REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes des Téléécommunications

Développement d'antenne MIMO à ondes millimétriques pour les communications mobiles 5G

Présentés par :

Mr.BOUSLIMANI Bilal

Mr.HAIF Billel

Proposés et Dirigés par :

Dr. TEMMAR Mohamed Nasr Eddine

Promotion 2022

REMERCIEMENTS

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer ce travail.tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide

L'encadrement de **Dr. TEMMAR Mohamed Nasr Eddine**,On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience ,sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

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

Nos remerciement s'adresse a tout **les membres de Promotion 2022** pour leurs aide et leurs soutien moral et ses encouragements

Nos remerciement s'adresse également a tout nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.



Dédicace

J’ai l’immense honneur de dédier ce projet de fin d’études :

A ma mère, A celle qui a tout souffert, sans me faire souffrir, Qu’elle trouve dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection pour tous les sacrifices, l’extrême amour et la bonté, Qu’elle m’a offert pour me voir réussir.

A mon père, A l’homme à qui je dois ma réussite, mon bonheur, et tout le respect ; Qu’il trouve ici l’expression de mon affection et une récompense des sacrifices consentis pour moi.

Je dédie ce travail aussi à mes très chères soeurs

À mes amis en qui j’ai trouvé estime, encouragement et amitié.

À mon binôme : Mr.BOUSLIMANI Bilal

À toute la promotion M2 : Systèmes de Télécommunications.

H. Billel

Dédicace

J’ai l’immense honneur de dédier ce projet de fin d’études :

A ma mère, A celle qui a tout souffert, sans me faire souffrir, Qu’elle trouve dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection pour tous les sacrifices, l’extrême amour et la bonté, Qu’elle m’a offert pour me voir réussir.

A mon père, que Dieu lui fasse miséricorde A l’homme à qui je dois ma réussite, mon bonheur, et tout le respect et la prière pour lui

Je dédie ce travail aussi à mes très chères soeurs et ma femme.

À mes amis en qui j’ai trouvé estime, encouragement et amitié.

À mon binôme : Mr.HAIF Billel

Je dédie à mon ami au travail qui m'a été d'une grande aide

Mr.ZEITOUNI Abd elkrim

À toute la promotion M2 : Systèmes de Télécommunications.

B. Bilal

Résumé :

La technologie de communication mobile 5G est considérée comme une révolution dans le secteur des communications sans fil. Étant donné que les utilisateurs de communications mobiles ont une augmentation constante de la demande et des exigences, la technologie est poussée à se développer en fonction des besoins des consommateurs. De nos jours, nous assistons à un grand nombre de nouveaux services et applications que nous n'avons jamais vus auparavant, tels que les véhicules autonomes, l'intelligence artificielle ou la chirurgie à distance. Pour faire face aux nouveaux services, les opérateurs sans fil devaient être prêts à faire face à une multiplication par trois du trafic de données. Pour ce faire, les chercheurs ont dû trouver une amplitude plus grande dans d'autres nouveaux spectres radio. Les futurs réseaux 5G comprendront de nombreux développements technologiques de pointe. L'objectif de ce travail est de proposer une antenne MIMO (Multi-Input Multi-Output) pour les communications mobiles de cinquième génération 5G. Nous discuterons de la nécessité d'inventer la technologie 5G en ondes millimétriques. En outre, les défis de l'utilisation des bandes millimétriques pour les communications mobiles avec les technologies mobiles basse fréquence existantes sont discutés. La théorie de base des antennes MIMO, nous concluons sur la conception de l'antenne MIMO et à ondes millimétriques avec le placement de cristaux photoniques sur le substrat et ainsi de suite pour s'améliorer Permittivité électrique Ensuite, nous discutons des résultats obtenus.

Abstract :

5G mobile communication technology is a revolution in the wireless sector. As mobile users have a constant increase in demand and requirements, technology is being pushed to evolve according to the needs of consumers. nowadays we are witnessing a large number of new services and applications that we have not seen before, such as autonomous vehicles, artificial intelligence or remote surgery. To cope with the new services, wireless operators had to prepare for a threefold increase in data traffic. To do this, the researchers had to find greater amplitudes in other new radio spectra. Future 5G networks will include many advanced technological developments. The objective of this work is to propose a MIMO (Multiple Input Multiple Output) antenna for 5G mobile communications 5G . We will discuss the need to invent the 5G grammillimeter wave technology. In addition, the challenges of using millimeter bands for mobile communications with current low-frequency mobile technologies are discussed. The basic theory of MIMO antennas, we conclude on the design of the MIMO

and millimeter waveantenna with the placement of photonic crystals on the substrate and so on to improve the electrical permittivity and then discuss the results obtained .

ملخص :

تعتبر تقنية الاتصالات المتنقلة G5 ثورة في صناعة الاتصالات اللاسلكية. نظرًا لأن مستخدمي الاتصالات المتنقلة لديهم زيادة مستمرة في الطلب والمتطلبات ، يتم دفع التكنولوجيا للتطور وفقًا لاحتياجات المستهلكين. نشهد في الوقت الحاضر الكثير من الخدمات والتطبيقات الجديدة التي لم نشهدها من قبل ، مثل المركبات ذاتية القيادة أو الذكاء الاصطناعي أو الجراحة عن بُعد. للتعامل مع الخدمات الجديدة ، كان على مشغلي الشبكات اللاسلكية أن يكونوا مستعدين لزيادة بثلاثة أضعاف في حركة البيانات. للقيام بذلك ، كان على الباحثين إيجاد سعة أكبر في أطياف الراديو الجديدة الأخرى. ستشمل شبكات الجيل الخامس المستقبلية العديد من التطورات التكنولوجية المتقد مة ، الهدف من هذا العمل هو اقتراح هوائي MIMO (Multi-Input Multi-Output)) للاتصالات المتنقلة من الجيل الخامس G5. سنناقش الحاجة إلى ابتكار تقنية G5 و مدى تطورها في موجات المليمتر. بالإضافة إلى ذلك قمنا بمناقشة تحديات استخدام نطاقات المليمتر للاتصالات المتنقلة مع تقنيات الهواتف المحمولة منخفضة التردد الحالية. من خلال النظرية الأساسية لهوائيات MIMO ، نستنتج تصميم الهوائي MIMO وهوائي الموجات المليمترية مع وضع بلورات فوتونية على الركيزة وما إلى ذلك لتحسين السماحية الكهربائية للركيزة و تقديم الكسب و التوجيهات الراديوية ، ثم نناقش النتائج التي تم الحصول عليها.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Table des matières

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur la technologie 5G

I.1.Introduction 3

I.2. Développement la technologie 5G 3

I.3. Vision de 5G 7

I.4. Application 8

I.5. Scénarios d'utilisation 9

I.6. Architecture de réseau mobile 5G 10

I.7. Technologies émergentes pour réseaux 5G 12

I.8. Conclusion 14

Chapitre II :La technologique antenne MIMO

II .1. Introduction 16

II .2. Formation de faisceaux 17

II.3. Etude du système MIMO 18

II.4. MIMO Massive 21

II.5. Caractéristiques des Antennes 22
II.5.1. Impédance d'entrée 22
II.5.2. Coefficient de réflexion 23
II.5.4. Diagramme de rayonnement 23
II.5.5. Techniques d'alimentation 24
II.6. Cristaux photoniques 28
II.6.1. Les types de cristaux photonique 30
II.6.2 .Domaines d'application 35
II.7. Conclusion 36

ChapiterIII : Simulation et résultats

III.1. Introduction 37
III.2. Description du logeciel de simulation CST 37
III.3. Conception et simulation d'antenne MIMO pour la bande millimètre 38
III.3.1.Conception de l'antenne patch bande millimétrique 39
III.3.2. Résultats et discussions 40
III.3.3. Antenne MIMO basé sur substrat conventionnel 45
III.3.4. Antenne MIMO basé sur substrat cristaux photoniques 50
III. 4. Comparaison entre les trois antennes 55
III.5. Conclusion 57
Conclusion générale 58
Bibliographiques 59

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur la technologie 5G

Figure I.1 : Différence Entre Les Réseaux Mobiles 1G 2G 3G 4G Et 5G.

Figure I.2 : Une architecture générale de réseau cellulaire 5G.

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

Chapitre II : la Technologique antenne MIMO

Figure II.1 : SISO Entrée Unique Sortie Unique.

Figure II.2 : SIMO Entrée Unique Sortie Multiple.

Figure II.3 : MISO Sortie Unique à Entrées Multiples.

Figure II.4 : MIMO Entrée Multiple Sortie Multiple.

Figure II.5 : MIMO massive.

Figure II.6 : Petites cellules.

Figure II.7 Exemple d'un diagramme de rayonnement en 3D , et diagramme dans le plan YoZ (Gain en dB).

Figure II.8 : Antenne imprimée alimentée par ligne micro-ruban.

Figure II.9 : Différentes formes de l'élément rayonnât.

Figure II.10 : Antenne imprimée alimentée par sonde coaxiale.

Figure II.11 : Antenne imprimée alimentée par proximité.

Figure II.12 : Cristaux photoniques à une deux et trois dimensions.

FigureII.13 : Représentations schématiques de CP où l'indice de réfraction varie périodiquement suivant une ,deux ou troisdimensions.

FigureII.14 : Schéma d'un miroir de Bragg constitué d'un milieu diélectrique périodique fini.

Chapitre III : Résultat de simulation

Figure III.1 : Allure des lignes de champ dans la cavité.

Figure III.1.1 : Diagramme de directivité tridimensionnel du patch à l'antenne simple. .

Figure III.1.2 : Variation de *S*11 en (dB) en fonction de la fréquence l'antenne simple.

Figure III.1.3 : VSWR en fonction de la fréquence l'antenne simple.

Figure III.1.4 : Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) de l'antenne simple.

Figure III.1.5 : Diagramme de rayonnement (directivité) d'antenne simple.
Figure III.1.6 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°) d'antenne simple.
Figure III.1.7 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=90°) d'antenne simlpe.
Figure III.1.8 : Radiation efficacité d'antenne simple.
Figure III.1.9 : Gain (dB) d'antenne simple.
Figure III.1.10 : Diagramme de directivité tridimensionnel d'antenne conventionnel.
Figure III.2.1 : Variation de *S*11 en (dB) en fonction de la fréquence d'antenne conventionnel.
Figure III.2.1 : VSWR en fonction de la fréquence d'antenne conventionnel.
Figure III.2.2 : Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) d'antenne conventionnel.
Figure III.2.3 : Diagramme de rayonnement (directivité) d'antenne conventionnel..
Figure III.2.4 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°) d'antenne conventionnel..
Figure III.2.5 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=90°) d'antenne conventionnel..
Figure III.2.6 : Radiation efficacité d'antenne conventionnel..
Figure III.2.7 : Gain (dB) de d'antenne conventionnel.
Figure III.2.8: Courant de surface d'antenne conventionnel.
Figure III.2.9: Courant de surface d'antenne conventionnel.
Figure III.3.1 : Diagramme de directivité d'antenne conventionnel avec crystaux photoniques.
Figure III.3.2 : Variation de S11 d'antenne conventionnel avec crystaux photoniques.
Figure III.3.3 : VSWR en fonction de la fréquence d'antenne avec crystaux photoniques.
Figure III.3.4 : Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) d'antenne avec crystaux .photoniques
Figure III.3.5 : Diagramme de rayonnement (directivité) d'antenne avec crystaux photoniques.
Figure III.3.6 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°) d'antenne avec crystaux photoniques.
Figure III.3.7 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=90°) d'antenne avec crystaux photoniques.
Figure III.3.8 : Radiation Efficacité d'antenne avec crystaux photoniques.
Figure III.3.9 : Gain d'antenne avec crystaux photoniques.
Figure III.3.10 : Courant de surface d'antenne avec crystaux photoniques.
Figure III.3.11 : Courant de surface d'antenne avec crystaux photoniques.
Figure III.3.12 : Gain d'antenne avec crystaux photoniques.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Capacités et valeurs clés 5G de l'UIT-R.

Tableau I.2 : Évolution des applications de la 4G vers la 5G.

Tableau I.3: Comparaison entre les couches OSI et 5G.

Tableau III.1 : Dimensions Structure de l'antenne conventionnel.

Tableau III.2 : Comparaison avec les trois partie de simulation.

Liste des abréviations

OEM : Onde électromagnétique.

GSM : Global System for Mobile communication.

GPS : Global Postioning System.

WIFI : FIdelité sans fIl.

WIMAX : World wideinteroperabilité for Micro cooxe Access.

1D : Unidimensional.

2D : Bidimensionel.

3D : Tridimensional.

ε : Permittivité électrique (F/m), A noter :

ε0 : Permittivité diélectrique dans le vide.

εr : Permittivité électrique relative.

μ : Perméabilité magnétique (H/m) , A noter :

μ0 : Perméabilité diélectrique dans le vide.

μr : Perméabilité magnétique relative.

σ : Conductivité électrique du milieu (S/m).

PA : Puissance d'entrée.

PR : Puissance rayonnée.

RLC : Résistance condesateur, bobin.

MIC : Circuit intégrées microruban.

Γ: Le coefficient de réflexion.

Vr: L'amplitude d'onde réfléchie.

Vi. : L'amplitude d'onde incidente.

CP : Cristal Photonique.

MMIC : Monolithic Microwave Integrated Circuit.

VHF: Very Height Frequency.

UHF : Ultra Height Frequency.

BIP : Bande Interdite Photonique.

Iε : Constantes diélectriques.

MI : Circuits Intégrés micro-ondes.

CP-1D : Les cristaux photoniques à une dimension, appelés aussi « Miroirs de Bragg ».

$\boldsymbol{\delta}$: Contraste d'indice.

$\boldsymbol{nh}$: L'indice de réfraction du matériau de haut indice.

$\boldsymbol{n_1}$: L'indice de réfraction du matériau de bas indice.

a : La période du cristaux photoniques à une dimension.

a1 : L’épaisseur de la couche de permittivité.

a2 : L’épaisseur de la couche de permittivité.

$\boldsymbol{vi}$: Volume occupé par le matériau de permittivité εi.

Λ : Volume de la cellule.

CP-2D : Un cristal photonique à deux dimensions.

Δn : La différence d'indice entre les deux milieux.

f : Facteur de remplissage.

Q : Facteur de qualité.

CPs-3D : Les cristaux photoniques tridimensionnels.

BIP 3D : Une bande interdite photonique tridimensionnels.

CCD : Un capteur photographique (Charge Couple de Device).

BIP 2D : Une bande interdite photonique à deux dimensions.

Hn et Ln : Types de cavités.

TE ou TM : La lumière polarisée.

DEMUX-couple : Démultiplexeur optique.

CP "W3" ou "W5" : Le guide d'onde à cristal photonique.

WDM (CWDM) : Le multiplexeur par répartition en Longueur d'onde.

S parameter : Scattering Parameter.

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio.

PBG : Photonique Bande Gap.

SI : Système Interférence.

PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equation.

AMPS : Advanced Mobile Phone System.

FDMA : Frequency Division Multiple Access .

NMT : Nordic Mobile Téléphone .

TACS : Total Access Communications System.

GSM : Global System for Mobile Communications.

SMS : Short Message Service.

MMS : Multimedia Message Service.

GPRS : General Packet Radio Service.

EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

NR : New Radio.

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 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 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 chose7 . 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.

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

Introduction générale

La recherche, l'objectif suivant est proposé en général : Mise en œuvre des bandes d'antenne dans la bande millimétrique 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 millimétrique et des réseaux d'antennes pour cette bande, indiquant la possibilité d'effectuer en 5G. 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 millimétrique 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 antenne MIMO pour la bande millimétrique, 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

Premiere chapitre 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 barre millimétrique du spectre radioélectrique, ainsi que on utlisant les cristaux photonique pour evite les interfrence entre les deux antennes.enfin, des recherches sur la bande millimétrique et antenne MIMO de cette fréquence à partir de mmWave sont affichées.

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 antenne MIMO proposé.

I.1.Introduction :

Nous avons tous vécu le développement des Réseaux Mobiles des opérateurs Télécom au fil des années, un développement qui est toujours d'actualités, et toujours avec plus de services 2G, 3G, 4G ,5G un « **G** » pour Génération de réseaux mobile.

