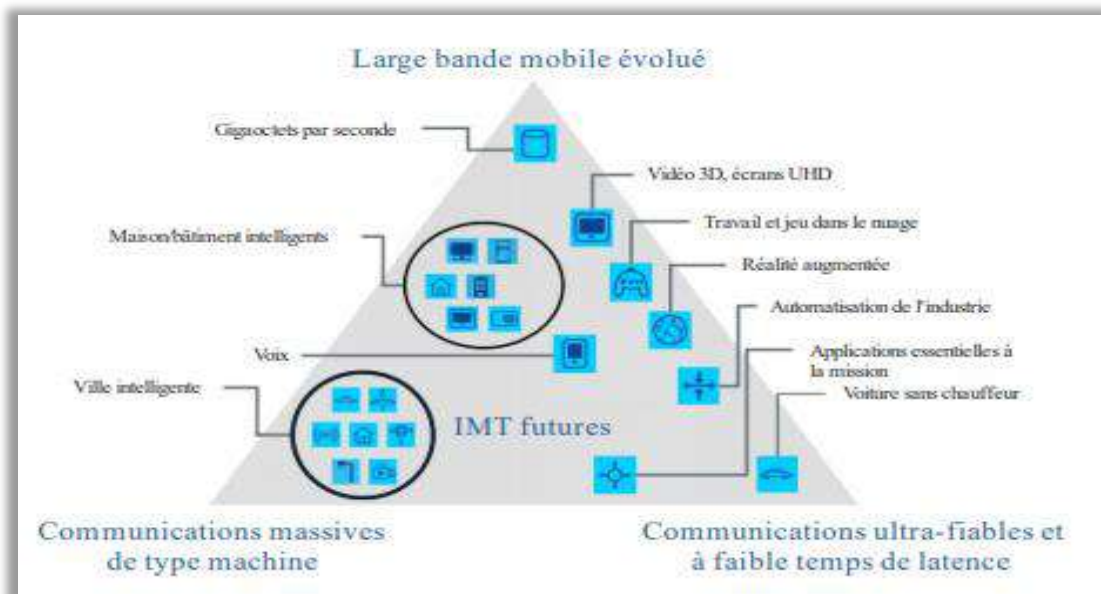


Figure I. 3: Scénarios d'utilisation des IMT pour 2020 et au-delà.

I.5. Architecture de Réseau Mobile 5G :

Les concepts 5G correspondent aux couches OSI (Open System Interconnected). Quatre couches de base sont utilisées dans 5G. Le tableau I.3 montre une comparaison entre les couches OSI et 5G [10].

Tableau I. 3: Comparaison entre les couches OSI et 5G [9,10].

Couche application	Application (services)
Couche présentation	
Couche session	Protocole de transport ouvert (OTP)
Couche de transport	
Couche réseau	Couche réseau supérieure
	Couche réseau inférieure
Couche liaison de données (MAC)	Architecture sans fil ouverte (OWA)
Couche physique	

A. Couches physiques / MAC :

Les couches de contrôle d'accès physique et d'accès au support, à savoir la couche OSI 1 et la couche OSI 2, définissent la technologie sans fil et sont représentées sur le tableau I.3. Pour ces deux couches, les réseaux mobiles 5G seront probablement basés sur Open Wireless Architecture [9].

B. Couche réseau :

La couche 2 de 5G est subdivisée en couches supérieures et inférieures, comme le montre le tableau I.3 La couche réseau de la technologie 5G correspond à la couche OSI 3, qui est la couche réseau. La couche réseau sera IP (Internet Protocol), IP version 4 (IPv4) est largement répandue dans le monde. Il présente divers problèmes, tels qu'un espace d'adressage

limité et aucune possibilité réelle de prise en charge de la qualité de service (QoS), ces problèmes sont résolus dans la version IPv6 [10].

C. Couche protocole de transport ouvert (OTA) :

La couche protocole de transport ouvert est la troisième couche de la technologie 5G, qui correspond aux couches de transport et de session du modèle OSI. Les réseaux mobiles et sans fil diffèrent des réseaux câblés en ce qui concerne la couche de transport. Dans toutes les versions du protocole TCP (Transmission Control Protocol), il est supposé que la perte de paquets est due à l'encombrement dans le réseau. Mais en raison d'un taux d'erreur binaire plus élevé dans l'interface radio, des pertes peuvent survenir dans la technologie sans fil. Par conséquent, des modifications TCP sont prévues pour les réseaux mobiles et sans fil, qui retransmettent les segments TCP endommagés uniquement sur la liaison sans fil.

Pour les terminaux mobiles 5G, il conviendra de disposer d'une couche de transport pouvant être téléchargée et installée. Ces mobiles auront la possibilité de télécharger une version ciblée sur une technologie sans fil spécifique installée dans les stations de base (BS). C'est ce qu'on appelle un protocole de transport ouvert (OTP) [9].

D. Couche application :

Cette couche est la dernière couche dans l'ordre des couches du modèle 5G et OSI. En ce qui concerne les applications, la demande ultime du terminal mobile 5G est de fournir une gestion intelligente de la qualité des services (QoS) sur une variété de réseaux.

Aujourd'hui, les utilisateurs de téléphones mobiles sélectionnent manuellement l'interface sans fil pour un service Internet particulier sans avoir la possibilité d'utiliser l'historique QoS pour sélectionner la meilleure connexion sans fil pour un service donné. Le téléphone 5G offrira la possibilité de tester la qualité du service et de stocker les informations de mesure dans les bases de données d'informations du terminal mobile [11].

I.6. Technologies Émergentes Pour réseaux 5G :

Ces dernières années, les réseaux mobiles et sans fil ont connu une croissance remarquable. La technologie 5G consiste à utiliser des téléphones mobiles dans une très large bande passante [9].

À l'heure actuelle, quelles technologies qui vont faire le plus pour la 5G à long terme ne sont pas encore claires, mais quelques favoris ont vu le jour. Les front-coureurs comprennent des ondes millimétriques, des petites cellules, des MIMO massifs, un full duplex et une formation de faisceaux...etc.

Pour comprendre la différence entre la 5G et les réseaux 4G d'aujourd'hui, il est utile de passer en revue ces technologies et d'examiner leur signification pour les utilisateurs sans fil.

I.6.1. MIMO Massive :

Les systèmes MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) massifs ou grands sont un symbole important dans les technologies 5G, communément appelées un système utilisant un grand nombre d'antennes intelligentes. Massive MIMO peut offrir les avantages suivants [14] :

- Massive MIMO peut augmenter la capacité du système de 10 fois ou plus et simultanément améliorer l'efficacité énergétique à l'ordre de 100 fois.
- Des composants peu coûteux et de faible puissance peuvent être réalisés dans le système MIMO massive.
- Massive MIMO permet une réduction significative de la latence sur l'interface air.
- Massive MIMO simplifie la couche à accès multiple.

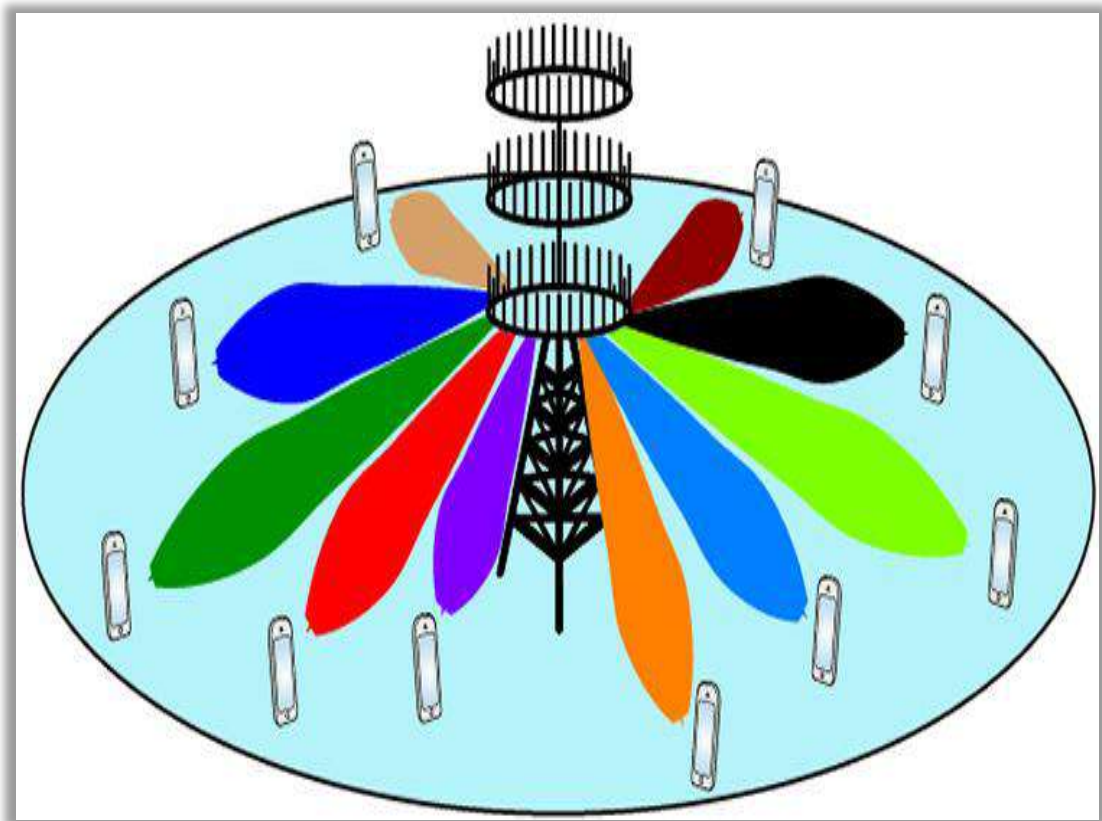


Figure I. 4: MIMO Massive.

I.6.2. Petites cellules :

Les petites cellules ou plus précisément les UDN (Ultra Dense Network) des petites cellules promettent de jouer un rôle central dans la 5G en tant que puissante réponse à la densification du réseau et au besoin d'augmentation massive de l'efficacité spectrale ou du débit binaire par unité de surface.

Les petites cellules sont également un composant essentiel des réseaux hétérogènes (Het Nets) [15]. Les estimations évoquent pour satisfaire la demande et permettre l'introduction de la 5G. Un nombre d'au moins 10 petites cellules par macro site, dans un environnement urbain où les cellules sont déjà relativement serrées, peut faire face à la densité d'utilisation.

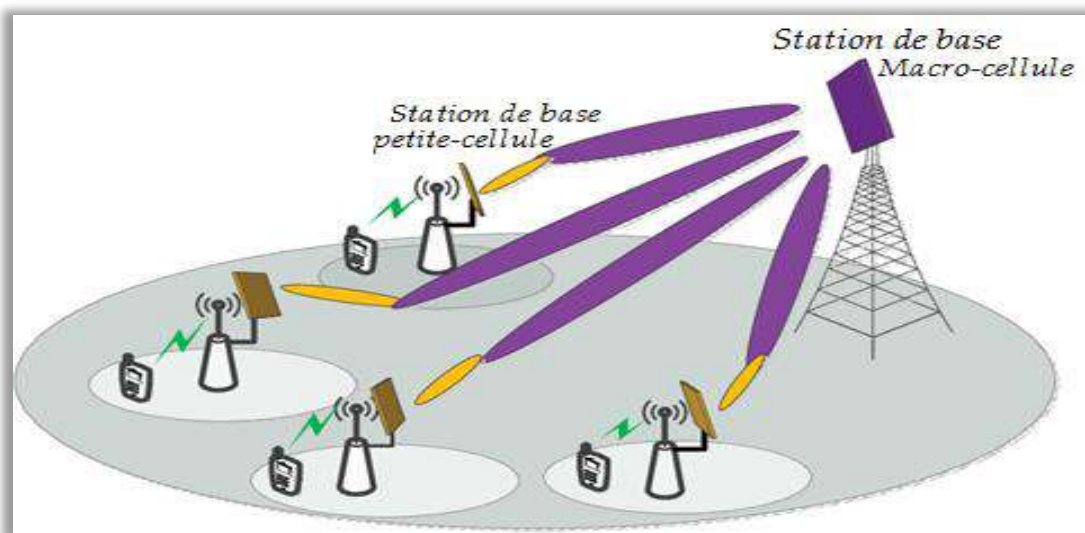


Figure I. 5: Petites cellules.

I.6.3. Un duplex plein (Full duplex) :

Le mode full-duplex a fait l'objet de tests lors de la première phase des essais 5G. D'après les premiers tests, ce mode permet la transmission et la réception simultanées des données au niveau de la station de base, avec trois niveaux de technologie en cascade, à savoir l'annulation analogique passive, l'annulation analogique active et l'annulation numérique. Les tests ont prouvé que le full-Duplex permet d'optimiser l'annulation des auto-interférences de plus de 113 dB en situation réelle, ce qui assure une augmentation de 90 % du débit du système par rapport aux modes (half-duplex) traditionnellement utilisés.

Le duplexage complet est destiné à permettre la transmission et la réception simultanées d'informations à la même fréquence, au même moment et au même endroit.

I.6.4. Formation de faisceaux (Beamforming) :

La formation de faisceaux est une sorte de technologie de prétraitement du signal basée sur le réseau d'antennes qui identifie la voie de transmission de données la plus efficace à un

utilisateur particulier ; de ce fait, un gain de réseau évident peut être obtenu, améliorant le débit, supprimant les interférences. En raison de la sélection de l'espace résultant de la formation du faisceau, il a une relation étroite avec l'accès multiple par répartition spatiale (SDMA) [10].

I.6.5. Multiplexage NOMA (accès multiple non orthogonal) :

Plusieurs utilisateurs sont couplés et partagent les mêmes ressources radio, que ce soit en temps, en fréquence ou en code [16]. Chaque terminal utilise, de manière unique, une partie des fréquences à un instant donné pour améliorer l'efficacité spectrale de la 5G.

I.6.6. Gamme millimétrique :

Le spectre des micro-ondes, qui a été utilisé pour la plupart des réseaux commerciaux, est actuellement presque entièrement occupé. Heureusement, il existe un large spectre disponible dans la gamme des ondes millimétriques. Cette partie du spectre comprend des fréquences de 30 à 300 GHz avec des longueurs d'onde de l'ordre du millimètre (de 1 à 10 mm), qui est destinée à être exploitée pour des futures communications mobiles et nombreuses applications, y compris le transfert de données à haute vitesse, l'imagerie radar, le dépistage de sécurité, l'identification de substances ainsi que beaucoup d'autres [17].

I.6.7. Internet des objets (IoT) :

L'internet des objets est axé sur la communication entre les choses, entre les choses et les personnes. Les types de services IoT sont très divers ; la maison intelligente, le réseau intelligent, la surveillance environnementale, l'agriculture intelligente et le comptage intelligent. Le réseau devra prendre en charge un nombre considérable de connexions de périphériques et de petits paquets de données. Des services comme la vidéo surveillance et la santé mobile, permettant à des centaines de milliards d'appareils de se connecter à un réseau créant un véritable "Internet of Everything" [12].

Le but donc, de l'internet des objets est effectivement de connecter non seulement les smart phones et les tablettes mais plus globalement l'ensemble des objets. Or on estime qu'il y en a environ un million au kilomètre carré.

I.6.8. Communication Device-to-Device (D2D) :

La communication D2D de périphérique à périphérique est considérée comme l'un des ingrédients clés des réseaux sans fil 5G.

En général, les avantages résultant du fonctionnement D2D comprennent, entre autres, une efficacité spectrale fortement accrue, un débit de données pour utilisateur et une capacité par zone améliorés, une couverture étendue, une latence réduite et une efficacité accrue en termes de coût et de puissance [12].

I.6.9. Prise en charge native de la communication machine-to-machine (M2M) :

La considération essentielle pour la communication M2M en 5G implique de satisfaire trois exigences fondamentalement différentes associées à différentes classes de services à bas débit : un nombre important d'appareils connectés, une fiabilité de liaison très élevée, une faible latence et un fonctionnement en temps réel [18].

I.6.10. Software Defined Network (SDN) :

L'approche SDN dispose d'une entité logiquement centralisée, appelée Controller, qui gère le plan de données réseau sous-jacent en utilisant une API service orientée qui lui permet de configurer les tables de transfert des équipements réseau (commutateurs par exemple) afin de réagir aux paquets entrants et aux flux [15]. Le SDN facilite la configuration, la mise à l'échelle et la gestion de l'infrastructure déployée de réseau [11].

I.6.11. Network Function Virtualisation (NFV) :

Le NFV est le complémentaire du SDN. Il promet d'importantes économies de coûts, de flexibilité et de facilité dans le déploiement de l'infrastructure réseau. Le NFV s'appuie sur l'infrastructure de centre de données qui alimente d'une manière très efficace de nombreux services d'applications Internet, tels que Google et Amazon [11].

I.6.12. CloudRAN (C-RAN) :

Le C-RAN est aussi connu sous le nom de RAN central. C'est une évolution en SDN. L'architecture de C-RAN décompose la station de base traditionnelle en deux entités ; des têtes radio distantes placées sur les sites cellulaires et des unités de traitement bande de base (BBU) mises en communs dans un pool centralisé. Les deux entités sont liées au moyen d'un réseau de fibre optique (Fibre Radio).

Cette nouvelle technologie permet d'augmenter la capacité et la couverture de réseau. Elle permet également une gestion globale des ressources, une gestion efficace des interférences et une meilleure utilisation de la technologie d'accès radio (RAT).

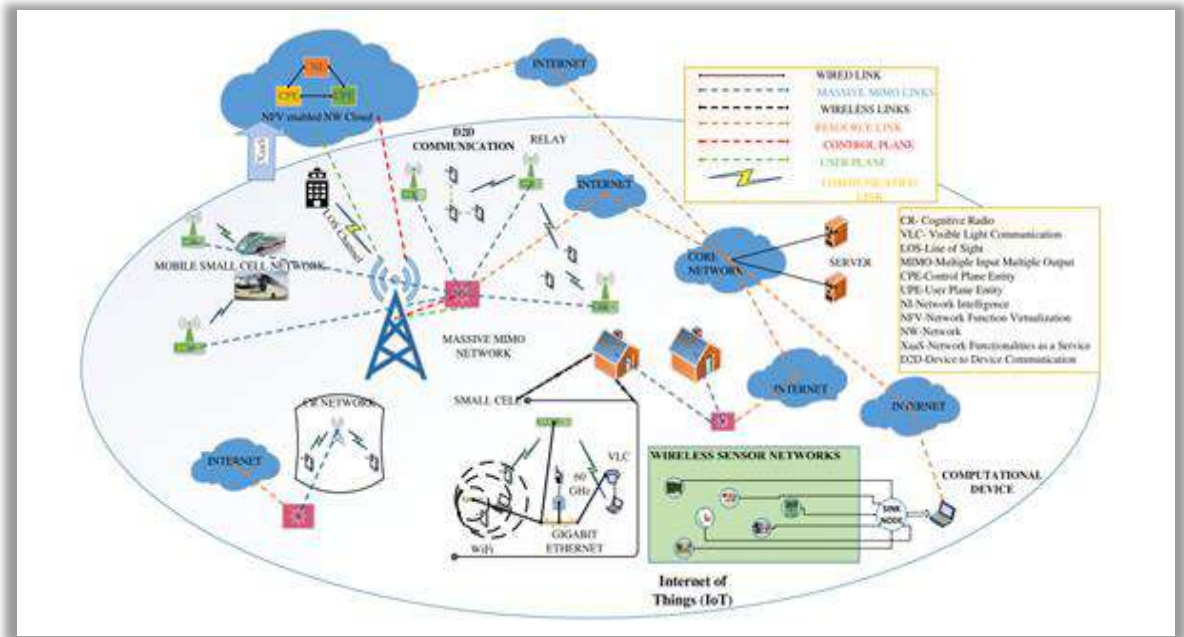


Figure I. 6: Une architecture générale de réseau cellulaire 5G.

I.7. Conclusion :

Comme nous l'avons vu dans le présent chapitre, l'intégration des réseaux de la 5G est très prometteuse pour un monde plus intelligent, plus sain, et plus confortable grâce à l'application de technologies et d'outils de pointe et de mises à jour à tous les niveaux.

Certaines tendances typiques sont résumées comme suit :

- ✓ Croissance explosive du trafic de données : il y aura une croissance énorme du trafic. Le trafic mondial de données augmentera de plus de 200 fois entre 2010 et 2020 et d'environ 20 000 fois entre 2010 et 2030.
- ✓ 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.
- ✓ 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.



Chapitre II : Les Antennes Imprimées Et La Bande Millimétrique

II.1. Introduction :

La bande millimétrique est d'autant plus utilisée dans les communications sans-fil vu, d'une part, sa faible sensibilité aux réflexions et aux réfractions par rapport aux autres bandes de fréquences et, d'autre part, sa très grande largeur de la bande de fréquence. La disponibilité d'une bande de fréquence [3 - 60] GHz constitue une motivation évidente pour son choix qui se traduit par un transfert élevé de données (de l'ordre de Gb/s).

Dans ce chapitre, nous présentons en premier lieu, les différents types d'antennes utilisées dans le domaine de télécommunications, leurs descriptions, leurs mécanismes de fonctionnement ainsi que leurs avantages et inconvénients. En deuxième lieu, nous donnons les aspects généraux des particularités de la bande millimétrique du spectre radioélectrique. Quelques recherches sur la bande de 28 GHz et sur les réseaux d'antennes associés à la fréquence correspondante aux ondes millimétriques sont également présentées.

II.2. Définition d'une Antenne :

Une antenne est un dispositif qui permet de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique en émission et vice versa en réception afin d'assurer la transmission sans fil de l'information. On peut qualifier les antennes comme des adaptateurs d'impédances entre l'espace et l'émetteur ou le récepteur [19].

