

2020

Conception et réalisation d'un réseau d'antennes pour la 5G en utilisant CST microwave studio



Rapport de projet réalisé par :
ASMA CHARAFI
NOUHAILA EL NABAOUTI
06/12/2020

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Aspects Généraux Sur La 5G

1. Introduction
2. Evolution des communications mobiles
3. La 5eme génération
4. Architecture de réseau mobile 5G
5. Les exigences de la 5G
 - 5.1. Très hauts débits ou débit crête par utilisateur
 - 5.2. Efficacité énergétique
 - 5.3. Capacité de trafic par zone
 - 5.4. Efficacité spectrale
 - 5.5. Mobilité
 - 5.6. Densité de connexion
 - 5.7. Débit moyen par utilisateur
 - 5.8. Latence
6. Technologies émergentes pour réseaux 5G
 - 6.1. Massive MIMO
 - 6.2. Les petites cellules
 - 6.3. Full duplex
7. Conclusion

Chapitre II : Les Antennes Imprimées Et La Bande Millimétrique

1. Introduction
2. Définition d'une Antenne
3. Paramètres caractéristiques d'une Antennes
 - 3.1. Impédance d'entrée
 - 3.2. Coefficient de réflexion
 - 3.3. Rapport d'onde stationnaire

- 3.4. Diagramme de rayonnement
- 3.5. Directivité
- 3.6. Gain
- 3.7. Fréquence de résonnance et bande passante
- 4. Antennes imprimées
 - 4.1. Structure d'une antenne imprimée
 - 4.2. Avantages et inconvénients d'une antenne imprimée
- 5. Réseau d'antennes imprimées
- 6. La bande millimétrique
- 7. Conclusion

Chapitre III : Simulation Et Résultats

- 1. Introduction
- 2. Cahier de charge
- 3. Le logiciel de simulation CST
 - 3.1. comparaison entre les différents logiciels de simulation EM
 - 3.2. Description du logiciel CST
- 4. Conception et simulation du réseau d'antennes pour la bande des 28 Ghz
 - 4.1. Conception de l'antenne patch résonante à 28 GHz
 - 4.2. Mise en place de réseaux d'antennes patch pour la bande des 28GHz
 - 4.3. Comparaison des résultats de simulation des deux structures
 - 4.4. Conclusion
- 5. Conclusion

Conclusion

Références Bibliographiques

INTRODUCTION GENERALE

Ils existent de nos jours plusieurs générations de réseaux mobiles en effet de 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, 3.5G, 4G et la 4G plus. Vu les évolutions des technologies de communication on a besoin de plus en plus de ressources.

5G n'est pas seulement de répondre aux besoins d'aujourd'hui mais à ceux de demain afin d'être un réseau qui ne craint ni la surcharge, ni l'évolution et qui s'adapte à de nouveaux usages.

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

Plusieurs questions se posent :

- Quelles sont les propriétés de la gamme millimétrique et les antennes qui déterminent leur utilisation en 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?

CHAPITRE 1 : ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LA 5G

1. INTRODUCTION

Au moment où le déploiement de la 4G est en cours auprès du grand public, il faut déjà se projeter dans l'avenir pour mieux réfléchir sur la prochaine génération. Ainsi, l'UIT par son instance IMT-2020 (Télécommunications mobiles internationales) définira les standards de la 5G. Généralement pour atteindre les objectifs globaux d'une norme IMT, les processus et les échéances sont élaborés dans trois grandes phases : une phase vision, une phase développement et une phase déploiement. Dans la première phase, les organismes se réunissent dans des conférences et des symposiums pour déterminer les objectifs, les exigences et les domaines d'intérêt. C'est dans cette phase de vision qu'on identifiera les techniques spécifiques et les technologies les plus prometteuses pour le développement de ces futurs réseaux 5G. Le groupe de travail de l'UITR a publié en 2015 un document nommant la recommandation IUT-R M .2083 qui marque les trois ans de travail sur la normalisation de la 5G à l'échelle mondiale. Ce document a permis de définir les bases nécessaires pour la recherche et le développement de la 5G [3]. Après les pré-requis définissant les besoins puis les technologies mobiles, l'objectif du IMT-2020 n'est rien d'autre que d'anticiper les besoins des utilisateurs de services mobiles dans les prochaines décennies. Dans cette deuxième phase qui sera marquée par le développement des standards, les chercheurs du monde entier ont jusqu'à 2020 pour proposer Chapitre 1 : Les enjeux de la 5G 7 de nouveaux concepts et des technologies pour la 5G en s'appuyant sur la base des conclusions de la première phase. Enfin vient la phase de déploiement sur la base des travaux déjà effectués dans les deux premières phases citées précédemment. Cette phase débutera à partir de 2020 pour le grand public mais quelques phases test sur terrain ont déjà eu lieu à l'occasion des Jeux Olympiques d'hiver de 2018 Pyeongchang en Corée du Sud.

2.EVOLUTION DES COMMUNICATIONS MOBILES

En seulement 20 ans, les réseaux de téléphonie mobile ont subi une transformation profonde en passant de la deuxième génération (2G) (communication vocale), à la troisième génération (3G) (communication vocale et transfert de données), puis à la quatrième génération (4G) (communication et transfert haut débit). En effet, d'un téléphone conçu à l'origine pour effectuer une conversation vocale entre deux utilisateurs sans fournir aucun autre service que le simple envoi/réception de messages textes, le Smartphone moderne est devenu aujourd'hui un véritable centre de données portatif donnant accès à une multitude de services et d'applications (appareil photo, navigateur internet, jeux...). Cette généralisation des accès internet via le Smartphone et l'arrivée des appels vidéo, poussent pour un débit de données encore plus conséquent



Figure : Evolution des réseaux mobiles

Depuis 1979 avec le déploiement de la première génération (1G) de réseaux sans fil, principalement analogique, une nouvelle technologie est née tous les 10 ans (Figure 1.1). La deuxième génération (2G) de réseaux mobiles et le passage au numérique avec la création du standard GSM ont introduit de nouveaux services de transfert de données comme les SMS (Short Message Service). Néanmoins, la 2G ne pouvait pas encore répondre à la demande d'accès à internet depuis les téléphones portables. Ceci a motivé le développement de la 3G qui est arrivée sur le marché en 2001 avec les premiers Smartphones. Puis en 2009, des débits de transferts de données beaucoup plus importants que ceux de la 3G ont pu être atteints avec la définition de la 4G permettant les appels vidéo et le transfert de fichiers beaucoup plus volumineux. Cependant, le réseau 4G ne peut pas répondre à la demande croissante du nombre d'objets connectés. C'est pourquoi l'industrie du téléphone mobile a choisi de développer le réseau de cinquième génération (5G) pour fournir une solution technique au problème rencontré la 4G aujourd'hui.

Le concept de 5G regroupe à la fois une évolution des réseaux mobiles existants pour satisfaire les futures demandes en transfert de données, mais aussi une révolution avec la création d'une nouvelle technologie de communication plus compétitive, c'est-à-dire un réseau qui sera plus efficace et moins cher.

3.LA 5EME GENERATION

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. 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.

4. ARCHITECTURE DU RÉSEAU MOBILE 5G

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

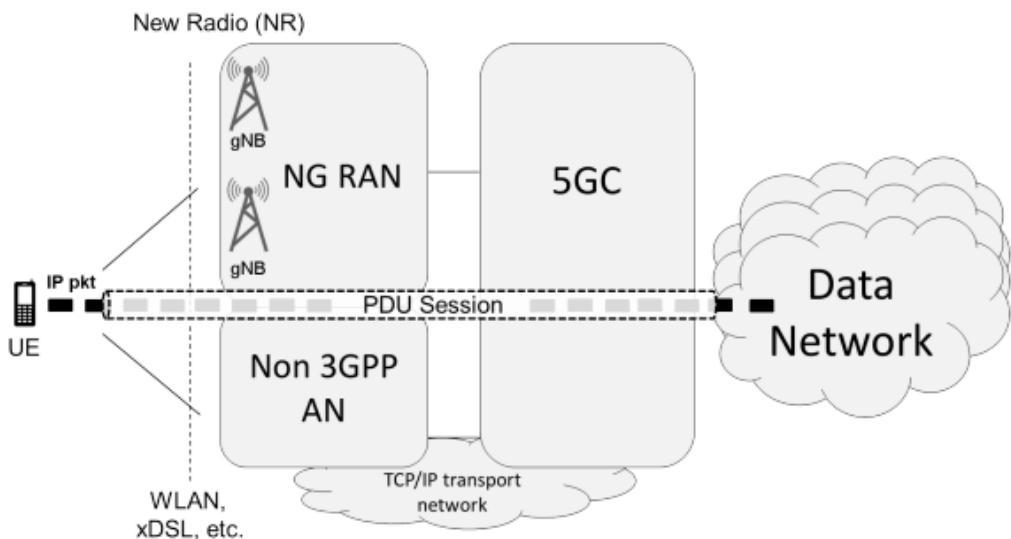


Figure : Architecture du réseau 5G

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

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

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

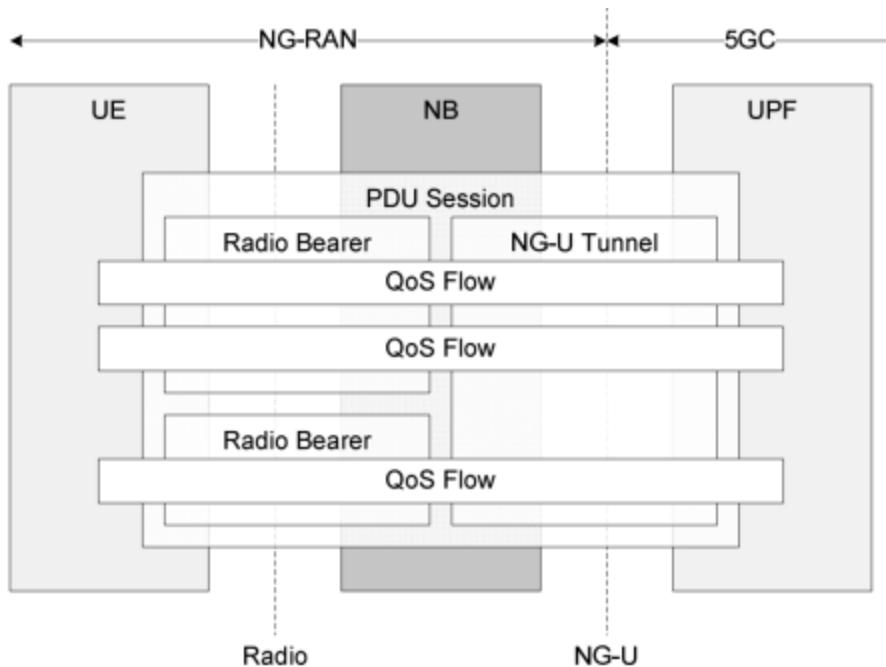


Figure: Session PDU et flux QOS : plan utilisateur (UP).

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

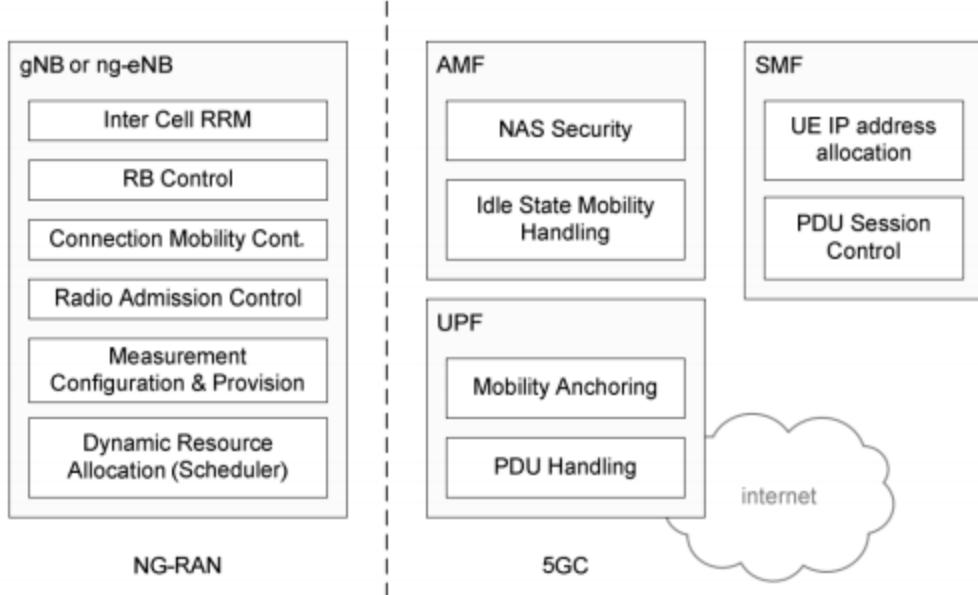


Figure : séparation fonctionnel entre NG-RAN et 5GC

6. LES EXIGENCES DE LA 5G

5.1. Très hauts débits ou débit crête par utilisateur

C'est une exigence qui est définie surtout à des fins d'évaluation dans les catégories d'usages d'eMBB. Elle est définie comme étant le débit de données maximal théoriquement réalisable qui peut être assigné à une seule station mobile en supposant des conditions sans erreur lorsque toutes les ressources radio disponibles sont utilisées pour la liaison correspondante (c'est-à-dire excluant les ressources radio utilisées pour la synchronisation de la couche physique, les signaux de référence ou les pilotes, les bandes de garde et les garanties). Le débit total de donnée R est déterminé dans une bande passante en fonction de l'efficacité spectrale.

$$R = \sum_{i=1}^Q wi \times SEpi$$

Wi : bande passante d'un canal ; $SEpi$: efficacité spectrale de crête dans cette bande
Selon les objectifs de la 5G, les exigences minimales pour le débit de données de pointe sont les suivantes :

- Le débit de crête de la liaison descendante est de 20 Gbit /s.
- Le débit de pointe de la liaison montante est de 10 Gbit/s.

5.2. Efficacité énergétique

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

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

L'efficacité énergétique devrait être considérablement améliorée par rapport à la 4G afin d'augmenter la durée de vie des batteries des objets connectés (batteries pouvant être jusqu'à 100 fois moins énergivores).

Tous les efforts doivent être faits sur l'optimisation énergétique afin d'avoir un bon gain d'énergie sans dégrader la performance du réseau et des dispositifs. Mais la technologie devrait permettre une flexibilité native pour l'opérateur dans le but de configurer un compromis entre l'efficacité énergétique et la performance lorsque cela est justifié.

Un compromis entre l'efficacité énergétique du réseau et la consommation énergétique des objets connectés peut se rapporter à deux cas de figures :

a) Une bonne efficacité d'énergie en cas de transmission de données

b) Une faible consommation d'énergie en cas d'absence de données.

5.3. Capacité de trafic par zone

La capacité de trafic par zone est définie comme étant le débit total de trafic fourni par zone géographique (en Mbit/s/m²).

Les zones urbaines et les grands lieux très denses tels que les concerts et les stades sont les meilleurs candidats à la densification du réseau en raison de la forte concentration d'utilisateurs. Par exemple, la densité d'utilisateurs dans un stade peut aller jusqu'à 2 millions/km² soit deux utilisateurs par m². Même si seulement 10% des utilisateurs sont actifs, le réseau doit être en mesure de supporter 200 000 utilisateurs actifs / km². Pour supporter ce trafic de manière abordable, la 5G doit fournir des solutions permettant une prolifération de capacité de 1.000 à 10.000 fois dans des endroits de forte demande. Ceci est considéré comme l'exigence la plus importante et l'une des plus difficiles pour les futurs réseaux.