Vous avez tous vu le petit symbole « 3G » ou « 4G » sur l'écran de votre mobile. Mais vous vous êtes déjà demandés c'est quoi la différence entre ces différentes générations de mobile, 2G , 3G ou 4G,5G? ou bien GSM , GPRS , UMTS , LTE.



Figure I .1:Différence entre les réseaux mobiles 1G 2G 3G 4G Et 5G [1]

Nous allons vous présenter les différentes générations des réseaux mobile , tout en décrivant toutes les différences entre elles.

I.2. Développement La technologie 5G :

I.2.1.1ère Génération (1G) :

La 1G de systèmes cellulaires (1G) reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Cette génération a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970 : le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base (L'antenne opérateur dans votre quartier).

Les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux. La première génération de systèmes cellulaires (1G) utilisait essentiellement les standards suivants : **AMPS** (Advanced Mobile Phone System), lancé aux Etats-Unis, est un réseau analogique reposant sur la technologie **FDMA** (Frequency Division Multiple Access). **NMT** (Nordic Mobile Téléphone) a été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisés dans d'autres parties de la planète. **TACS** (Total Access Communications System), qui repose sur la technologie AMPS,

a été fortement utilisé en Grande Bretagne. Radiocom 2000,lancé en France.Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée dès l'apparition d'une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique. La différence principale entre la première et 2ème génération est tout simplement que le signal Radio utilisé pour transmettre l'information dans la 1ère génération était analogique , par contre celui de la 2ème génération , il était numérique.[3]

I.2.2. 2ème Génération (2G) :

La **2G** commercialisée sous le standard **GSM** (Global System for Mobile Communications) en Finland par Radio linja en 1991 , et en USA et Canada sous le standard IS-54 et IS-136 par AT&T et Rogers Wirelass Networks en 1993. Elle a permis d'offrir 3 autres avantages par rapport à la 1G :

a- **Sécurité** : Elle a permis de rajouter une couche de sécurité aux appels , en cryptant les conversations téléphoniques.

b- **Optimisation fréquentielle**: la 2G a permis de bien gérer le spectre fréquentiel en offrant une optimisation des canaux Radio.

c- **Service Data** : la 2G a permis de lancer le service data pour mobile , en introduisant le service de messagerie **SMS** (Short Message Service) , **MMS** (Multimedia Message Service) , et envoie de photos par message. Débit : inférieur à 10 kbit/s [3].

I.2.2.1. 2.5 ème Génération(2G) :

2.5 G , appelée **GPRS** (General Packet Radio Service) désigne les systèmes 2G qui ont implémenté un domaine à commutation de paquets en plus du domaine à commutation de circuits. Il n'offre pas nécessairement un service plus rapide, car le groupement de plages horaires est également utilisé pour les services de données à commutation de circuits

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data).
Débits théoriques de 114 Kbit/s, mais bien plus proche de **40 Kbit/s** en réalité !.

I.2.2.2. 2.75ème Génération(2G) :

La **2.75G** , **EDGE** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)est apparue avec l'évolution des réseaux **GPRS** suite à l'introduction du codage 8PSK , offrant des débits théoriques de **384 Kbit/s**, ouvrant ainsi la porte aux applications multimédias.

I.2.3. 3ème Génération(3G) :

Le réseaux Mobile de 3ème génération est apparu plus de 10 ans après la 1G en 1998. La troisième génération (3G) de systèmes cellulaires est une génération de systèmes mobiles labellisé IMT 2000 par l'UIT qui est apparu plus de 10 ans après la 1G en 1998. Ce système permet des services de communications plus rapides notamment pour la voix, la télécopie, l'Internet de n'importe quel endroit et à tout moment. L'UIT IMT-2000 est la norme internationale de la 3G a ouvert la voie à de nouvelles applications et services comme par Exemple le divertissement multimédia, la localisation des services.c'est l'UMTS, la principale norme 3G utilisée en Europe. Elle permet de transférer de la voix et de la données avec des débits pouvant aller de 384 Kbit/s à 2 Mbit/s (dans des conditions idéales) [3].

I.2.3.1. 3.5ème Génération(3G) :

3.5G est un groupe de technologie de données et de téléphonie mobile disparates conçues pour offrir de meilleures performances que les systèmes 3G, constituant une étape intermédiaire vers le déploiement de la fonctionnalité 4G intégrale.La technologies comprend:

- HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)
- 3GPP LTE
- Evolved HSPA

I.2.3.2. 3.75ème Génération(3G) :

L'accès évolué aux paquets à grande vitesse, ou HSPA+, ou HSPA (Plus), ou HSPAP est une norme technique pour les télécommunications à large bande sans fil.C'est la deuxième phase de l'accès haute vitesse par paquets (HSPA). [3].

I.2.4. 4ème Génération(4G) :

La 4G offre, en plus des services vocaux et autres services habituels de la 3G, un accès Internet haut débit mobile, par exemple aux ordinateurs portables équipés de modems sans fil, aux smartphones et à d'autres appareils mobiles. Les applications potentielles et actuelles comprennent l'accès modifié au Web mobile, la téléphonie IP, les services de jeux, la télévision mobile haute définition, la vidéoconférence, la télévision 3D et l'informatique en nuage.**LTE** (Long TermEvolution) est généralement commercialisée sous le nom de **4G LTE & Advance 4G**, mais elle ne répondait pas initialement aux critères techniques d'un service sans fil 4G, comme spécifié dans les séries de documents **3GPP** versions 8 et 9 pour LTE Advanced. Par conséquent, le LTE est également connu sous le nom de 3.95G, mais étant donné les pressions concurrentielles de **WiMax** et son évolution avec les nouvelles versions Advanced, il est devenu synonyme de 4G. Il a été déployé commercialement pour la première

fois en Norvège et à Stockholm en 2009 et aux États-Unis par Verizon en 2011 dans la bande de **700 MHz** nouvellement acquise.

I.2.4.1. 4.5ème Génération(4G) :

La 4.5G offre de meilleures performances que les systèmes 4G en tant qu'étape du processus de déploiement de la capacité 5G complète la technologie comprend:

- LTE Advanced Pro.
- MIMO.

I.2.5.. 5ème Génération(5G) :

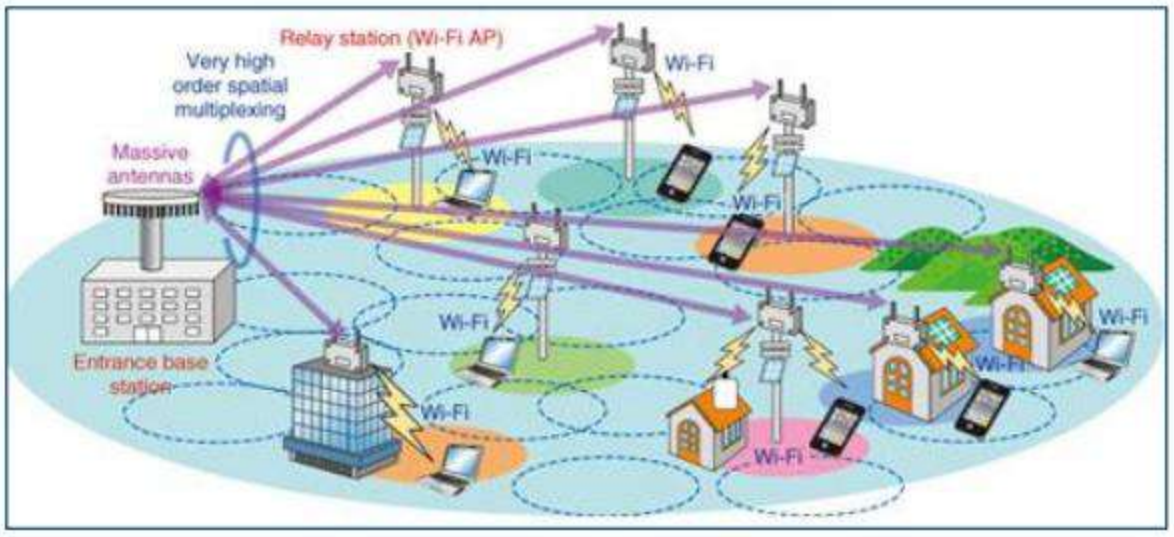


Figure I.2: Une architecture générale de réseau cellulaire 5G [2].

La **5G** est une génération en cours de développement. il désigne la prochaine phase majeure des normes de télécommunications mobiles au-delà des normes actuelles 4G / IMT-Advanced. Les réseaux **NGMN** Alliance ou **Next Generation Mobile Networks** Alliance définissent les exigences réseau 5G comme la suit :

- données de plusieurs dizaines de Mb/s devraient être pris en charge pour des dizaines de milliers d'utilisateurs
- Des débits de.**1 Gbit/s à offrir** simultanément à des dizaines de travailleurs sur le même étage de bureau.
- Plusieurs centaines de milliers de connexions simultanées à prendre en charge pour les déploiements de capteurs massifs.
- L'efficacité spectrale devrait être considérablement améliorée par rapport à la 4G.
- La couverture devrait être améliorée. Efficacité de la signalisation améliorée.
- La latence devrait être significativement réduite par rapport au LTE.

L'Alliance des réseaux mobiles de la prochaine génération estime que la 5G devrait être déployée d'ici 2020 pour répondre aux demandes des entreprises et des consommateurs. En plus de fournir simplement des vitesses plus rapides, ils prévoient que les réseaux 5G devront également répondre aux besoins de nouveaux cas d'utilisation tels que l'Internet des objets (IoT) ainsi que des services de type diffusion et des communications vitales en cas de catastrophe. **3GPP** a mis au point une nouvelle version de la 5G non autonome, appelée New Radio **(NR)** . Il sera déployé de deux manières, mobile et fixe sans fil. La spécification est subdivisée en deux bandes de fréquences, **Fr1** (<6Ghz) et **Fr2** (mmWave) [1].

I.3.Vision de 5G :

Les systèmes de communication mobiles et sans fil 5G nécessiteront un mélange denouveaux concepts de système pour augmenter l'efficacité spectrale et énergétique. Les visionset les exigences pour les systèmes sans fil 5G sont décrites ci-dessous [3].

Tableau I.1: Capacités et valeurs clés 5G de l'UIT-R [3]

Capacites cles	Définition	Définition
Debit maximal	Débit de donné maximum atteignable pour utilisateur	20 Gb/s
Taux de données expérimente par l´utilisateur	Débit de données Minimum atteignablepour un utilisateur dans un environnement réseau réel	0,1-1 Gb/s
Latence	Durée entre le Transmission d´un paquet de données du nœud source et la réception réussie de nœud destination	1 ms par voieHartzinnes
Mobilité	Vitesse relative entre le réception et l'émetteur sous certain condition de performance	500 km/h
Densité de Connexion	Nombre total d'appareils connectes De surface	$10^5/km^2$
Efficacité energétique	Nombre de bit pouvant être transmis par joule	100 fois compare avec IMT-avance
Efficacité du spectre	Débit de donné par unité de ressource spectrale par cellule (ou par unité de surface)	5- fois compare avec IMT-avance

I.4.Application :

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

- **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 [4].
- **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,…ect [3].

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

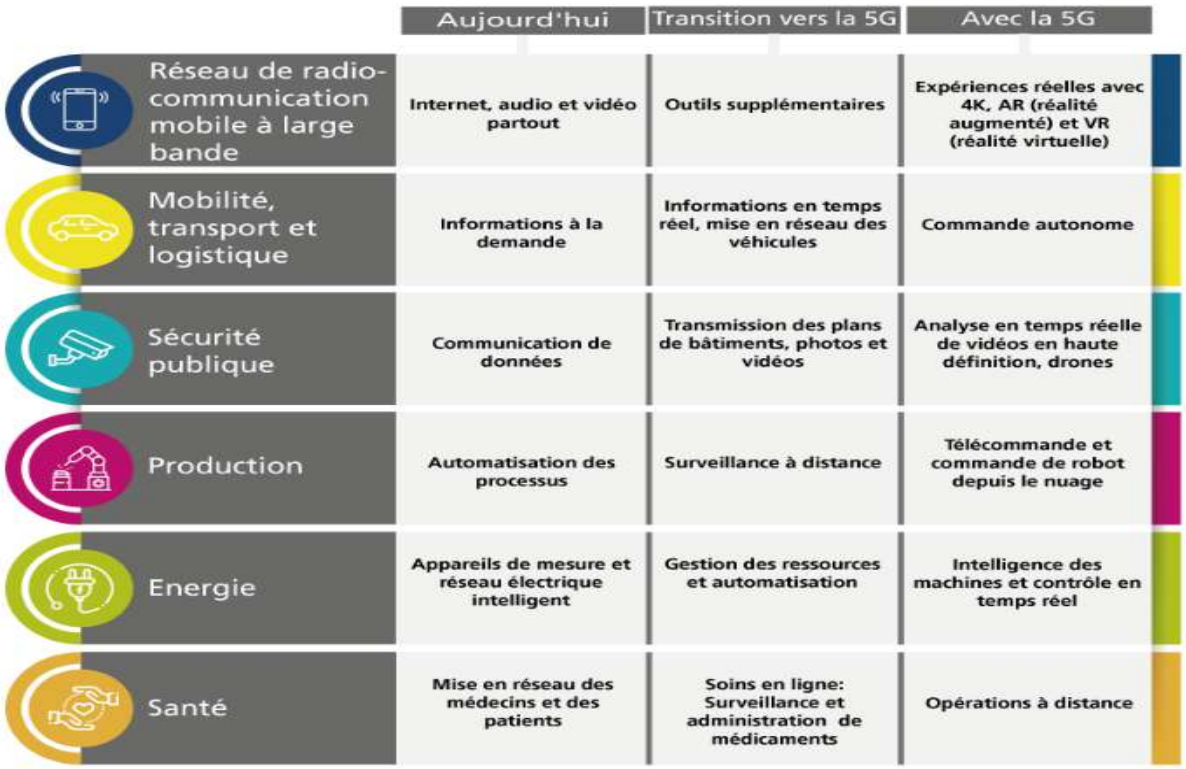


Figure I.2 : Évolution des applications de la 4G vers la 5G [4].

I.5. 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 [3].

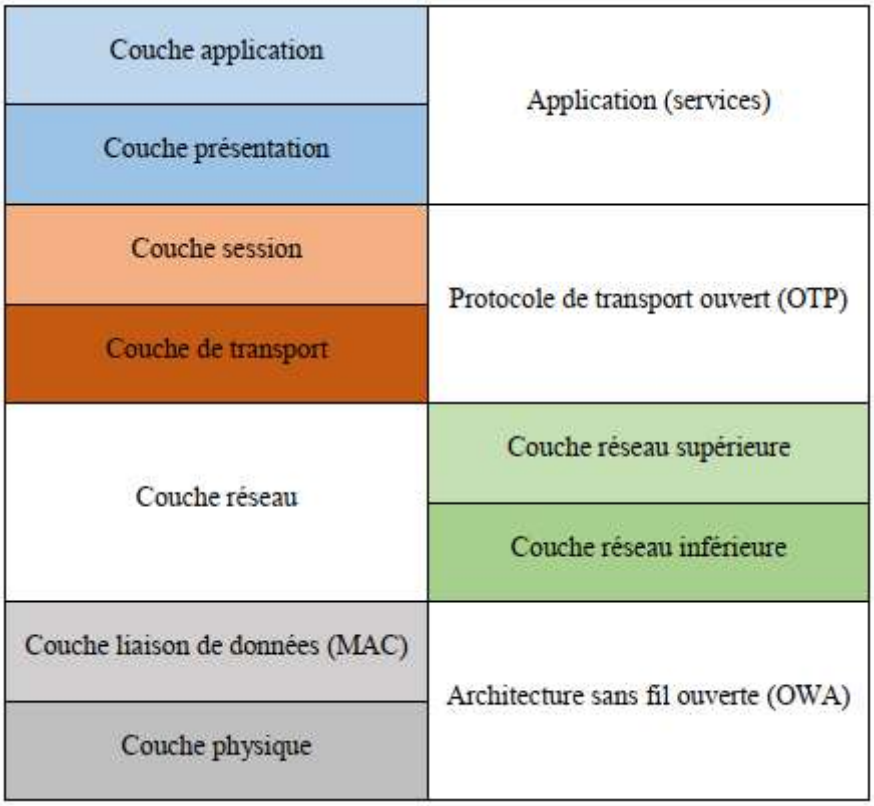
B-Communications massives de type machine (MMTC : Massive Machine-Type Communications):

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) [6].