II.3. Paramètres Caractéristiques d'une Antennes :

Une antenne est caractérisée par différents paramètres qu'on peut classer soit en caractéristiques électriques, soit en caractéristiques de rayonnement.

II.3.1. Impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée est définie comme étant l'impédance présentée par une antenne à ses bornes ; elle est égale au rapport de la tension V_e sur le courant I_e présenté à l'entrée [20] :

$$Z = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (\text{II.1})$$

II.3.2. Coefficient de réflexion :

Le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet de quantifier la quantité du signal réfléchi par rapport au signal incident [20], Généralement ce coefficient Γ est lié à l'impédance d'entrée de l'antenne Z_e et l'impédance caractéristique Z_c par la relation :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \quad (\text{II.2})$$

Signalons qu'on peut représenter Γ sous forme de paramètre S en dB tel que :

$$S_{11(db)} = 20 \log(\Gamma) \quad (\text{II.3})$$

II.3.3. Rapport d'onde stationnaire (ROS) :

Le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS) ou, en anglais, VSWR pour Voltage Standing Wave Ratio tout comme le coefficient de réflexion traduit l'adaptation ou la désadaptation d'impédance entre deux éléments. Lorsque l'adaptation n'est pas parfaite, la partie de l'onde réfléchie se superpose à l'onde incidente pour ne former qu'une seule onde, appelée onde stationnaire. Il se définit comme le rapport des valeurs maximales (+V) et minimales (-V) de l'amplitude de l'onde stationnaire, il est donné par la relation suivante [21] :

$$ROS = \frac{(+v) + (-v)}{(+v) - (-v)} \quad (\text{II.4})$$

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

$$ROS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (\text{II.5})$$

II.3.4. Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace [19].

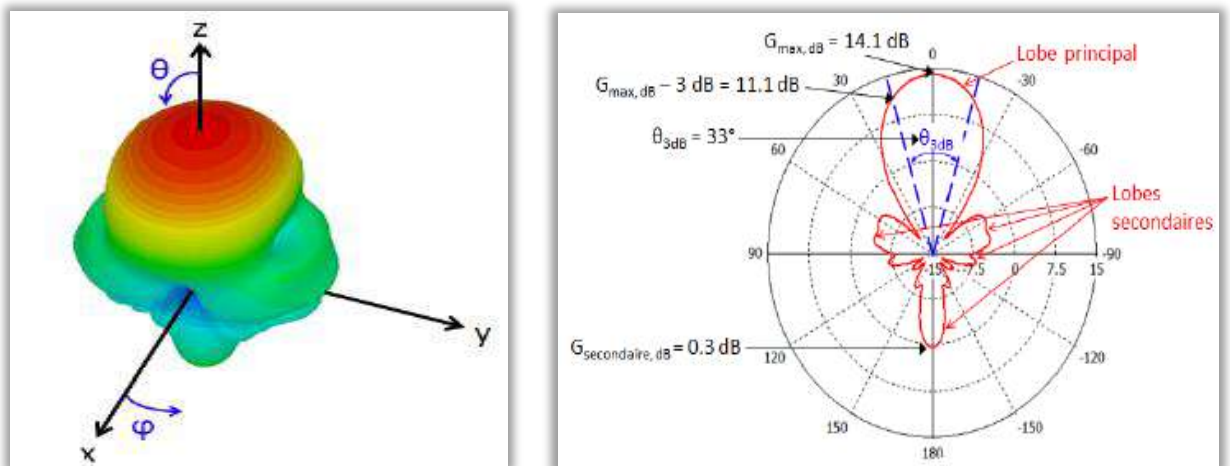


Figure II. 1: Exemple d'un diagramme de rayonnement en 3D, et diagramme dans le plan YoZ (gain en dB).

Il est donné par la relation suivante :

$$r(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{p(\theta_0, \varphi_0)} \quad (\text{II.6})$$

II.3.5. Directivité :

La directivité est le rapport de la puissance émise dans la direction maximum sur toute sa répartition spatiale. On dira donc qu'une antenne fortement directive quand l'antenne admet une faible ouverture de rayonnement, et qu'une antenne faiblement directive admet une large ouverture de rayonnement [20].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P} \quad (\text{II.7})$$

Ou : U est l'intensité de rayonnement de l'antenne, et P est la puissance totale rayonnée

II.3.6. Gain :

Le gain est une quantité descriptive de la performance d'une antenne. Le gain d'une antenne isotrope est pris comme une référence unité (0 dB). Le gain d'une antenne dans une direction donnée est le rapport de l'intensité de rayonnement et de celle d'une antenne isotrope [21].

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \left(\frac{U(\theta, \varphi)}{\text{source Isotropique sans perte}} \right) \quad (\text{II.8})$$

II.3.7. Fréquence de résonance et bande passante :

La bande passante de l'antenne détermine la bande de fréquences où le coefficient de réflexion est inférieur au seuil arbitrairement défini. La bande passante est généralement proportionnelle à la bande de fréquence avec un facteur de réflexion inférieur à -10 dB. Dans certaines applications, ce niveau peut être augmenté à -6 dB, ce qui permet certaines limitations dans la conception de l'antenne, par exemple, pour certaines antennes mobiles.

La fréquence de résonance, correspond à la fréquence pour laquelle l'antenne est la mieux adaptée, c'est-à-dire pour laquelle le coefficient de réflexion est le plus faible. Sur une bande passante donnée, il est possible d'observer plusieurs minimas donc plusieurs fréquences de résonance [22].

La bande passante est définie par la formule suivante :

$$BP = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \quad (\text{II.9})$$

Avec f_2 la fréquence maximale et f_1 la fréquence minimale entre lesquelles le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB (voire -6dB) et f_c la fréquence centrale [23].

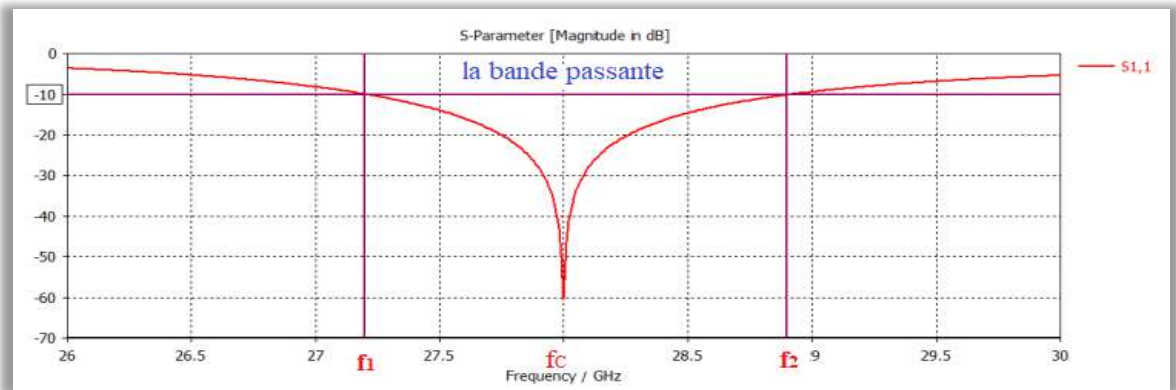


Figure II. 2: Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne.

II.4. Antennes Imprimée :

Une antenne imprimée est généralement constituée d'un plan de masse, d'une ou plusieurs couches de substrat qui sont de permittivités égales ou différentes. Sur la surface, on a un élément rayonnant de géométrie quelconque appelé Patch. Il existe plusieurs modes d'alimentations ou d'excitations qui permettent d'avoir des diagrammes de rayonnements en polarisations linéaires ou circulaires [24,25].

II.4.1. Structure d'une antenne imprimée :

L'antenne imprimée qui porte aussi l'appellation Microstrip, micro-ruban, ou encore patch est une antenne plane dont l'élément rayonnant est une surface conductrice, séparée d'un plan réflecteur conducteur par une lame diélectrique. Ce type d'antennes est caractérisé par une bonne directivité avec un rayonnement maximal dans la direction perpendiculaire à l'antenne [21].

La figure suivante, montre une simple géométrie de l'antenne imprimée avec ses éléments constitutifs.

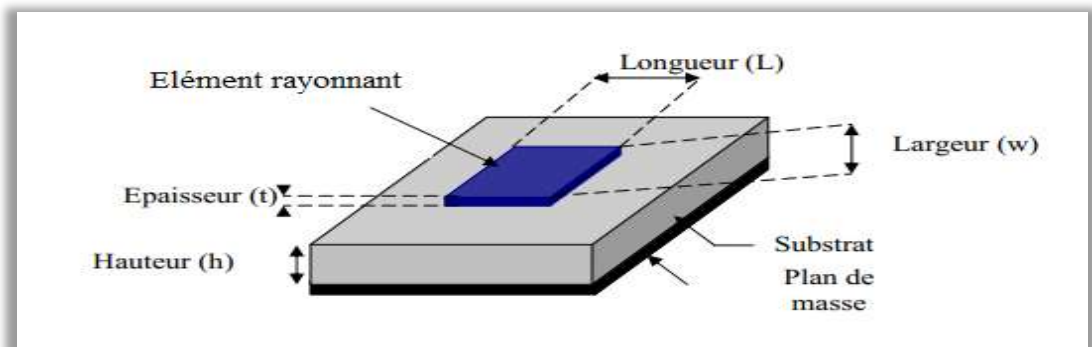


Figure II. 3: Structure d'une antenne imprimée [20].

L'élément rayonnant de l'antenne imprimée peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, triangulaire, circulaire, ...etc. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, et également un diagramme de rayonnement très intéressant. La figure ci-dessous illustre les formes des éléments rayonnants les plus utilisées.

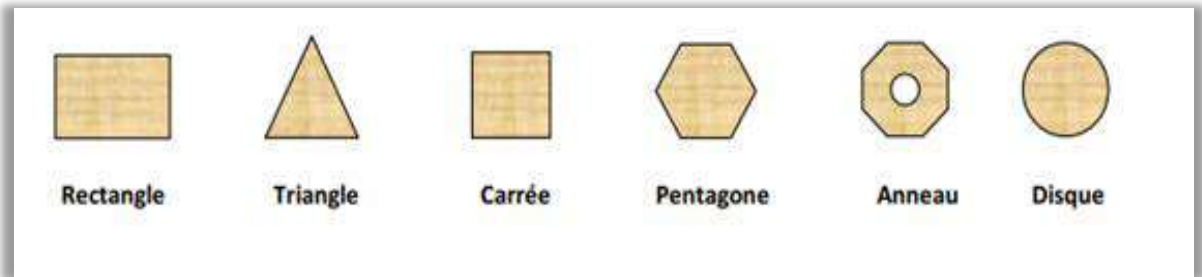


Figure II. 4: Différentes forme des éléments rayonnants [24].

II.4.2. Avantages et inconvénients de l'antenne patch :

Les principaux avantages et inconvénients de l'antenne patch sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II. 1: Les avantages et inconvénients de l'antenne patch [26].

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Poids et volume réduits ✚ Faible coût et robustesse (monté sur des surfaces rigides) ✚ Polyvalence (fréquence, polarisation, diagrammes, ...) ✚ IL est facile d'être intégré aux circuits intégrés micro-ondes. ✚ Adaptable aux surfaces courbes 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Ils nécessitent des substrats de qualité avec des valeurs comprises entre : $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ ✚ Foible puissance ✚ L'impédance d'entrée est difficile à calculer et à ajuster ✚ Réduction de l'efficacité des correctifs (pertes dans le réseau électrique)

II.4.3. Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch:

Pour mieux comprendre le mécanisme de rayonnement des antennes imprimées, la littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie de l'optique [21]. Considérons la figure II.5 :

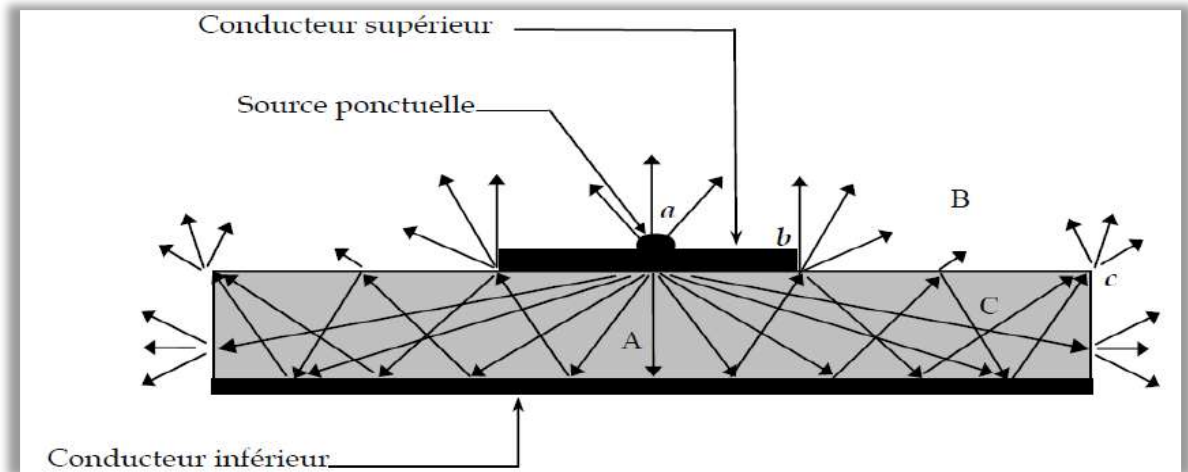


Figure II. 5: Analogie optique du mécanisme de rayonnement [27].

La source ponctuelle placée en (a) émet un rayonnement uniforme dans toutes les directions. Une partie de ce dernier est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. Certains de ces rayons aboutissent sur l'arête du conducteur (b), qui les diffracte et par conséquent le champ se décompose en deux composantes normale et tangentielle par rapport au plan de masse.

On peut donc envisager trois régions :

La région A : est la plus dense en rayons, le champ électromagnétique s'accumule plus fortement dans cette zone de l'espace. Cette propriété est d'ailleurs utilisée pour la propagation le long des lignes micro-rubans.

La région B (espace libre) : occupant tout le demi-espace supérieur à l'antenne, représente une zone où le champ se disperse librement dans l'air et vient s'ajouter au rayonnement propre de la source.

La région C : certains rayons atteignent les surfaces de séparation avec une incidence rasante, et restent piégés dans le diélectrique.

II.4.4. Techniques d'alimentation des antennes patch :

L'alimentation de l'antenne imprimée dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif. Les principales techniques d'alimentations sont :

A) - Méthode de couplage directe:

Avantages: Facilité de fabrication et de modélisation.

Inconvénients: Le couplage entre le patch et la ligne produit des niveaux élevés de radiation dans les champs polarisés croisés et induits.

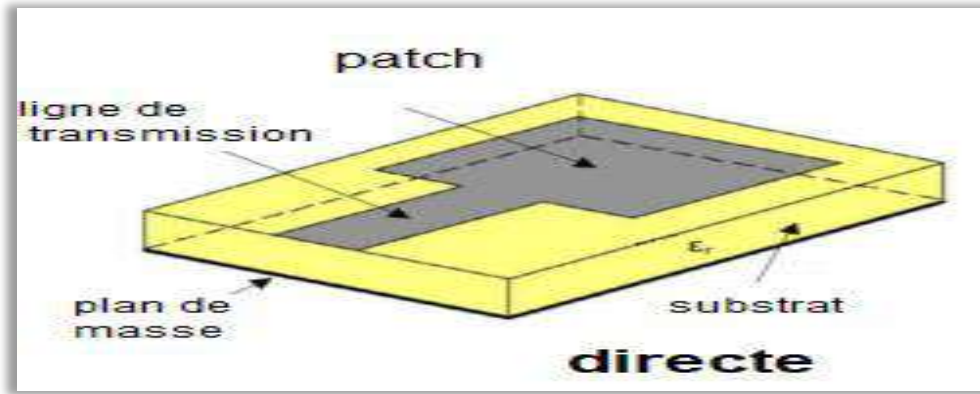


Figure II. 6 : Alimentation par une ligne micro ruban.

B) - Méthode de sonde coaxiale :

Avantages : Facile à construire et posséder un faible niveau de rayonnements parasites.

Inconvénients : La bande passante réduite est obtenue, et Modélisation difficile.

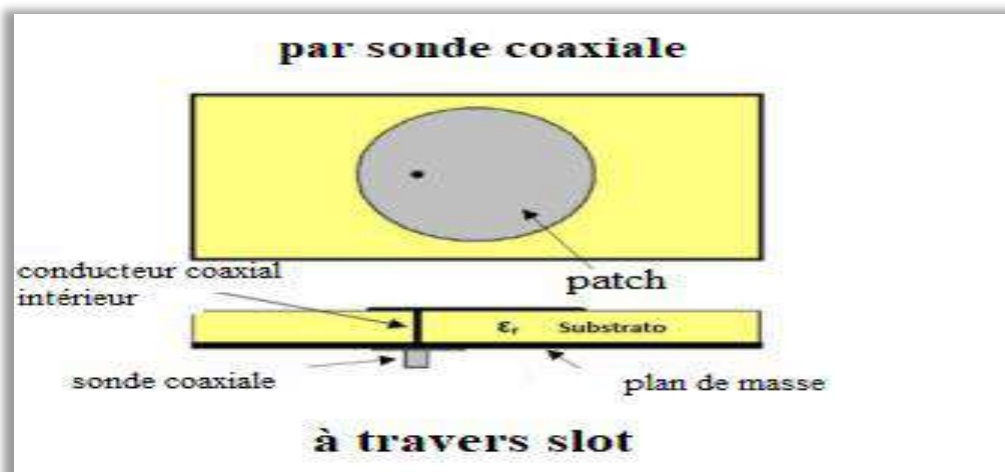


Figure II. 7: Alimentation par sonde coaxiale.

C)- Méthode de couplage électromagnétique :

Avantages : Faible rayonnement parasite, et très utile quand il s'agit de construire des réseaux d'antennes.

Inconvénients : Fabrication difficile.

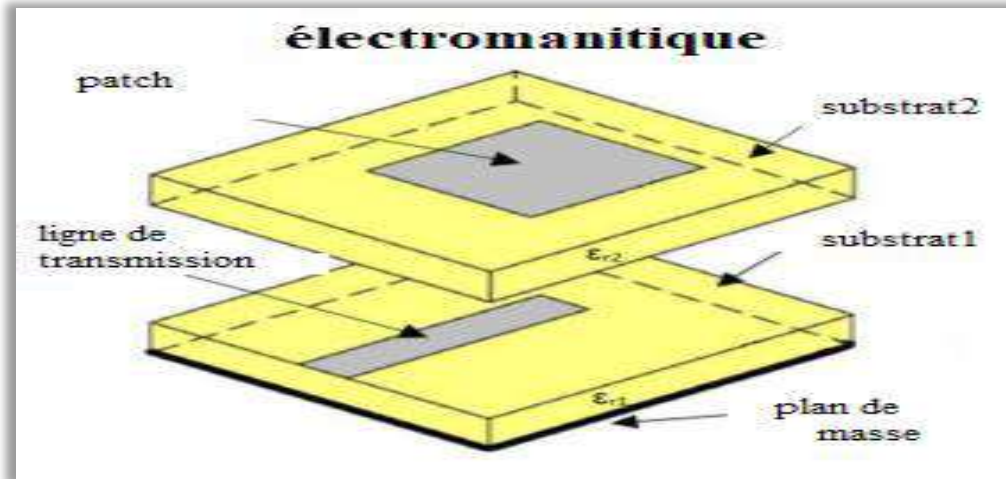


Figure II. 8: Alimentation par couplage électromagnétique.

D)- Méthode de couplage par fente :

Avantages : Modélisation facile, et très faible niveau de rayonnement parasite.

Inconvénients : Fabrication difficile.

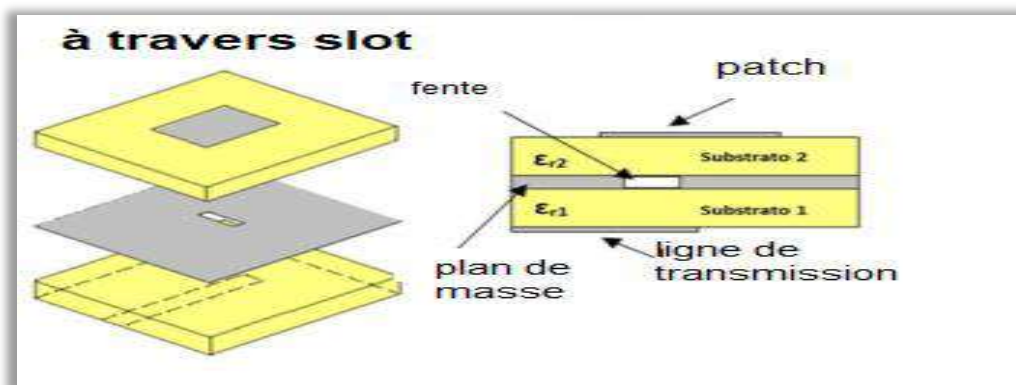


Figure II. 9: Alimentation par couplage fente.

II.5. Réseau D'antennes Imprimées :

L'utilisation d'une antenne imprimée à patch unique s'avère souvent insuffisante pour répondre aux contraintes de rayonnement imposées. Des caractéristiques spécifiques comme un gain élevé ou un lobe principal conformé ne peuvent généralement être obtenus que par le regroupement de plusieurs sources rayonnantes pour former un système appelé réseau d'antennes [25,28]. L'avantage de l'assemblage de plusieurs antennes primaires permet donc d'obtenir des rayonnements hautement dirigés, En fonction du nombre et de la nature des éléments, de la forme de leur alimentation électrique ainsi que de leur disposition technique dans le réseau.