5.4. Efficacité spectrale

Le futur environnement des systèmes de télécommunications risque d'être très dense et surtout hétérogène mais devrait être capable d'héberger les trois catégories d'usages cités précédemment mais aussi d'avoir une transmission efficace afin de permettre d'accéder à de nombreux services partout et à tout moment. La transmission des données et des applications multimédia nécessite une haute efficacité spectrale. Cette dernière est définie comme étant la quantité de données binaires (bits) pouvant être transférée durant une seconde sur une largeur de bande de 1 Hz (mesurée en bit / s / Hz / cellule).

Les améliorations de l'efficacité du spectre devraient s'appliquer à la fois aux cellules de petite et de grande taille, dans les bandes de fréquences basses et hautes, dans les scénarios de mobilité élevée et faible.

La mesure théorique de l'efficacité η est donnée par l'équation suivante :

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{T \cdot \omega \cdot M}$$

χ_i représente le nombre de bits correctement reçu par utilisateur dans une liaison montant i ou dans une liaison descendante i dans un système comportant un nombre N populations d'utilisateurs et M cellules.

ω désigne la largeur de bande du canal de transmission et T le temps nécessaire pour que les bits d'informations puissent être reçus par l'utilisateur.

Cette exigence est définie principalement à des fins d'évaluation dans le scénario d'utilisation d'eMBB. Les exigences minimales pour les efficacités spectrales pour l'ITM-2020 sont les suivantes :

- L'efficacité spectrale de pic de la liaison descendante est de 30 bits / s / Hz.
- L'efficacité spectrale de crête de la liaison montante est de 15 bits / s / Hz.

5.5. Mobilité

Le maintien d'un très bon niveau de qualité de service dans le contexte d'une mobilité à grande vitesse est une exigence indispensable pour la 5G et surtout pour le développement des voitures autonomes.

Il existe 4 différentes classes de mobilité, chacune des classes de mobilité est prise en charge si le lien du canal de trafic peut être maintenu lorsque l'utilisateur se déplace à la vitesse maximale dans cette classe de mobilité.

- 1 - Stationnaire : 0 km / h
- 2 - Piéton : 0 km / h à 10 km / h
- 3 - Véhicule : 10 km / h à 120 km / h
- 4 - Véhicule à grande vitesse : de 120 km / h à 500 km / h

5.6. Densité de connexion

La densité de connexion est la capacité à soutenir la livraison réussie d'un message d'une certaine taille dans un laps de temps, même dans des endroits très denses comme une gare, un stade de football, etc. Contrairement à la 4G qui n'offrait que des milliers de connexions par kilomètres carré, la 5G va multiplier ce chiffre par un facteur dix afin d'atteindre un million de connexions par kilomètre carré.

5.7. Débit moyen par utilisateur

Le débit de données par utilisateur est défini comme étant le débit moyen de l'utilisateur c'est à dire le nombre de bits correctement reçus par les utilisateurs. La valeur moyenne des débits par utilisateur varie selon les zones géographiques :

- Des débits +100 Mbps devraient généralement être réalisables dans les environnements urbains et suburbains.
- Des débits de données d'au moins 10 Mbps devraient être accessibles presque partout, y compris dans les zones rurales peu peuplées des pays développés et des pays en développement.

5.8. Latence

Cette exigence est définie comme étant le temps nécessaire à un paquet de données pour passer de la source à la destination à travers un réseau. L'arrivée de ce nouveau standard devrait permettre un temps de latence ultra-court, équivalant à moins d'un dixième du temps de latence des systèmes de communication actuels. Une latence très faible sera motivée par le besoin de supporter de nouvelles applications. Certains cas d'utilisation de la 5G envisagés,

tels que des voitures connectées et autonomes, des services d'urgence, des drones connectés, des opérations médicales à distance, etc, peuvent nécessiter une latence beaucoup plus faible que ce qui est possible avec les systèmes de communication mobiles d'aujourd'hui.

Face à ces exigences, différentes technologies ont suscité un certain engouement dans la communauté scientifique. Les principales technologies qui ont été retenues comme candidate idéale sur la couche physique pour répondre aux exigences de la 5G sont : le Full duplex, le Massive MIMO et les Small cells dans les bandes de fréquences millimétriques.

7. TECHNOLOGIES ÉMERGENTES POUR 5G

6.1. Massive MIMO

Pour atteindre les objectifs en termes de débit élevé, réduction de la consommation énergétique, latence, etc. La combinaison de diverses technologies sera nécessaire. L'une des solutions est l'introduction du Massive MIMO pour la prochaine génération, c'est-à-dire l'utilisation des antennes multiples à échelle massive [12]. La technologie MIMO a suscité un vif intérêt dans la recherche au cours de la dernière décennie et elle a déjà été intégrée pour la première fois dans le standard 3G et ensuite dans le standard 4G avec le MIMO multi-utilisateur (MU) pour la mono-cellule, ou le CoMP (Coordinated MultiPoint transmission) pour la multi-cellule.

Le but de cette technologie est d'augmenter les avantages des systèmes MIMO traditionnels. Elle se réfère à un scénario selon lequel des composants technologiques spécifiques permettent le déploiement rentable des systèmes cellulaires exploitant des centaines d'antennes dans les stations de base cellulaires. Cette technique est une approche pour augmenter la capacité du canal et pour fournir des gains élevés de multiplexage et de diversité dans les directions de liaison montante et de liaison descendante. Ces performances vont dépendre fortement du nombre d'antennes dans la station de base par rapport aux nombres d'utilisateurs.

Le principe de fonctionnement des systèmes Massive MIMO repose sur les informations d'état de canal (CSI) connus à la station de base pour traiter de manière cohérente les signaux, c'est à dire pour effectuer le précodage et la détection. Lorsque le nombre d'antennes d'émission est beaucoup plus grand que le nombre d'antennes de réception, des précodeurs linéaires simples et des détecteurs sont suffisants pour offrir une performance presque optimale. Cependant, lorsque le nombre d'antennes d'émission est inférieur ou égal au nombre d'antennes de réception, la conception de précodeurs et de détecteurs présentant une complexité raisonnable devient plus difficile. La Figure suivante présente l'architecture d'un tel système.

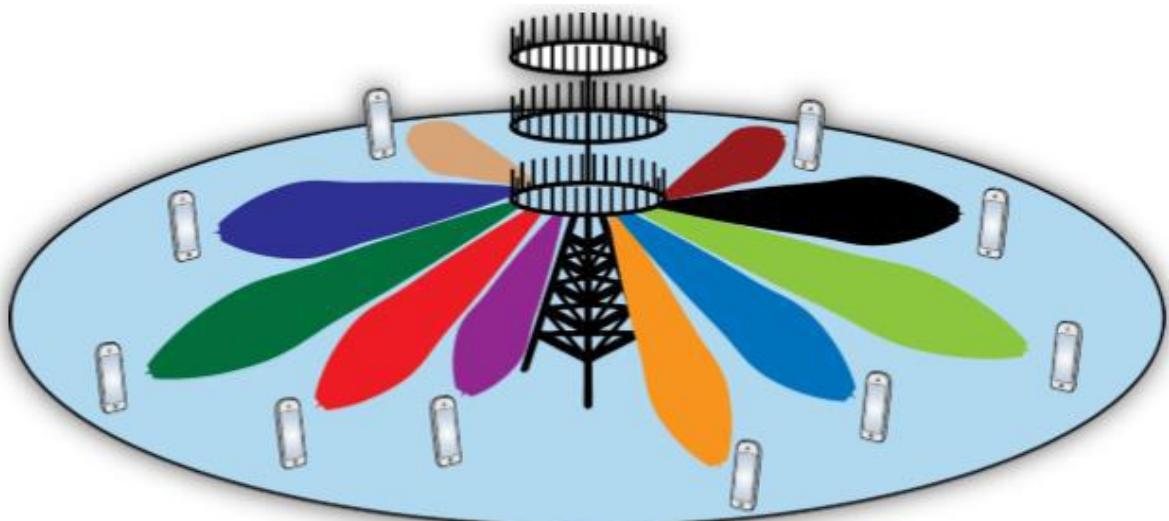


Figure : Système Massive MIMO avec N antennes pour desservir K utilisateurs

6.2. Les petites cellules (small cells)

Le standard 5G doit assurer la couverture en haut débit à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments. Cette gestion de la couverture avec une qualité de service a poussé la communauté scientifique vers de nouvelles solutions. L'idée de l'approximation du réseau c'est à dire de diminuer la distance entre les derniers point d'accès du réseau et les utilisateurs est actuellement considérée comme l'unique solution pour répondre aux exigences en matière de couverture. La capacité par utilisateur est réduite dans le cas des macrocellules, du fait du grand nombre d'utilisateurs. Résoudre ce type de problème revient à créer des cellules de petites tailles dans ces macrocellules, dans lesquelles le déploiement des équipements de communications radio de la 5G se fera. Ces cellules sont appelées 'Small cells'.

On distingue principalement trois types de Small cells en fonction de leurs puissances d'émission et de la zone de couverture.

i) Femtocellules : ce type de cellule permet d'émettre une puissance maximale de 24dBm afin d'avoir une couverture maximale de 100m. Les femtocells sont principalement déployées pour assurer la couverture d'un nombre restreint d'utilisateurs à l'intérieur des environnements résidentiels.

ii) Picocellules : dans ce genre de cellule, la puissance de transmission varie entre 24 et 30dBm, son rayon de couverture est compris entre 200 et 300m. Les picocells peuvent être utilisées pour améliorer une couverture à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments, par exemple dans les hôtels, les entreprises etc.

iii) Microcellules : cette catégorie de cellule permet d'obtenir une couverture un peu plus large qui peut aller jusqu'à deux kilomètres de rayon avec une puissance maximale d'émission de 40dBm. Comme les cellules précédentes, ce type de cellule peut être également utilisé dans le but d'assurer une couverture intérieure et / ou extérieur avec un nombre d'utilisateurs simultanés qui peut aller jusqu'à 2000.

Le Tableau suivant présente un résumé des différentes cellules en fonction des spécificités utilisées dans les systèmes de communications radio.

Type de Cellule	Puissance (W)	Rayon de couverture (km)	Nombre d'utilisateurs	Zone
Femtocellule	0,001 à 0,25	0,01 à 0,1	1 à 30	Intérieur
Picocellule	0,25 à 1	0,1 à 0,2	30 à 100	Intérieur / Extérieur
Microcellule	1 à 10	0,2 à 2	100 à 2000	Intérieur / Extérieur
Macrocellule	10 à > 50	8 à 30	>2000	Extérieur

6.3. Full duplex

La transmission sans fil Full duplex est actuellement au cœur des réflexions sur la définition de la 5G et de récentes résultats obtenus par les universitaires ont prouvé la faisabilité technique.

Habituellement dans les systèmes de communication sans fil actuellement déployés, le support sans fil est une ressource partagée et limitée. Les systèmes de communications sans fil continuent de partager les ressources dans le temps ou par répartition de fréquence avec le principe Half-Duplex. Cela nécessite une transmission et une réception des signaux qui se font dans deux intervalles de temps séparés ou dans deux bandes de fréquences différentes. En

outre, l'émetteur-récepteur ne peut pas transmettre et recevoir un signal en même temps à la même fréquence. Par exemple, le LTE utilise des canaux de liaison montante et descendante séparés de largeur égale pour permettre la communication entre la station de base et les utilisateurs. Ce qui limite considérablement la capacité des réseaux cellulaires, contrairement à la technologie Full duplex. Cette technologie permet une transmission et une réception simultanées dans le temps et sur la même bande de fréquence, ce qui peut théoriquement doubler le débit du système par rapport aux systèmes Half duplex conventionnels. La Figure suivante présente les deux répartitions temps et fréquence dans le Half duplex et aussi le Full duplex. Sur cette figure on constate que l'intégralité des ressources temps et fréquence sont utilisées dans le Full duplex dans les deux sens de liaisons.

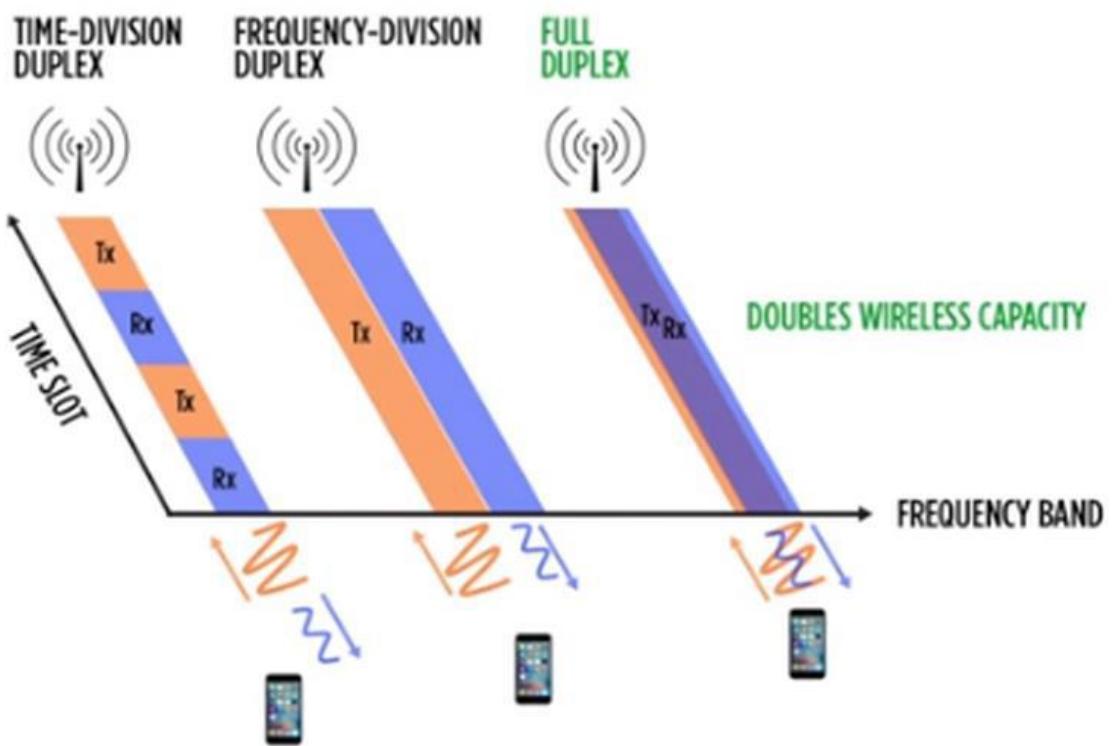


Figure : Présentation des différentes figures de répartition

7. CONCLUSION

Actuellement, l'explosion des objets connectés impose au réseau mobile des changements d'architecture afin d'améliorer leurs performances, ce qui de nos jours représente un vrai challenge pour la prochaine génération. Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les limites de la génération des réseaux mobiles actuelle qui ne pourra pas faire face à cette importante demande en termes de capacité. Donc l'arrivée de la 5G devient plus que jamais nécessaire pour répondre aux exigences du futur. Après avoir rappelé les objectifs du standard 5G, ainsi que ses catégories d'usages et ses différentes exigences, nous avons présenté les différentes technologies parfois complémentaires permettant de répondre à certaines de ses exigences. Chacune d'elles présente d'énormes avantages mais aussi des limites. Parmi ces technologies, nous avons cité la Massive MIMO qui permettra d'avoir une bonne efficacité

spectrale, énergétique..., le Full duplex qui aidera à doubler la capacité du canal par rapport à la technologie Half duplex de la 4G et les Small cells combinées aux ondes millimétriques pour avoir une large bande passante. Ces Small-Cells sont incontournables dans la réduction énergétique et également pour l'amélioration de la latence. Mais ces Small-Cells nécessitent l'utilisation d'antennes intelligentes c'est-à-dire dont les diagrammes sont directifs et reconfigurables sur demande de l'utilisateur. Ainsi, dans le chapitre suivant, nous présenterons les processus de commutations des faisceaux directifs. Il s'agira d'étudier les architectures des réseaux d'antennes et leurs techniques de reconfiguration du diagramme rayonnement dans le contexte de la 5G.