I.6. 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. [7], [8]

Tableau I.3: Comparaison entre les couches OSI et 5G [7], [8].



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 **[7].**

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 [8].

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) [7].

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 [8].

I.7. 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

À l'heure actuelle, quelles technologies qui vont faire le plus pour la 5G à long terme ne sont pas encore clair, 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.7.1 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. [8].

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.7.2 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).

I.7.3 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. Chaque terminal utilise, de manière unique, une partie des fréquences à un instant donné pour améliorer l'efficacité spectrale de la 5G [16].

I.7.4 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 [9].

I.7.5 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".[10]

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.7.6 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 [10].

I.7.7 Prise en charge native de la communication machine-to-machine (M2M) :

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 . Le SDN facilite la configuration, la mise à l'échelle et la gestion de l'infrastructure déployée de réseau [5],[6].

I.7.8 Network Fonction 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 [5],[6].

I.7.9 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)[5], [6].

I.8. 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. [6].
- Augmentation significative des appareils connectés:alors que les principaux appareils personnels devraient rester des téléphones intelligents. Le nombre des autres type d'appareils,y compris les appareils portables et les appareils MTC , continue d'augmenter [6].
- Pour suite 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

La technologique antenne MIMO

II .1.Introduction :

Le MIMO a été l'une des avancées technologiques majeures en matière de traitement signal dans les années 1990 de MIMO repose sur la présence de plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur , Permet à plusieurs flux de données indépendants d'être transmis sur le mêmeressources temps-fréquence. Quand on parle de multiplexage spatial, la dimension spatiale est définie parplusieurs antennes. Comme nous le verrons, la mise en œuvre de ce multiplexage spatial nécessiteLes canaux répondent est une condition spécifique. Cependant, la présence de plusieurs antennesL'émetteur et le récepteur peuvent mettre en œuvre d'autres types de traitement spatial, tels queBien avant le MIMO (les systèmes multi-antennes étaient recherche télégraphique dans les années 1930, voir par exemple [Beverage, Peterson, 1931)]. de en fait, les gens utilisent souvent un langage abusif pour nommer l'ensemble de la technologie multi-antenne de MIMO.La présence de plusieurs antennes sur l'émetteur permet quatre techniques principales Comme indiqué ci-dessous : [11]

- La diversité de transmission compris la transmission des mêmes informations à partir de plusieurs antennes eventuellement codé selon des informations propres à chaque antenne, appelées espace-temps étant donné que l'évanouissement rapide des canaux est indépendant entre les antennes d'émission, la diversité augmenter de transmission.
- La formation de faisceaux ou beamformingconcentrer l'énergie du signal dans récepteur, augmentant ainsi le taux de transmission.
- Le multiplexage spatial mono-utilisateur(Single-User MIMO ou SU-MIMO) envoyer quelques des flux d'informations indépendants sur une même ressource temps-fréquence, en les divisant en espace. Ces flux indépendants sont utilisés pour le même récepteur, augmentant son débit.
- Le multiplexage spatial multi-utilisateurs (Mu/ri-User Ml MO ou M U-MIMO) transporter un flux multiplexé espace à différents récepteurs, ce qui améliore le débit global du système.

II .2. Formation de faisceaux (Beamforming):

Les réseaux d'antennes MIMO sont utilisés pour orienter les faisceaux radio (amplitude et phase du faisceau).

Ainsi, il est possible de créer des lobes constructifs/destructeurs et d'optimiser la transmission entre l'émetteur et la cible. La technologie Beamforming peut à la fois étendre la couverture radio (comme les stations de base) et limiter les interférences entre les utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante (en ciblant les récepteurs prévus).[14]

II .2.1. Orientation du faisceau :

L'orientation du faisceau est une fonction au niveau de l'antenne qui modifie la direction du lobe principal du diagramme de rayonnement. Dans un système radio, l'orientation du faisceau peut être obtenue en commutant les éléments d'antenne ou en modifiant les phases relatives des signaux RF pilotant les éléments [14].

II .2.2. Diversité d'un system MIMO :

Les techniques de diversité reposent sur le principe que la probabilité, que plusieurs sous-canaux indépendants souffrent simultanément d'un évanouissement fort, est trop faible. Ces techniques sont, donc, destinées à améliorer la qualité du lien de communication et réduire par conséquent, le taux de bits erronés [14].

II .2.3 Diversité temporelle :

Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal, il est possible de profiter de diversité temporelle. Tout dépend également de la vitesse de déplacement du mobile et de la fréquence porteuse. Il faut toutefois que la vitesse du mobile demeure assez élevée ou que les délais entre les signaux restent suffisamment grands [14].

II .2.4. Diversité spatiale :

Cette dernière diversité est obtenue en utilisa plusieurs antennes pour émettre un signal ou des versions redondantes ou /et plusieurs antennes pour recevoir les différents signaux. Il s'agit d'avoir des trajets à évanouisse mentin dépendants et, pour ce faire, les antennes ne doivent pas être trop proches pour que les signaux ne soient pas corrélés. Une distance de cohérence est déterminée et permet d'assurer la diversité spatiale. Celle-ci est liée à la hauteur de l'antenne d'une station de bas [14].

II .2.5. Diversité spatio-temporelle :

La diversité spatio-temporelle est un exemple de combinaison de techniques de diversité. En effet, cette technique envoie deux versions de signal différées dans le temps via deux antennes transmettrices [14].

II .2.6. Le multiplexage spatial :

Le multiplexage spatial (MS) est l'une des premiers techniques MIMO mise en œuvre qui a fait découvrir les systèmes MIMO avec la publication des belllabs. Le principe du multiplexage spatial est l'agencement sans redondance de la séquence d'information suivant l'axe spatial. Le système transmet alors nt fois plus de symboles utiles par unité de temps qu'un système SISO. Un tel système a été proposé par Foschini en 1996, l'architecture de ce premier système MIMO, est appelé D-BLAST. Par la suite Foschini et Wolniansky proposent deux schémas de codage plus réalistes, appelé V-BLAST et H-BLAST. Pour pouvoir être décodés, ces codes BLAST doivent utiliser au moins autant d'antennes en réception qu'en émission.[14].

II.3. Etude du système MIMO :

II.3.1.Technique de transmission MIMO :

La technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) est une technologie de transmission utilisée dans les systèmes de communication modernes. Elle utilise plusieurs antennes sur l'émetteur-récepteur pour transmettre plus de données en même temps afin d'améliorer l'efficacité de la transmission. Des antennes séparées transmettent sur des canaux de propagation non connectés pour augmenter la transmission. Capacité pour un ou plusieurs utilisateurs, ou envoyer le même signal de sortie sur plusieurs antennes et intégrer dans les récepteurs pour améliorer la qualité du signal (diversité de réception).[12]

II.3.2. Types de MIMO :

Il existe quatre modèles de configuration d'antenne différents.

- SISO (Entrée unique Sortie unique)
- SIMO (Entrée unique Sortie multiple)
- MISO (Sortie unique à entrées multiples)
- MIMO (Entrée multiple Sortie multiple)

II.3.2.1.SISO :

Le terme MIMO comme SISO - sorties individuelles pour l'entrée individuelle consiste à avoir une seule antenne sur le côté émetteur et le récepteur comme indiqué dans la Figure II.1



Figure II.1: SISO entrée unique sortie unique [12]

Des quatre antennes disponibles, la SISO la plus simple en termes de mise en œuvre et de conception. Le seul avantage de SISO est qu'il est très simple par rapport à d'autres types de systèmes. SISO a trouvé son application dans le Wi-Fi, la télévision, la radio, … etc.

$$C = B\ M_r \log_2(1 + \text{SNR})\ [\text{bits/s}] \qquad \text{(II.1)}$$

Avec :

C : la capacité du canal.

B : la largeur de bande ducanal.

SNR : le rapport signal surbruit.

II.3.2.2.SIMO :

Les systèmes SIMO (Single Input Multiple Output) utilisent une seule antenne pour l'émission et plusieurs antennes pour la réception Figure II.2.SIMO aide à améliorer la diversité de réception pour lutter contre les effets de l'évanouissement de l'antenne et des interférences ionosphériques sans augmenter la capacité des canaux .

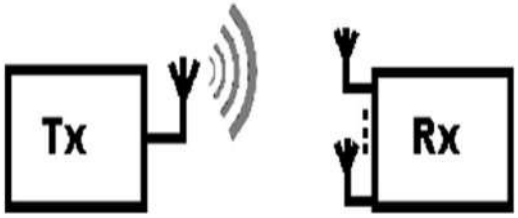


Figure II.2 SIMO Entrée Unique Sortie Multiple [12]

La capacité du canal SIMO :

$$C = B\, M_r \log_2(1 + \text{SNR})\ [\text{bits/s}] \qquad \text{(II.2)}$$

Avec :

M_r : le nombre d'antennes utilisées du côté du récepteur .

C : la capacité du canal .

B : la largeur de bande du canal ;

SNR : le rapport signal sur bruit

II.3.2.3.MISO :

Le MISO (multi-input à rendement unique) est également appelé diversité des émissions. Il n'y a qu'une seule antenne récepteur capable de recevoir les mêmes données qui sont transmises à plusieurs reprises à partir d'antennes de transmission multiples et les données sont ensuite récupérées en traitant le signal optimal reçu (total des signaux à deux voies). Figure II.3

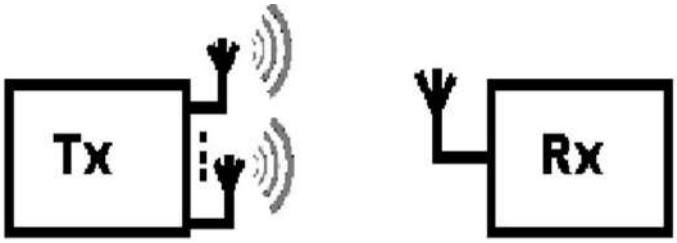


Figure II.3 : MISO sortie unique à entrées multiples [12]

Cette configuration permet de récupérer le signal original à la réception avec une moindre perte de chemin que SISO et SIMO tout en réduisant l'effet de l'évanouissement par trajets multiples lors de la transmission.

II.3.2.4.MIMO :

Lorsqu'il y a plus d'une antenne à chaque extrémité de la liaison radio, cela s'appelle MIMO - Multiple Input Multiple Output. MIMO peut être utilisé pour apporter des améliorations à la fois à la robustesse du canal et au débit du canal. Figure II.4

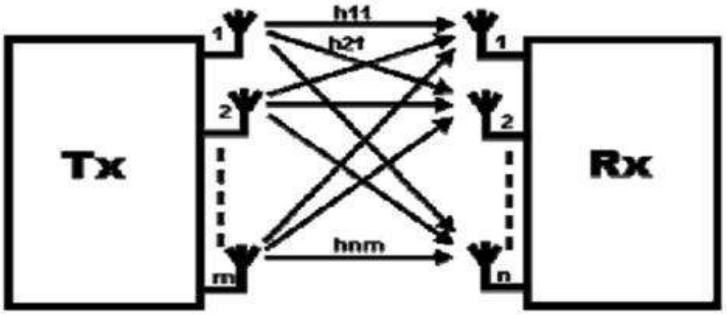


Figure II.4 : MIMO Entrée Multiple Sortie Multiple [12]

Afin de pouvoir bénéficier pleinement de MIMO, il est nécessaire de pouvoir utiliser le codage sur les canaux pour séparer les données des différents trajets. Cela nécessite un traitement, mais offre une robustesse de canal / capacité de débit de données supplémentaire.

Il existe de nombreux formats de MIMO qui peuvent être utilisés depuis SISO, via SIMO et MISO jusqu'aux systèmes MIMO complets. Ceux-ci sont tous capables d'apporter des améliorations significatives des performances, mais généralement au prix d'un traitement supplémentaire et du nombre d'antennes utilisées. Un équilibre entre les performances et les coûts, la taille, le traitement disponible et la durée de vie de la batterie qui en résulte doit être fait lors du choix de l'option appropriée[12].

II.4. MIMO Massive:

Les systèmes massifs ou massifs MIMO (multiple-input multiple-output) sont une caractéristique importante de la technologie 5G, souvent appelés systèmes utilisant un grand nombre d'antennes intelligentes. Massive MIMO peut offrir les avantages suivants :

- Massive MIMO peut augmenter la capacité du système de plus de 10 fois, tout en améliorant l'efficacité énergétique d'environ 100 fois.
- Des composants peu coûteux et à faible consommation d'énergie peuvent être implémentés dans des systèmes MIMO massifs.
- Massive MIMO peut réduire considérablement la latence de l'interface radio.
- Massive MIMO simplifie plusieurs couches d'accès. figure II.5

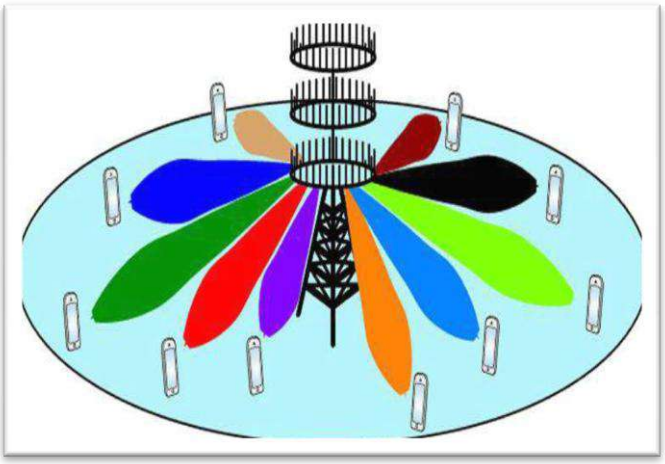


Figure II.5 : MIMO Massive [13].

II.4.1.1 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 dudébit binaire par unité de surface . Les petites cellules sont également un composant essentiel des réseaux hétérogènes (HetNets)[15].Les estimation sévoquent pour satisfaire la demande et permettre l'introduction de la 5G. nombre d'au moins 10 petites cellules par macro site, dans un environnement urbain où les cellules, les sont déjà relativement serrées,peut faire face a la densité d'utilisation Figure II.6. [14].

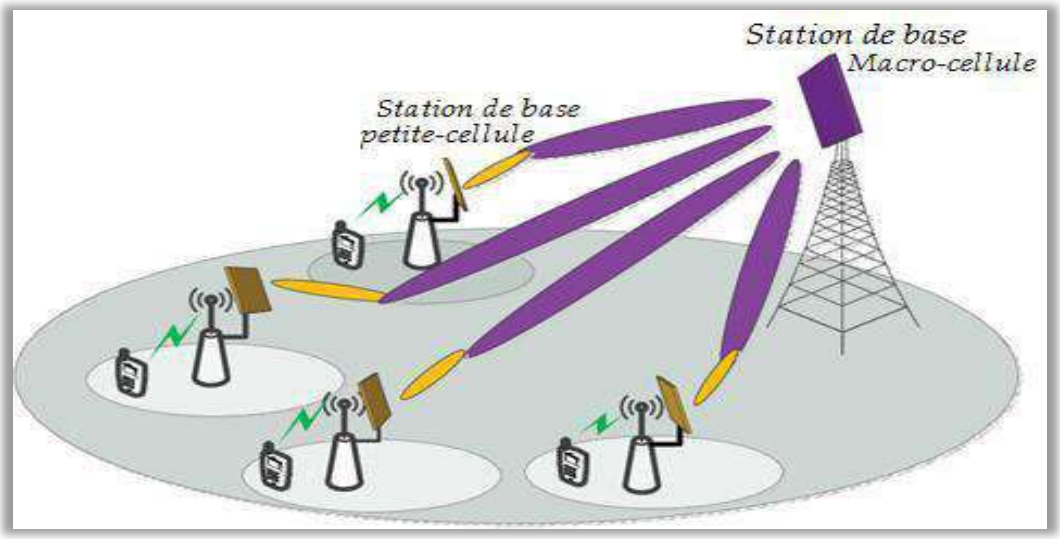


figure II.6 : petites cellules [14].