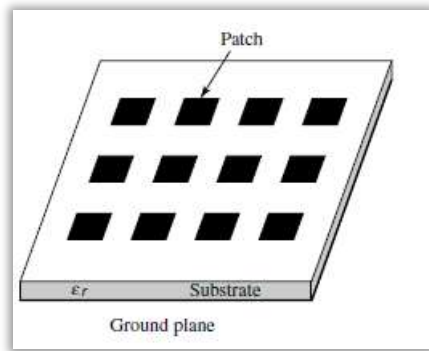
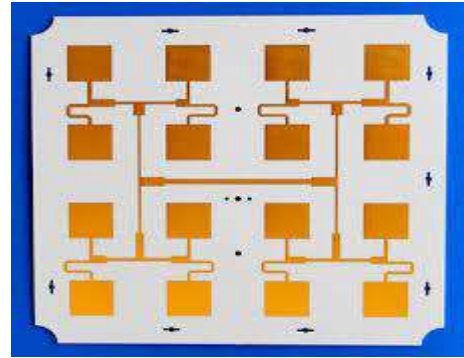


Figure II.10 : Géométrie d'un réseau antenne patch 4x4.

Figure II.11 : Réseau antenne patch réel 4x4
(extrait de [29]).

II.5.1. La Configuration de réseau d'antenne patch :

L'utilisation d'une antenne imprimée unitaire est insuffisante pour répondre aux contraintes de rayonnement imposé, pour améliorer les performances de ces antennes, on associe plusieurs éléments rayonnants pour former un système appelé réseau, permettant de compenser les limitations des caractéristiques d'une antenne seule et jouer sur de nombreux facteurs tels que l'espacement et la phase des patchs et la taille du plan de masse, pour avoir un gain plus élevé et un lobe principal conforme.

La figure II. (8.9.10.11) (a, b, c, d) montre quatre configurations de réseaux d'antennes possibles qui sont : réseaux linéaires, réseaux planaires et réseaux circulaires, réseaux tridimensionnelle [30].

- ❖ **Antenne en réseau linéaire** : les éléments rayonnants sont placés l'un après l'autre par des déplacements parallèles sur une même droite.
- ❖ **Antenne en réseau circulaire** : antenne constituée d'un groupement d'éléments rayonnants identiques dans lesquels chaque ensemble de points est placé sur un cercle [31].
- ❖ **Antenne en réseau plan** : les éléments rayonnants se déduisent l'un de l'autre par des translations parallèles à un même plan.
- ❖ **Antenne en réseau tridimensionnelle** : Pour obtenir la forme du faisceau dans tout l'espace et tous les directions, une configuration cubique ou sphérique est requise, c'est-à-dire une configuration tridimensionnelle.

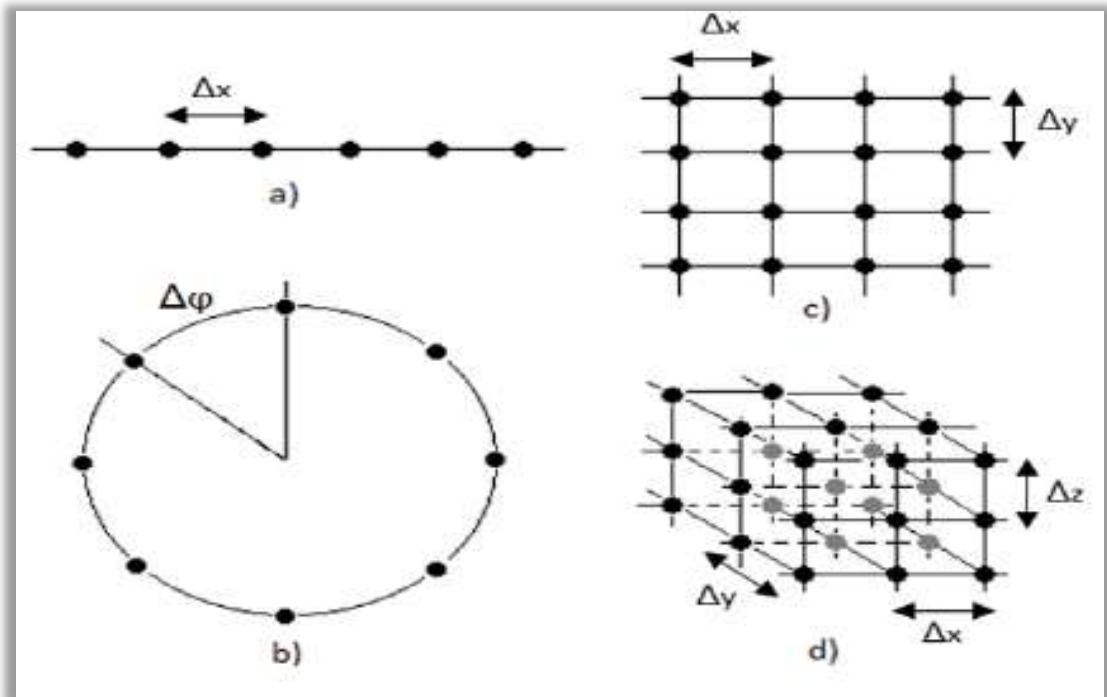


Figure II. 12: Différentes configurations de réseaux d'antennes : (a) : linéaire, (b) : circulaire, (c) : planaire, (d) : tridimensionnelle [26].

II.5.2. Configuration de l'alimentation de réseau d'antennes :

Le bon choix de configuration dépend de nombreux facteurs, tels que la bande passante, le gain d'antenne requis, la perte d'insertion, l'angle du faisceau, le niveau du réseau / lobe latéral, la capacité de gestion de l'alimentation et la polarisation.

II.5.2.1. Alimentation série :

Les éléments multiples sont disposés linéairement et alimentés en série par une seule ligne de transmission constituée d'une configuration d'alimentation en série (figure II.13), la perte d'insertion est la plus faible, mais la moins polarisée et la bande passante la plus étroite, une largeur de bande de 1% [8].

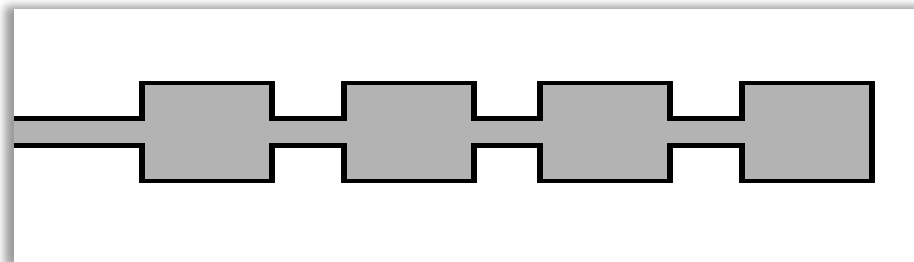


Figure II. 13: Alimentation série de réseau d'antennes [29].

II.5.2.2. Alimentation parallèle :

La configuration de base de l'alimentation parallèle est unidimensionnelle à partir d'un réseau de dérivation de diviseurs de puissance bidirectionnels, comme illustré à la figure II.10. L'alimentation conjointe est la plus couramment utilisée pour l'alimentation à large bande parallèle, peut atteindre une largeur de bande de 15% ou plus. La puissance est répartie également à chaque liaison, et la position du faisceau est indépendante de la fréquence à condition que les distances entre le port d'entrée et chaque radiateur identique [8].

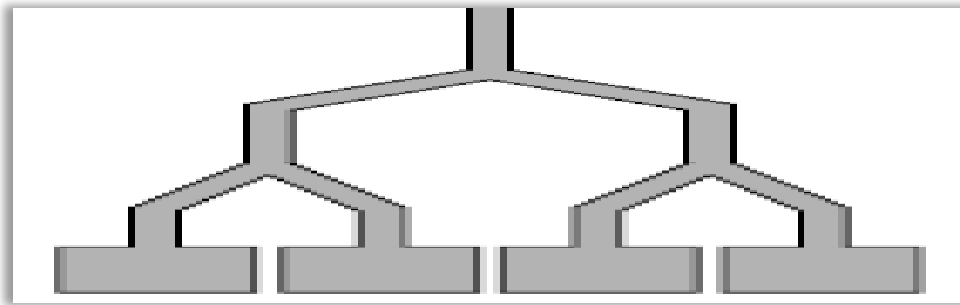


Figure II. 14: Alimentation parallèle de réseau d'antennes [29].

II.6. La Bande Millimétrique :

Les ondes radio millimétriques sont le candidat prometteur et pratique pour les réseaux cellulaires 5G à l'avenir. Le spectre des ondes millimétriques inclut des fréquences de 30 GHz à 300 GHz qui correspondent à une longueur d'onde dans l'ordre du millimètre (de 1mm à 1 cm).

En général, le spectre des ondes millimétriques sans licence offre les avantages suivants [28] :

- La distribution des fréquences en GHz est généralement dans la plupart des régions du monde.
- Beaucoup d'énergie radioactive efficace.
- Spectre propre, pas d'occupants.
- Aucun signal d'onde n'est largement distribué dans les environnements intérieurs et extérieurs, il y a donc moins de risque d'interférences.
- Une fréquence élevée avec une petite longueur d'onde permet d'utiliser des petites antennes à gain élevé.

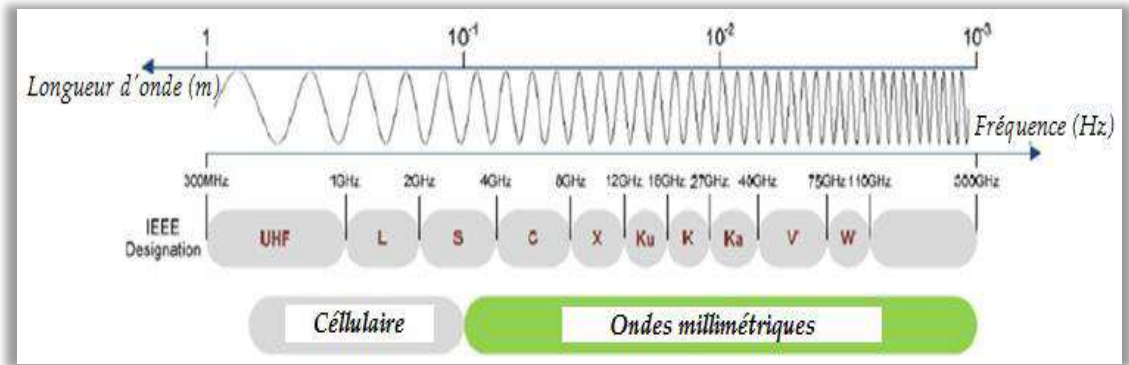


Figure II. 15 : Micro-ondes et spectre de fréquences ondes millimétriques [28].

II.6.1. Pourquoi la bande 28GHz :

Le spectre à large bande du service de distribution multipoint local LMDS (Local Multipoint Distribution Service) inutilisé ou sous-utilisé existe à 28 GHz, dans la bande Ka (27-40 GHz) et étant donné la faible absorption atmosphérique, le spectre à 28 GHz a une perte de trajet dans l'espace libre très comparable à celle des bandes cellulaires actuelles de 1 à 2 GHz. En outre, l'affaiblissement dû à la pluie et la perte d'oxygène n'augmentent pas significativement à 28 GHz et, en fait, peuvent offrir de meilleures conditions de propagation par rapport aux réseaux cellulaires actuels si l'on considère la disponibilité d'antennes adaptatives à gain élevé et la taille des cellules de l'ordre de 200 mètres. Comme le montre la figure II.16, l'absorption atmosphérique à 28 GHz est négligeable (0,06 dB / km) [32].

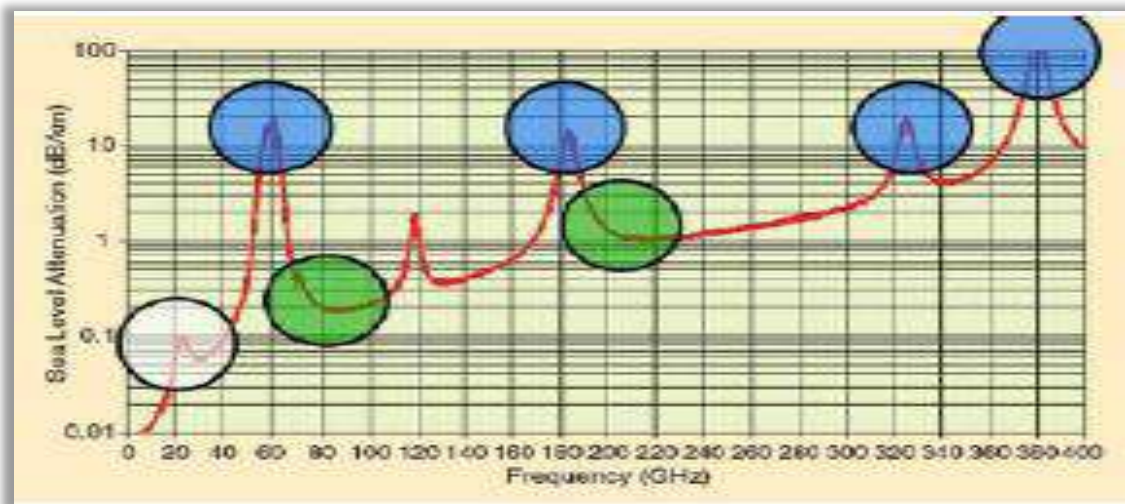


Figure II. 16: Absorption atmosphérique sur les fréquences millimétriques (en dB / Km) [32].

II.6.2. Antennes patch dans la bande millimétrique :

Les antennes patch ont attiré beaucoup d'attention ces dernières années pour les applications d'ondes millimétriques en raison de leur faible coût, de leur facilité de fabrication et de leur grande efficacité. Une petite longueur d'onde aux fréquences des ondes est un

avantage dans la conception de petites antennes efficaces. La taille de l'antenne est déterminée par les lois de la physique pour un rayonnement efficace, la taille de l'antenne doit être inférieure ou égale à la moitié de la longueur d'onde, pour la gamme ($f = 30$ à 300 GHz) et une longueur d'onde ($\lambda = 10$ - 1 mm), il est possible de construire des petites antennes physiquement et en même temps être suffisamment grandes afin de rayonner électriquement d'une manière efficace. Cependant, les fréquences aux longueurs d'onde sont généralement plus élevées que les basses fréquences, le concepteur d'antenne doit concevoir l'antenne avec soin et sélectionner le substrat approprié pour minimiser les pertes et atteindre une efficacité de rayonnement élevée [33].

II.7. Conclusion :

L'utilisation de la bande millimétrique 5G est une solution appropriée pour répondre aux exigences de cette technologie future. L'utilisation appropriée de cette partie du spectre nécessite des réseaux de traitement de grande valeur, à partir de 30 GHz ou plus.

Cette recherche est dédiée à la création de réseaux d'antennes dans la bande des 28 GHz pour le téléphone mobile de cinquième génération.

A decorative graphic of a scroll with a green border and grey circular accents at the corners. The text is centered within the scroll.

Chapitre III :

Simulation et Résultats

III.1. Introduction :

La technologie de la cinquième génération (5G) a des exigences spéciales parmi lesquelles ses antennes doivent avoir une largeur de bande supérieure à 1GHz et atteindre un gain élevé allant jusqu'à 12dB pour une productivité élevée. L'utilisation de la bande millimétrique dans la 5G est une solution appropriée pour répondre aux exigences de cette technologie de future.

Dans ce chapitre, pour la première étape, nous commencerons par l'étude de la première antenne qui est une antenne imprimée à patch unique. Nous mettrons l'accent sur la conception en se basant sur une petite taille à une fréquence de résonance de 28GHz. Ensuite, nous allons faire une simulation pour trouver des paramètres internes (paramètres S..., bande passante) et des caractéristiques externes (gain, directivité et modèle de rayonnement) en utilisant le logiciel CST Microwave Studio. Pour augmenter le gain total de l'antenne et avoir une bande passante plus large et en profitant de la fonctionnalité de la superposition de rayonnement de plusieurs éléments rayonnants dans une même direction, nous suggérons la deuxième étape, qui est la plus importante afin de concevoir un réseau d'antennes regroupant des patches identiques à notre première antenne patch proposée à la première étape.

III.2. Description du Logiciel de Simulation CST :

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passives en 3 dimensions basée sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales finies (Finité Intégration Technique) .Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3 dimensions de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle [34].

III.3. Conception et Simulation du Réseau d'antennes pour la Bande des 28 GHz :

Le développement et la simulation de réseaux d'antennes pour la bande des 28 GHz peuvent être divisés en deux aspects généraux :

1. Conception d'une antenne résonante à 28 GHz.
2. Mise en place de réseaux d'antennes pour la bande des 28 GHz à partir de l'élément antennaire précédemment conçu.

Chacun de ces aspects à ses propres caractéristiques et, en même temps, ils doivent être décomposés en autres étapes de conception. Ces aspects sont développés aux annexes (1-18) respectivement.

III.3.1. Conception de l'antenne patch résonante à 28 GHz :

III.3.1.1. Structure de l'antenne :

La structure de l'antenne proposée comme, et montre la figure III. 1, présente deux fentes en forme de U gravées sur un patch rectangulaire. Le plan inférieur est le plan de masse sont composés avec un matériau PEC (Perfect electric conductor). Le substrat de l'antenne est un RT / Duroid5880 de Rogers, qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 2.2$ et une tangente de perte diélectrique, $\tan \delta = 0,0009$. Nous avons pris l'idée de l'antenne que nous avons étudiée dans [35].

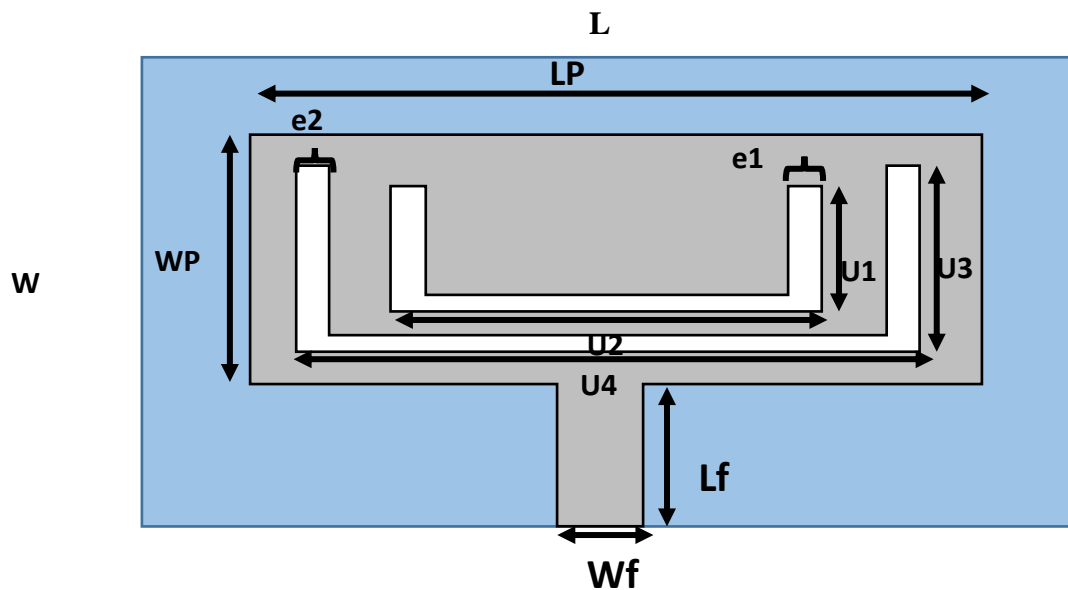


Figure III. 1: Un patch rectangulaire avec deux fentes en forme de U.

Les dimensions de l'antenne à simuler sont illustrées par le tableau III.1.

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

Paramètres	Description	Valeur (mm)	Paramètres	Description	Valeur (mm)
L	Longueur du substrat et du plan de masse	12	L_f	Longueur de la ligne	4
W	Largeur du substrat et du plan de masse	12	W_f	Largeur de la ligne	0.78
h_{pm}	Epaisseur de plan de masse	0.017	$e_1=e_2$	Epaisseur de slot U1 et U2	0.30
h_s	Epaisseur de substrat	0.508	U_1	Longueur du U1	1.85
L_p	Longueur du patch	6	U_2	Largeur de U1	3.50
W_p	Largeur de patch	4	U_3	Longueur du U2	3.60
h_p	Epaisseur de patch	0.017	U_4	Largeur du U2	5.40

Comme la fréquence de fonctionnement est élevée, il doit être conçu avec une structure simple ; donc, le patch est alimenté par une ligne micro ruban avec une impédance d'entrée de 75Ω , sa largeur est de $W_f = 0,78\text{mm}$.

III.3.1.2. Conception de 'alimentation :

L'impédance de cette antenne calculée en utilisant (III.1) [29] :

$$h_s = \frac{W_f}{\frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} Z_0} - 2 \quad (\text{III.1})$$

Alors

$$W_f = \left(\frac{377}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} - 2 \right) h_s \quad (\text{III.2})$$

Ou

W_f : Largeur de la ligne à partir de l'alimentation.

ϵ_r : Constante diélectrique de la surface diélectrique couvrant le plan de masse.

Z_0 : Impédance caractéristique de la ligne de transmission d'entrée.

III.3.1.3. Résultats et discussions :

En utilisant les paramètres mentionnés ci-dessus, il est possible de simuler des paramètres S et même le diagramme de directivité tridimensionnel du patch à élément unique via CST MWS. Les résultats de simulation pour les valeurs S11, les diagrammes de directivité 3D, et le VSWR sont illustrés sur les figure III.2 jusqu' à figure III.7.