*CHAPITRE 2 : LES ANTENNES
IMPRIMEES ET LA BANDE
MILLIMETRIQUE*

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.

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.

3. PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES D'UNE ANTENNE

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

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:

$$Z = \frac{V_e}{I_e} = R + jX$$

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, 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 :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c}$$

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

$$S_{11(\text{dB})} = 20 \log(\Gamma)$$

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 :

$$ROS = \frac{(+v) + (-v)}{(+v) - (-v)}$$

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

$$ROS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

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. Il est donné par la relation suivante :

$$r(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{p(\theta_0, \varphi_0)}$$

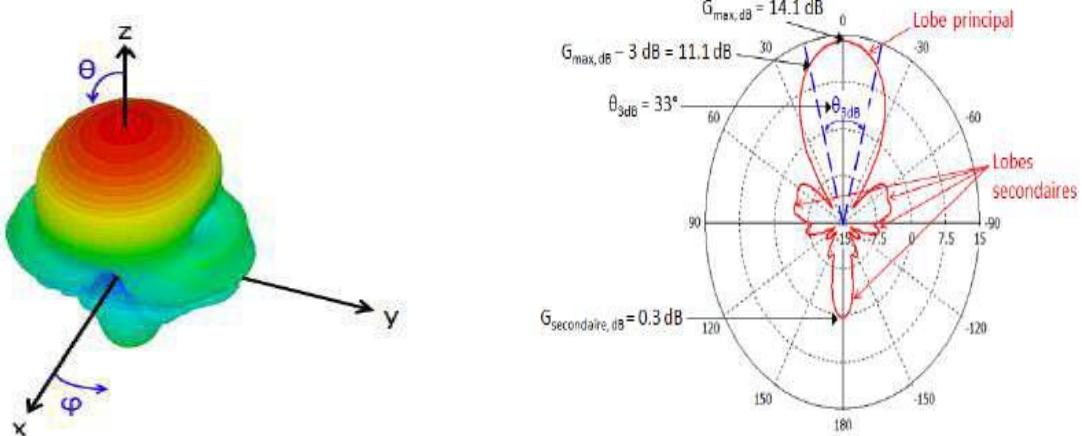


Figure : Exemple d'un diagramme de rayonnement en 3D, et diagramme dans le plan YoZ (gain en dB).

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. Elle est donnée par la relation suivante :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P}$$

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

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.

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \left(\frac{(U(\theta, \varphi))}{\text{source isotrope sans perte}} \right)$$

3.7. Fréquence de résonnance 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 résonnance, 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 minima donc plusieurs fréquences de résonnance. La bande passante est définie par la formule suivante :

$$BP = \frac{f_2 - f_1}{f_c}$$

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.

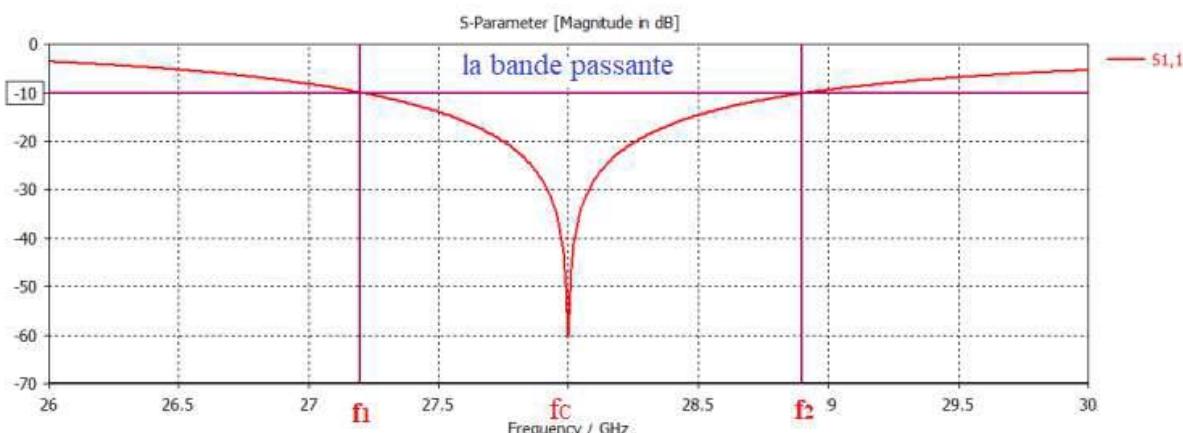


Figure : Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne.

4. ANTENNES IMPRIMEES

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.

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

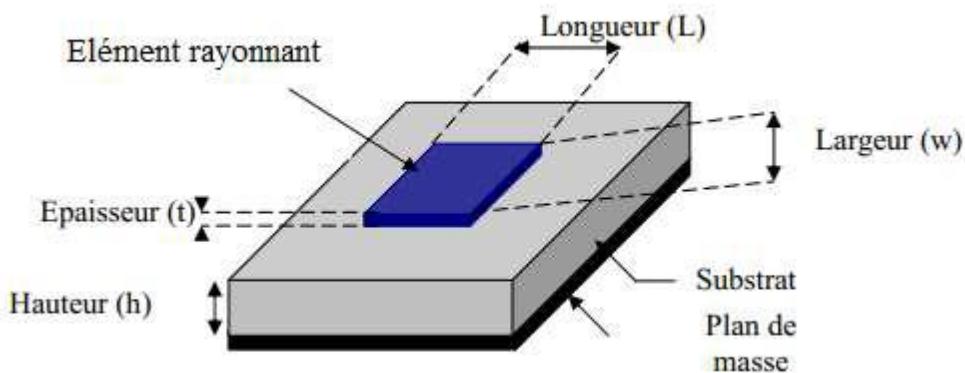


Figure : Structure d'une antenne imprimée

4.2. Avantages et inconvénients d'une antenne imprimée

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

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 : $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ + Faible puissance + L'impédance d'entrée est difficile à calculer et à ajuster + Réduction de l'efficacité des correctifs (pertes dans le réseau électrique)

5. RESEAUX D'ANTENNES IMPRIMEES

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 suivante montre quatre configurations de réseaux d'antennes possibles qui sont : réseaux linéaires, réseaux planaires et réseaux circulaires, réseaux tridimensionnelle :

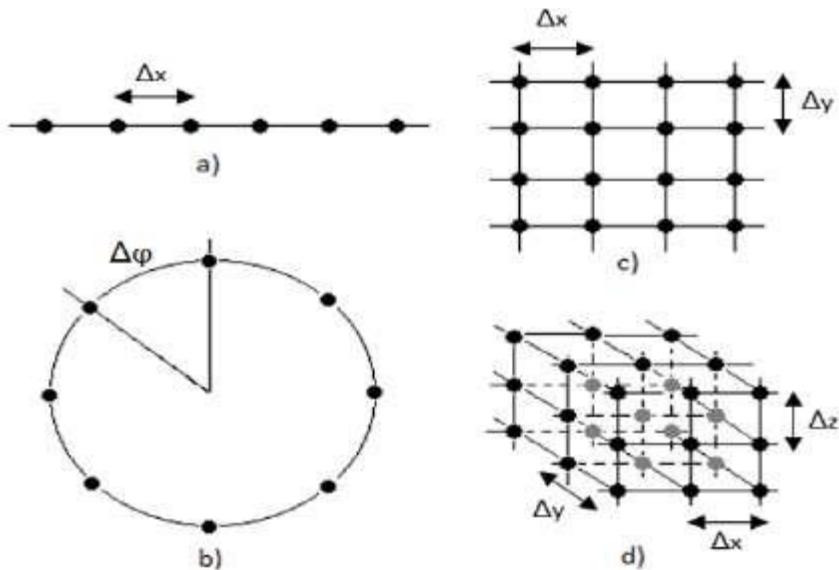


Figure : Différentes configurations de réseaux d'antennes :(a) : linéaire, (b) : circulaire, (c) : planaire, (d) : tridimensionnelle

- ❖ **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.

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:

- 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.

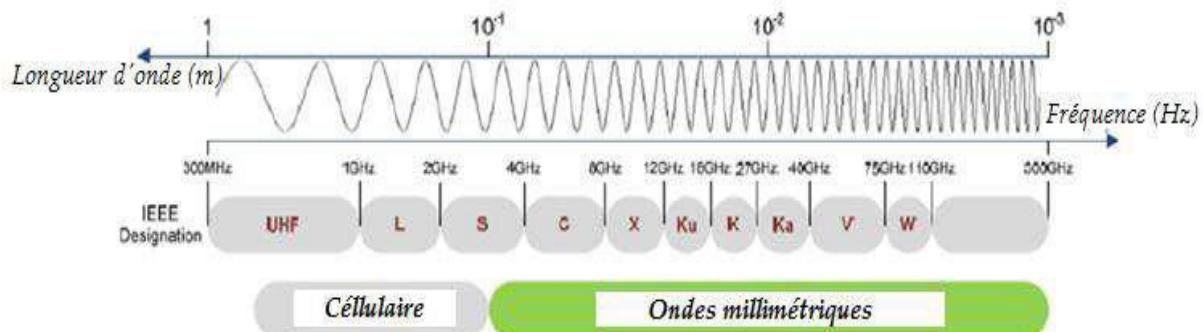


Figure : Micro-ondes et spectre de fréquences ondes millimétriques

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 suivante, l'absorption atmosphérique à 28 GHz est négligeable (0,06 dB / km) :

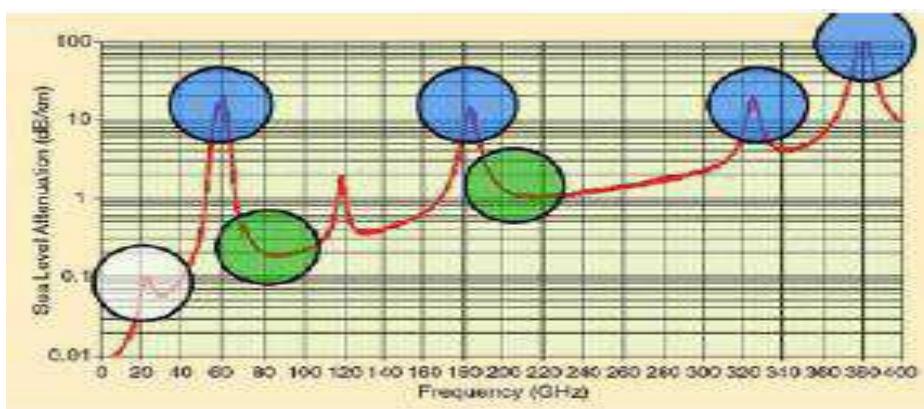


Figure : Absorption atmosphérique sur les fréquences millimétriques (en dB / Km)

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 ($\lambda = 10\text{-}1$ 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.

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.

CHAPITRE 3 : SIMULATION ET RESULTATS

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.

2. CAHIER DE CHARGE

Cahier de charges

Paramètres de performances	Valeur
VSWR	<3DB
Bandé passante	2,00 GH
Gain	12 DB
Directivité	>11 DB

Dans une 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 patchs identiques à notre première antenne patch proposée à la première étape.

3. LE LOGICIEL CST



3.1. Comparaison entre les différents logiciels de simulation EM

HFSS et CST sont des simulateurs EM 3 D basés sur différentes techniques de calcul. HFSS est basé sur la méthode des éléments finis (FEM) qui est plus précise pour la conception d'antennes, tandis que CST est basé sur l'intégration finie en technique (FIT) et est également populaire parmi les concepteurs d'antennes en raison de la facilité des simulations.

ADS est utilisée pour les simulations de circuits où des composants actifs sont également impliqués. Il peut également être utilisé pour les antennes planes et est basé sur MoM (Method of Moment).

Cependant, les résultats des trois simulateurs ne sont pas les mêmes en raison des différentes techniques de calcul impliquées.

Les résultats CST sont proches des résultats expérimentaux avec une meilleure compréhension de la structure disponible et facilité de conception.

3.2 Description du Logiciel de Simulation CST

CST STUDIO propose un large panel d'outil d'analyse des systèmes électromagnétiques en 3D. Il permet à l'ingénieur électromécanicien d'effectuer des simulations de systèmes complexes avec une précision inégalée. Ce logiciel est basé 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.

Afin de pouvoir répondre à toutes les demandes de simulation concernant le domaine de l'électromagnétisme, CST possède plus d'une dizaine de solveurs numériques. Ces solveurs sont tous adaptés à un domaine en particulier : on retrouve notamment des solveurs temporels

et fréquentiels pour ce qui concerne les hautes et basses fréquences, un solveur intégral et asymptotique pour tout ce qui traite des larges structures.

4. 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 :

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

4.1. Conception de l'antenne patch résonante à 28 GHZ

4.1.1. Structure de l'antenne :

La structure de l'antenne est proposée par la figure III.1, il présente deux fentes en forme de U gravées sur un patch rectangulaire

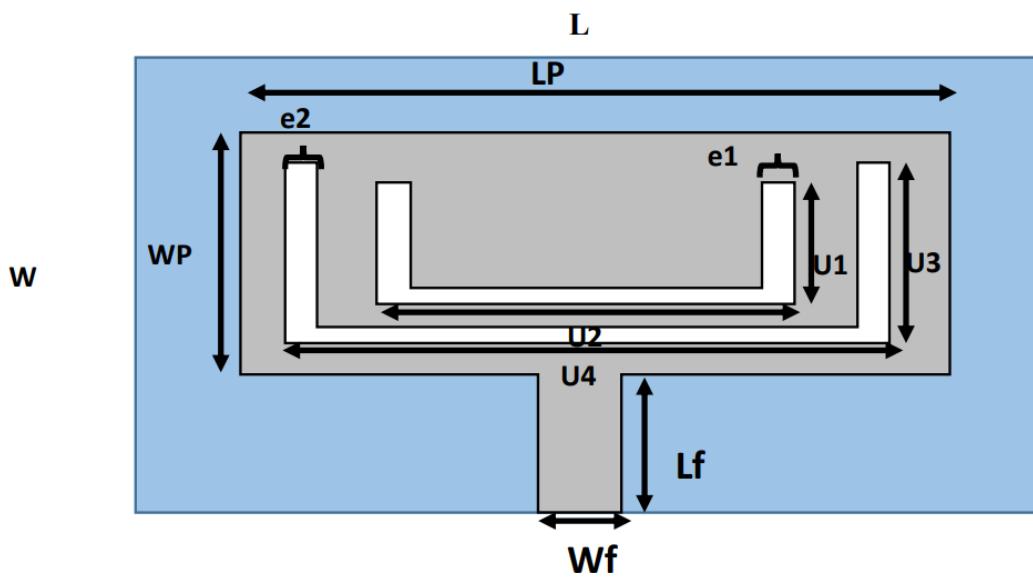


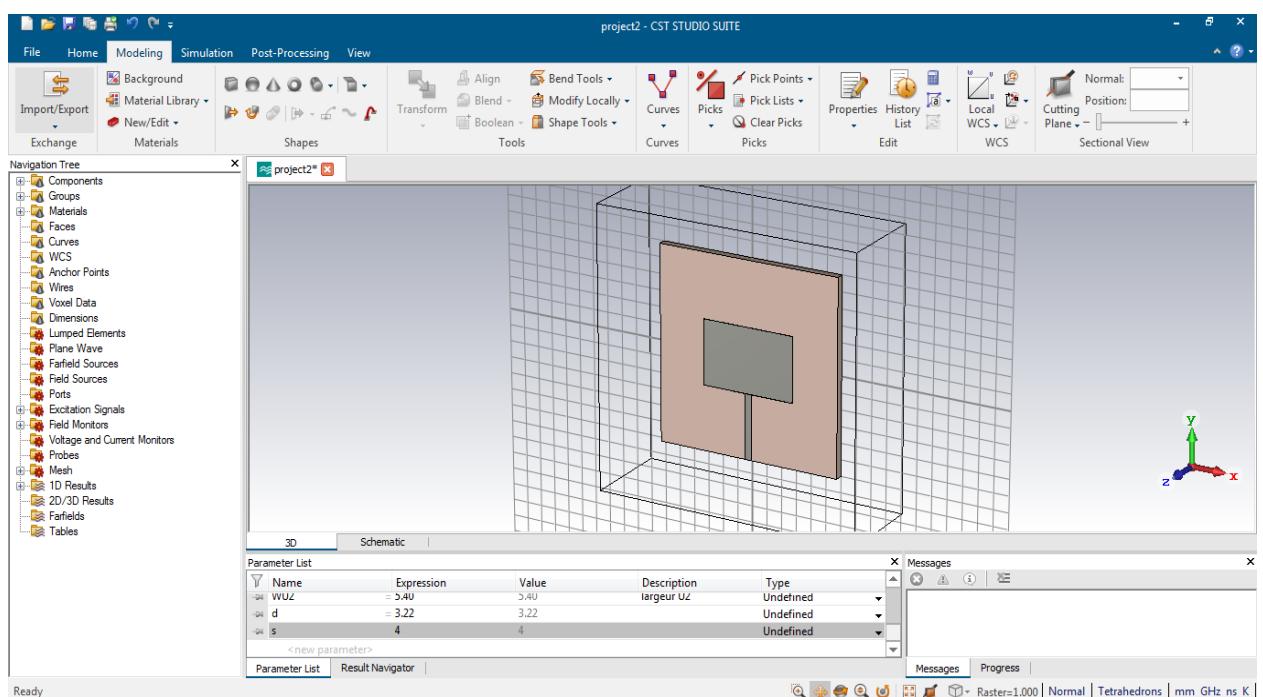
Figure III. 1: Un patch rectangulaire avec deux fentes en forme de U.