II.5. Caractéristiques d'une Antennes :

Une antenne est un appareil qui convertit l'énergie électrique en énergie électromagnétique lors de la transmission et inversement pour assurer une transmission sans fil. des informations. Les antennes peuvent être identifiées comme des adaptateurs d'impédance entre espace et expéditeur ou destinataire.une antenne est caractérisée par différents paramètres qu'on peut classer soit en caractéristiques électriques, soit en caractéristiques de rayonnement [9].

II.5.1. Impédance d'entrée :

L'impédanced'entrée est définie comme étant l'impédance présentée paruneantenne à ses bornes elleestégale au rapport de la tension **Ve** sur lecourant **Ie** présenté à l'entrée : [9].

$$Z = \frac{Ve}{Ie} = R + JX \qquad \text{(II.3)}$$

II.5.2. Coefficient de réflexion :

Le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet de quantifier la quantité du signal réfléchie par rapport au signal incident , Généralement ce coefficient **Γ** est lié à L'impédance d'entrée de l'antenne **Ze** et l'impédance caractéristique **Zc** la relation : [9].

$$\mathrm{Z_e} = \frac{\mathrm{z_e} - \mathrm{z_c}}{\mathrm{z_e} + \mathrm{z_c}} \qquad \text{(II.4)}$$

Signal ons qu'on peut représenter **Γ** sous forme de paramètre **S** en dB telque

$$S_{11(db)} = 20\log(\Gamma) \qquad \text{(II.5)}$$

II.5.3. 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 : [16].

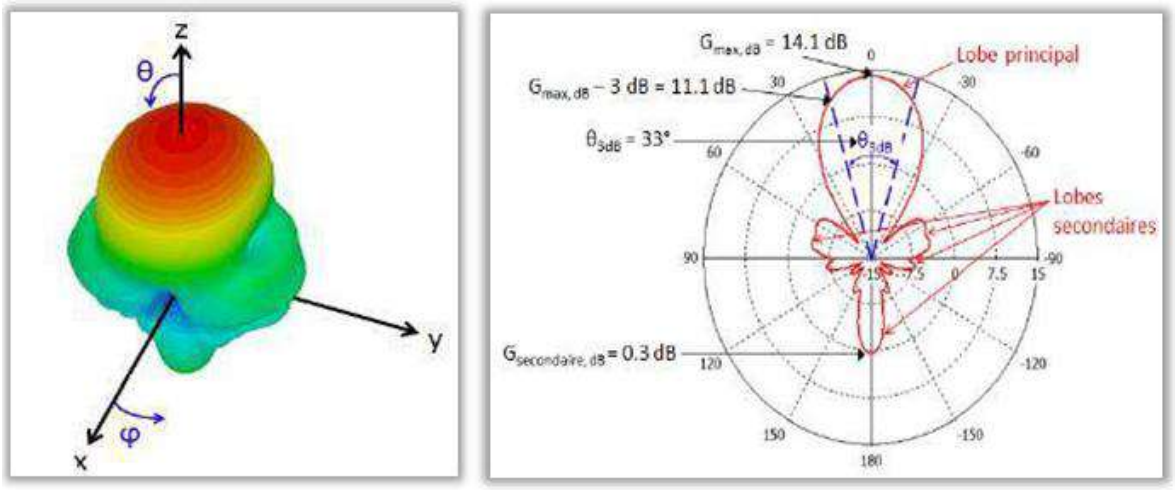
$$\mathrm{ROS} = \frac{(+\mathrm{V})+(+\mathrm{V})}{(+\mathrm{V})-(+\mathrm{V})} \qquad \text{(II.6)}$$

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

$$\mathrm{ROS} = \frac{1+|\Gamma|}{1+|\Gamma|} \qquad \text{(II.7)}$$

II.5.4. Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement d'une antenne représente la variation de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans différentes directions de l'espace. en dehors de l'affaire Antenne omnidirectionnelle dans un plan, l'antenne ne rayonne pas sa puissance uniformément dans toutes les directions de l'espace Figure II.6 [9].



(a) (b)

Figure II.6 : Exemple , (a) diagramme de rayonnement en 3D,

et (b) diagramme dans le planYo Z [9].

Il est donné par la relation suivante :

$$r(\theta,\varphi) = \frac{p(\theta,\varphi)}{p(\theta_0,\varphi_0)} \qquad \text{(II.8)}$$

II.5.6. Techniques d'alimentation :

Un point important dans la conception des antennes imprimées est leur alimentation. Elle détermine les modes excités ainsi que l'adaptation. l'excitation des éléments rayonnants se fait soit par contact direct soit par couplage. Plusieurs techniques d'alimentation existent. On présente ici quelques-unes des différentes alimentations utilisées [18].

II.5.6.1. Alimentation par ligne micro-ruban dans le plan de l'élément rayonnant :

L'élément rayonnant et sa ligne micro-ruban d'alimentation sont imprimés sur la même face du substrat. Cette technique est facile à réaliser et permet une adaptation simple d'impédance, elle a l'inconvénient de générer un rayonnement parasite des lignes.

l'adaptation est obtenue soit en insérant un transformateur quart d'onde , soit en déplaçant le point d'alimentation Figure II.7

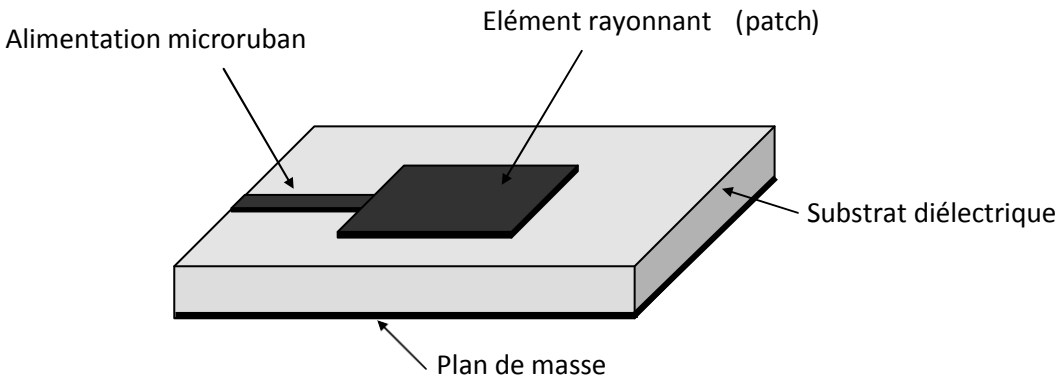


Figure II.7: Antenne imprimée alimentée par ligne micro-ruban [18].

Pour atteindre la grande performance d'antenne, un diélectrique épais qui a un constant diélectrique bas est nécessaire. Cela fournira une efficacité plus élevée, une plus grande bande passante et une plus grande radiation . dans une structure micro ruban les conducteurs se présentent sous la forme de ruban très mince découpé suivant différentes géométries (rectangle, cercle, triangle …) comme le montre la Figure II.8 :

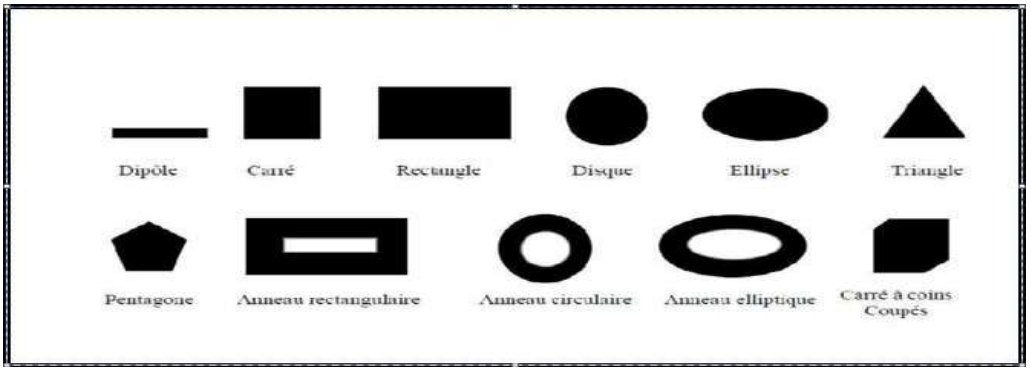


Figure II.8: Différentes formes de l'élément rayonnât [18].

II.5.6.2. Alimentation par sonde coaxiale :

Le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le plan de masse et le diélectrique, il est directement soudé à l'élément rayonnant en un point où l'adaptation est obtenue, alors que le conducteur extérieur est relié au plan de masse Figure II.9

Cette technique est adaptée à une alimentation séparée de chaque élément du réseau. Elle est simple à réaliser. La position de l'alimentation détermine le type de mode excité, de plus elle contrôle l'adaptation de l'élément. Cependant, cette technique d'alimentation pose

des problèmes technologiques du fait du percement du substrat et des soudures sur chaque élément rayonnant, surtout pour les grands réseaux.

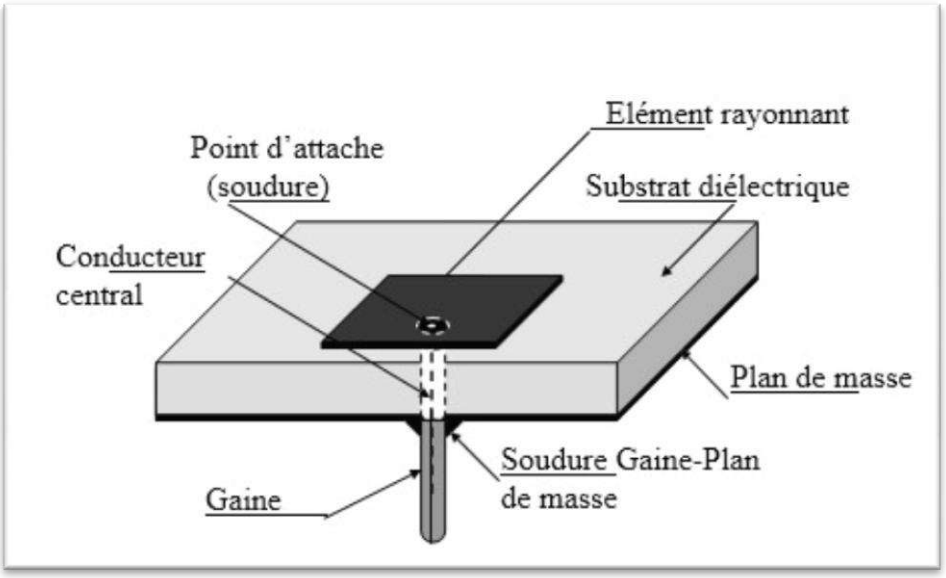


Figure II.9 : Antenne imprimée alimentée par sonde coaxiale [18].

II.5.6.3. Alimentation par ouverture (ou par fente) :

L'élément rayonnant et la ligne micro-ruban d'alimentation sont placés de part et d'autre du plan de masse. La fente de couplage dans le plan de masse permet la circulation de l'énergie entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant Figure II.10 . Cette méthode nécessite un positionnement précis de la fente. Elle apporte les avantages suivants:

- Isolation du circuit d'alimentation par l'intermédiaire du plan de masse. De ce fait, un rayonnement parasite faible, en fait ce rayonnement parasite se situe au-dessous du plan de masse, ce qui n'est pas la direction de propagation .
- Adaptation facile à réaliser en raison de grand nombre de paramètres comme la taille de l'ouverture et la longueur du stub de la ligne d'alimentation.

Mais cette technique présente quelques inconvénients, tels que :

- Faible bande passante, mais peut être amélioré en jouant sur l'épaisseur du diélectrique et en superposant plusieurs éléments rayonnants .
- Difficile à mettre en œuvre .

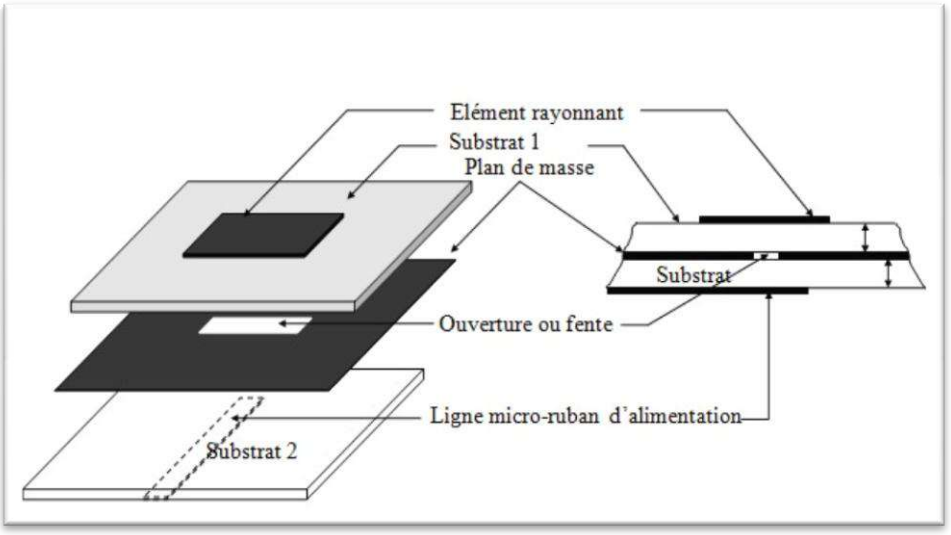


Figure II.10: Antenne imprimée alimentée par fente [18].

II.5.6.4. Alimentation par proximité :

L'antenne est constituée de deux substrats diélectriques entre lesquels est située la ligne d'alimentation. L'élément rayonnant est imprimé sur le substrat supérieur (Figure II.11). L'excitation se fait par couplage électromagnétique. Cette technique permet d'améliorer la bande passante mais elle est difficile à réaliser.

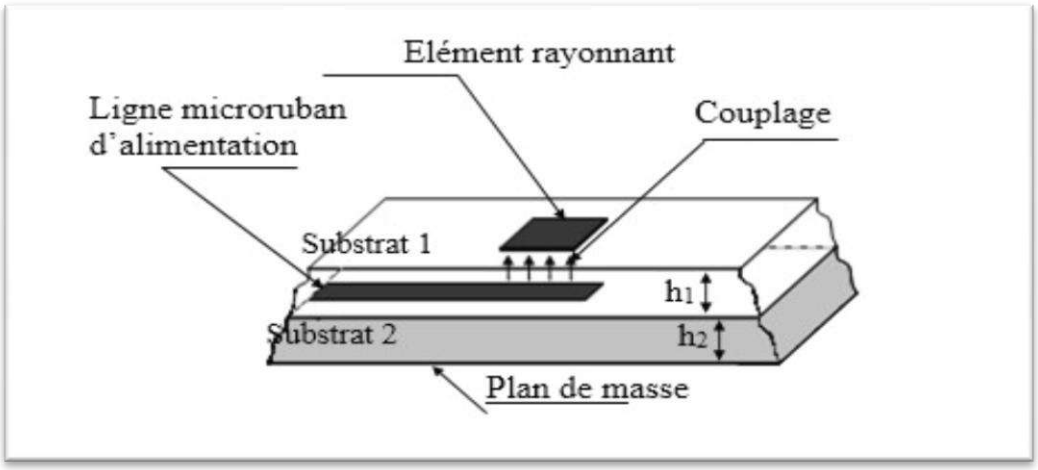


Figure II.10: Antenne imprimée alimentée par proximité [18].

II.5.7.Les avantages et les inconvénients :

Des nombreux systèmes de communication utilisent les antennesmicrobandes non seulement comme des éléments indispensables pour assurer le couplage entre les équipements et le milieu de propagation, mais aussi puisqu'elles offrent certains avantages tel que :

- Faible poids, encombrement réduit, faible profile et structure plane.