III.3.1.3.1. Coefficient de réflexion (S_{11}) :

Le paramètre de dispersion (S_{11}) de l'antenne patch présente un comportement adéquat, comme le montre la figure III.2. L'antenne résonne à 28,5 GHz, répondant ainsi à cette exigence de conception.

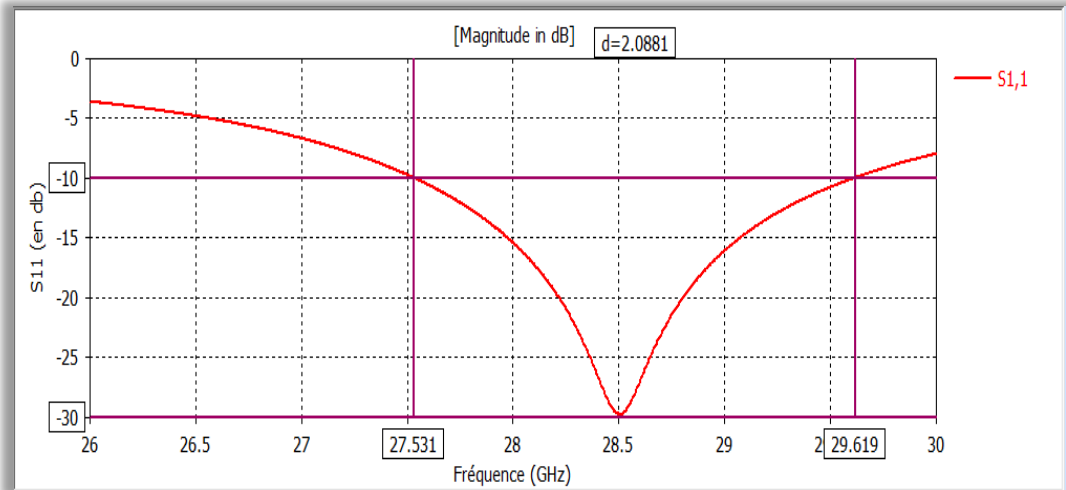


Figure III. 2: Variation de S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence.

On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 2.088 GHz autour de la fréquence de résonance (28.5GHz) dans l'intervalle (27.531 - 29.619) GHz.

III.3.1.3.2.Taux d'onde stationnaire (VSWR) :

La figure III.3 montre variation du VSWR.

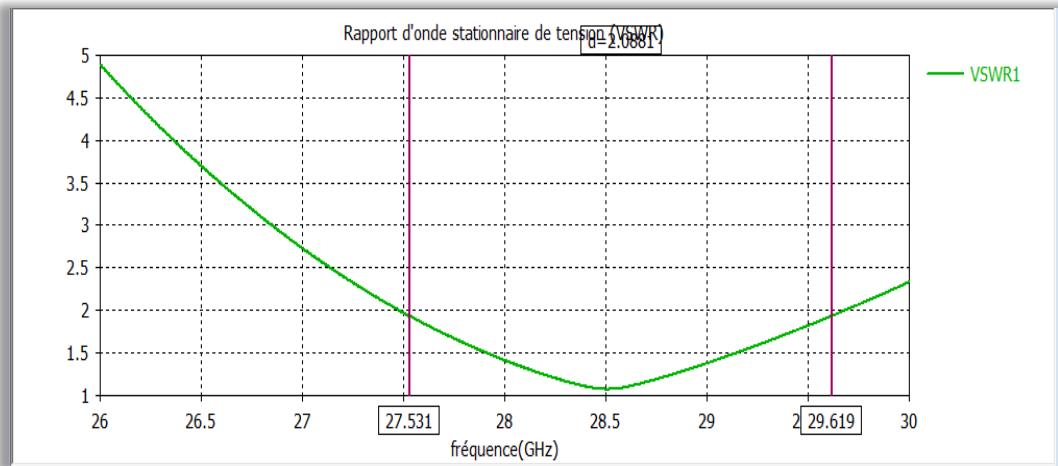


Figure III. 3: VSWR en fonction de la fréquence.

Comme le paramètre S_{11} , le taux d'onde stationnaire nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 28.5 GHz, nous avons relevé un TOS est <2 dans la bande passante. Ce qui confirme que notre antenne est adaptée très proche à la fréquence de résonance.

III.3.1.3.3. Diagrammes de rayonnement :

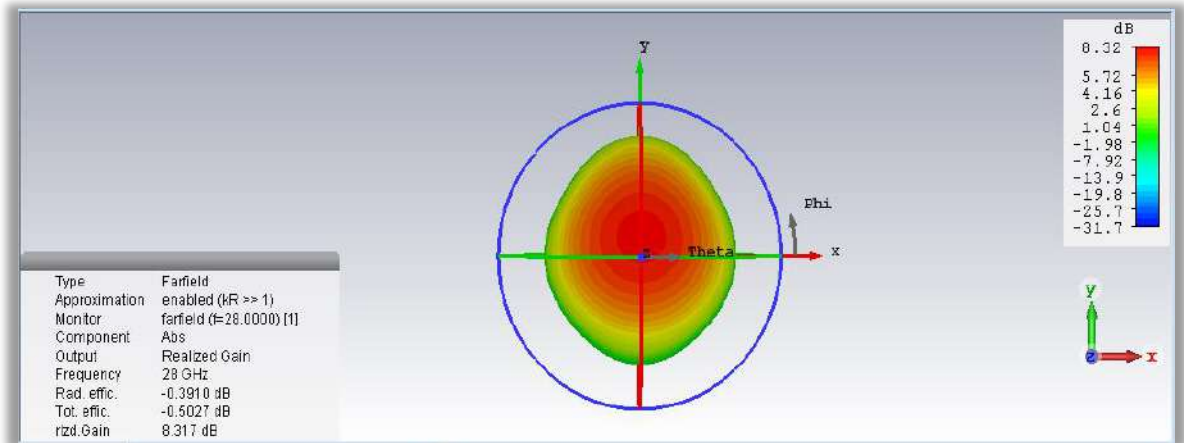


Figure III. 4: Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) de l’antenne patch.

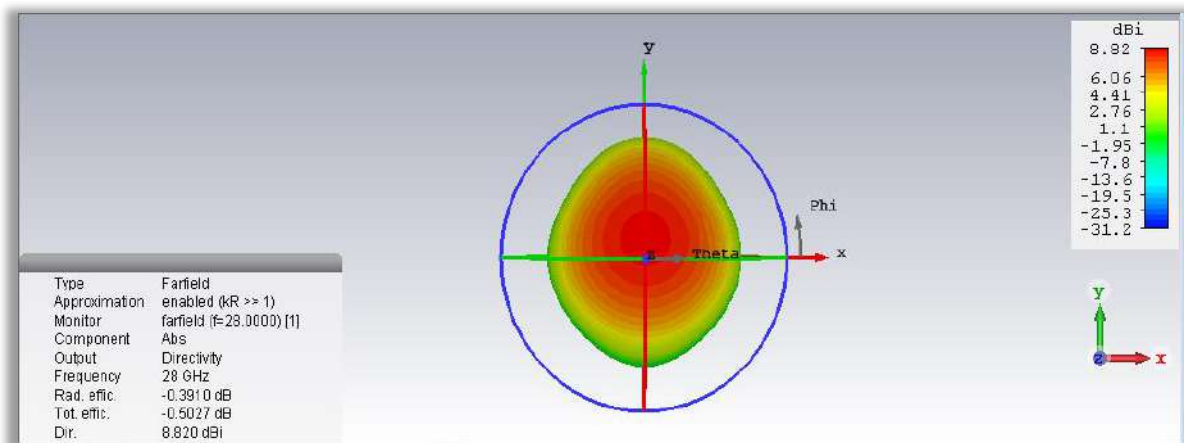


Figure III.5: Diagramme de rayonnement (directivité) de l’antenne patch.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne a une forme appropriée comme le montre les figures III.4 et III.5 parce que le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l’antenne. Bien sure ceci qu’ il doit être normalement pour ce type d'antennes.

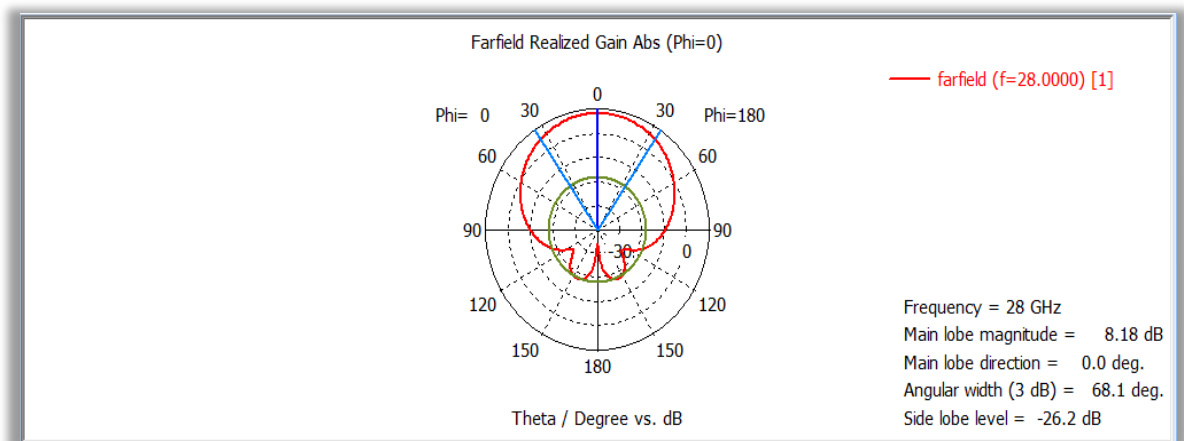


Figure III. 6: Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°) de l’antenne patch.

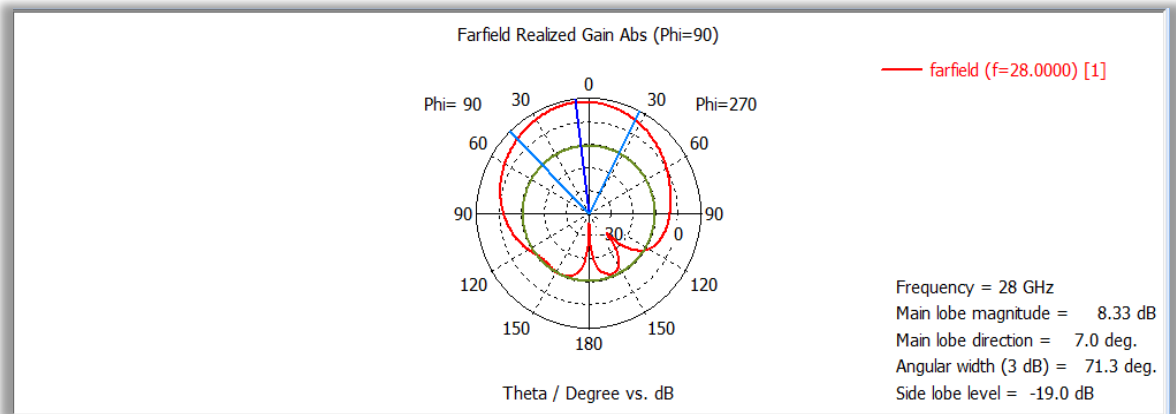


Figure III. 7: Diagramme de rayonnement en 2D (phi=90°) de l’antenne patch.

Le tracé bidimensionnel du diagramme de rayonnement de cette antenne permet de visualiser ses composants notamment ses lobes dans deux plan vertical et horizontal. Les deux figure ci-dessus montre que, soit pour phi=0° ou soit pour phi=90°, le diagramme est principalement composé d’un lobe plus important. En observant le diagramme de rayonnement 3D, on peut constater que la plupart du rayonnement se trouve dans la direction verticale suivant z.

Cette antenne est directive, et elle a un gain important dont son maximum est de 8.40dB.

III.3.1.3.4.Le Rendement :

Notez que la valeur du rendement fourni par cette antenne est très élevé (0.92 dans la bande de fréquence 28.4GHz) et cela signifie qu’il est très approprié pour atteindre ce que nous voulons.

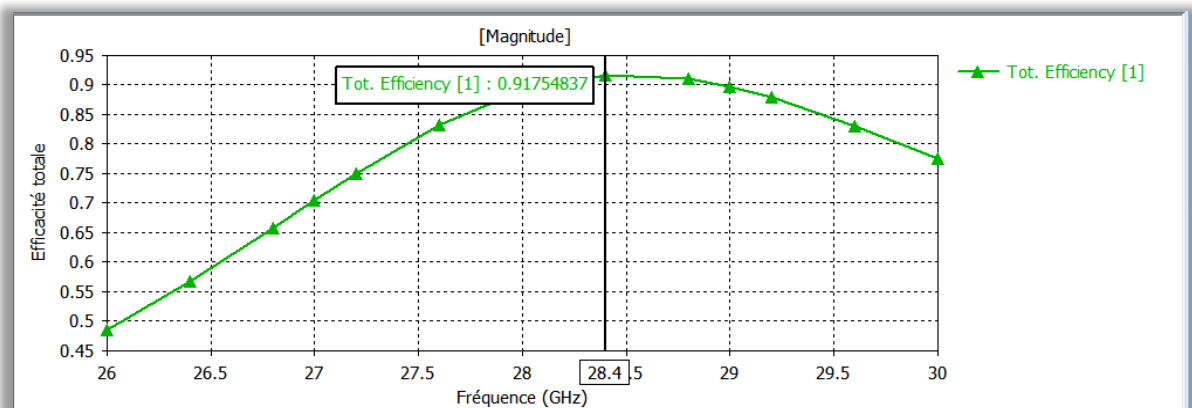


Figure III.8: Efficacité totale de l’antenne patch.

Nous pouvons également calculer le rendement en utilisant le gain et la directivité :

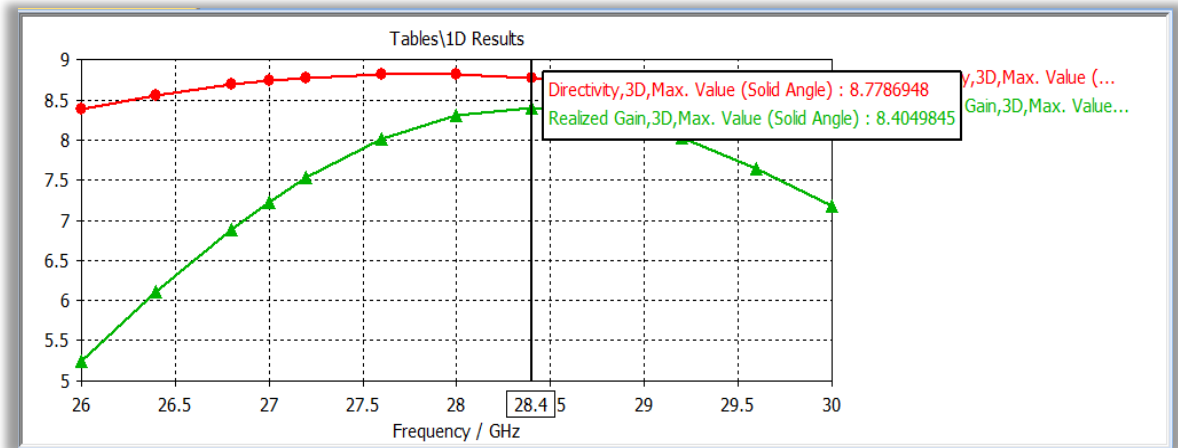


Figure III.9: (Gain- Directivité) (dB) de l’antenne patch.

Calcul du rendement :

$$\eta(\%) = 10^{((Gain(db) - (Dir(db)))/10)} * 100 \quad (III.3)$$

III.3.1.3.5 : Courant de surface (Surface current) :

Notez que le rayonnement (rayonnement rouge) est concentré aux ouvertures et au début de la ligne et sur le patch cela indique que cette antenne envoie un rayonnement d’une manière excellente.

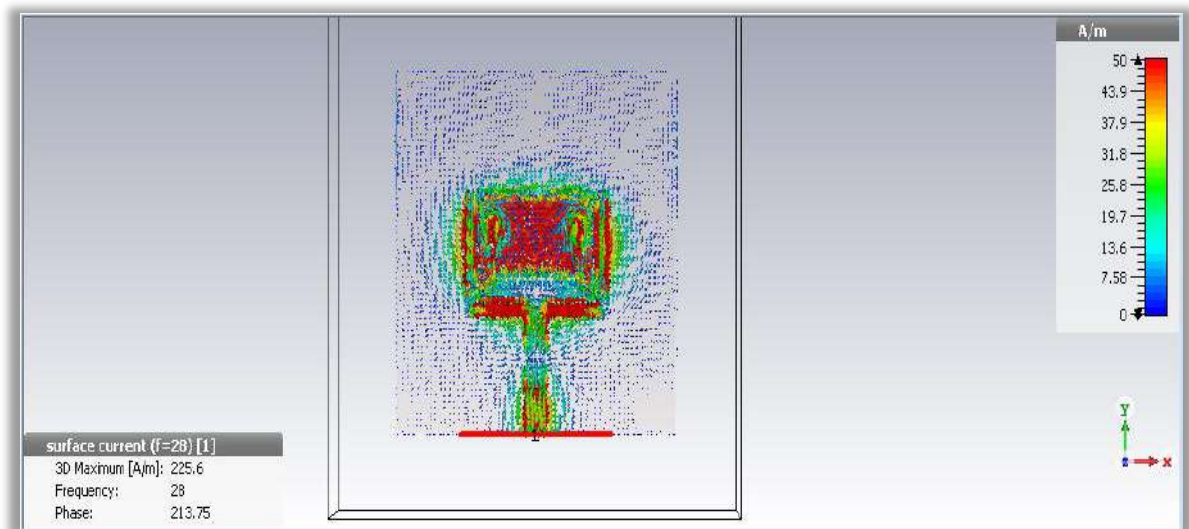


Figure III. 10: Courant de surface de l’antenne patch.

III.3.1.3.6.Directivité :

La valeur max de directivité est (8.81 dB) dans la bande de fréquence est 27.6GHz.

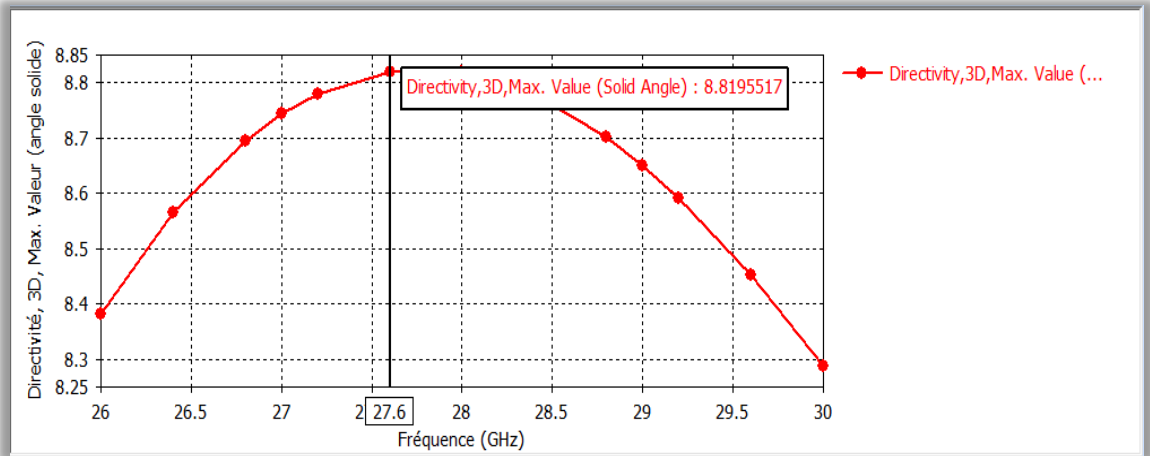


Figure III.11: La directivité de l’antenne patch.

III.3.1.3.7. Gain :

La valeur Le gain fort 8.404 dB à la fréquence est de 28.4GHz..

Le gain n'est pas encore suffisamment élevé pour répondre aux spécifications de la 5G mobile. Il sera donc nécessaire d'utiliser un ensemble contenant plus de 2 éléments (un réseau d'antenne 2xl).

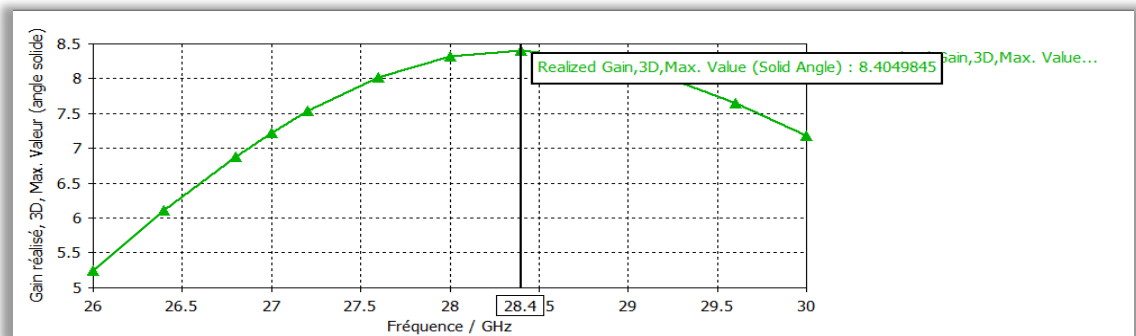


Figure III.12: Le gain de l’antenne patch.

Tableau III 2: Paramètres fondamentaux de l'antenne patch dans la fréquence 28GHz.