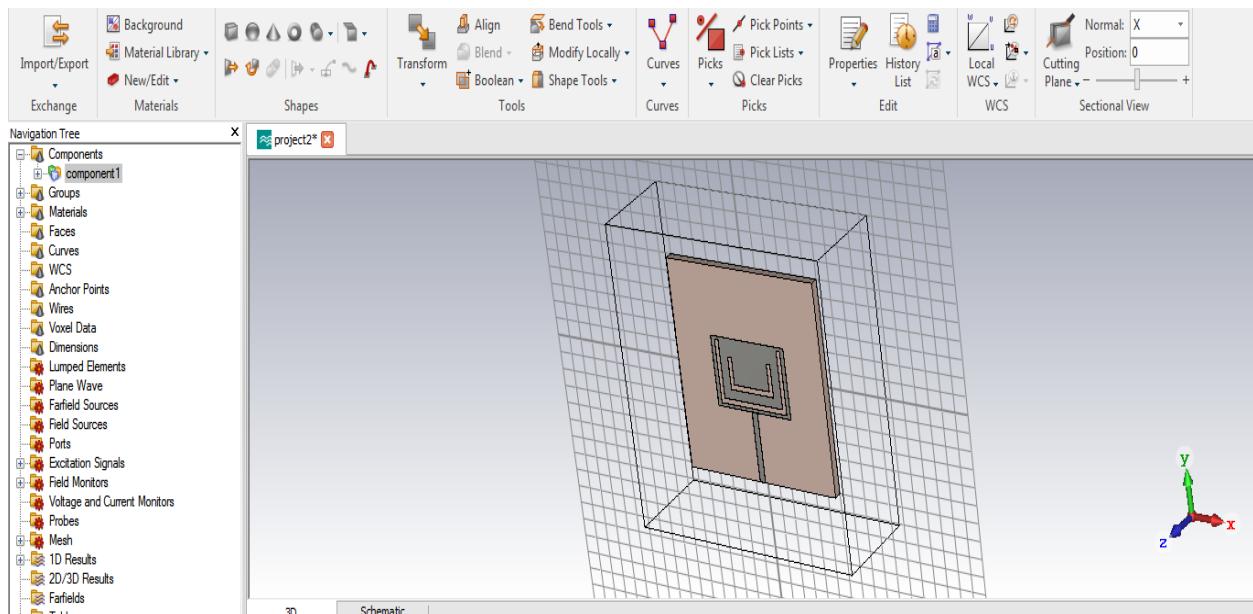
4.1.2. Dimension de l'antenne :

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

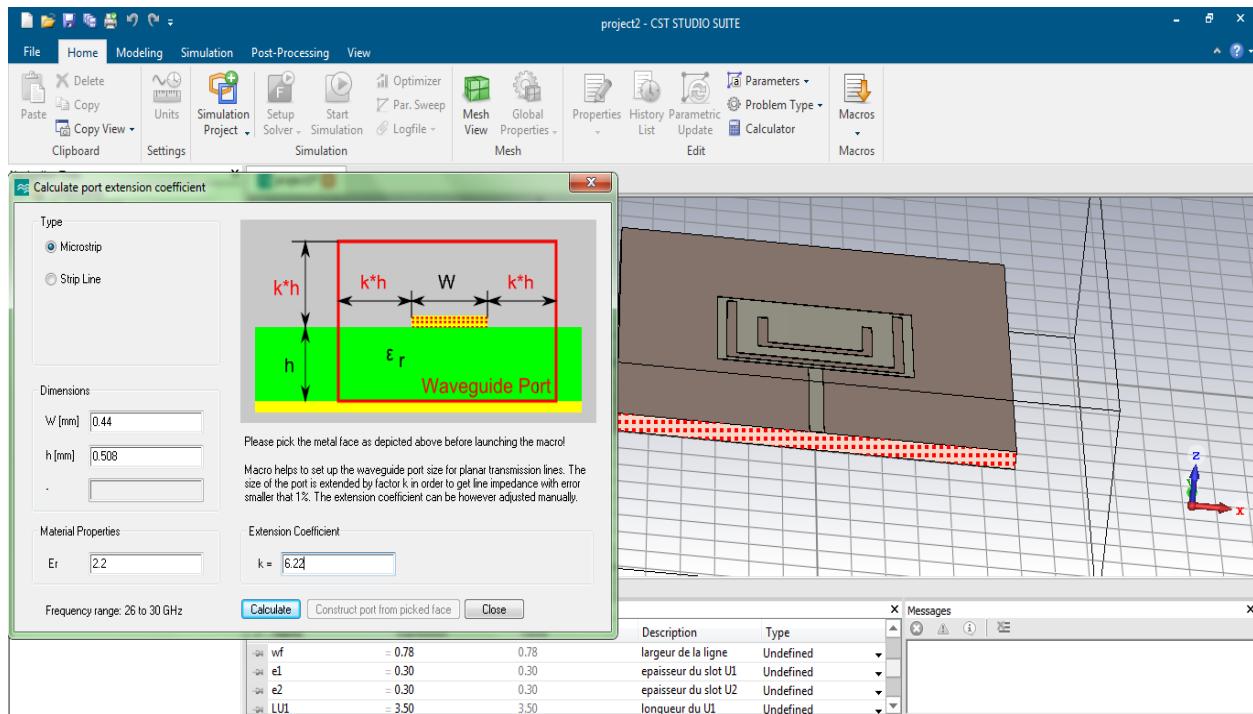
Paramètres	Description	Valeur (mm)	Paramètres	Description	Valeur (mm)
L	Longueur du substrat et du plan de masse	12	L_f	Longueur de la ligne	4
W	Largeur du substrat et du plan de masse	12	W_f	Largeur de la ligne	0.78
h_{pm}	Epaisseur de plan de masse	0.017	$e1=e2$	Epaisseur de slot U1 et U2	0.30
h_s	Epaisseur de substrat	0.508	U_1	Longueur du U_1	1.85
L_p	Longueur du patch	6	U_2	Largeur de U_1	3.50
W_p	Largeur de patch	4	U_3	Longueur du U_2	3.60
h_p	Epaisseur de patch	0.017	U_4	Largeur du U_2	5.40

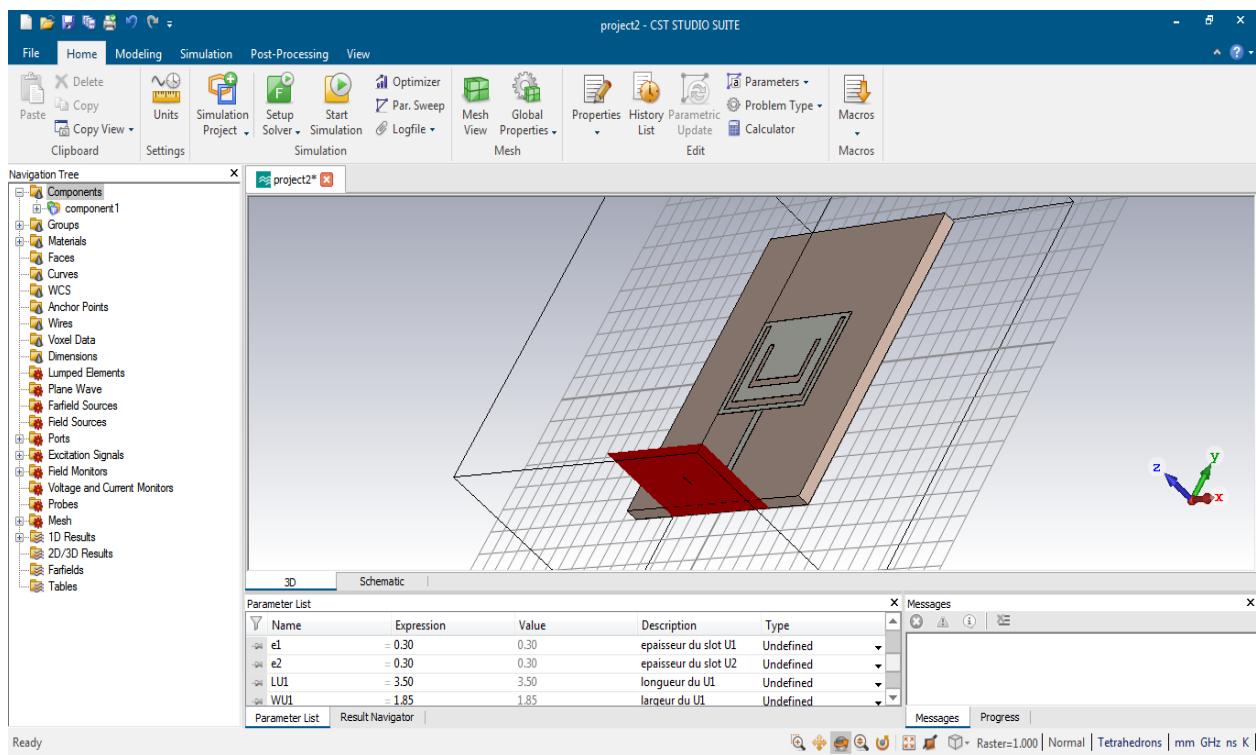
4.1.3. Patch sur CST :





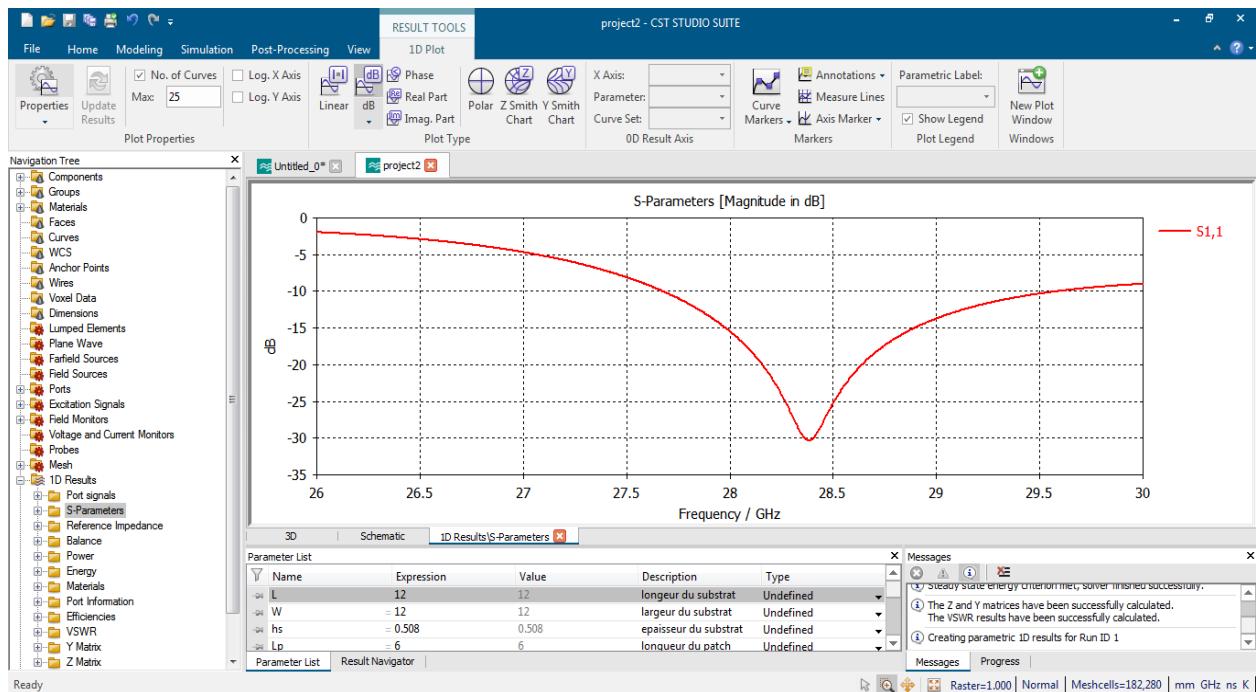
Alimentation du patch





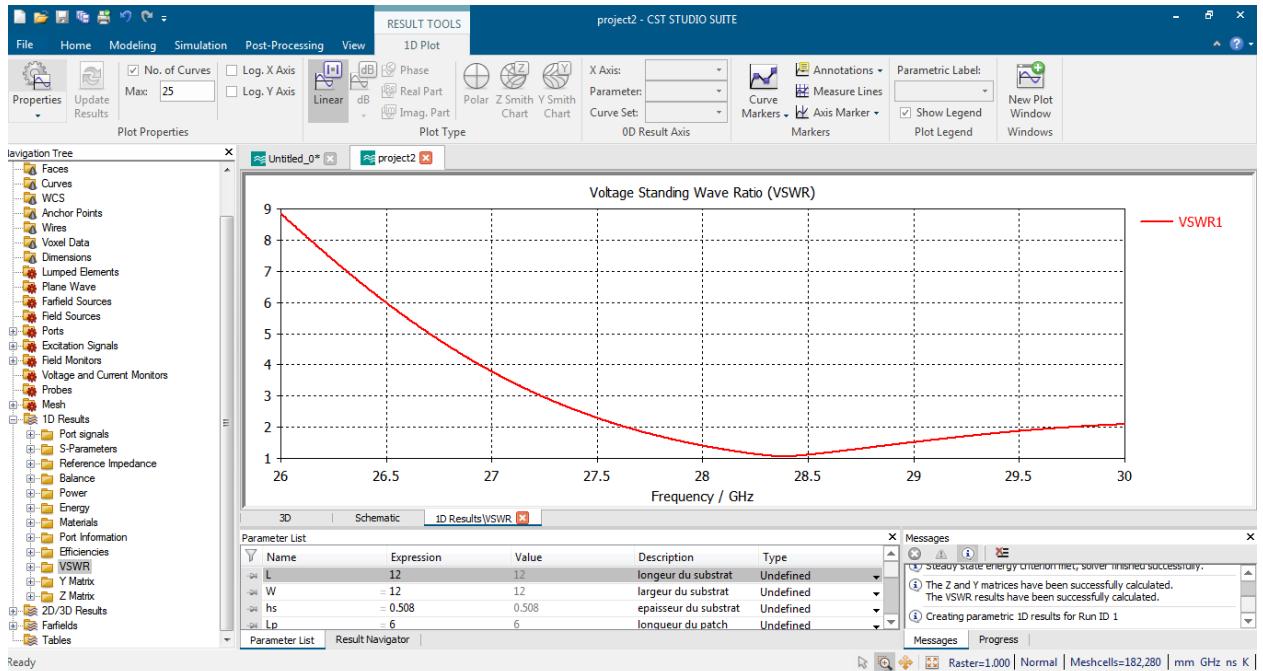
4.1.4. Résultats et discussions :

Coefficient de réflexion S11



L'antenne résonne à 28,375 GHz de plus on peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 2.007 GHz autour de la fréquence de résonance (28.5GHz) dans l'intervalle (27.52 - 29.527) GHz.