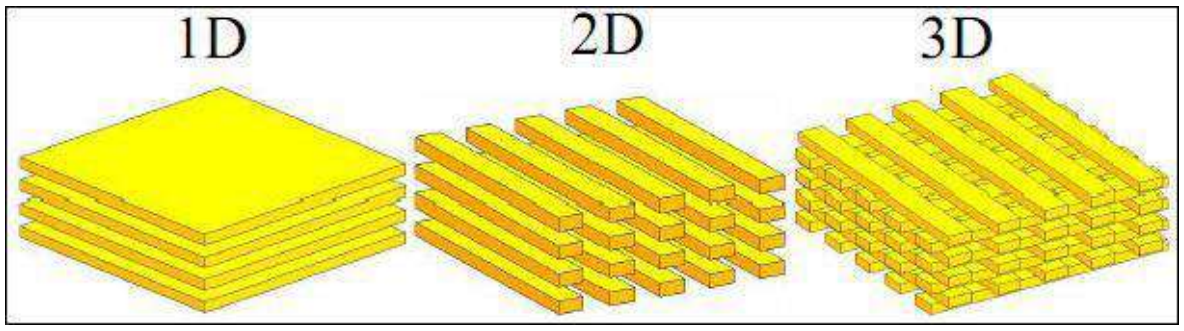
- Faible volume et épaisseur réduite.
- Faible coût de fabrication.
- Facile à fabriquer en masse en utilisant les techniques des circuits imprimés dont le faible cout.
- Compatibilité avec des circuits intégrés (antennes actives).
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.
- Antennes multi bandes multi polarisations possibles.

II.6. Cristaux photoniques :

II.6.1. notion sur la cristaux photonique :

Le concept de "cristal photonique" a été proposé pour la première fois en 1987. Le premier cristal photonique a été produit en 1991. Les cristaux photoniques sont des structures dont l'indice de réfraction varie périodiquement dans une, deux ou trois dimensions. Ce milieu périodique produit un effet sur la lumière se propageant dans un cristal photonique similaire au potentiel périodique des électrons dans le cristal. Tout comme les électrons ont des bandes autorisées et interdites, il existe des bandes d'états photoniques autorisées et interdites.

Une bande photonique correspond à un mode qui se propage dans le cristal photonique.Une bande interdite photonique correspond à un intervalle d'énergie ou la propagation de la lumière est interdite dans certaines directions du cristal photonique. Les cristaux photoniques offrent la possibilité de contrôler la propagation de la lumière et ceci, sur la dimension de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde dans le matériau. C'est notamment cette propriété qui les rend intéressants pour de nombreuses applications [20].



(a) (b) (c)

Figure II.11: Cristaux photoniques à (a) une, (b) deux , (c)trois dimensions [20].

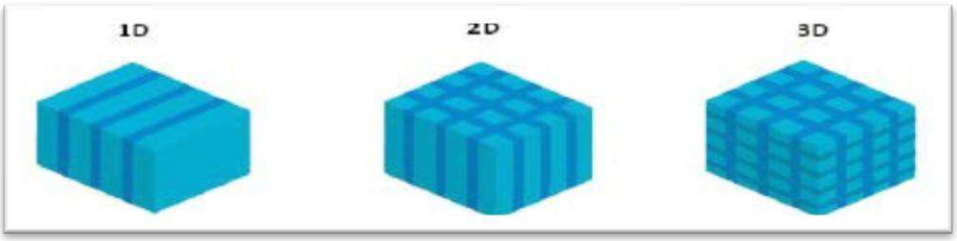
II.6.2. definition des cristaux photonique :

La première structure périodique à connaître est le matériau à bande interdite photonique (B.I.P.) que l'onappelle plutôt en hyperfréquence «matériau à bande interdite électromagnétique».d'une manière générale,on les nomme familièrement «cristaux photoniques» car structure se rapproche de la structure cristalline et qu'ils agissent sur les photons. L'intérêt des chercheurs pour le thème des cristaux photoniques est important, surtout depuis la fin des années 90, car ces matériaux périodiques artificiels ont été promis à Révolutionner le domaine des télécommunications. En effet, depuis des années, la recherche scientifique pense pouvoir contrôler la propagation de lalumière grâce à ces matériaux afinde remplacer la communication classique à courant électrique. Ceci entraînerait un gain énorme en termes derapiditéde la communication [21].

II.6.2. Caractéristiques d'un cristal photonique :

II.6.2.1. La dimensionnalité :

Celle-ci est déterminée par la périodicité de l'indice de réfraction. Comme le montre la figure I.3, la périodicité d'un CP peut s'étendre à une, deux ou trois dimensions (1, 2, 3D).



(a) (b) (c)

Figure II.12:Représentations schématiques de CP oùl'indice De réfraction périodiquement suivant : (a) une, (b) deux , (c)trois dimensions [21]

II.6.2.2.La symétrie :

La position des briques d'un CP détermine la symétrie du réseau Par exemple , pour un CP3 D de particules sphériques une symétrie cubique , hexagona le compacte (HC) oucubique à face centrée (CFC) peut-être obtenue .

II.6.2.3. Le paramètre du réseau:

C'est la distance fondamentale entre deux briques constitutives. Il détermine la région spectrale où le CP interagit avec l'onde électromagnétique.

II.6.2.4. Indice de réfraction:

Ce paramètre est défini comme le rapport entre les indices de réfraction des briques et de la matrice. Il offre une idée générale de la force de diffusion des deux matériaux composants du CP.

II.6.3. les types de cristaux photonique :

Il existe différents types de cristaux photoniques qui sont classés selon leur dimensionnalité, le cristal photonique peut être :

- ✓ à une dimension (empilement de couche sminces , réseau de Bragg),
- ✓ à deux dimensions (réseau de trous sur une surface)
- ✓ à trois dimensions (empilement de couches formées de billes de silices au toassemblées

II.6.3.1. cristaux photoniques unidimensionnels miroirs de bragg :

Les cristaux photoniques unidimensionnels sont couramment utilisés sous le nom de réseau de Bragg. Le cristal photonique le plus simple possible est représenté sur la Figure II.13. Les structures 1D sont les plus anciennes, elles ont déjà été longuement étudiées et utilisées.

Les cristaux photoniques unidimensionnels sont obtenus par une impilement de couches d'indices diélectriques différents. Ces structures sont composées de l'alternance périodique dans une seule direction de l'espace de deux milieux diélectriques de constantes diélectriques respectives ε1 et ε2.

L'approche traditionnelle pour développer une compréhension de cette structure est de permettre à une onde plane de se propager à travers le matériau et de considérer les multiples réflexions et transmissions qui se déroulent à chaque interface, et les changements de phase qui se produisent pour le sondes planes se propageant de couche en couche . Et sur la base de ce concept , une méthode matricielle a été introduite par Y e h pour traiter le phénomène des ondes électromagnétiques qui se propagent dans les couches du milieu [21]

Les bandes interdites de cette structure, appelée également miroir de Bragg, sont sensibles à l'angle d'incidence de l'onde. Ainsi pour obtenir un contrôle desbandesinterdites quel que soit l'angle d'incidence , il faut étendre la périodicité de la structure à 2 ou 3 dimensions. Figure II.13



Figure II.13:Schéma d'un miroir de Bragg constitué

d'un milieu diélectrique périodique fini [22]

Les structures 1D sont utilisées dans plusieurs applications. On peut citer : les filtres de longueur d'onde sélectifs, les multiplexeurs, les convertisseurs de modes pour fibres optiques, la compensation de la dispersion, les lasers spéciaux à bande étroite.

II.6.3.2. Cristaux photoniques bidimensionnelles :

Un cristal photonique bidimensionnel est une structure qui présente une modulation périodique de la permittivité diélectrique suivant deux directionsde l'espace , ethomogène dans la troisième.Il existe plusieurs façons de réaliser ces structures bidimensionnelles. Par exemple, on peut placer des tiges diélectriques dans l'air ouencore dans unautre diélectrique. Afin d'ouvrir des bandes interdites larges, il faut un contraste d'indice (différence entre les indices du milieu etdestiges) suffisamment grand .Un BIP bidimensionnel peut aussi être constitué d'un ensemble de trous percés dans un diélectrique. Les réponses optiques de ces structures dépendent de la polarisation et peuvent ne pas posséder une bande interdite complète Par le d'une bande interdite complète lorsque la structure interdit la propagation pour toutes les directions dans le plan de la périodicité , quelle que soit la polarisation [23].

II.6.3.2.1 Types de structures 2D :

Les cristaux photoniques à deux dimensions , sont composés d'un réseau périodique de trous d'air percés dans un diélectrique (structureconnectée) oudetiges (despiliers) de diélectrique dans l'air (structure déconnectée).Les structures dites « connectées » (Figure), les motifs élémentaires sont d'indice inférieur à l'indice de la matrice diélectrique. n1 n2 . Figure II.14

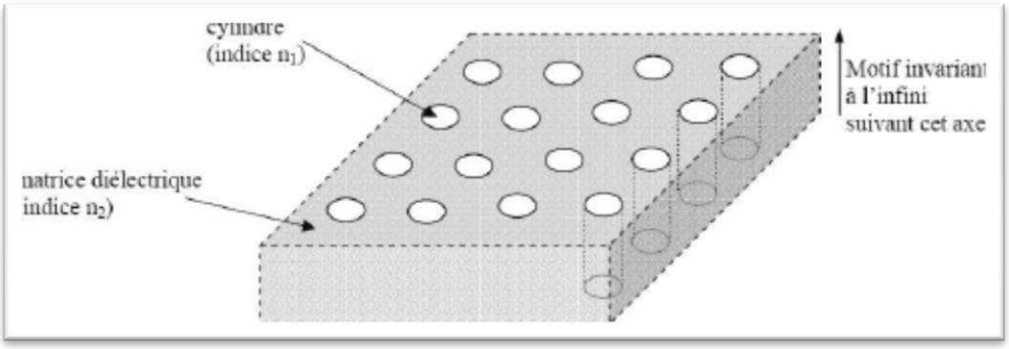


Figure II.14 : Structure périodique 2D connectée [21].

Dans les structures dites «déconnectées» Figure II.15 : les motifs élémentaires sont d'indice n1 supérieur à l'indice n2 de l'espace inter motifs. Elles sont constituées de tiges diélectriques ou métalliques alignées périodiquement dans l'air ou de la mousse

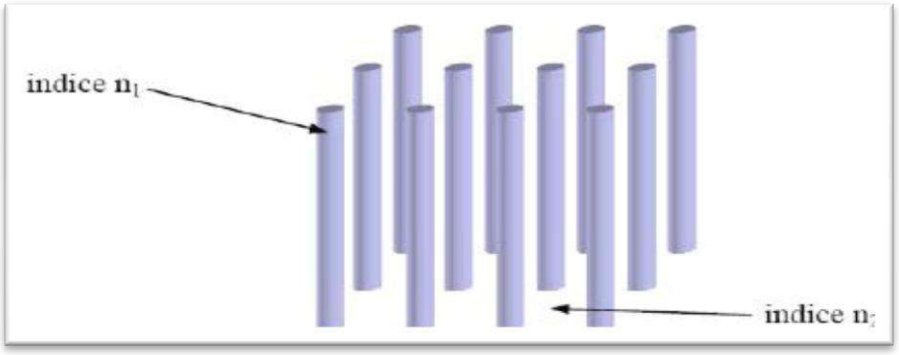


Figure II.15 : Structure périodique 2D déconnectée [21].

II.6.3.2.2 Familles de PhC 2D :

Les structures 2D sere groupent principalement suivant trois familles ; Les trois réseaux les plus courants pour l'organisation des piliers (oudestrous) , qui sont le réseau carré, triangulaire et hexagonal Figure II.16

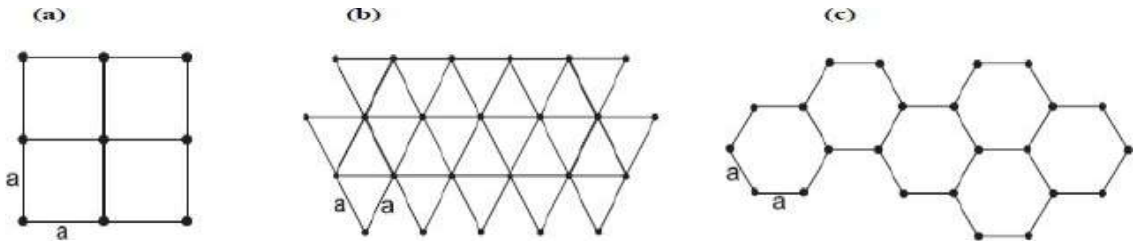


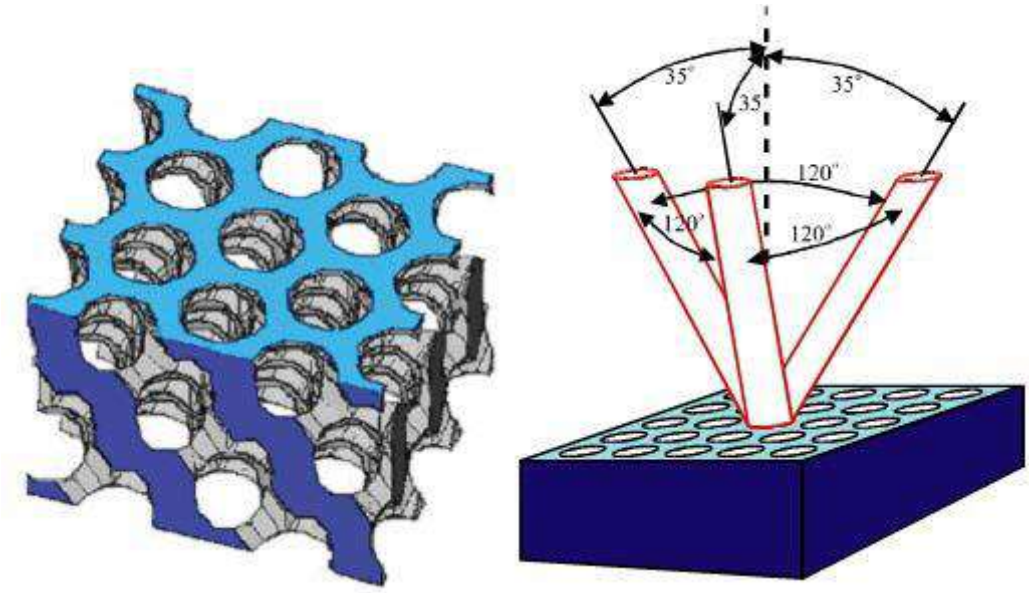
Figure II.16 :(a) Structure carrée , (b) triangulaireet , (c) hexagonale [21].

II.6.3.3. Cristaux photoniques tridimensionnels :

Les cristaux photoniques 3D sont des matériaux ayant une constante diélectrique périodique dans les trois directions de l'espace. Ils constitue la seule structure qui permet d'obtenir une bande d'énergie interdite dans toutes les directions de l'espace .De nombreuses méthodes de fabrication des cristaux photoniques tridimensionnel sont été proposées. On peut citer la structure yablonovite et la structure tas de bois et la structure des opales.

II.6.3.3.1.Structure de Yablonovite :

C'est le premier cristal photonique tridimensionnel à fabrique retila été nommé Y ablonovite après Y ablonovitch qui l'aconceptualisé . Une dalle de matériau est recouverte d'un masque constitué de rangées triangulaires de trous. Chaque trou est foré trois fois, à un angle de 35,26° loin de la normale , et répartis sur 120° sur l'azimut . Les trous traversants situés en dessous de la surface de la brame produisent une structure FCC (CFC) tridimensionnelle complète. Le forage peut se faire par un foret réel pour le travail des micr- ondes, ou par gravure ionique réactive pour créer une structure FCC à des longueurs d'ondes optiques. La bandesombre à droite indique l'écart totalement interdit []



(a) (b)

Figure II.17 : La première structure BIP3D: la Yablonovite (a) fente , (b) 3D [23].