Paramètres	Valeur
Pertes de retour (S11)	S11min = -15.41 dB
Directivité	D = 8.819 dB
Gain	G = 8.316 dB
Efficacité de rayonnement (η_{rad})	η_{rad} = -0.390dB
Efficacité totale (η_T)	η_T = -0.502dB
Bande passante (BW)	BW = 2.088 GHz à S11 = -10 dB
Largeur de faisceau (AW)	AW = 71.3°

III.3.2.Mise en place de réseaux d'antennes pour la bande des 28 GHz à partir de l'élément précédemment conçu.

Une fois l'antenne patch simple résonante à 28 GHz réalisée, le processus de mise en place de réseau d'antennes pour cette bande de fréquences peut être initié. Le réseau d'antennes qui sera conçu a une forme rectangulaire. Cette configuration est choisie parce qu'elle est facile à modéliser et à fabriquer, elle est donc parmi les plus préférées pour fabriquer des réseaux d'antennes patch.

III.3.2.1.Structure de réseau d'antenne 2x1 :

Une antenne patch micro ruban à matrice d'éléments 2x1 est illustrée sur la figure III.13. Ce modèle est introduit dans le but d'améliorer les performances de l'antenne à un seul élément qui sont difficilement améliorables dans le cas d'un seul élément.

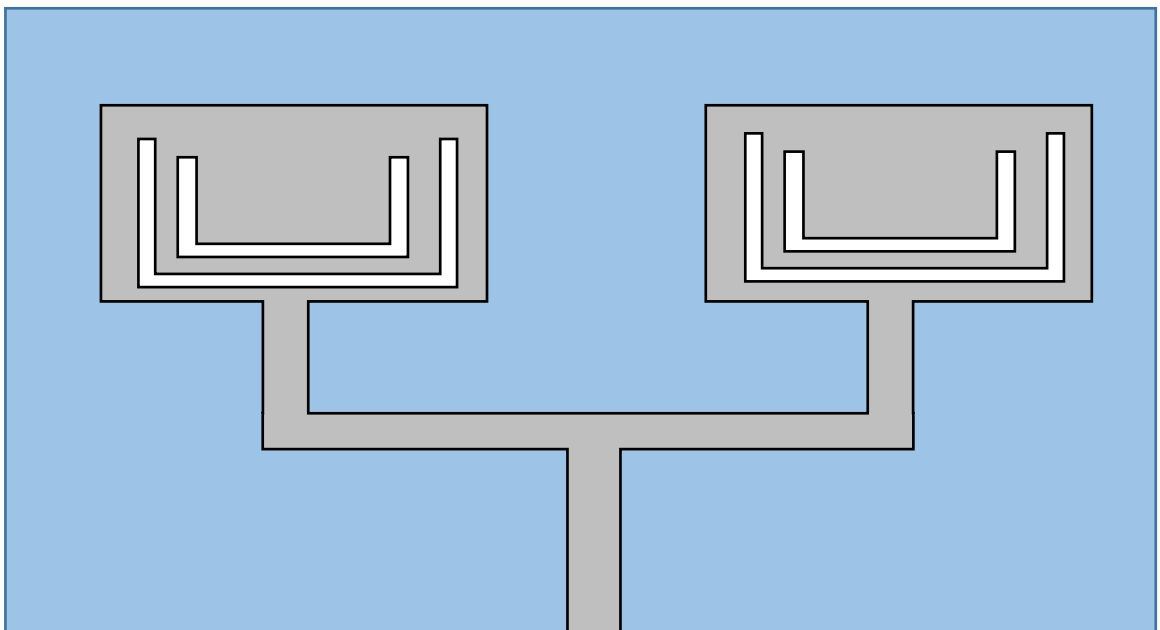


Figure III.13: Structure du réseau d'antenne 2 x 1.

Dans le cadre de ce travail, un réseau d'antenne patch rectangulaire 2x1 avec substrat RT / duroid5880 a été conçu et simulé à une fréquence de 26-30 GHz sous le CST Microwave studio. Le RT / duroid5880 utilisé pour concevoir l'antenne simple ainsi que le réseau d'antennes 2 × 1 ayant une constante de diélectrique (ϵ_r) égale à 2,2. La hauteur du substrat diélectrique est $h = 0,508$ mm.

Comme montré dans la figure III.14, Les éléments de patch micro ruban sont disposés avec un espacement égal de 2λ pour concevoir un réseau d'antennes de 2×1 . Les réseaux d'entreprise sont développés pour alimenter chaque élément de la bande de microbandes.

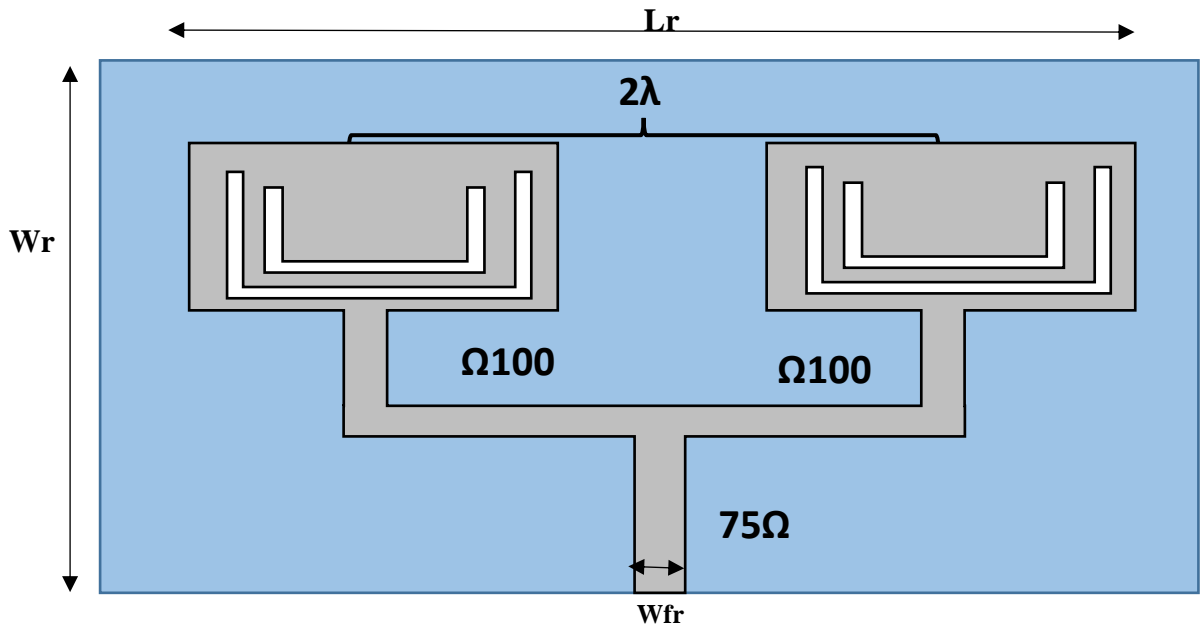


Figure III.14 : Le réseau d'alimentation d'entreprise.

Le tableau III.3 résume les valeurs des principaux paramètres suivis dans la conception de notre réseau antennaire proposé.

Tableau III 3: paramètres du réseau d'antennes patch 2x1.

Paramètres	Lr (Longueur du substrat et du plan de masse)	Wr (Largueur du substrat et du plan de masse)	Hs(Epaisseur de substrat)	2λ (l'espace entre les 2 éléments (2 patch))	Wfr
Valeur(mm)	22	16	0.508	12	(100Ω = 0.42 mm) (75Ω = 0.78m m)

III.3.2.2.1.Coefficient de réflexion (S_{11}) :

Ce graphique montre S11 en fonction de la fréquence indiquant la fréquence de résonance fondamentale de 28,208 GHz.

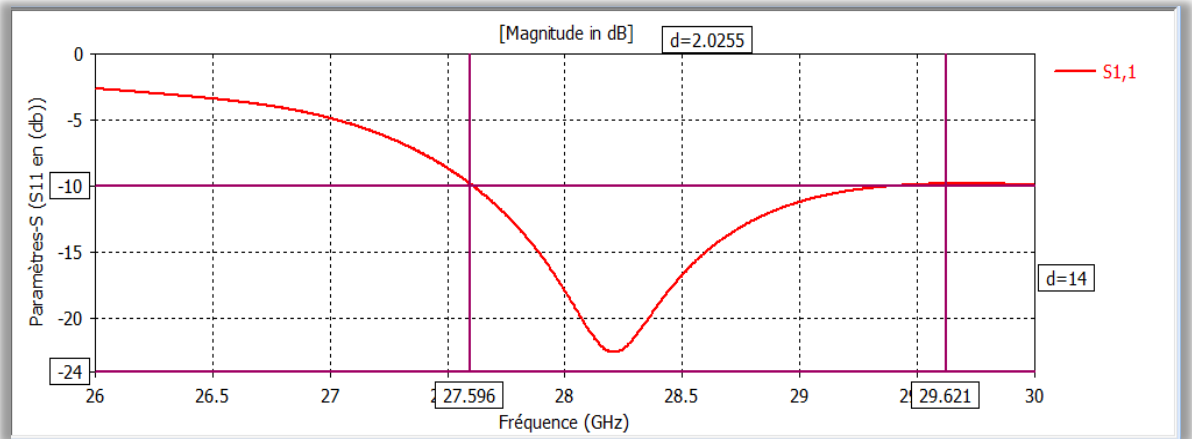


Figure III.15: S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence.

On peut voir que l'antenne a une largeur de bande maximale de 2.0255 GHz autour de la fréquence de résonance (28.208GHz) dans l'intervalle (27.596 - 29.621) GHz.

III.3.2.2.2.Taux d'onde stationnaire (VSWR) :

Le graphe du rapport d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne est présenté à la figure III.16. Le niveau acceptable de VSWR pour la plupart des applications sans fil ne devrait pas dépasser 2,5 et idéalement 1. Comme on le voit sur la figure III, la valeur de VSWR obtenue à la fréquence de résonance de 28,208 GHz est de 1,161 et ce qui est acceptable.

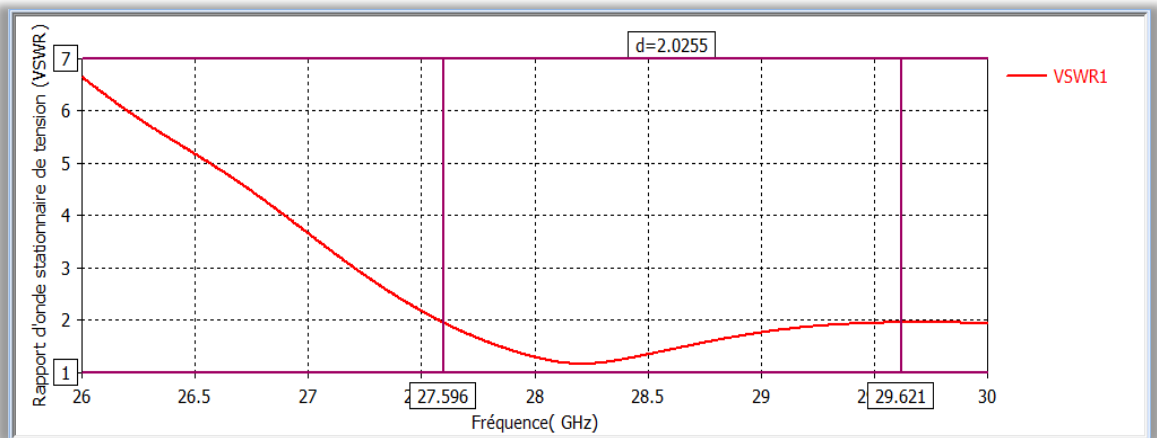


Figure III.16: Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

III.3.2.2.3.Diagramme de rayonnement :

En utilisant les paramètres de conception précédemment cités, le modèle du diagramme de directivité en 3D du réseau antennaire est prédit grâce au logiciel de simulations CST comme montre les figures suivantes :

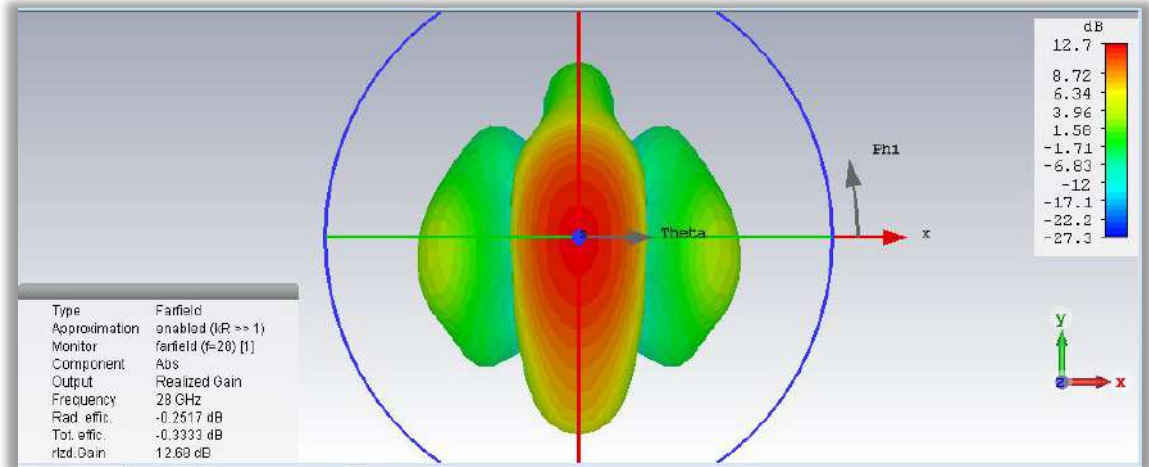


Figure III.17: Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) de réseau d'antenne 2x1.

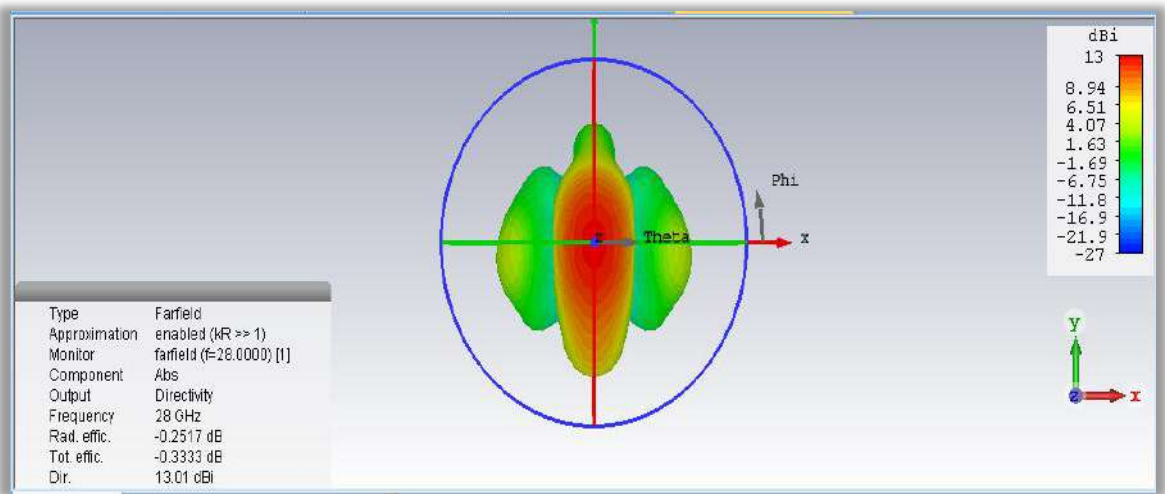


Figure III.18: Diagramme de rayonnement (directivité) de réseau d'antenne 2x1.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne réseau a une forme appropriée, comme le montre la figure III.(17,18) , puisque le rayonnement est concentré dans le plan supérieure de l'antenne, comme il se doit normalement dans le cas de ce type de réseaux.

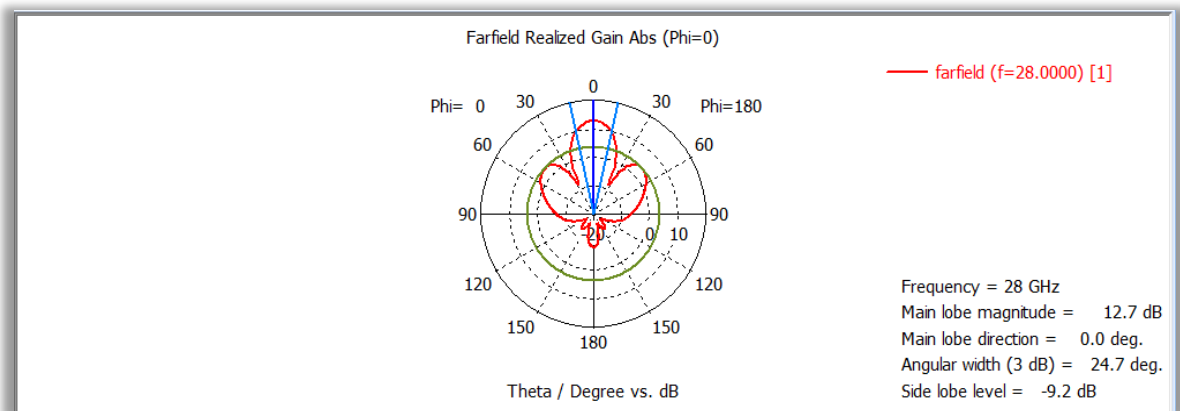


Figure III.19: Diagramme de rayonnement (phi=0°) de réseau d'antenne 2x1.

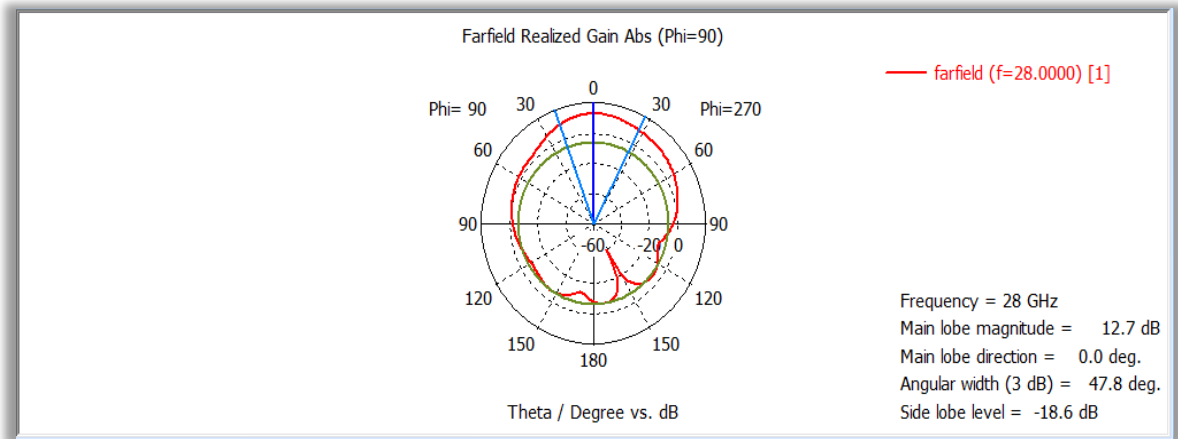


Figure III.20: Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$) de réseau d'antenne 2x1.

La courbe polaire 2D du diagramme de rayonnement (à $\phi = 0^\circ$) est illustrée sur la figure III.19 et (à $\phi = 90^\circ$) est illustrée sur la figure III.20 pour l'antenne examinée.

III.3.2.2.4. Le Rendement :

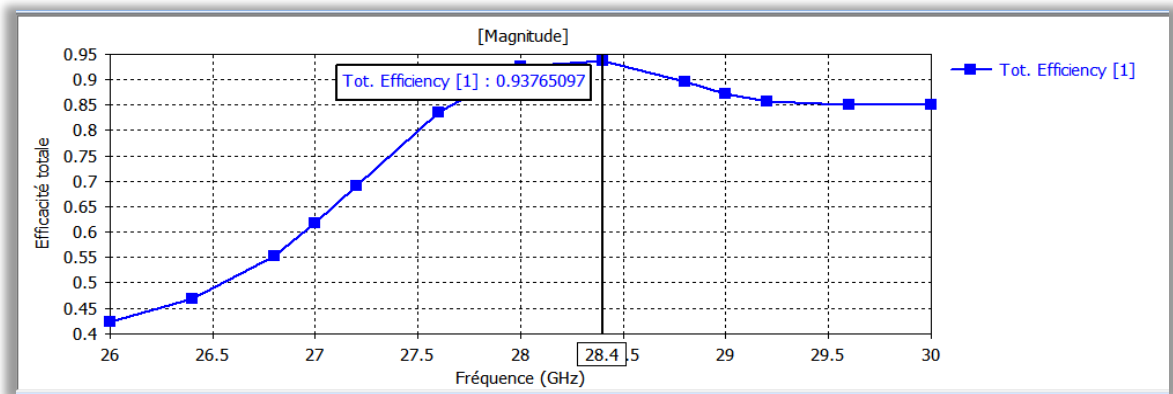


Figure III.21: Efficacité totale de réseau d'antennes 2x1.