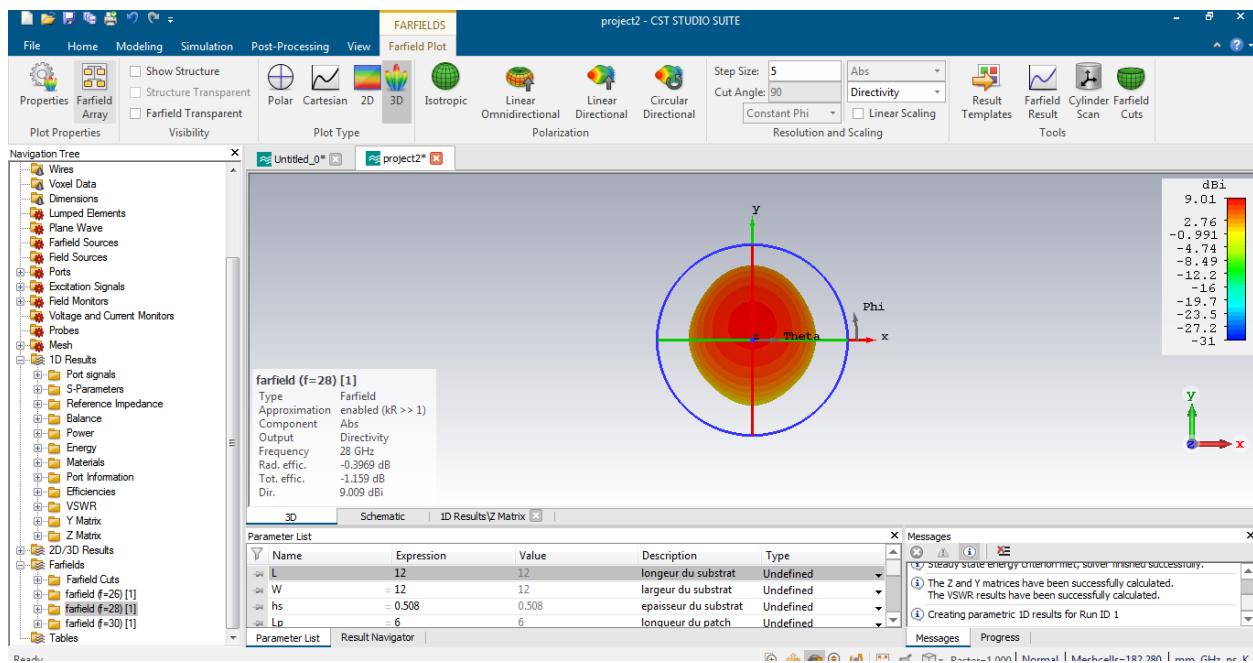
Taux d'onde stationnaire (VSWR) :



Nous avons relevé un TOS est <2 dans la bande passante précédente ce qui est acceptable.

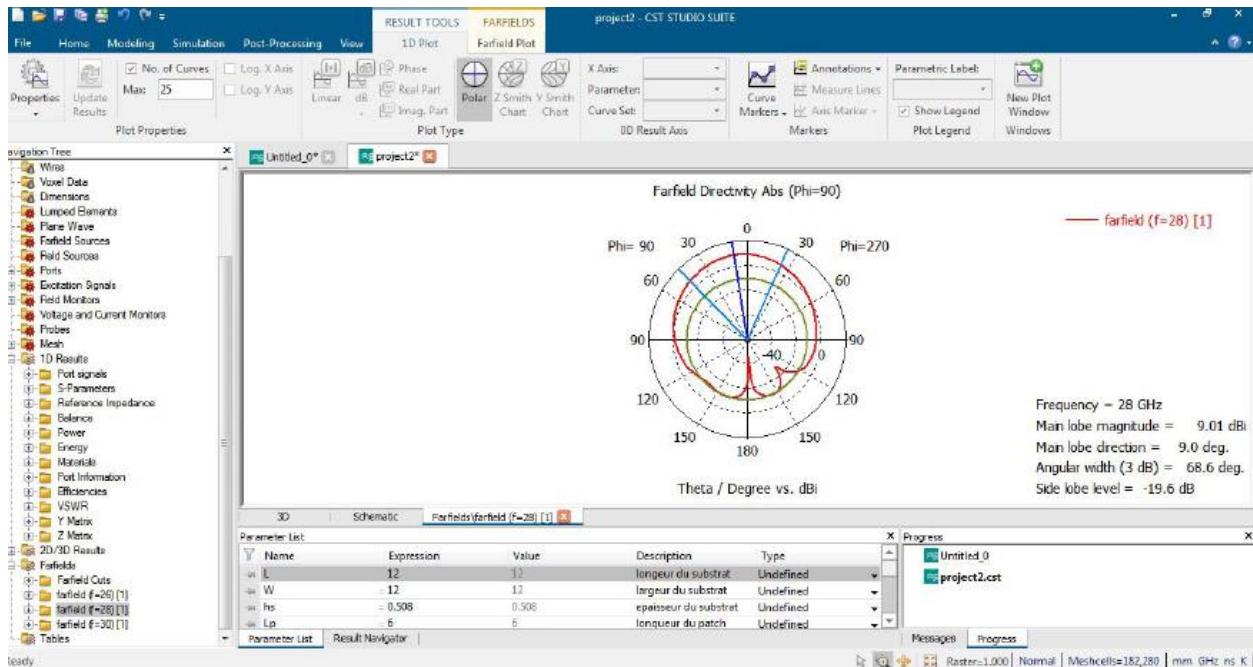
Diagrammes de rayonnement :

En 3D



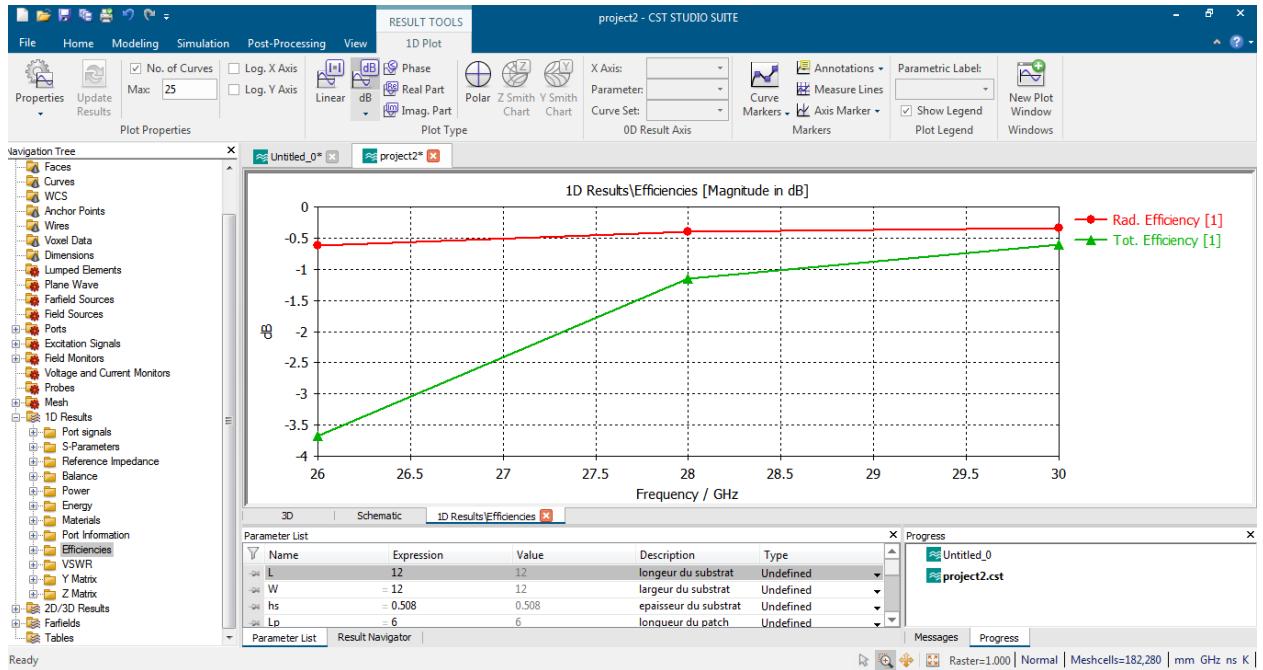
Presque le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne.

En 2D



En observant le diagramme de rayonnement 3D et 2D on peut constater que la plupart du rayonnement se trouve dans la direction verticale suivant z de plus Cette antenne est directive, et elle a un gain important dont son maximum est de 8.6dB.

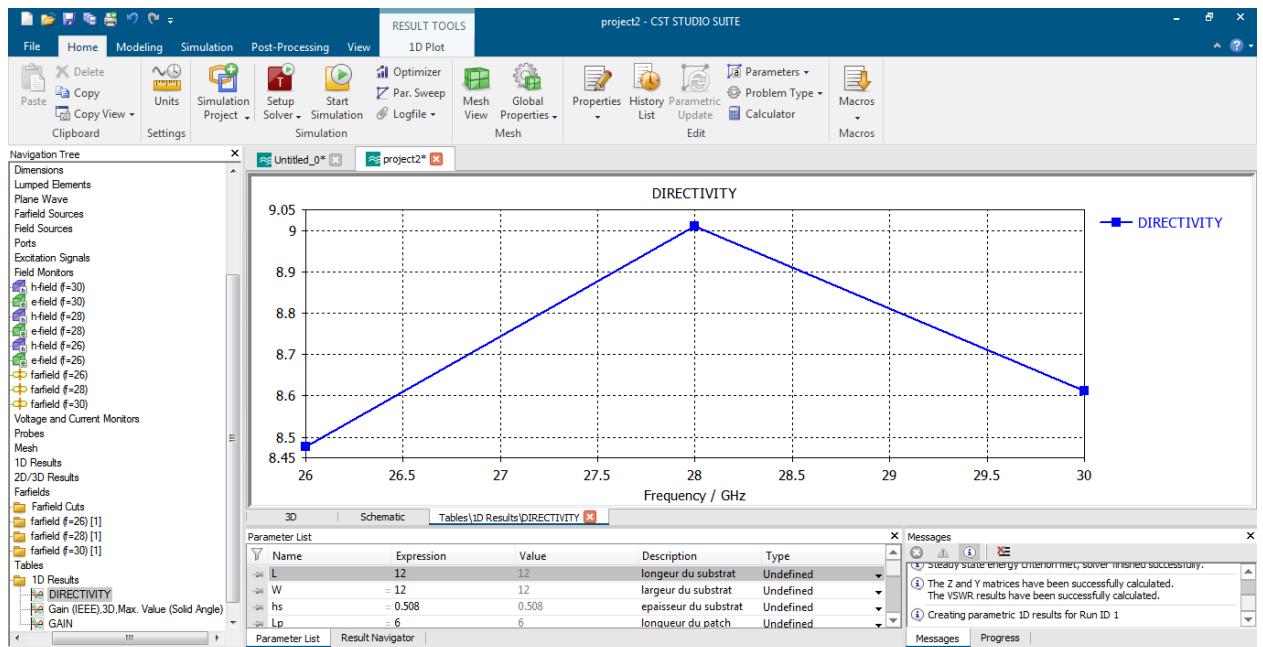
Le Rendement



Concernant le rendement on a :

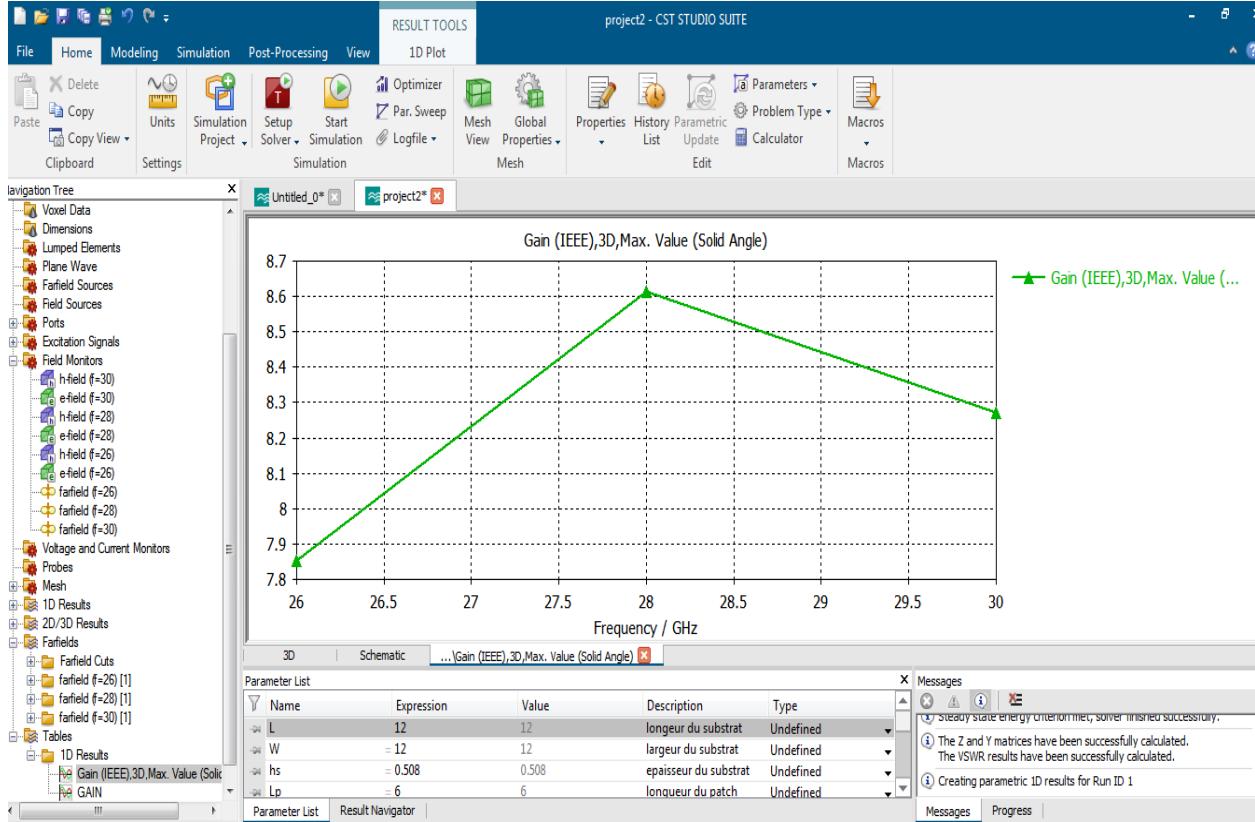
- Une efficacité de rayonnement de -0.396 DB
- Une efficacité totale de -1.159 DB

Directivité :



La valeur max de directivité est (9.009 dB) dans la bande de fréquence est 28 GHz.

Gain :



La valeur Le gain fort 8.6 dB à la fréquence est de 28 GHz. 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 2x1.