II.6.3.3.2. Structuretas de bois :

La structure périodique de ces cristaux photoniques tridimensionnels est réalisée en déposant par couches successives des rubans de silicium polycristallin dans des tranches de silice , elles efait plan sur plan . Après avoir construit la structure , la silicees tretirée pour

obtenir un cristal photonique tridimensionnel Si/Air dont le contraste d'indice est suffisant pour ouvrir une bande d'énergie interdite omnidirectionnelle (Figure II.18) :

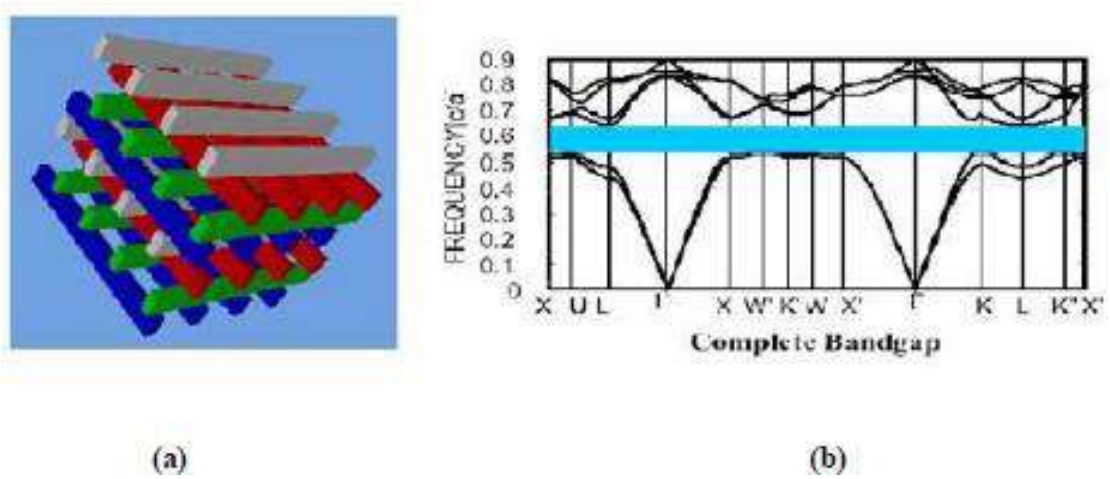


Figure II.18 : : (a) structuretas de bois , (b) Diagramme de bande d'un BIP 3D [23].

II.6.3.3.3. Structure d'opale:

Ces structures forment une famille originale de cristaux photoniques 3D . Elles sont obtenues chimiquement parauto-assemblage (Figure II.19) . La première opale a été obtenue par sédimentation de sphères de silice (SiO2) en solution : la gravité arrange ces sphères selon un réseau cubique à faces centrées [9]. Le nombre important de défauts dans les premières opales a été fortement réduit grâce à des techniques de croissance auto-organisées proposées par Y.A.V lasov. La plupart de ces cristaux colloïdaux ne présentent pas de bandes d'énergie interdites , à cause du faible contraste d'indice. Cependant, ces structures servent d'empreinte pour la réalisation d'opales inverses à partir de l'infiltration d'un matériau de haut indice (Figure II.20) . Les sphères initiales sont en suite dissoutes pour aboutir à structure finale de sphères d'air dans une matrice de haut indice [23].

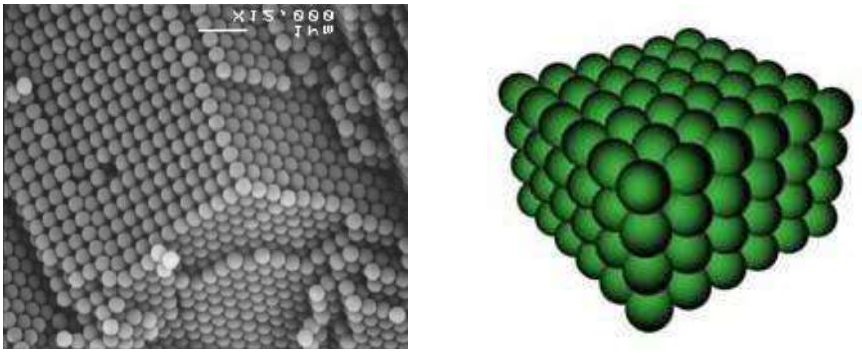
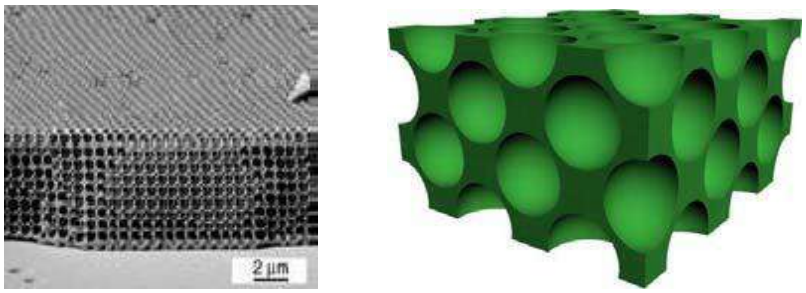


Figure II.19 : vue de MEB d'une opale artificielle directe (a) fente , (b) 3D [23].



(a) (b)

Figure II.20 : vue de MEB d'une opale artificielle invers (a) fente , (b) 3D [23].

II.6.4. Domaines d'application :

Par leurs périodicité set leurs propriétés , les cristaux photoniques permettent de réaliser des dispositifs optiques ou électromagnétiques capables de stocker, filtrer ou guider la lumière à l'échelle de la longueur d'onde . Les cristaux photoniques sont souvent utilisés dans le domaine de la télécommunication et de l'informatique notamment dans le domaine des optiques intégrées. En effet, en utilisant les photons à la place des électrons, les informations seront transmises plus rapidement avec moins de perte, du fait d'une baisse d'interaction avec les matériaux diélectriques en comparaison aux électrons . Ils peuvent être déclinés sous forme de filtre safindene laisser qu'une longueur d'onde du spectre de la lumière passer, de guides d'onde pour la lumière par l'insertion de défauts linéaires ou planaires qui guideront les photons à travers le système, ou encore de fibres optiques permettant une réflexion interne totale où la lumière Y est confinée car sa propagation hors de ce domaine est interdite (Figure 1-17).l'utilisation des cristaux photoniques dans d'autres applications se développent comme pour :

- les olaire avec l'amélioration de l'efficacité des cellules photovoltaïques
- les batteries Lithium-ion pour augmenter leur efficacité
- les capteurs biologiques ou chimiques
- les lasers avec l'optimisation de leurs performances pour les lasers à bas seuil

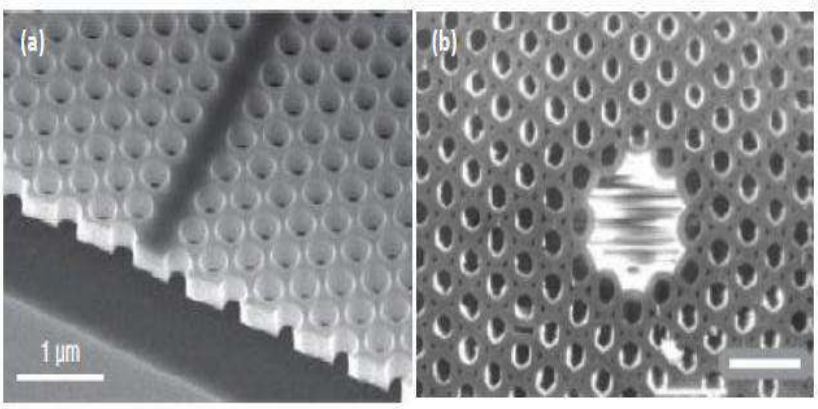


Figure II.21 . Images MEB (a) d'un guide d'onde et (b) D'une fibre optique photonique dans des CP 2D. [23] ,[21]

II.7. conclusion :

Dans ce chapitre, nous présentons l'essentiel de la théorie de manière concise.une antenne imprimée dont tout ingénieur ou chercheur intéressé par ce type aura besoin

Nous montrons également certaines des différentes techniques d'alimentation, ainsi que les méthodes d'analyse les plus courantes pour les structures de microruban de toute forme. Ils ont tous des avantages et des inconvénients.

Dans ce chapitre, nous introduisons les concepts de base liés aux cristaux photoniques (PC). Parmi les différentes propriétés des CP, la plus intéressante est la bande interdite électromagnétique. Cette gamme de fréquence dans laquelle le CP adopte un comportement de "barrière d'isolement" à l'onde offre une solution très convoitée pour les applications haute fréquence.Dans le chapitre suivant nous poserons une antenne MIMO bande milimetrique.

ChapiterIII

Simulation Et Résultats

III.1 Introduction :

Les technologies de cinquième génération (5G) ont des exigences particulières, et leurs antennes doivent avoir des bandes passantes supérieures à 1 GHz et atteindre un gain élevé jusqu'à 12 dB pour une productivité élevée. L'utilisation des bandes mmWave dans la 5G est une solution adaptée à cette future exigence technologique.

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 30GHz. 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. Les antennes mmWave possèdent une bonne directivité (capacité à concentrer l'énergie rayonnée dans une direction donnée). Des antennes de petite taille et fortement directives sont idéales pour des applications de beam-forming et de Massive MIMO.

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 2 antenne rayonnants dans une même direction, nous suggérons la deuxième étape, qui est la plus importante afin de concevoir antenne MIMO ,regroupant des patchs identiques à notre première antenne patch proposée à la première étape

La dernière étape nous utilisons des cristaux photoniques d'air sur le substrat pour composé de tiges cylindriques sur un substrat du cylindre et l'aire de la cellule unitaire

III.2.Description du logeciel 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 équationsh 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 [11].

III.3. Conception et simulation d'antenne MIMO à bande milimétrique :

Le développement et la simulation antenne MIMO pour la bande milimétrique peuvent être divisés en trois aspects généraux :

1) Conception d'une antenne bande milimétrique .
2) base d'antenne mimo sur substrat conventionnel place de d'antennes pour la bande millimertrique à partir de l'élément précédemment conçu
3) En ajustant bien certains paramètres du cristal photonique.

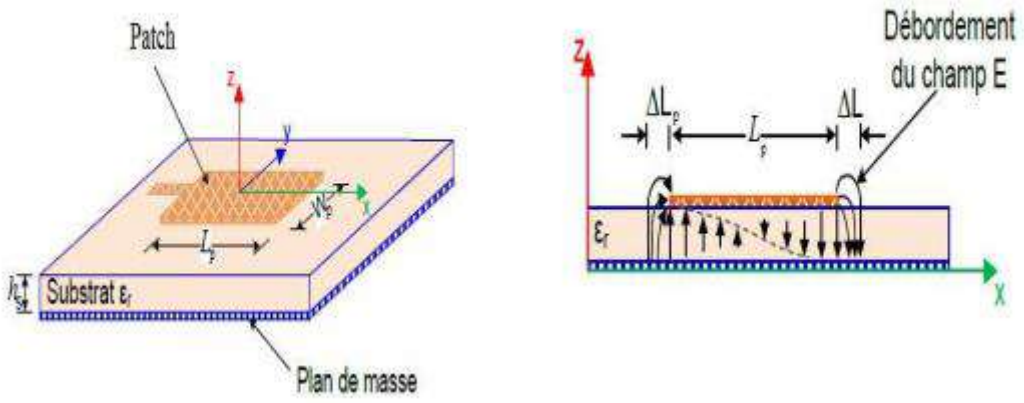
Chacun de ces aspects à ses propres caractéristiques et, en même temps, ils doivent être décomposés en autres étapes de conception.

III.3.1.Conception de l'antenne patch de bande milimétrique :

III.3.1.1. Structure de l'antenne :

La structure de l'antenne proposée comme, et montre la figure III.1, présente une patch rectangulaire. Le plan inférieur est le plan de masse composés avec un matériau Copper(annealed-type Lossy metal). Le substrat de l'antenne est un FR-4(lossy), qui a une permittivité relative εr = 4.3 et une tangente de perte diélectrique, tan δ = 0.025.

La structure d'une antenne microruban dépend du type d'application visé et des paramètres à optimiser (bande passante, gain et efficacité, impédance d'entrée, niveaux des lobes secondaires, etc.). Les formes des patchs les plus souvent employées sont données dans la figure III.1



(a) (b)

figure III.1 : Allure des lignes de champ dans la cavité (a) 3D , (b) 2D [7].

Les patches rectangulaire et carré sont les plus employés utilisés. La forme rectangulaire est caractérisée par une largeur de bande élevée.

III.3.1.2. les Équations Structure d'antenne : [11]

- La fréquence de résonance pour un patch rectangulaire est donnée par l'équation :

$$f_r = \frac{C}{2(Lp+2\Delta Lp)\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad \text{(III.1)}$$

Où *c0* est la vitesse de la lumière dans le vide, Δ*LP* l'extension de la longueur *LP* et ε*eff* la permittivité effective.

- Ainsi, l'expression de la longueur du patch, en fonction de la longueur d'onde dans le vide λ0,est donnée par l'équation :

$$L_P = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon_{eff}}} - 2\Delta L_P \quad \text{(III.2)}$$

- L'extension de la longueur (Δ*LP*) est utilisée pour tenir compte du débordement du champ électrique aux extrémités du patch Son expression mathématique est donnée Par l'équation :

$$\Delta L_P = 0.412 h_s \left(\left(\frac{\varepsilon_{eff}+0.3}{\varepsilon_{eff}-0.258}\right)\right) \frac{(w_p/h_s)+0.264}{(w_p/h_s)+0.8} \quad \text{(III.3)}$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2}\left(1+\frac{12.h_s}{w_p}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad \text{(III.4)}$$

- La largeur optimale du patch est donnée par l'équation :

$$w_p = \frac{c_0}{2f_r}\left(\frac{\varepsilon_r+1}{2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad \text{(III.5)}$$

- L'impédance de cette antenne calculée en utilisant par l'équation :

$$w_f = \left(\frac{377}{z_0\sqrt{\varepsilon_r}} - 2\right) h_s \quad \text{(III.6)}$$

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

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

*Z*0 : Impédance caractéristique de la ligne de transmission d'entrée

Hs : Epaisseur de substrat

c_0 : La vitesse lumiere

fr : Fréquence de résonance

Nous avons pris l'idée de l'antenne que nous avons étudiée dans Les dimensions de l'antenne à simuler sont illustrées par le tableau III.1.

Tableau III.1 : dimensions de la structure de l'antenne

Parametres	**Description**	**Valeur (mm)**	**Parametres**	**Description**	**Valeur (mm)**
L	longueur du substrat et du plan de masse	20	Lp	longueur du patch	2.5
W	Largeur du substrat et du plan de masse	20	Wp	Largeur du patch	3.07
Hs	epaisseur de substrat	1.3	hp	epaisseur de patch	0.01
hg	epaisseur de plan de masse	0.01	wf	Largeur du ligne	0.9

le patch est alimenté par une ligne micro ruban avec une impédance d'entrée de 75Ω..

III.3.2. 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 , sont illustrés sur les figure III.2

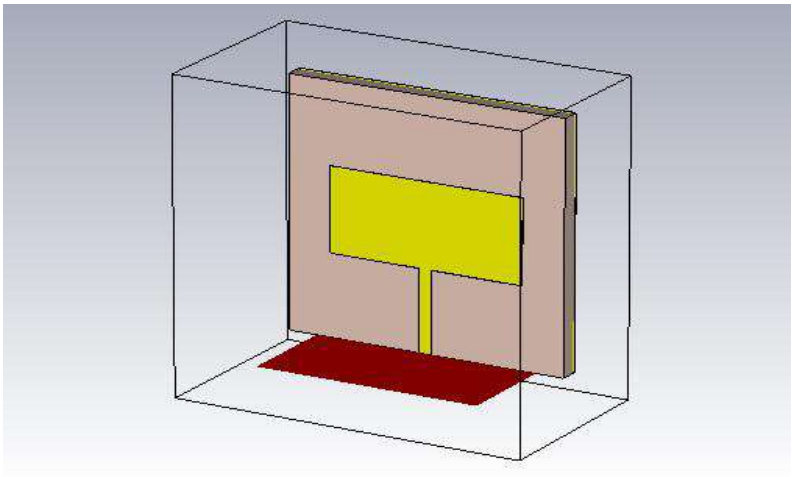


figure III.2.1 : Diagramme de directivité tridimensionnel d'antenne simple.

III.3.2.1 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.3. L'antenne résonne à 30 GHz, répondant ainsi à cette exigence de conception.