Nous pouvons également calculer le rendement en utilisant le gain et la directivité avec la même relation précédente (III.3) :

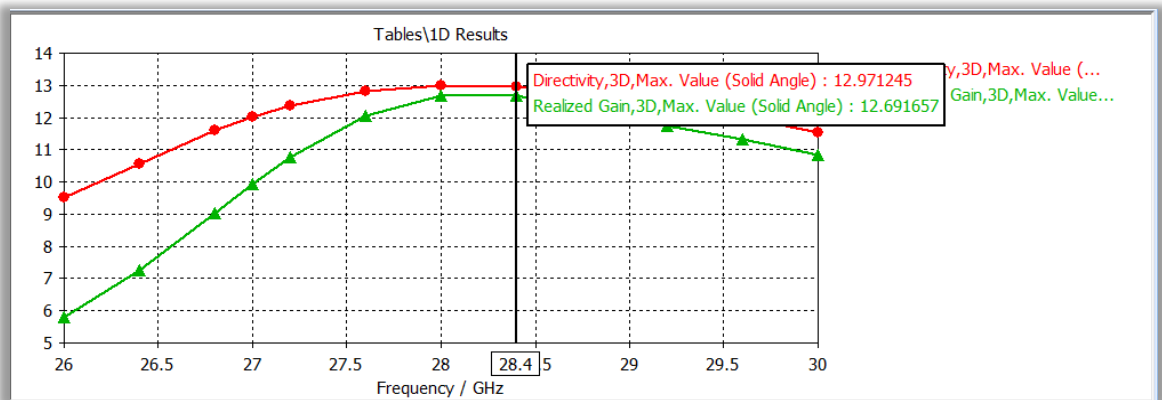


Figure III.22: (Gain- Directivité (dB)) de réseau d'antennes 2x1.

III.3.2.2.5.Courant de surface :

Nous observons que le rayonnement est répandu dans les zones les plus importantes de l'antenne.

Cela indique que cela fonctionne parfaitement.

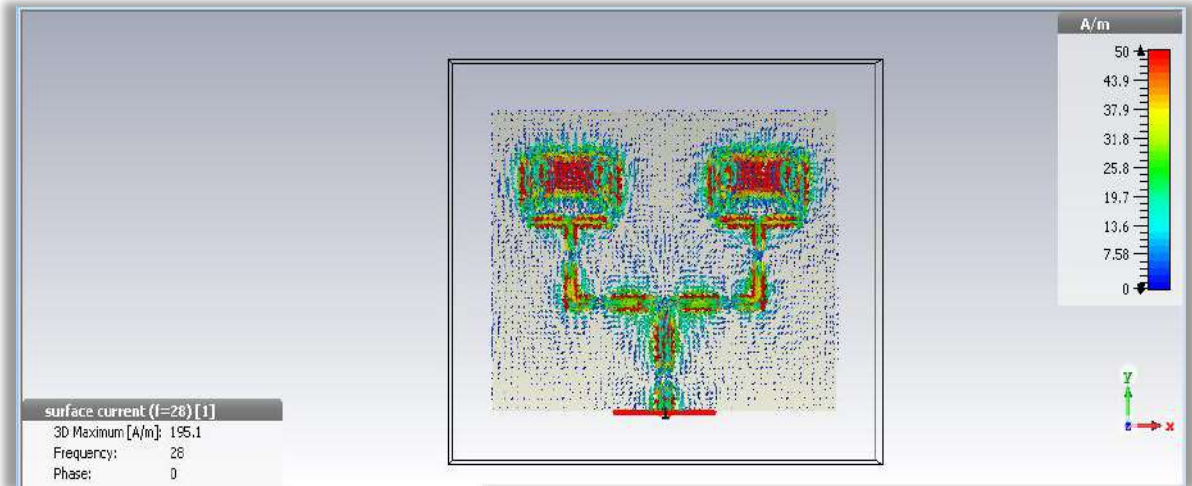


Figure III. 23: Courant de surface de réseau d’antenne 2x1.

III.3.2.2.6.Directivité :

La figure III.24 montre l’augmentation de la directivité avec un maximum 13.01 dB pour $f=28$ GHz en comparant par rapport à l’antenne patch simulée à notre première phase de simulation.

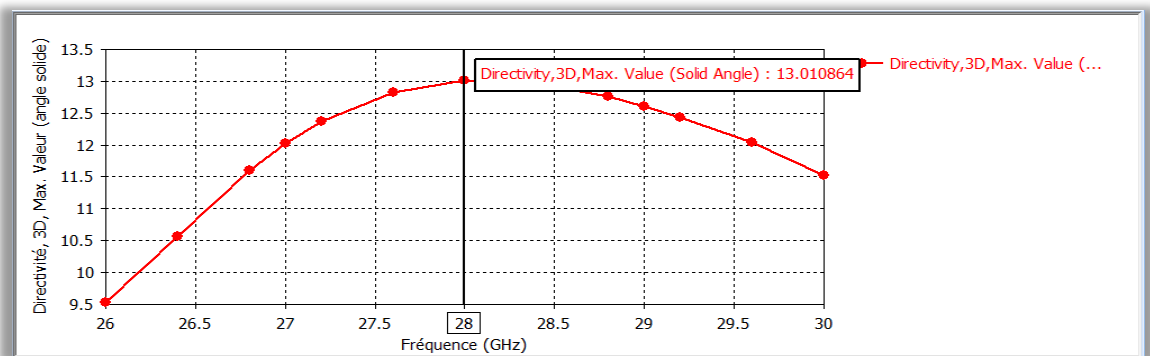


Figure III.24: La directivité de réseau d’antennes 2x1

III.3.2.2.7.Gain :

La figure III.25 montre l’augmentation du Gain avec un maximum 12.69 db pour $f=28.4$ GHz.

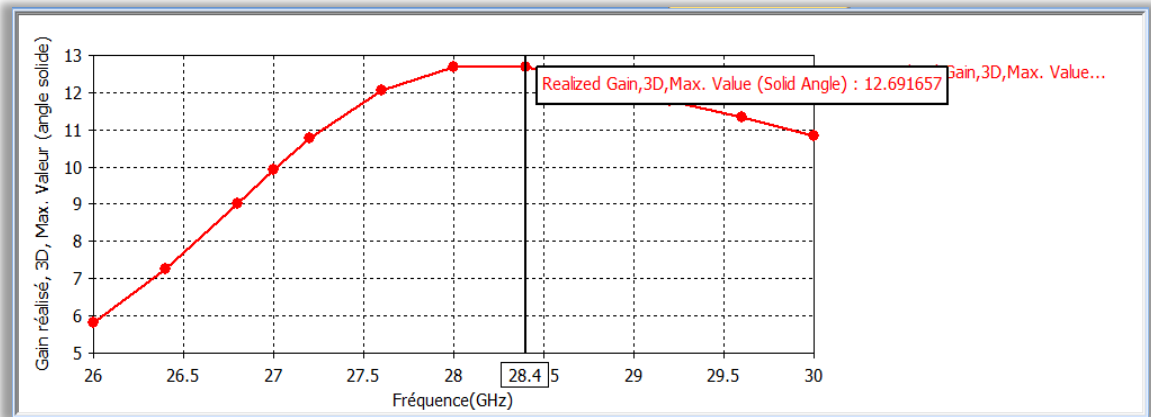


Figure III.25: Le gain de réseau d'antenne 2x1.

Cela montre que cette antenne a satisfait les exigences et les exigences de 5G (gain supérieur à 12db).

Les paramètres précédemment analysés du réseau d'antennes proposé pour la bande des 28 GHz sont résumés dans le tableau III.4.

Tableau III 4: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes 2x1 (à 28GHz).

Paramètres	Valeur
Pertes de retour (S11)	S11mín = -17.894 dB
Directivité	D = 13.010 dB
Gain	G = 12.677 dB
Efficacité de rayonnement (η_{rad})	η_{rad} = -0.251 dB
Efficacité totale (η_T)	η_T = -0.333dB
Bande passante (BW)	BW = 2.025 GHz à S11 = -10 dB
Largeur de faisceau (AW)	AW = 47.8°

A travers les résultats ci-dessus, nous notons que les paramètres S11 du réseau proposé sont différents à ceux de l'antenne unique. Malgré ces différences, le comportement de ce paramètre dans les dispositions proposées est acceptable, car il reste dans la gamme souhaitée. Il est proche de 28.208 GHz avec des valeurs inférieures à -25 dB. Lorsque la valeur de $S_{11} \leq -10$ dB, la bande passante de réflexion dans est d'environ 2.0255 GHz, en tenant compte d'un $ROS \leq 2$. Le diagramme de rayonnement du réseau analysé est un facteur qui présente un changement significatif par rapport à la première antenne de conception individuelle. En l'analysant, on peut observer qu'à mesure que le nombre d'éléments dans le réseau augmente, le réseau devient plus directif, les gains augmentent et le faisceau de rayonnement diminue.

III.4. Comparaison avec un article de recherche [36] :

Grâce à cette comparaison, nous essayons d'évaluer les résultats de notre travail par rapport à d'autres chercheurs. Nous essayons, au même temps, de montrer les progrès que nous avons réalisés au cours de nos recherches et que nous pouvons considérés comme des résultats promoteurs.

L'article choisi et utilisé dans notre comparaison porte le titre " Design and Analysis of 28GHz Rectangular Microstrip Patch Array Antenna ", c'est-à-dire ; « Conception et analyse de l'antenne réseau de Microstrip Patch rectangulaire à 28GHz », avec CST MWST. Nous avons choisi cet article car il propose un modèle d'un réseau de patch fonctionnant aux ondes millimétriques et plus précisément à la même fréquence que celle utilisée par notre modèle proposé. Les deux tableaux suivant récapitulent les points de comparaison.

Tableau III.5: Comparaison entre notre étude et l'étude référentielle [36]
(dans le cas d'une seule antenne patch).

Paramètres	Nos résultats	Les résultats de [36]
Coefficient de réflexion S11	-29.94 dB	-15.35 dB
Fréquence de résonance	28.5	27.901GHz
VSWR	< 2	< 2
Gain	8.40	6.92
Dimensions (patch)	6 x4	2.503 x 3.215
Substrat	RT5880 avec une hauteur de 0.508 et $(\epsilon_r) = 2,2$	(FR-4) avec une hauteur de 0.1mm et $(\epsilon_r) = 4.35$

Tableau III.6 : Comparaison entre notre étude et l'étude référentielle [36]
(dans le cas d'un réseau d'antenne patch 2x1).

Paramètres	Nos résultats	Les résultats de [36]
Coefficient de réflexion S11 (dB)	-22.56	-13.77
Fréquence de résonance (GHz)	28.208	27.944
VSWR	< 2	< 2
Gain(db)	12.68	9.52
Dimensions (patch)	6 x4	2.472 x 3.174
Substrat	RT5880 avec une hauteur de 0.508 et $(\epsilon_r) = 2,2$	(FR-4) avec une hauteur de 0.1mm et $(\epsilon_r) = 4.35$

Nous pouvons remarquer à partir de cette comparaison que les caractéristiques de notre antenne patch simple et du réseau d'antennes 2x1 ont fourni de meilleurs résultats et se

rapprochent des exigences du mobile de la 5G (meilleure performance en termes de radiographie, directivité, gain et bande passante). Et surtout un gain élevé pouvant atteindre jusqu'à 12 dB pour une productivité élevée. Nous notons également que la taille de l'antenne est plus petite que celle de notre antenne (ceci est considéré comme un inconvénient).

III.5.Conclusion :

Dans ce chapitre, les étapes de conception et de simulation de réseau d'antenne patch fonctionnant à la bande des 28 GHz ont été présentées sous deux aspects généraux : la conception d'une seule antenne résonnante à la fréquence d'intérêt, et l'utilisation de l'antenne patch unique dans la mise en place et la conception d'un réseau de patches. Pour ce faire, des outils CST Microwave Studio ont été utilisés pour l'étude et la simulation. Finalement, les résultats obtenus ont été analysés et comparés à un travail de recherche qui propose de son côté récemment un modèle d'antenne pour la même bande de fréquence.

A decorative graphic of a scroll with a green outline and grey circular accents at the corners. The text is centered within the scroll.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les travaux réalisés dans le présent mémoire de recherche s'inscrivent dans le domaine de la conception, la modélisation et la simulation des réseaux d'antennes imprimées 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 à la voie d'étude et de réalisation.

Dans ce mémoire, le concept de réseau d'antennes patch est utilisé pour améliorer le gain des différentes antennes élémentaires en annulant ou plutôt en réduisant au maximum les lobes secondaires du diagramme de rayonnement. Le modèle proposé est conçue 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.

Les conclusions suivantes ont été tirées :

- 1) L'utilisation d'un réseau d'antenne fonctionnant à la bande millimétrique facilite la réutilisation de l'espace. Elle permet de réduire les interférences et d'augmenter la capacité du système de télécommunications. Cela conduit à la transmission de données à haute vitesse, et peut donc être utilisé dans 5G.
- 2) 5G ne s'améliore pas 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.
- 3) Dans la bande millimétrique et les fréquences qui montrent des propriétés de propagation suffisantes comme la bande de 28 GHz, la recherche montre que la conception de petites antennes pour une utilisation dans les stations de base et les appareils mobiles est possible pour la future génération 5G. Les antennes à réaliser se basent pour fonctionner efficacement sur des algorithmes de modulation de faisceau adaptatifs très sophistiqués.

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. En général, les résultats encourageants obtenus pour un réseau de patch rectiligne 1x2 ouvrent de part leur exploitation des perspectives nouvelles pour l'analyse des réseaux linéaires contenant plusieurs éléments ou encore des réseaux plans.

A decorative graphic of a scroll with a green outline and grey circular accents at the corners. The text is centered within the scroll.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] N. Docomo «*DOCOMO 5G White Paper*» Juillet 2014.
- [2] R.Sapakal, S. Kadam «*5G Mobile Technology* » Journal international de recherche avancée en génie informatique et technologie volume 2, p. 568–571, 2013.
- [3] Shailesh D. Nandgaonkar S.K. Bodhe, B.G. Hogade «*Beamforming Techniques for Smart Antenna using Rectangular* » Journal international du génie électrique ET informatique, volume 4, numéro 2, p. 257–264, 2014.
- [4] S.SunyT.S. Rappaport, «*Multi-beam antenna combining for 28 GHz cellular link Improvement in urban environments* » Journal international, volume 8, p. 12, 2013.
- [5] J.G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. Hanly, A. Lozano, A. C. Soong, y J. C. Zhang, «*What will 5G be ?* » IEEE les systèmes de communication, 12 mai 2014.
- [6] T.S. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G. N. Wong, J. K.Schulz, M. Samimi, y F. Gutierrez «*Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular : It Will Work !* » IEEE Journal international, volume 1, p 335-349, 2013.
- [7] P .Latina «*Comienza China pruebas de tecnología 5G* » numéro 7, La Habana, Cuba, 5 janvier 2016.
- [8] M. H. Abu Saada «*Design Of Efficient Millimeter Wave Planar Antennas For 5g Communication Systems* » Mémoire de Master, Université Islamique de Gaza 2017.
- [9] A. Gohil, H. Modi, S. K. Patel «*5g Technology Of Mobile Communication : A Survey* » Conférence Internationale Sur Les Systèmes Intelligents Et Le Traitement Du Signal 2013.
- [10] FEI Hu «*Opportunities in 5g Networks a Research and development Perspective* » Livre, 5 avril 2016.
- [11] E.Hossain, M. Rasti, H. Tabassum, A. Abdel Nasser «*Evolution towards 5g Multi-Tier Cellular Wireless Networks: An Interference Management Perspective* » IEEE Wireless Communications Conférence 17 Feb 2014.
- [12] W. Xiang, K. Zheng, X. Sherman «*5g Mobile Communications* » Livre, 14 octobre 2016.
- [13] A.Osseiran, J. F. Monserrat, P. Marsch «*5g Mobile and Wireless communications Technology* » Livre, Juin 2016.
- [14] J.Qiao «*Enabling Millimètre Wave Communication For 5g Cellular Network Mac-Layer Perspective* » Thèse Doctorat, Université Waterloo de Canada 2015.
- [15] J.Rodriguez «*Fundamentals Of 5g Mobile Networks* » Livre, Institut des Télécommunications, Aveiro, Portugal, 2015.
- [16] P.Wallström «*Device-To-Device Communications for 5G Radio Access*

Références Bibliographiques

Networks » Mémoire de Master, Université de Aalto 9 Avril 2015.

[17] [Http://www.Radio-Electronics.Com](http://www.Radio-Electronics.Com).

[18] W. Robert, Heath Jr, Angel Lozano « Five Disruptive Technology Directions For 5g » article IEEE Communications Février 2014.

[19] H. Chorfi « Conception D'un Nouveau Système D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique » Mémoire de Master, Université Québec Abitibi-Témiscamingue 2012.

[20] D. Ameziane « Etude Et Optimisation D'antennes Fractales Plaquées » Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2008.

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

[22] E. Dreina « Conception, Optimisation et Intégration Rf d'un Système d'antennes Miniatures Multi Capteurs utilisant La diversité en Vue d'augmenter les performances Radio d'un Terminal Mobile 4g » Thèse Doctorat, Université de Grenoble, 01 juillet 2010.

[23] S.Vergerio « Recherche Des Caractéristiques Optimales D'antennes Multi-Capteurs Pour Les Systèmes Mimo » Thèse Doctorat, Université de Provence, 06 juillet 2007.

[24] M.L.Refice « Modélisation Et Simulation Des Antennes En Onde Millimétrique A Base De Méta Matériaux » Mémoire De Magister, Université Zian Achour de Djelfa 24/05/2014.

[25] G.Irankunda, E. Ufiteyezu « Etude Et Conception D'une Antenne Patch Rectangulaire Pour Les Réseaux Personnels Sans Fils Wpan A 60 GHz » Mémoire de Master, Université Houari Boumediene d'Alger 2011.

[26] F.D.Valdivia « Implementación De Arreglos De Antenas En La Banda De 28 GHz Para La Quinta Generación Móvil » Mémoire, Université Marta Abreu de las Villas 2016

[27] D.Aissaoui « Analyse A L 'Aide De Modèles Equivalents D'antennes Imprimées Alimentées Par Lignes Adaptées » Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2007.

[28] R. Ghayoula « Contribution A L'optimisation De La Synthèse Des Antennes Intelligentes Par Les Réseaux De Neurones » Thèse Doctorat, Université de Tunis El Manar 27 /12/ 2008.

[29] C. Balanis « Antenna Theory, Analysis and Design » Livre, 1982.

[30] B. Mekimah « Etude Du Fonctionnement en Mode Bifréquence Des Patches Microbandes Empilés Et Excentrés » Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah de Ouargla.

Références Bibliographiques

- [31] H.Oulad Mansour « Les Effets de l'anisotropie Uniaxiale et de la Tangente de Perte Sur La Résonance Des Antennes Microbandes » Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah de Ouargla 2015.
- [32] R. Mamunur, H. Saddam « Antenna Solution for Millimeter Wave Mobile Communication MWMC 5g » Journal international, Volume 3, numéro 8, novembre 2014.
- [33] R. Alhalabi « High efficiency planar and RFIC-based antennas for millimeter-wave communication systems » Thèse Doctorat, Université de California-San Diego 2010.
- [34] 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.
- [35] Nanae Yoon« A 28-GHz Wideband 2×2 U-Slot Patch Array Antenna» journal, volume 17, numéro 3, p 133-137, juillet 2017.
- [36] M. Bakry El Mashade, E. A. Hegazy « Design and Analysis of 28GHz Rectangular Microstrip Patch Array Antenna » Transactions WSEAS sur les Communications, université Al Azhar Egypt 2018.