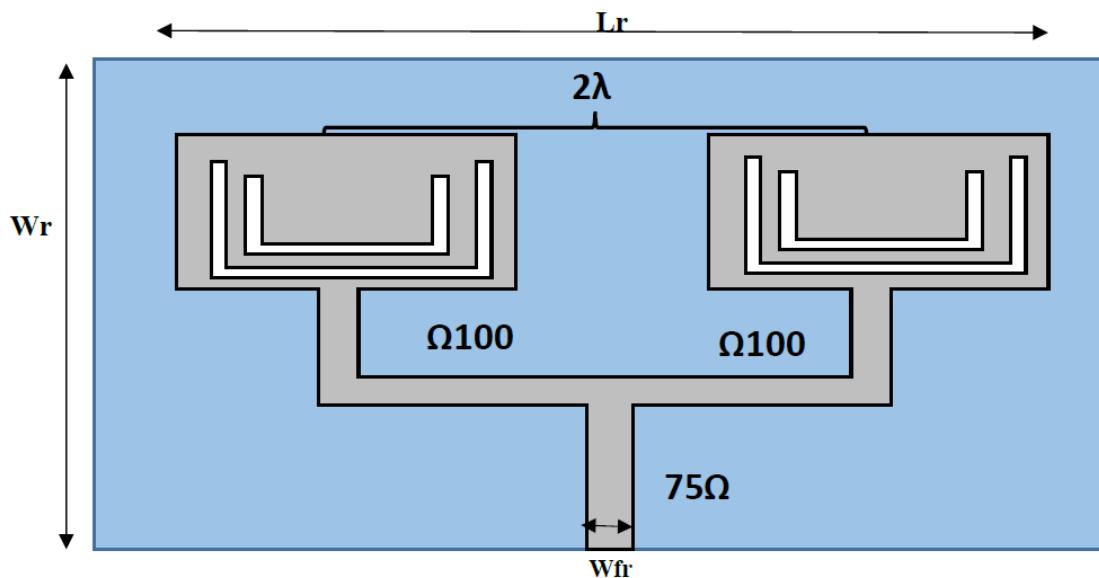
Paramètres fondamentaux de l'antenne patch dans la fréquence 28GHz

Résultat d'un seul patch	Valeur
Coefficient de réflexion s_{11}	-15,8 DB
VSWR	1,2 DB
Efficacité de rayonnement	-0,396 DB
Efficacité totale	-1,159 DB
Bande passante	2,01 GH
Gain	8,6 DB
Directivité	9,009 DB

4.2. Mise en place de réseaux d'antennes pour la Bande des 28 GHz

Pour satisfaire les exigences de la 5G on doit assurer un gain élevé. On a recours à un réseau d'antenne. Une fois l'antenne patch simple résonante à 28 GHz est 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.

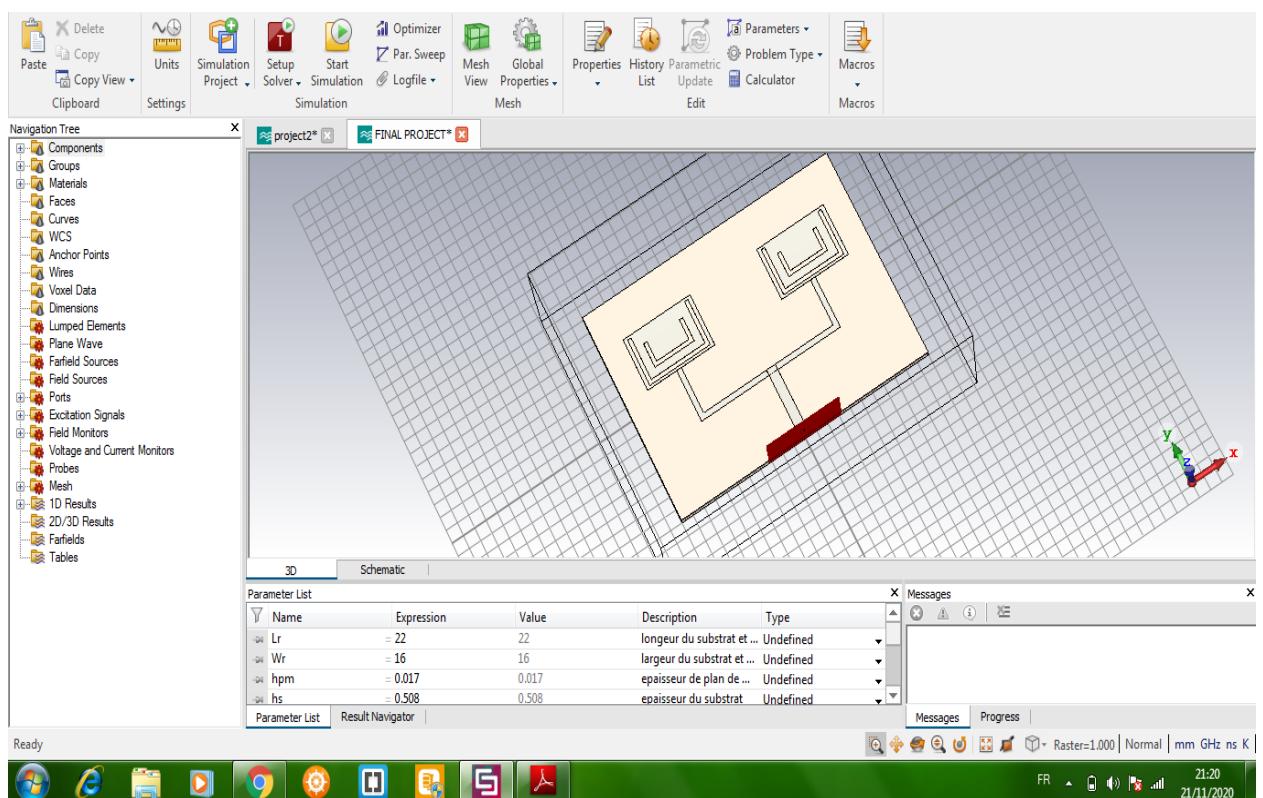
4.2.1. La structure du réseau

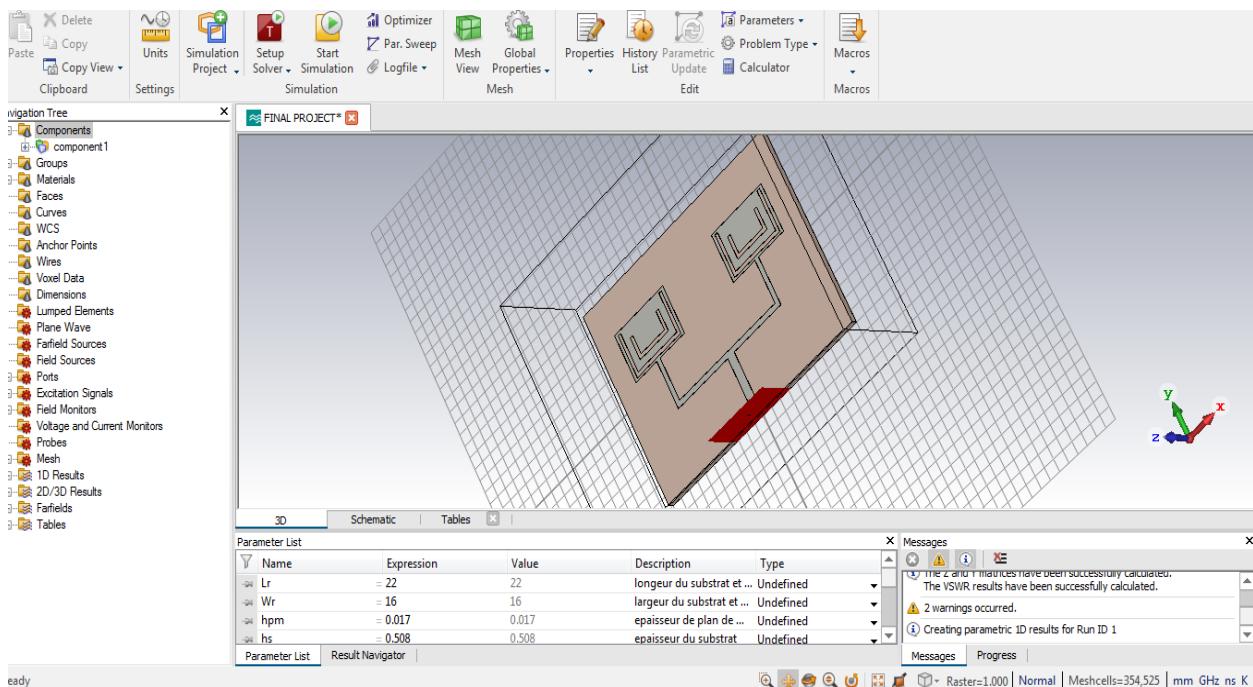


4.2.2. Dimensionnement

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	$(100\Omega = 0.42 \text{ mm})$ $(75\Omega = 0.78 \text{ m m})$

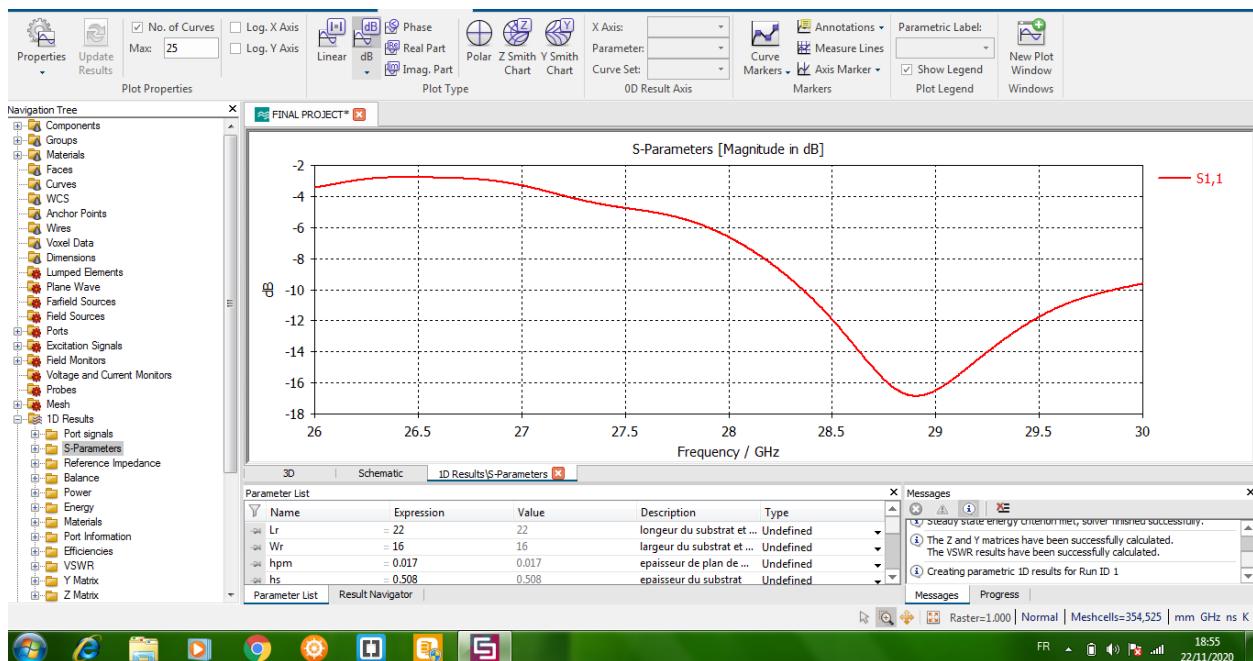
4.3. Sur CST





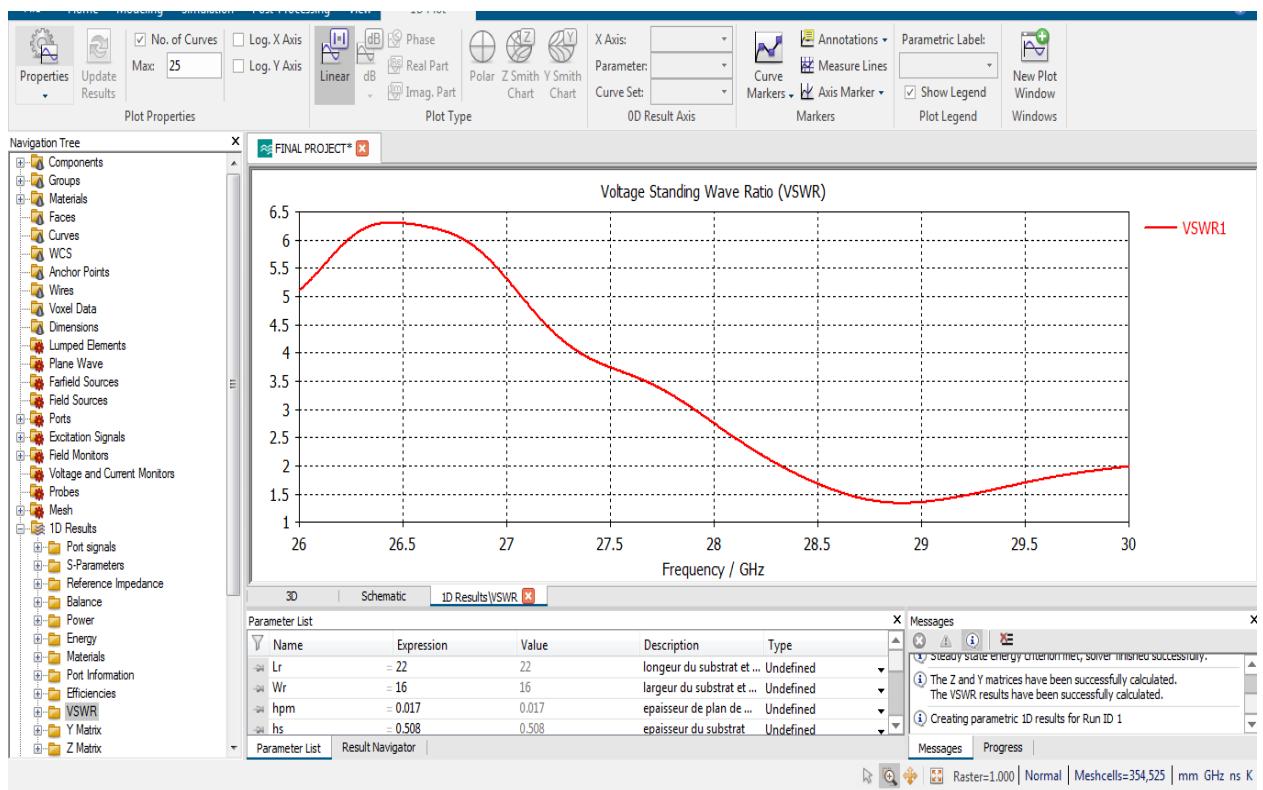
4.4. Résultats de simulation

Coefficient de réflexion



Ce graphique montre S11 en fonction de la fréquence indiquant la fréquence de résonance fondamentale de 28,54 GHz. On peut voir que l'antenne a une largeur de bande maximale de 2.007 GHz autour de la fréquence de résonance (28.10GHz) dans l'intervalle (28.1 - 30.1) GHz.