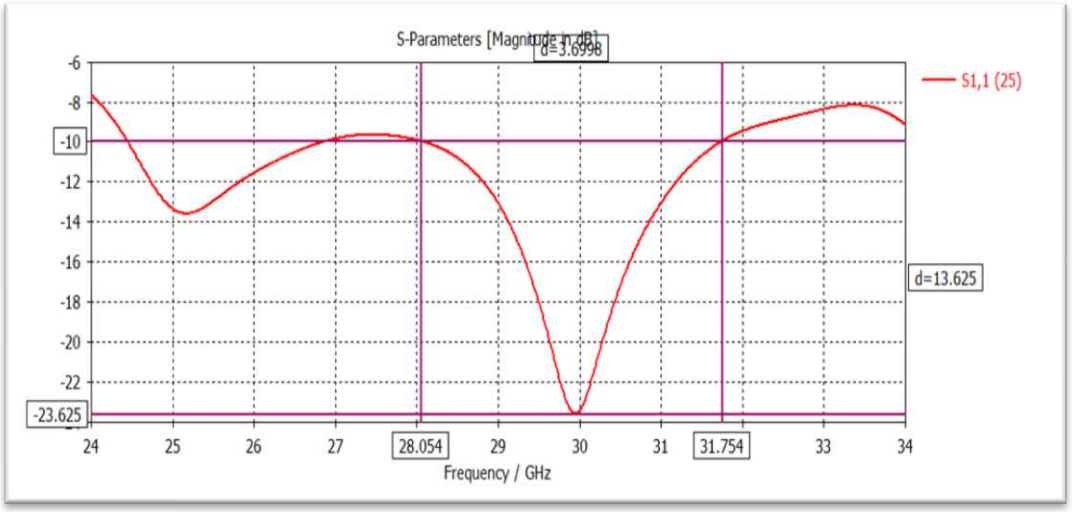


figure III.2.2 : Variation de *S*11 en (dB) en fonction de la fréquence d'antenne simple.

On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 6.815 GHz autour de la fréquence de résonance (30 GHz) dans l'intervalle (28.054 – 31.754) GHz

III.3.2.2 Taux d'onde stationnaire (VSWR):

le taux d'onde stationnaire nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 30 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. illustrés sur les figure III.4 qui montre variation du VSWR.

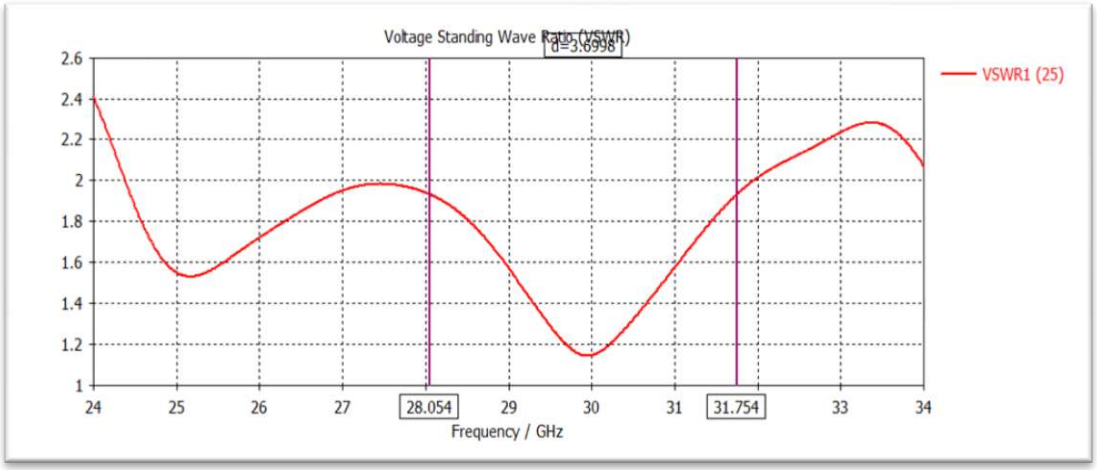


figure III.2.3 : VSWR en fonction de la fréquence d'antenne simple.

III.3.2.3.Diagrammes de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement de l'antenne a une forme appropriée comme le montre les figures III.2.4 et III.2.5 parceque le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne. Bien sure ceci qu' il doit être normalement pour ce type d'antennes.

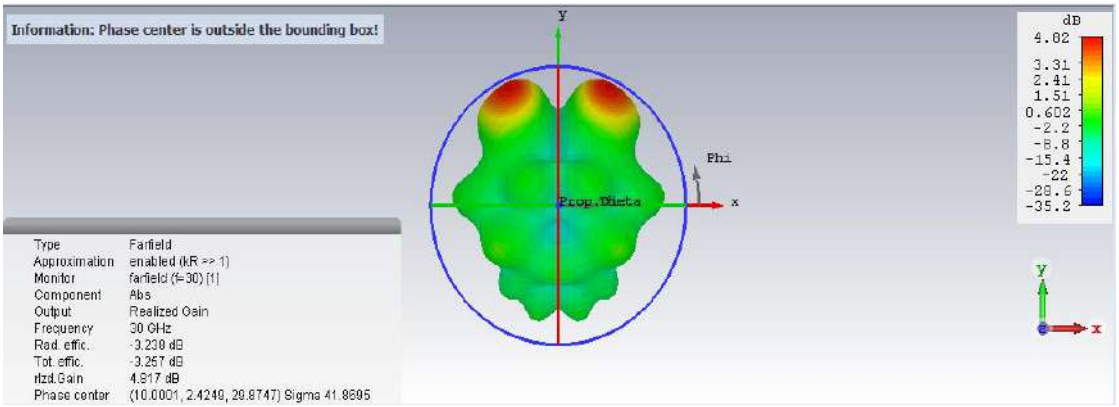


Figure III.2.4 : Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) d'antenne simple.

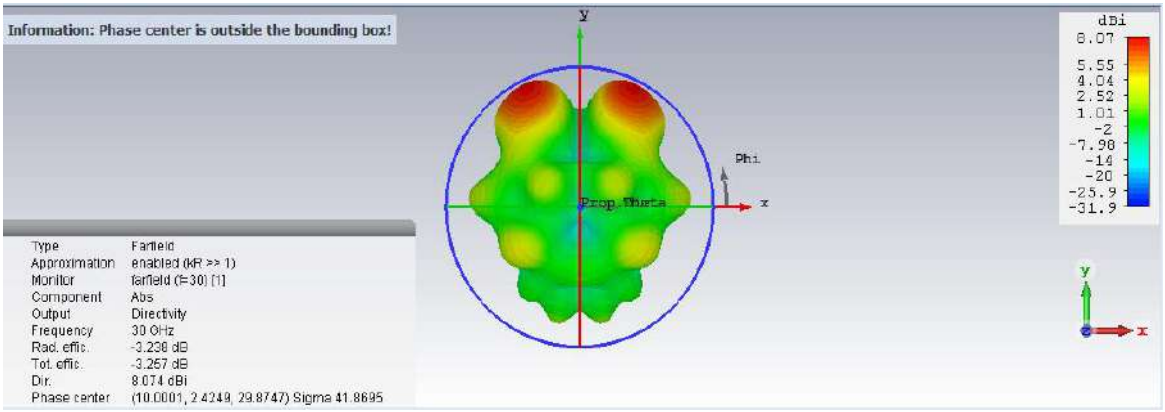


Figure III.2.5 **:** Diagramme de rayonnement (directivité) d'antenne simple.

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 figures III.2.6 et III.2.7

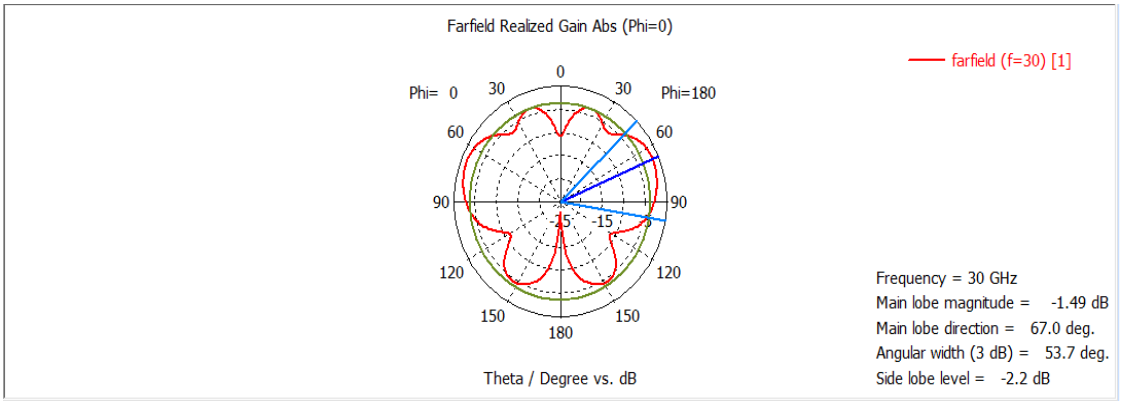


Figure III.2.6 **:** Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°) d'antenne simple.

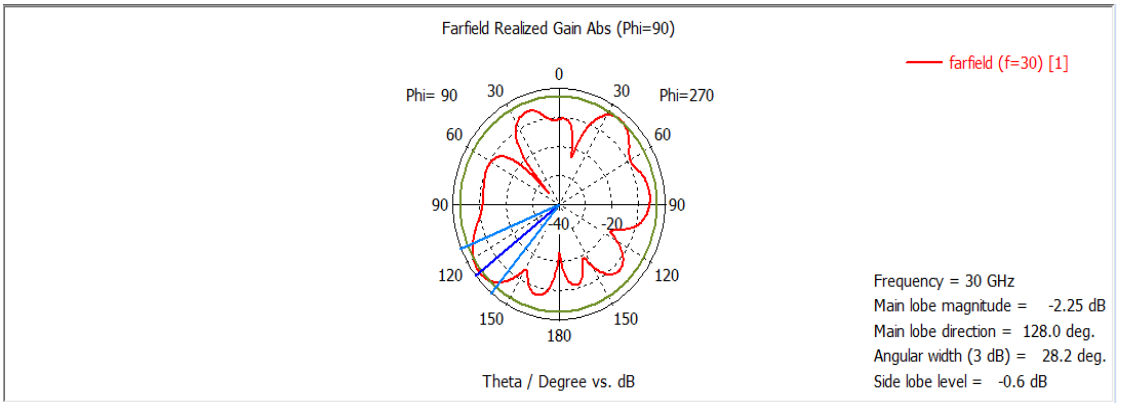


Figure III.2.7 **:** Diagramme de rayonnement en 2D (phi=90°) d'antenne simple.

III.3.2.3. Radiation efficacité :

Notez que la valeur du radiation efficacité par cette antenne est (-3.2dB dans la bande de fréquence 30GHz) et cela signifie qu'il est très approprié pour atteindre ce que nous voulons.

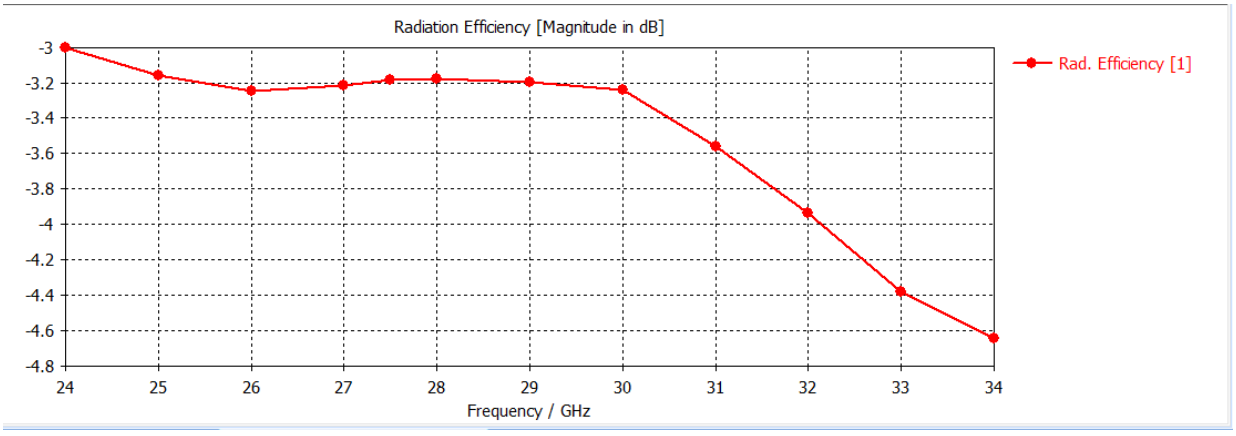


Figure III.2.8 : Radiation Efficacité d'antenne simple.

Nous pouvons également calculer le rendement en utilisant le gain et la directivité figure III.2.9

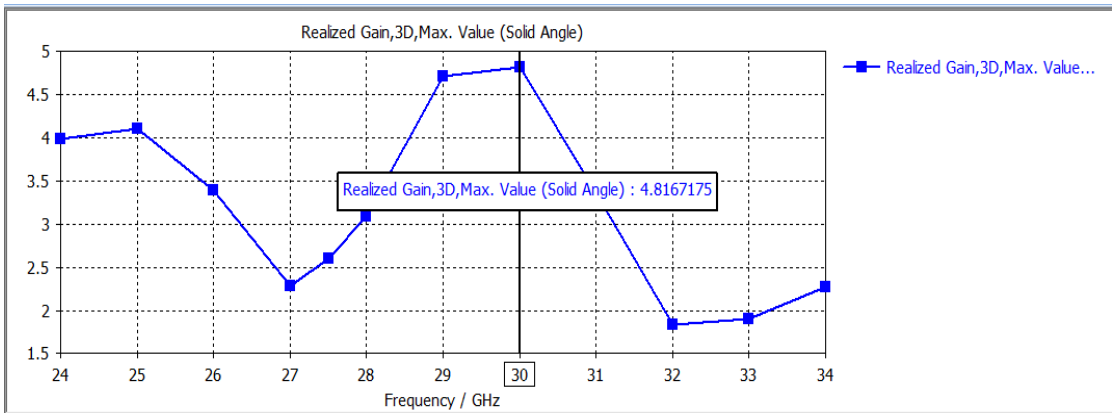


Figure III.2.9**:** Gain (dB) d'antenne simple.

III.3.2.4 : 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.

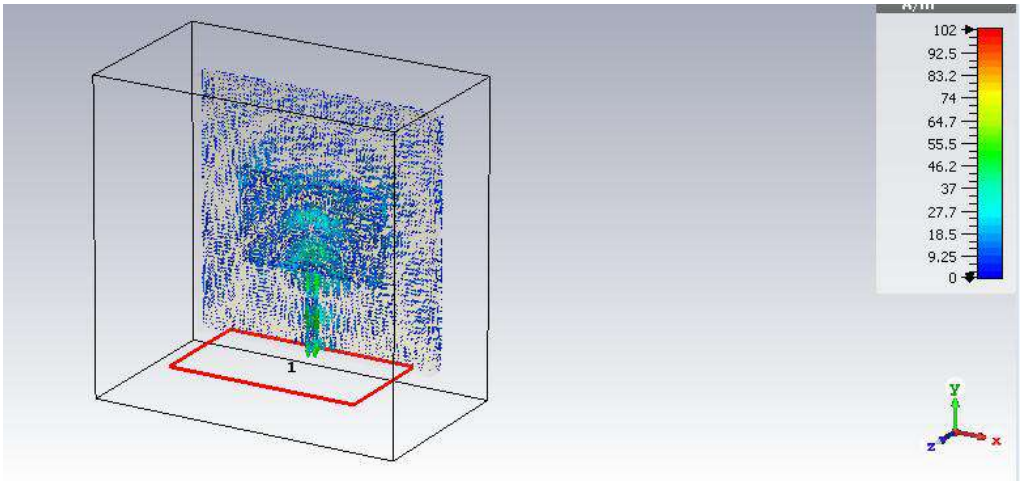


Figure III.2.10**:** Courant de surface d'antenne simple.