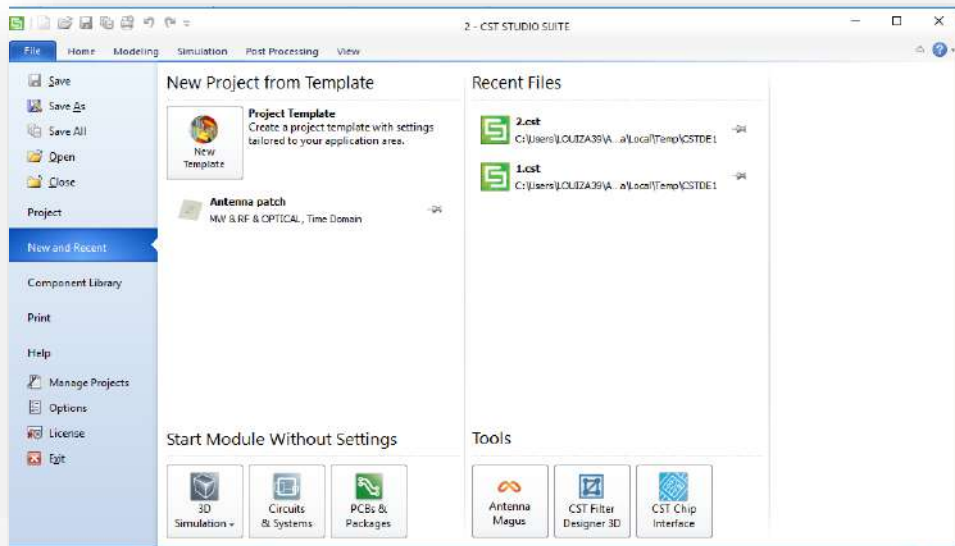


ANNEXE

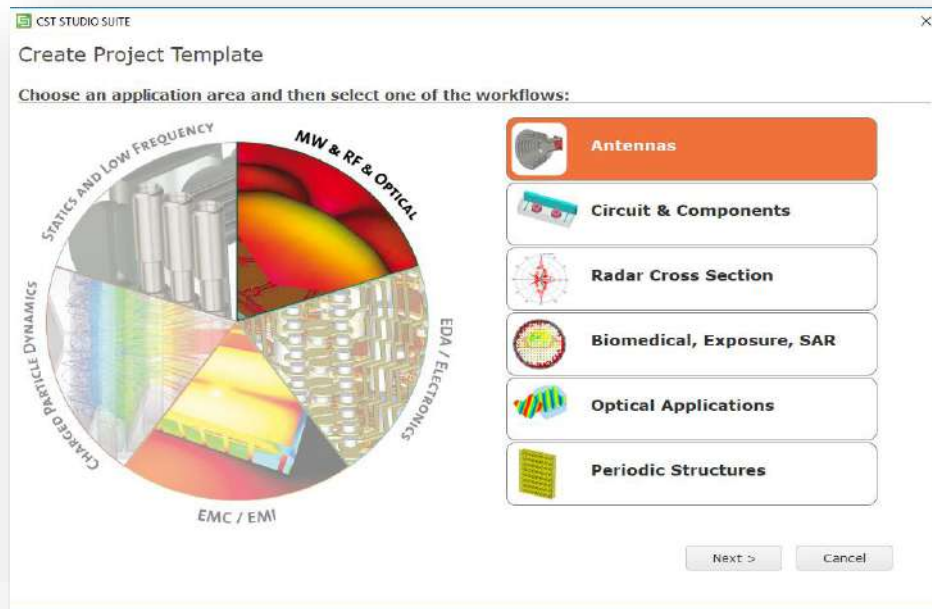
Annexe

LES ETAPES A SUIVRE POUR LA SIMULATION

1. Lancement de la fenêtre principale de CST Studio :

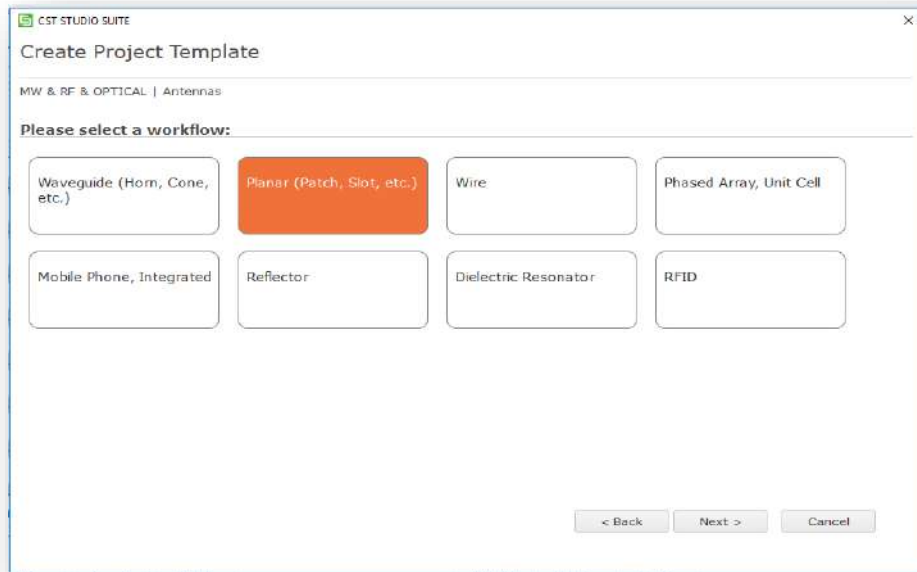


2. Sélection du domaine d'application dans CST :

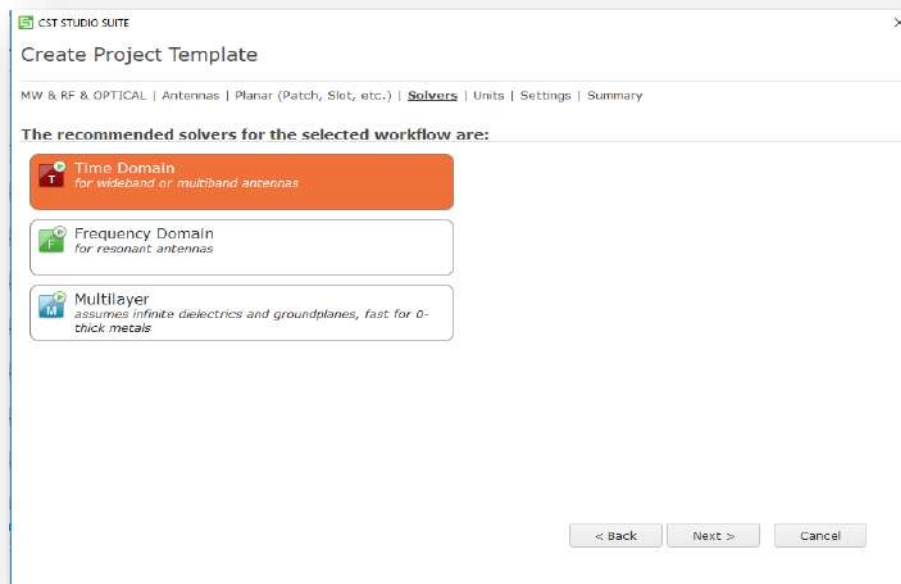


La fenêtre ci-dessus nécessite la sélection d'une zone d'application et la spécification du type de travail à effectuer, en sélectionnant dans ce cas le champ MW & RF & Optical, en particulier Antennes.

3. Choix du type d'antenne à mettre en œuvre dans CST :



4. Sélection du type de simulation à utiliser dans CST :

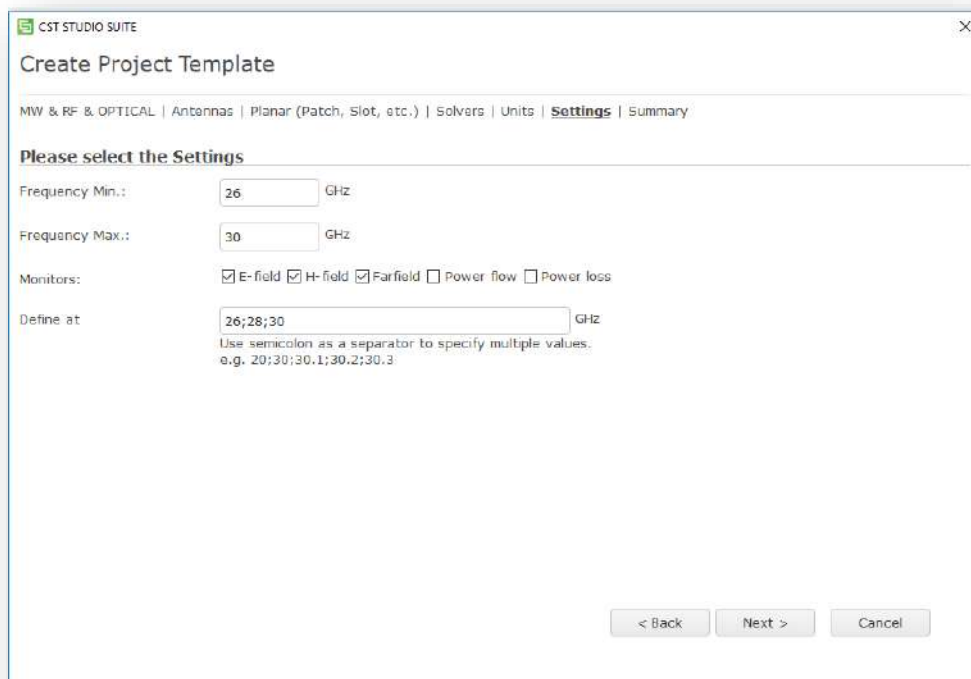


Le mode temporel Domain a été choisi. Dans le domaine temporel, le solveur transitoire peut résoudre la plupart des problèmes des champs électromagnétiques et faire d'analyse d'une antenne avec une bonne précision.

5. Sélection des unités de mesure à utiliser dans CST :



6. Configuration de la gamme de fréquences et des moniteurs à analyser :

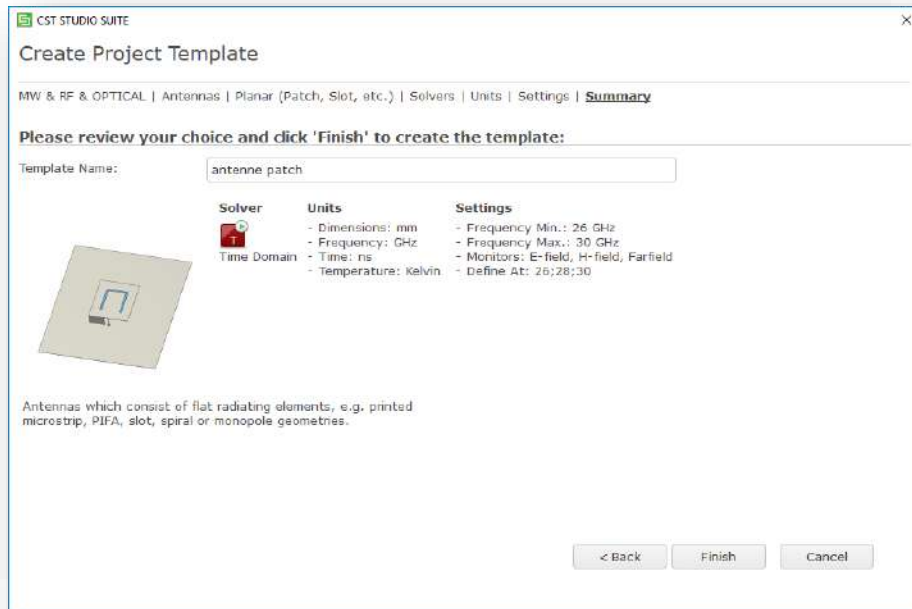


Dans cette étape, nous définissons les fréquences d'intérêt et ce qui doit être surveillé, dans ce cas les fréquences entre 26 et 30 GHz, avec 28 GHz étant la fréquence centrale, et nous

Annexe

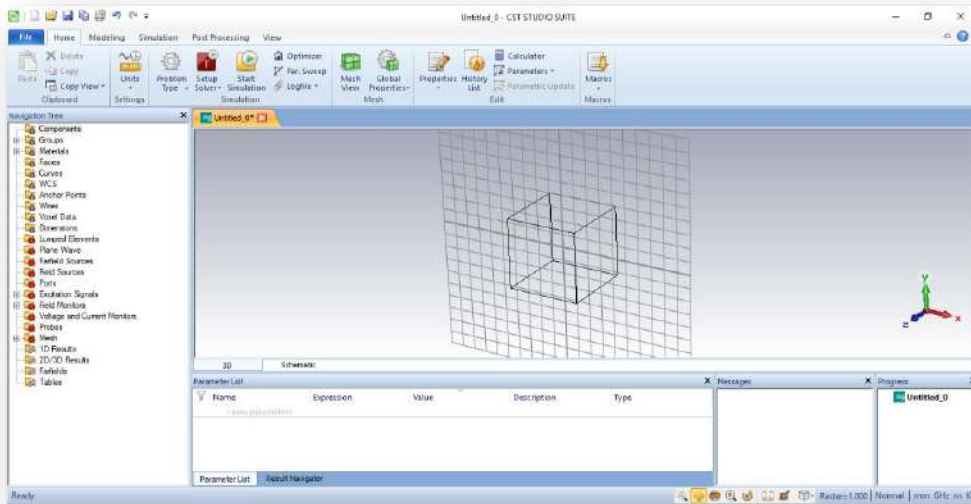
choisissons de surveiller les champs E et H, ainsi que le diagramme de rayonnement de l'antenne.

7. Nom et résumé des configurations de modèles créés dans CST :



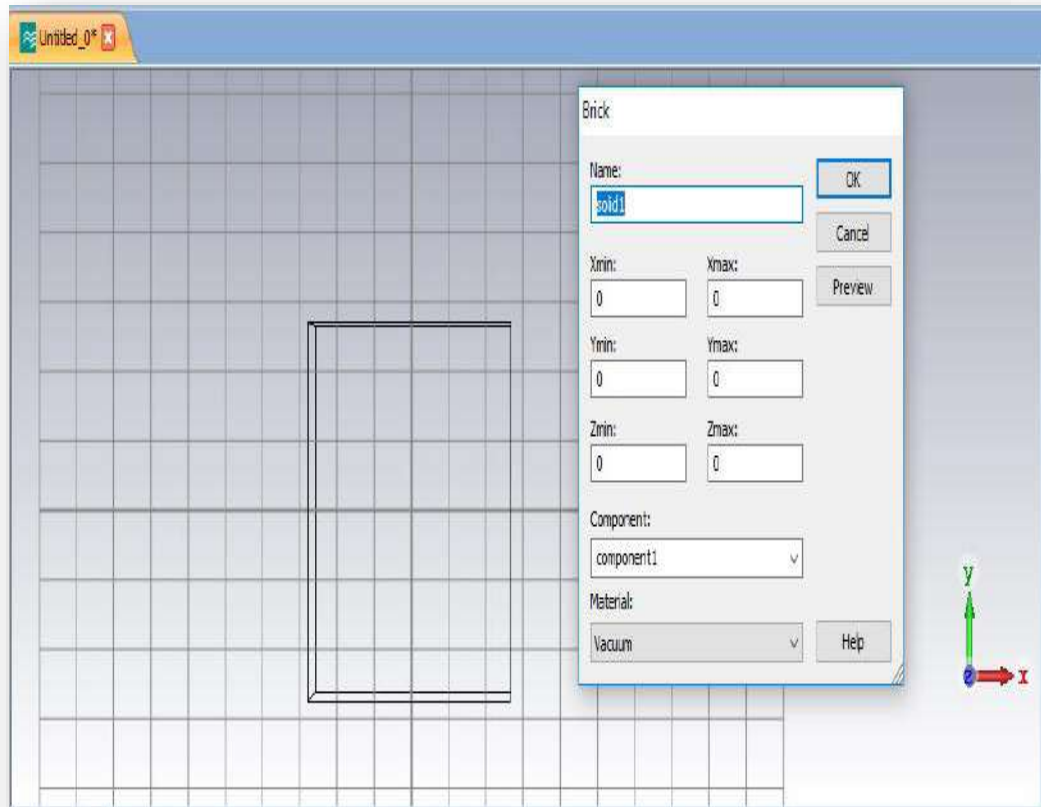
Enfin, un résumé du projet à réaliser est affiché et le modèle est nommé Patch Antenne.

8. Espace de travail CST Microwave Studio :

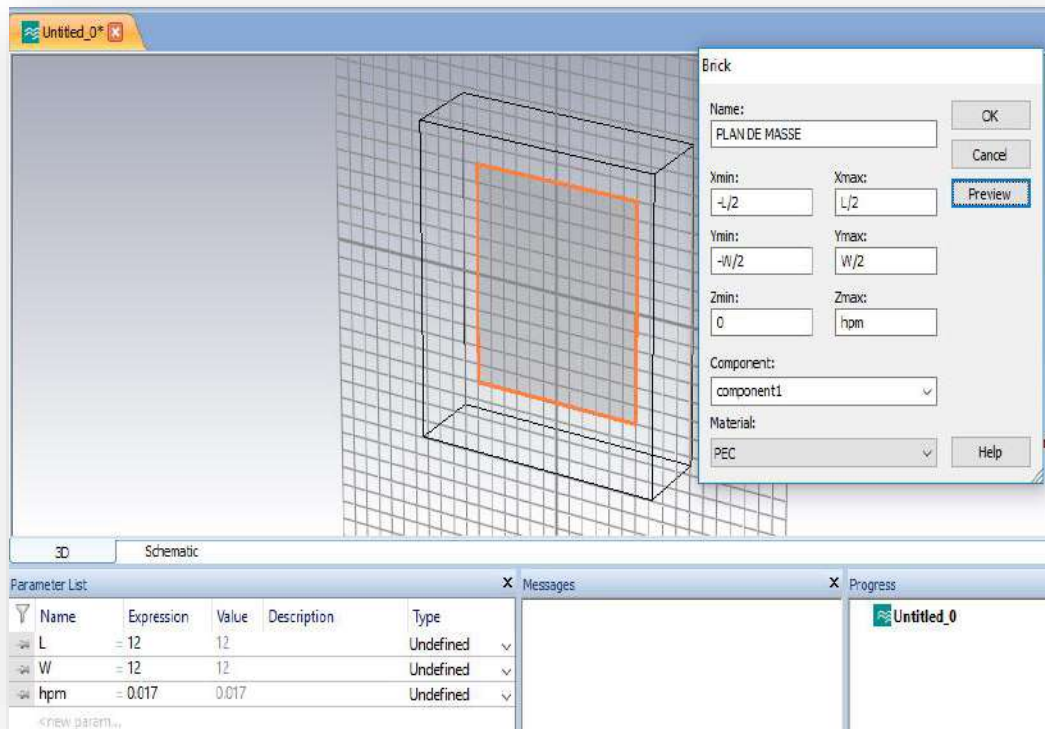


Dans cette phase, un modèle de projet est créé dans CST Microwave Studio, apparaissant dans une fenêtre qui constitue l'espace de travail dans lequel la modélisation de l'antenne patch doit être effectuée.

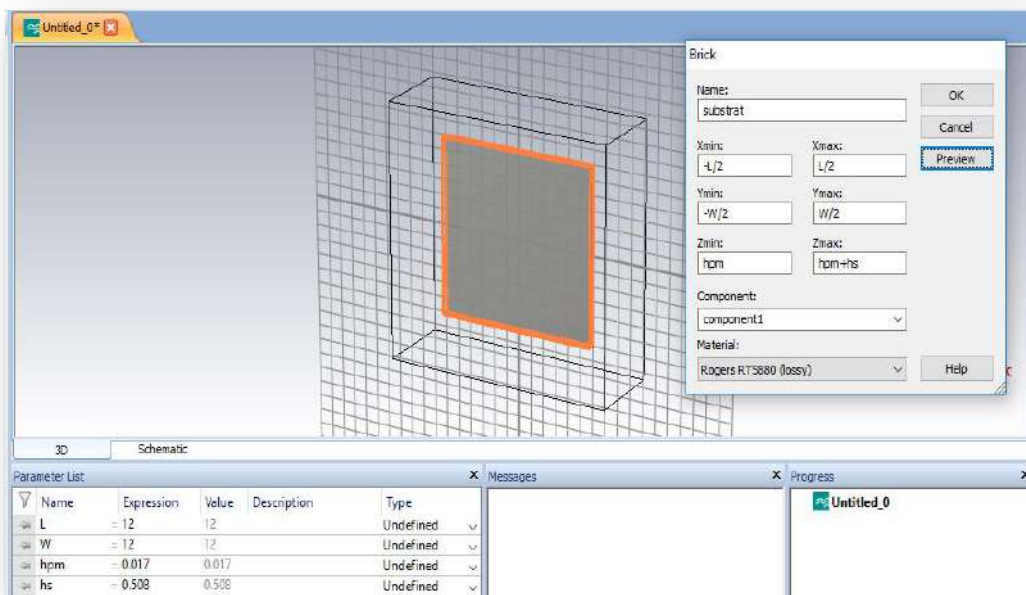
9. Fenêtre pour la modélisation des structures dans CST Microwave Studio :



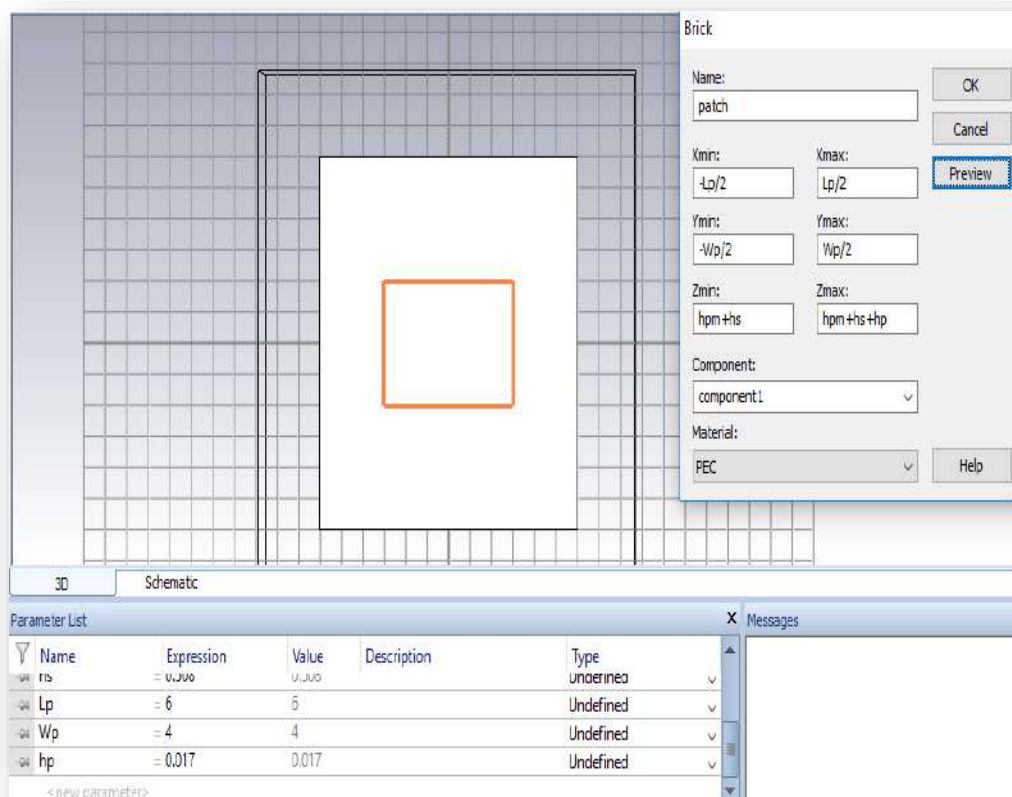
10. Modélisation du plan de masse de l'antenne patch :