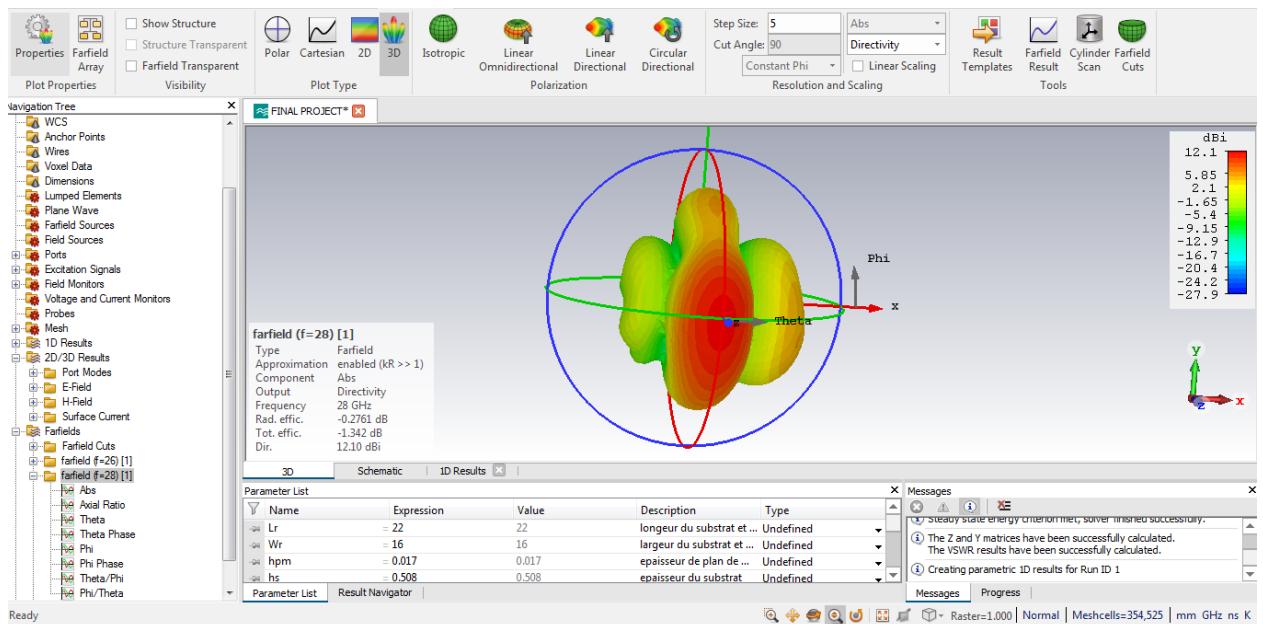
VSWR



On constate un VSWR de 2.7 pour une fréquence de 28 GH

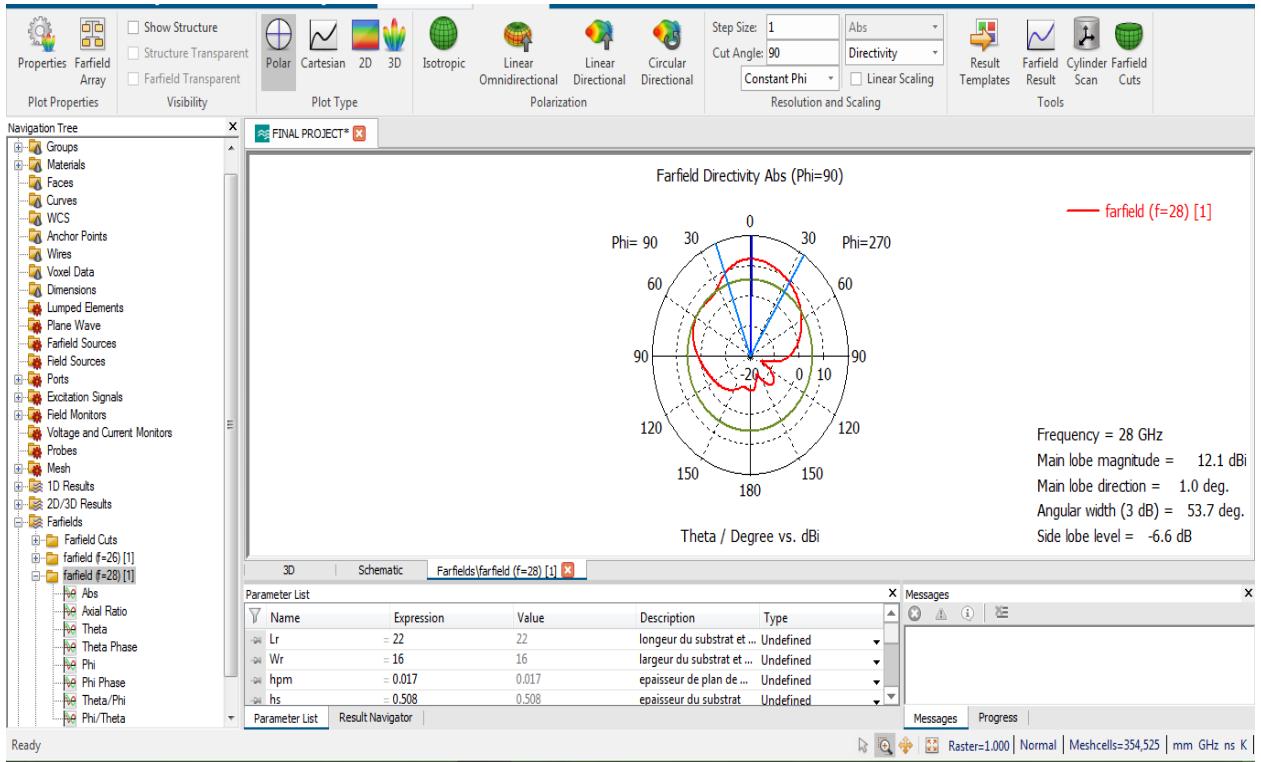
Diagramme de rayonnement :

En 3D



Le diagramme de rayonnement de l'antenne réseau à une forme appropriée, comme la montre la figure, et le rayonnement est concentré dans le plan supérieur de l'antenne.

En 2D

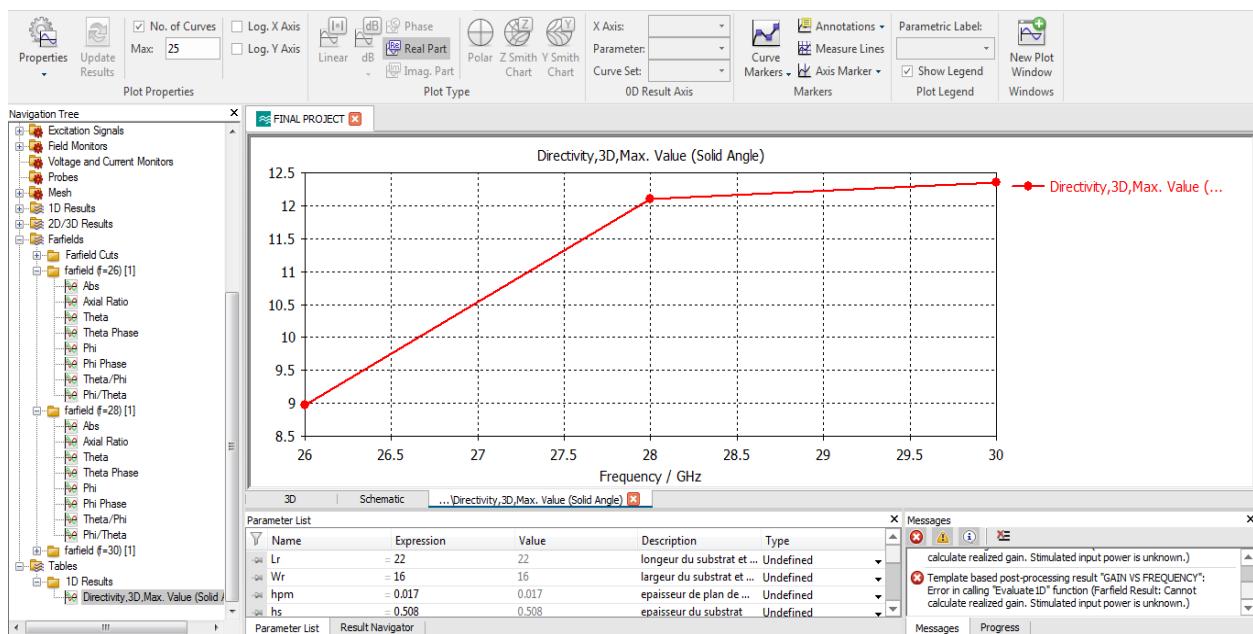


Rendement

Concernant le rendement on a :

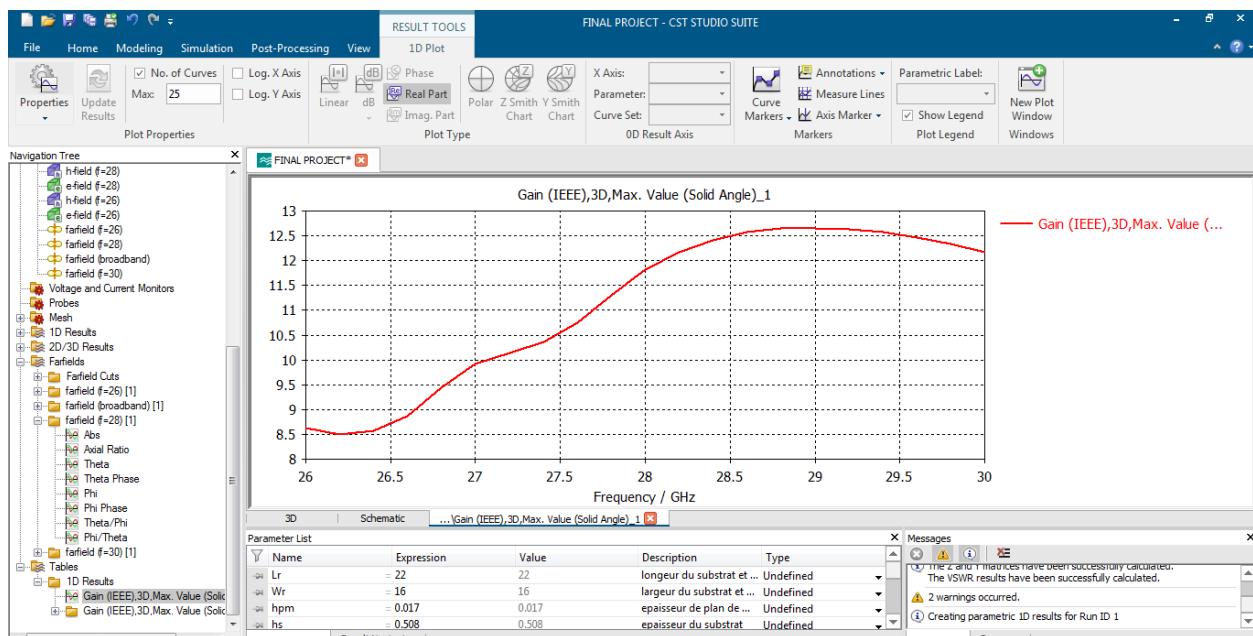
- Une efficacité de rayonnement de -0.2761DB
- Une efficacité totale de -1.342DB

Directivité



A 28 GHz on a une directivité de 12.10 Db.

Gain



On constate un gain de 11.9 à 28 GHZ Cela montre que cette antenne a satisfait les exigences et les exigences de 5G (gain Supérieur à 11db).

Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes 2x1 (à 28GHz)

Résultat d'un réseau d'antenne patch	Valeur
Coefficient de réflexion s11	-7 DB
VSWR	2,75 DB
Efficacité de rayonnement	-0,2761 DB
Efficacité totale	-1,342 DB
Bande passante	2,007 GH
Gain	11,9 DB
Directivité	12,10 DB

4.3. Comparaison des résultats de simulation des 2 structures

Comparaison entre les deux résultats de simulations à la fréquence de raisonnable 28GH:

Résultat d'un seul patch	Valeur	Résultat d'un réseau d'antenne patch	Valeur
Coefficient de réflexion s11	-15,8 DB	Coefficient de réflexion s11	-7 DB
VSWR	1,2 DB	VSWR	2,75 DB
Efficacité de rayonnement	-0,396 DB	Efficacité de rayonnement	-0,2761 DB
Efficacité totale	-1,159 DB	Efficacité totale	-1,342 DB
Bande passante	2,01 GH	Bande passante	2,007 GH
Gain	8,6 DB	Gain	11,9 DB
Directivité	9,009 DB	Directivité	12,10 DB

Après avoir réalisé les 2 parties de simulation on a constaté les résultats principaux suivants :

Pour le réseau d'antenne conçue on a :

- Une augmentation du gain de 3.3 DB
- Une augmentation de la directivité 3.009 DB

- La bande passante presque la même 2 GH
- Une augmentation de l'efficacité de rayonnement de 0.12DB

4.4. Conclusion

Nous pouvons remarquer à partir de cette comparaison que les caractéristiques de notre réseau d'antennes 2x1 ont fourni de meilleurs résultats qu'un seul patch en 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, une directivité supérieur à 12 Db et finalement une bande passante supérieur à 2 GHz pour une productivité élevée.

Conclusion générale

Les travaux réalisés dans ce projet s'inscrivent dans le domaine de la conception, la modélisation et la simulation d'une seule antenne puis un réseau d'antennes imprimées pour des applications de télécommunications à base de la 5G.

Dans le premier chapitre on a essayé de décortiquer les différents facettes de la 5G sa structure, utilisation, les technologies émergentes pour ces réseaux notamment la bande millimétrique.

Dans le 2^e chapitre on essaie de comprendre l'univers des antennes : ses types, ses différents paramètres de performance notamment ses divers types d'alimentations.

Dans le 3^e chapitre on a effectué plusieurs comparaisons entre les différents outils de conception et on a fini par choisir le CST MICROWAVE STUDIO, puis on a passé à la conception et la simulation d'une seule patch à l'aide du CST studio. Par les différentes simulations obtenues on a conclu que ses résultats ne satisfaisaient pas les exigences de la 5G que ce soit en terme de gain ou en terme de directivité, pour ces raisons on a passé à la conception d'un réseau d'antennes en s'appuyant sur la 1^e structure réalisée.

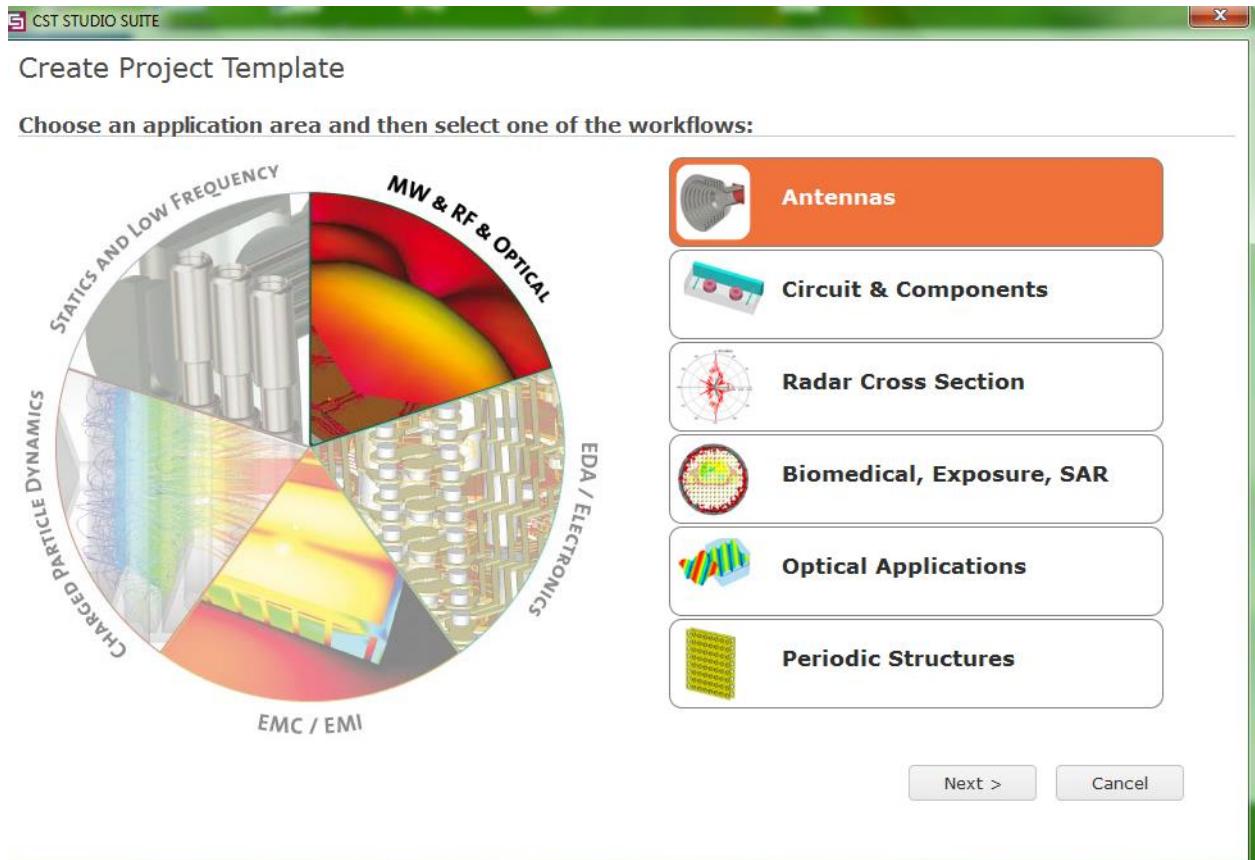
Après les simulations on a constaté qu'effectivement la 2^e structure est beaucoup plus performante en terme de gain de directivité et d'efficacité de rayonnement et se rapproche mieux des exigences de la 5G.

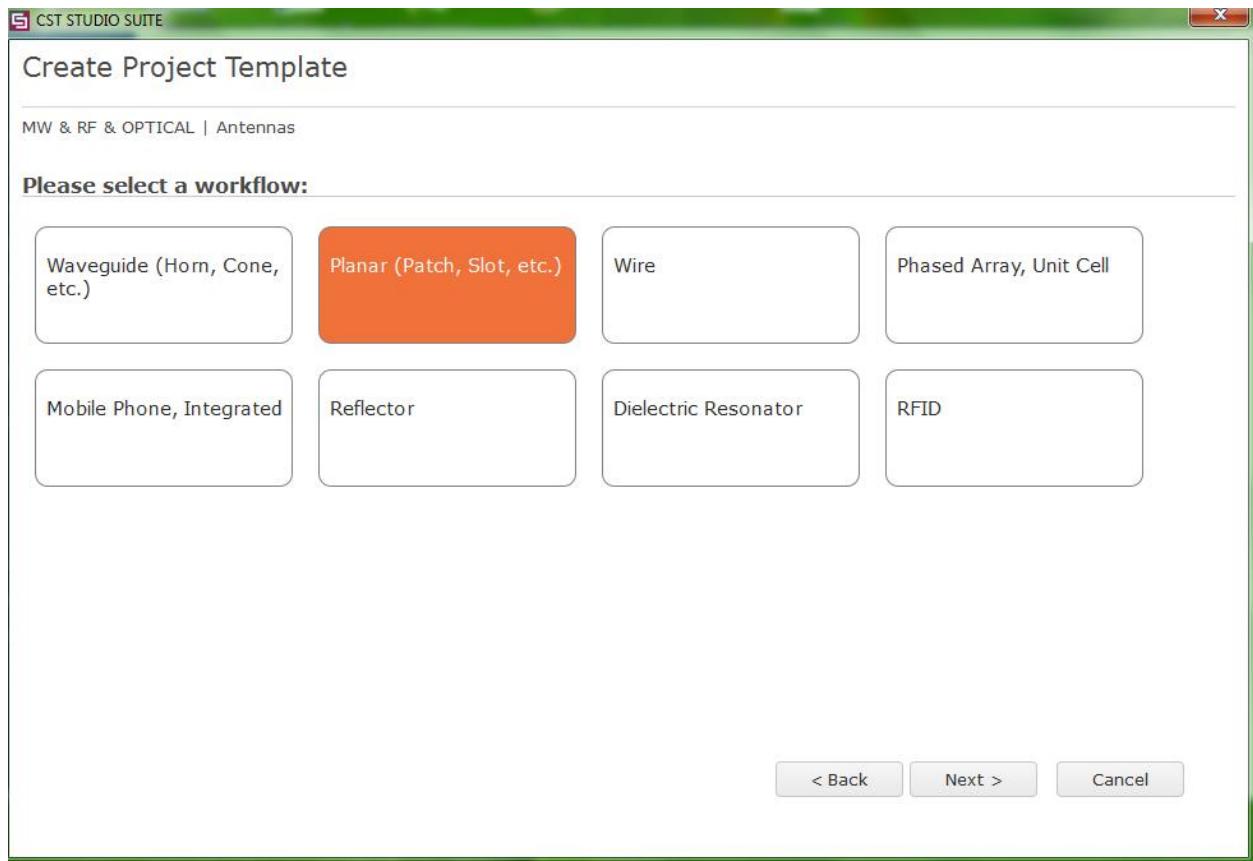
Références Bibliographiques

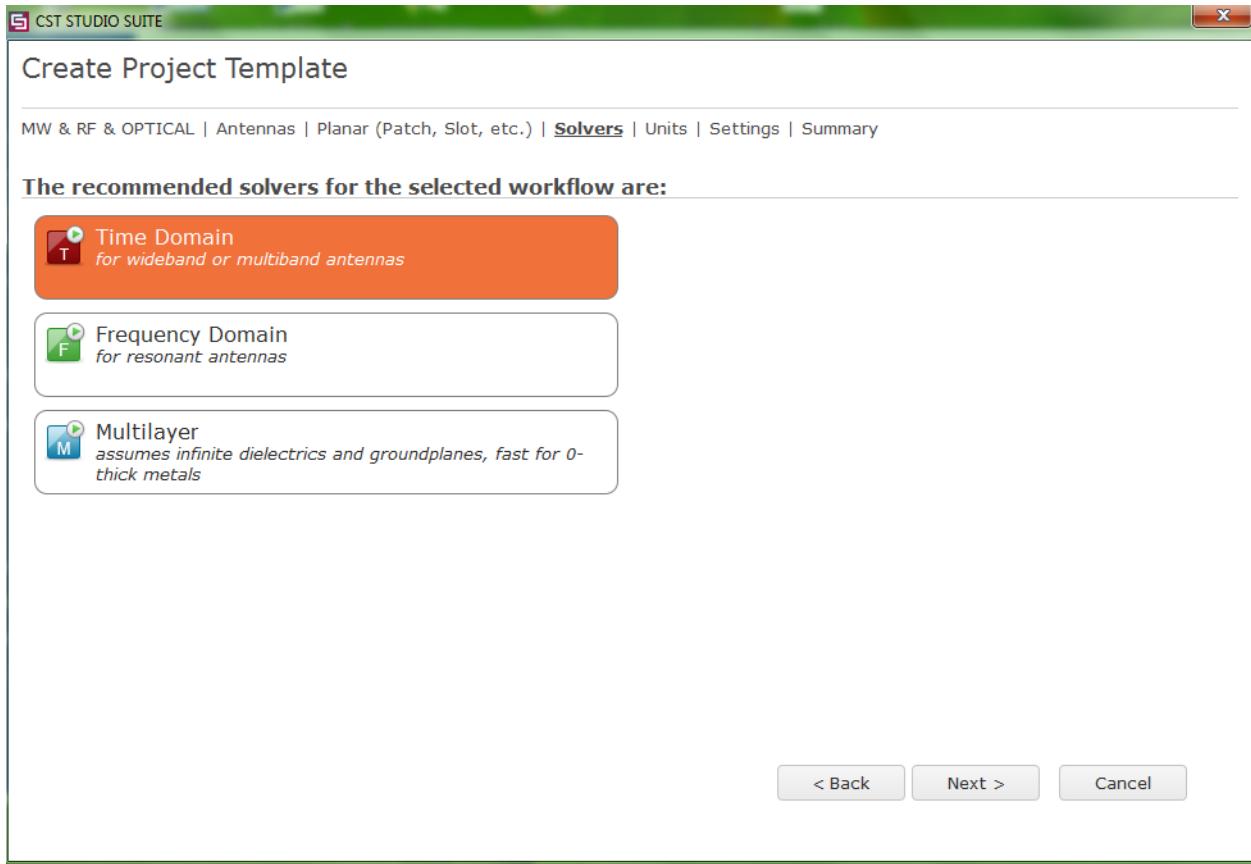
- [2] D. Ameziane « Etude Et Optimisation D'antennes Fractales Plaquées » Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2008.
- [3] F.A. Belainine, M.A. Salmi « Etude De La Miniaturisation Des Antennes Par Repliement Application Pour La Conception D'une Antenne 2.4ghz » Mémoire de Master, Université Houari Boumediene d'Alger 2013.
- [4] 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.
- [5] S.Vergerio « Recherche Des Caractéristiques Optimales D'antennes Multi-Capteurs Pour Les Systèmes Mimo » Thèse Doctorat, Université de Provence, 06 juillet 2007.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] C. Balanis « Antenna Theory, Analysis and Design » Livre, 1982.
- [11] B. Mekimah « Etude Du Fonctionnement en Mode Bifréquence

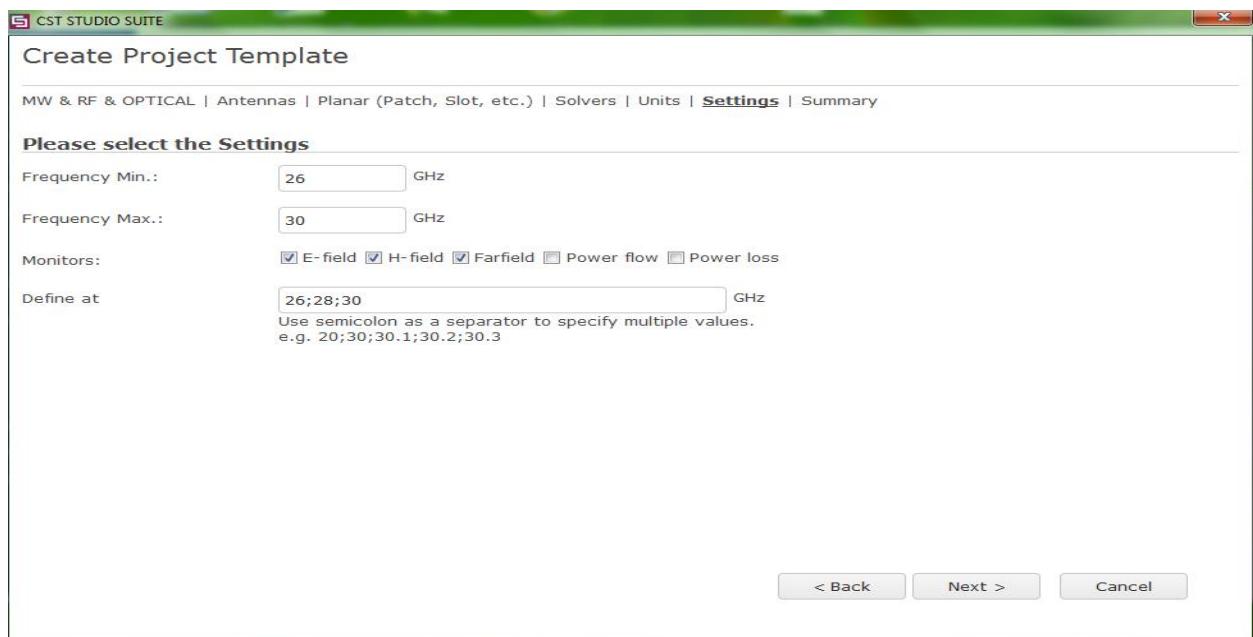
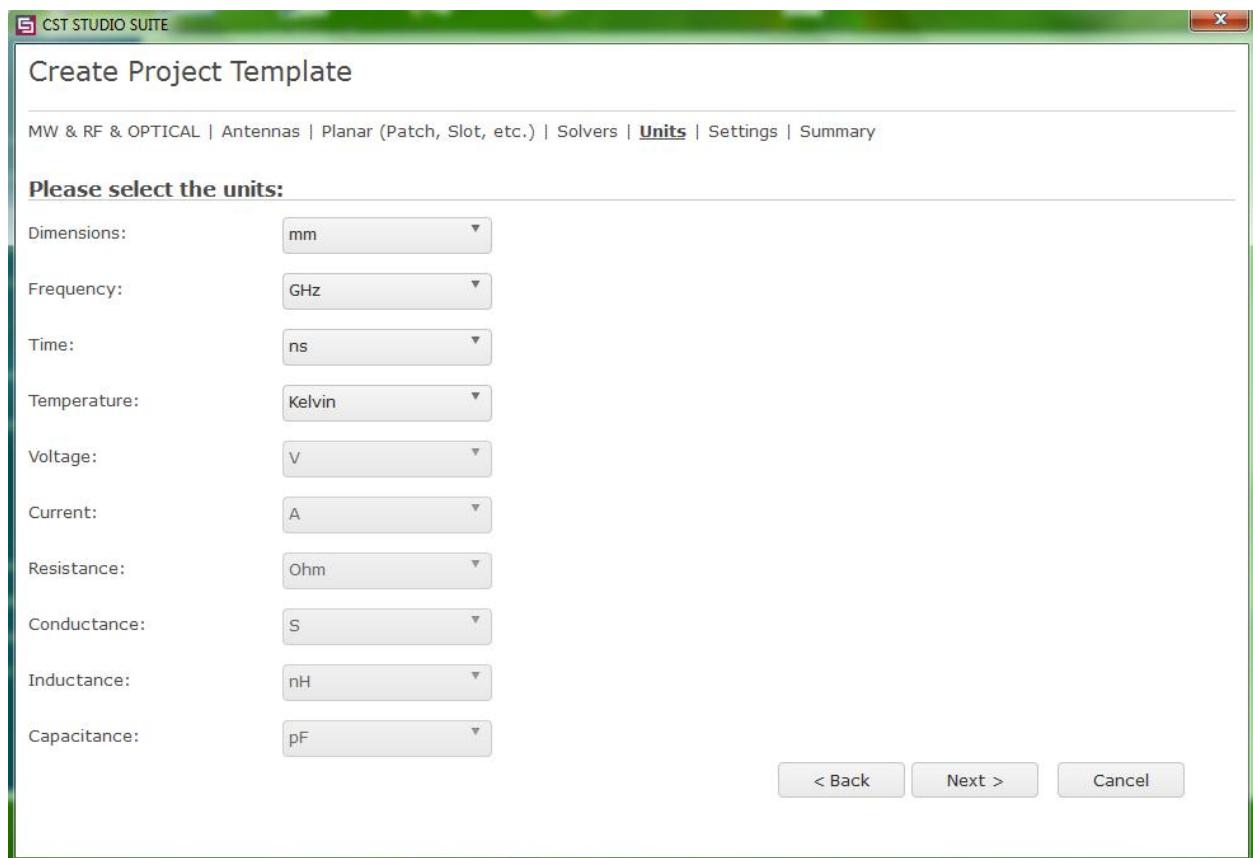
Anexe

Les premières étapes à suivre pour la simulation :









CST STUDIO SUITE

Create Project Template

MW & RF & OPTICAL | Antennas | Planar (Patch, Slot, etc.) | Solvers | Units | Settings | [Summary](#)

Please review your choice and click 'Finish' to create the template:

Template Name:

Solver	Units	Settings
	- Dimensions: mm - Frequency: GHz - Time Domain - Time: ns - Temperature: Kelvin	- Frequency Min.: 26 GHz - Frequency Max.: 30 GHz - Monitors: E-field, H-field, Farfield - Define At: 26;28;30

Antennas which consist of flat radiating elements, e.g. printed microstrip, PIFA, slot, spiral or monopole geometries.

< Back Cancel