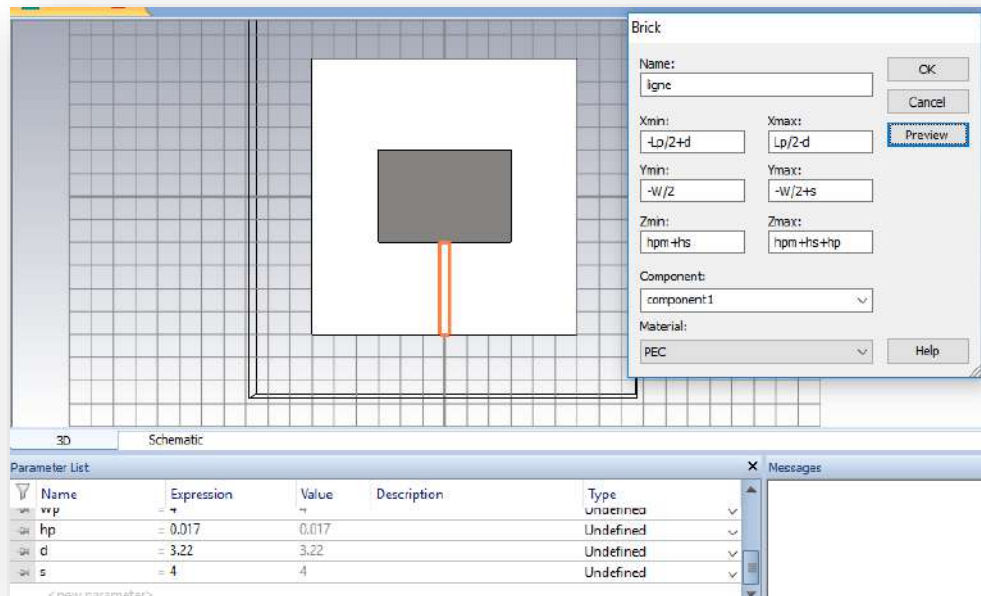
11. Modélisation du substrat d'antenne patch :



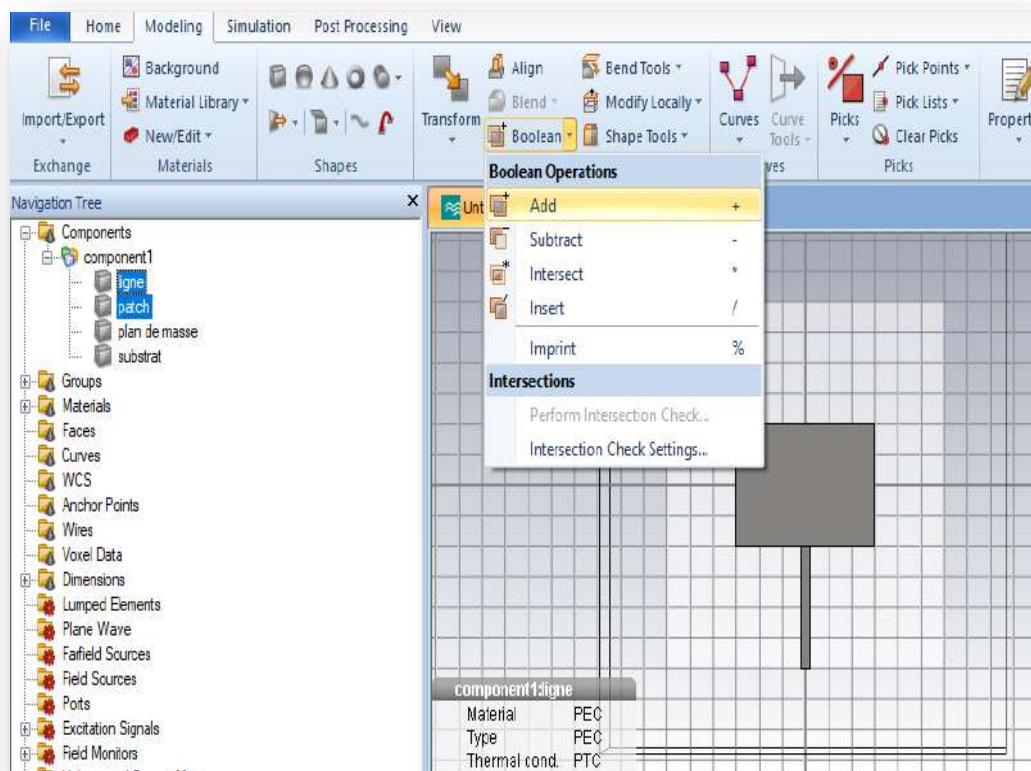
12. Modélisation de l'antenne patch :



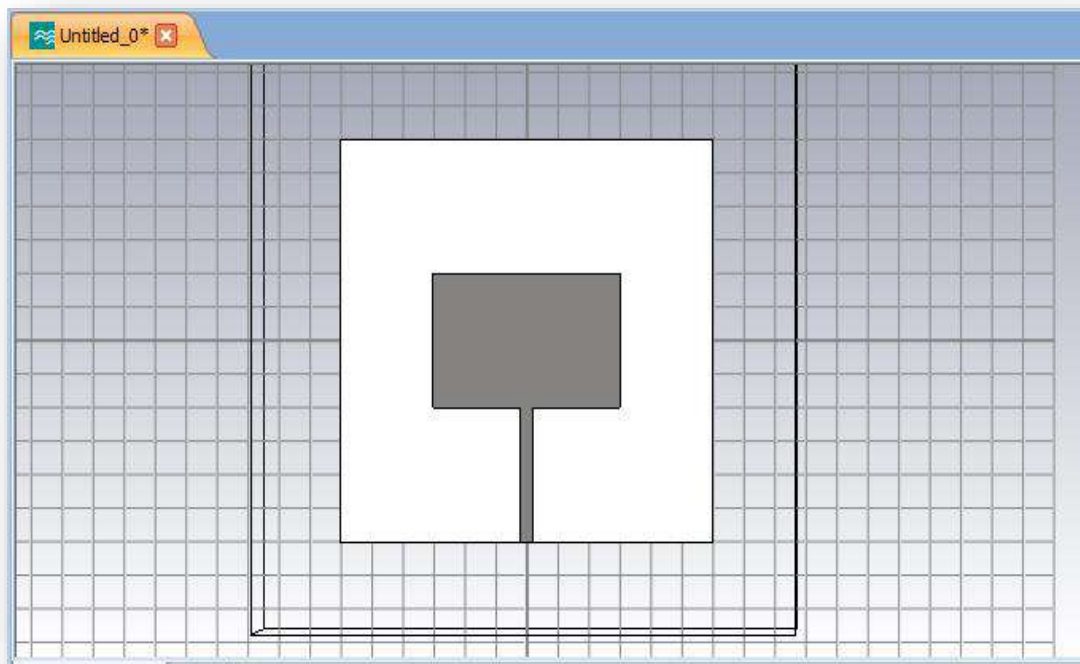
13. Modélisation du patch et de la ligne de transmission :



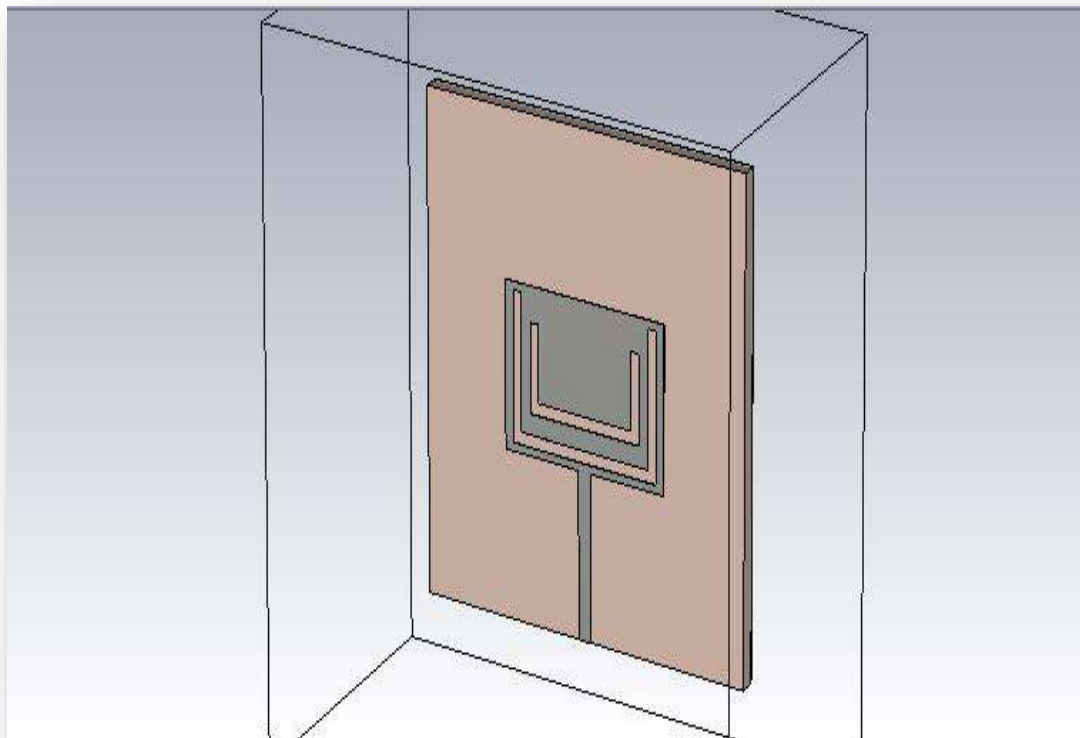
14. Outil booléen pour rejoindre les structures :



15. Modélisation de l'antenne patch complétée :

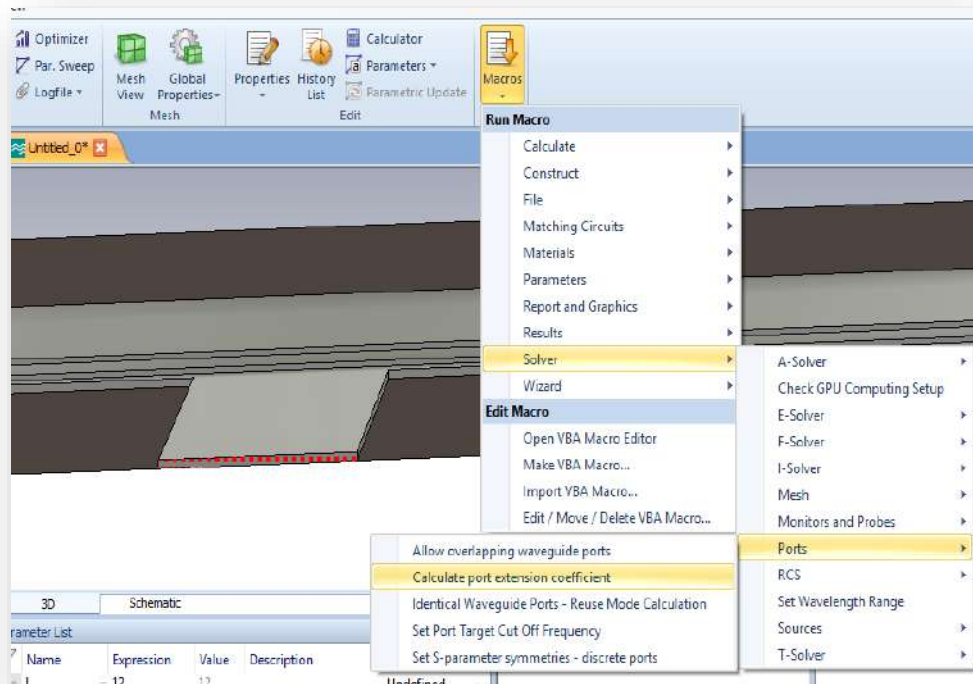
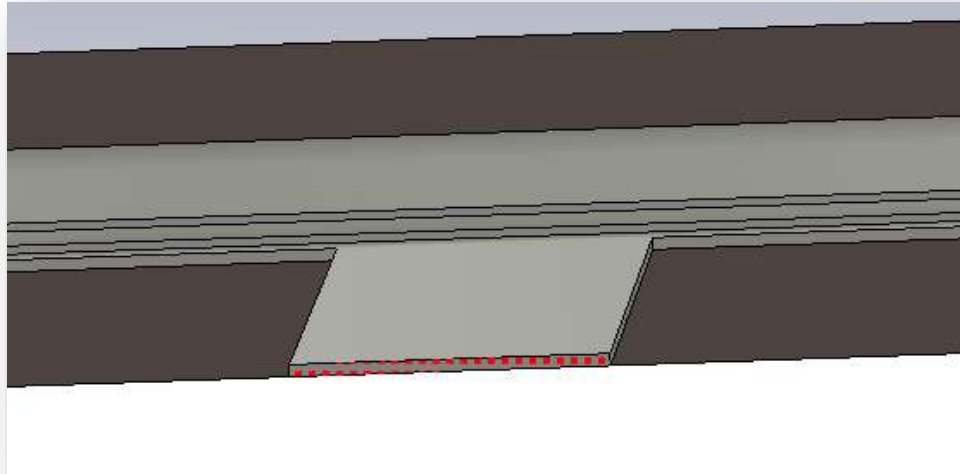


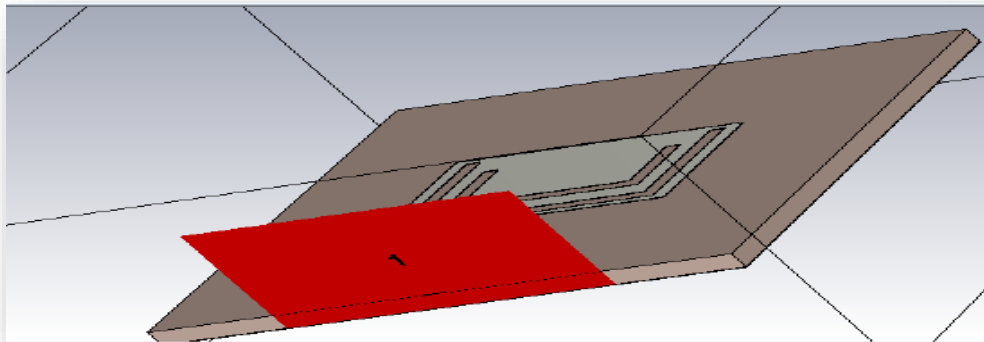
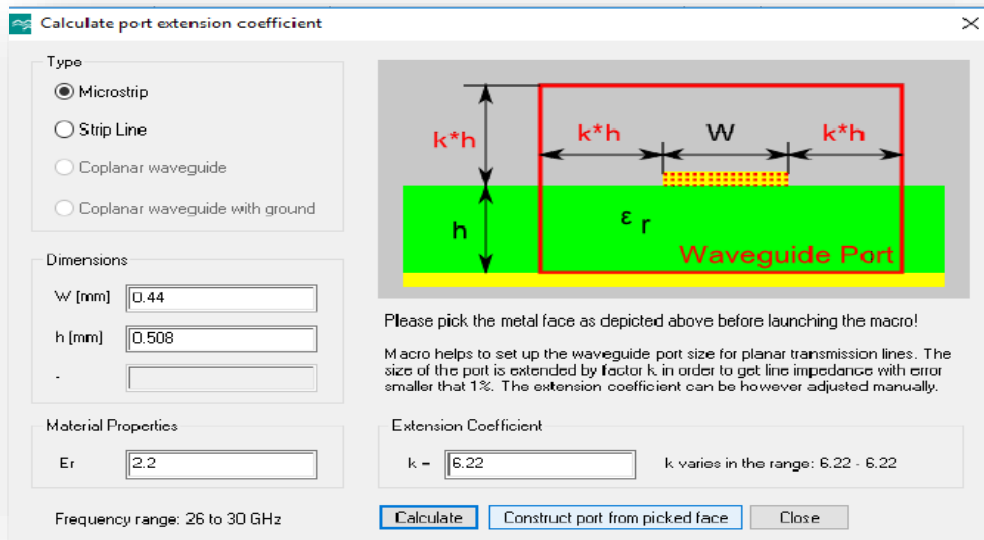
16. Nous plaçons les deux fentes au-dessus de l'antenne :



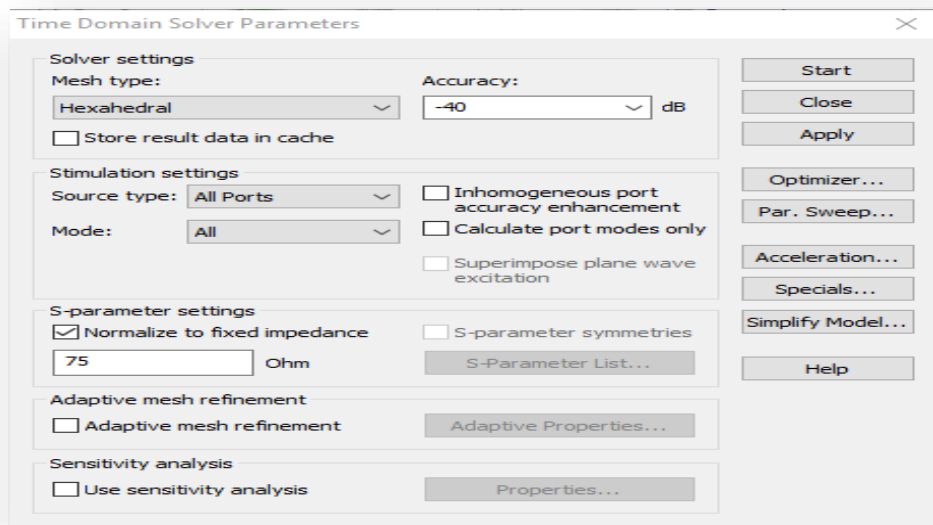
17. Alimentation de l'antenne via l'onde de port de guidage:

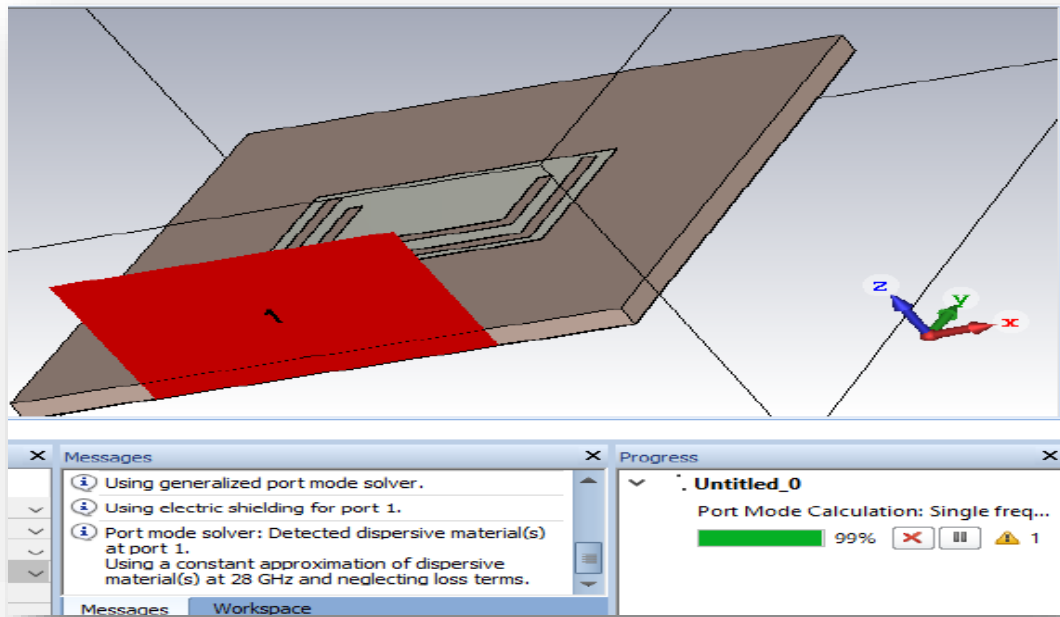
Nous cliquons sur modeling —picks—pick fice sur la fin de la ligne. Ensuite, nous suivons les étapes décrites dans les figures suivantes.





18. Sélection de l'outil Setup Solver pour la simulation et progrès de la simulation dans CST Microwave Studio :





Résumé :

Le travail de cette recherche est consacré à l'étude et la simulation d'un arrangement d'antennes dans la bande de 28 GHz pour le mobile de la cinquième génération (5G). Pour cela, la bande millimétrique, 5G et les antennes microbandes sont caractérisées. En outre, les paramètres fondamentaux des antennes utilisées pour les fréquences millimétriques comme les patches vont être identifiés et les outils pour la simulation d'antennes de dimensions millimétriques vont également être décrits. En utilisant le logiciel CST Microwave Studio, nous allons proposer et analyser les meilleurs arrangements d'antennes qui peuvent améliorer la performance.

Mots clés : la cinquième génération (5G), la bande millimétrique, les antennes microbandes, CST Microwave Studio, le réseau d'antenne.

Abstract:

This research presents a mobile antenna simulation in the 28 GHz band for fifth generation communications systems Where the fifth generation is characterized by micro-antennas and millimeter frequency waves and through this work we provide the antenna used for frequency bands The information is only millimeter as simulation tools are described as antenna size Through, the CST Microwave Studio program will propose/suggest and analyze antennas that can improve performance.

Keywords: 5th generation (G5), band meter, small band antennas, CST Microwave Studio.

المخلص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة محاكاة الهوائي المتنقل في نطاق التردد 28 GHz لأنظمة اتصالات الجيل الخامس حيث يتميز الجيل الخامس بالهوائيات الدقيقة وموجات التردد المليمتر. لهذا، قمنا بتقديم المعلومات الأساسية للهوائيات المستخدمة للترددات المليمتر كما تم وصف أدوات المحاكاة الهوائيات بحجم مليمتر. تم العثور على نتائج المحاكاة بواسطة برنامج CST Microwave Studio الذي من خلاله قمنا بتحليل ودراسة الهوائيات التي يمكن أن تحسن الأداء.

الكلمات المفتاحية: الجيل الخامس (G5)، النطاق المليمتر، هوائيات النطاق الصغير، CST Microwave Studio، شبكة الهوائي.