III.3.2.5. Directivité :

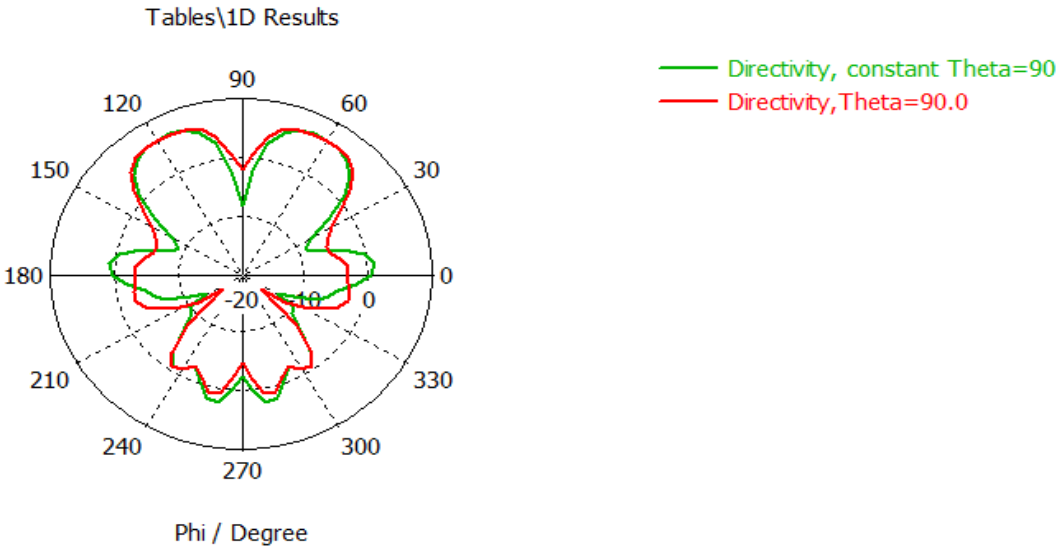


Figure III.2.11**:** La directivité de l'antenne patch.

III.3.2.6.Gain :

La valeur le gain 4.81 dB à la fréquence est de 30GHz..

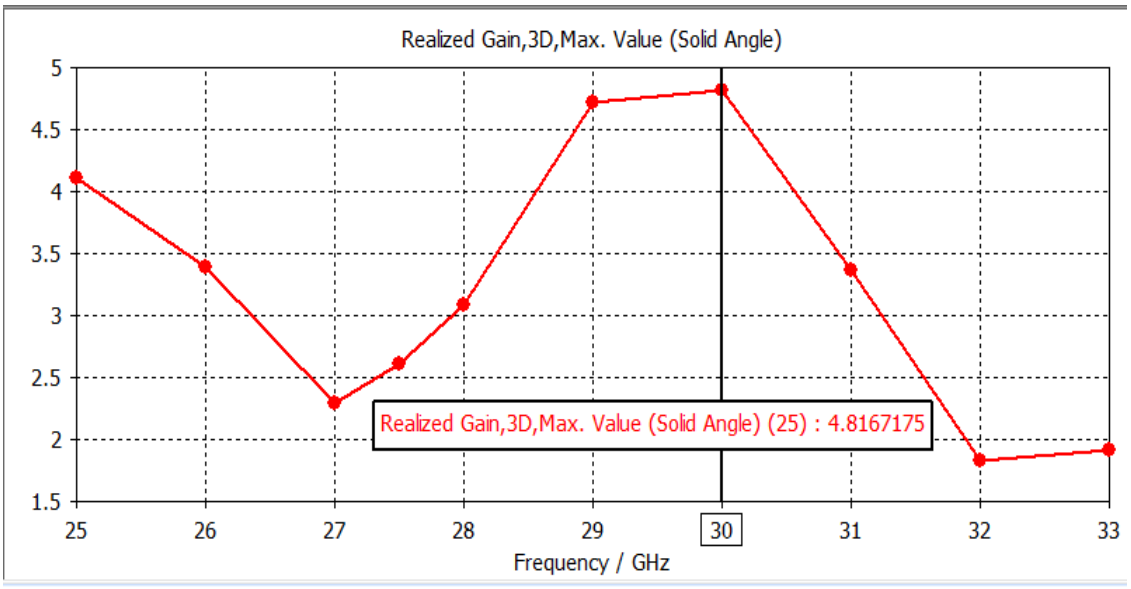


Figure III.2.12**:** Le gain de l'antenne patch

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

III.3.3. Antenne MIMO basé sur substrat conventionnel

Une fois l'antenne patch simple résonante à 30 GHz réalisée, le processus de mise en place d'antenne MIMO pour cette bande de fréquences peut être initié. L'antenne MIMO 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 antennes patch.

III.3.3.1 Structure d'antenne 2 ports :

Une antenne patch micro ruban à matrice d'éléments 1xl est illustrée sur la figure III.14.Ce modèle est introduit dans le but d'améliorer les performances de l'antenne à deux éléments qui sont difficilement améliorables dans le cas deux éléments.Comme montré dans la figure III.14, Les éléments de patch micro ruban sont disposés avec un espacement égal de **λ** pour concevoir des antennes 2 ports . chaque élément de la bande de microbandes a son propre alimentation , a partire le patch1 en utlise Largeur du substrat egale ws =40 mm .

III.3.3.2 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 deux élément via CST MWS , sont illustrés sur les figure III.3.1

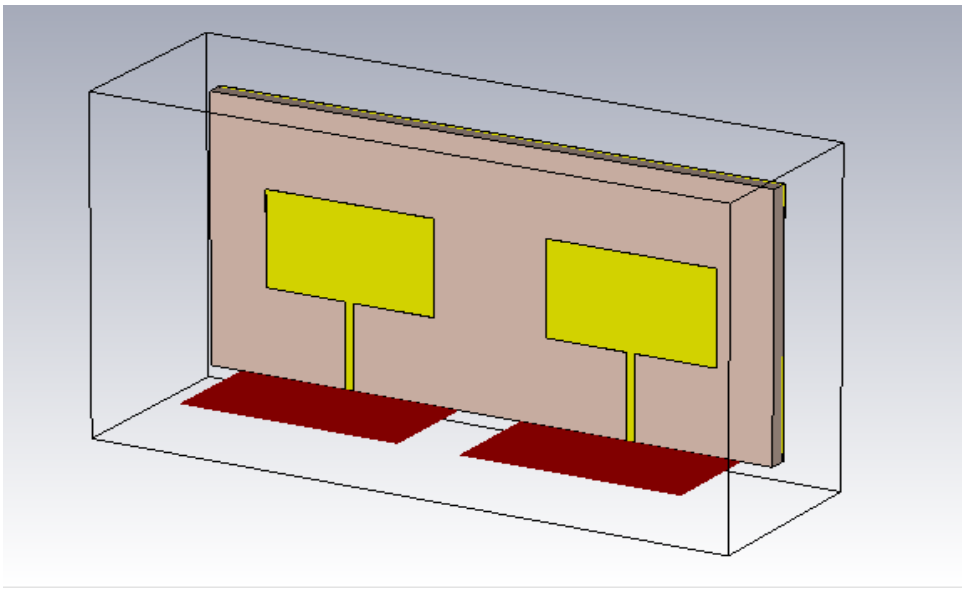


Figure III.3.1 : Diagramme de directivité tridimensionnel d'antenne conventionnel.

III.3.3.3 Coefficient de réflexion (S11) :

Le paramètre de dispersion **(***S*11**)** de l'antenne patch présente un comportement adéquat, comme le montre la figure III.3.1 L'antenne résonne à 30 GHz, répondant ainsi à cette exigence de conception

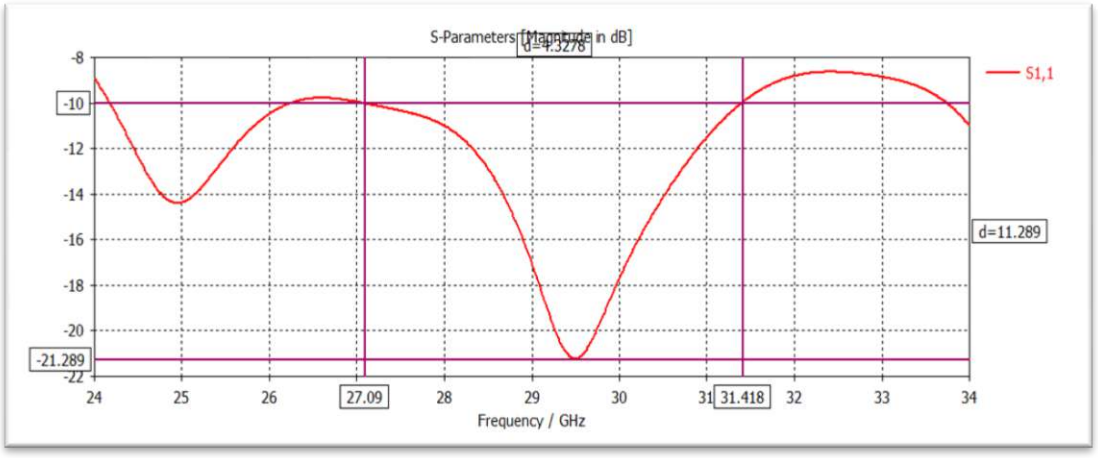


Figure III.3.2 : Variation de *S*11 en (dB) en fonction de la fréquence d'antenne conventionnel.

On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de d=4.3278 GHz autour de la fréquence de résonance (29.5 GHz) dans l'intervalle (27.09 – 31.418) GHz

III.3.3.4 Taux d'onde stationnaire (VSWR):

le taux d'onde stationnaire nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 30 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. illustrés sur les figure III.4

qui montre variation du VSWR.

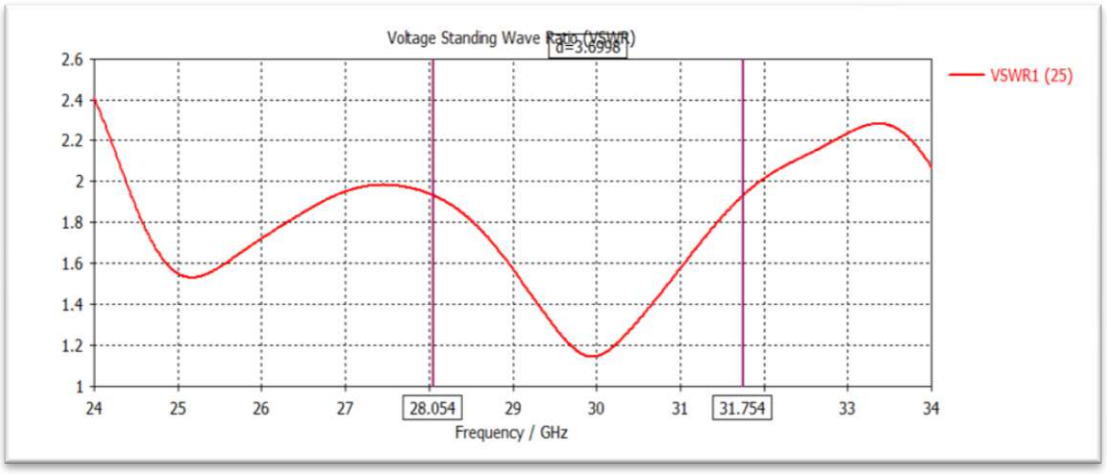


Figure III.3.3 : VSWR en fonction de la fréquence d'antenne conventionnel.

III.3.3.5..Diagrammes de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement de l'antenne a une forme appropriée comme le montre les figures III.3.4 et III.3.5 parceque le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne. Bien sure ceci qu' il doit être normalement pour ce type d'antennes

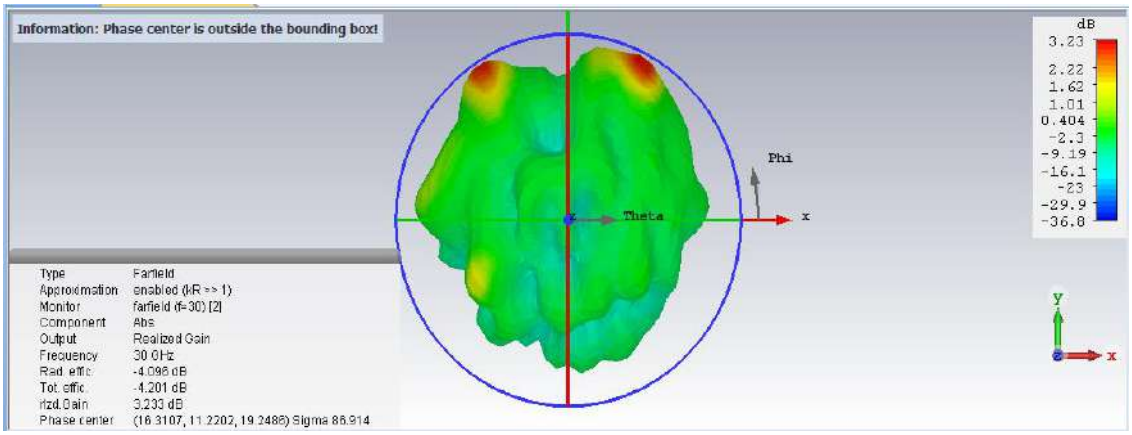


Figure III.3.4**:** Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) d'antenne conventionnel.

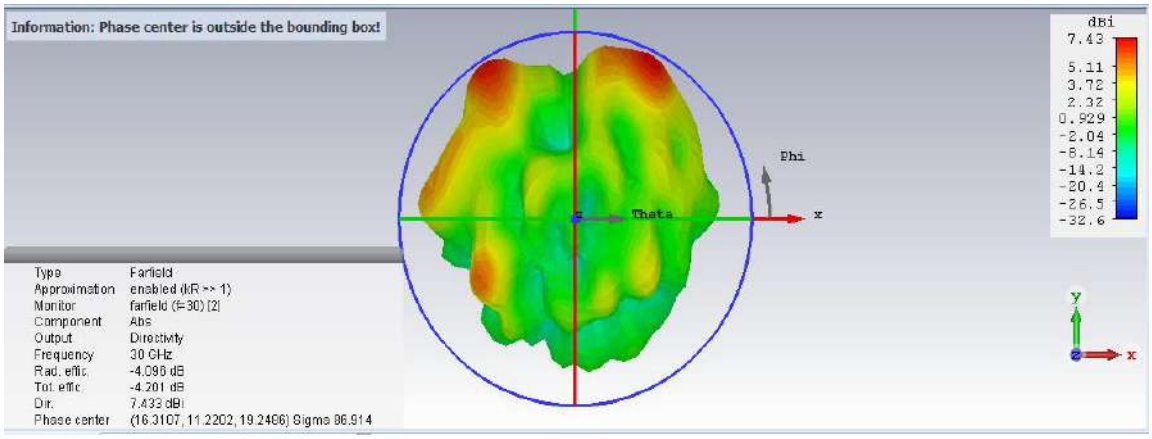


Figure III.3.5**:** Diagramme de rayonnement (directivité) d'antenne conventionnel.

. 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 . figures III.3.6 et III.3.7

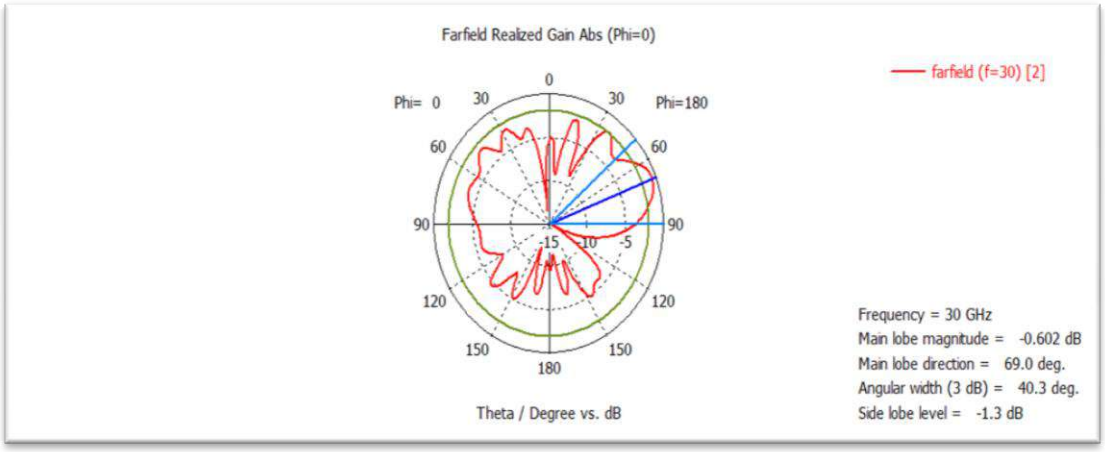


Figure III.3.6**:** Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°) d'antenne conventionnel.

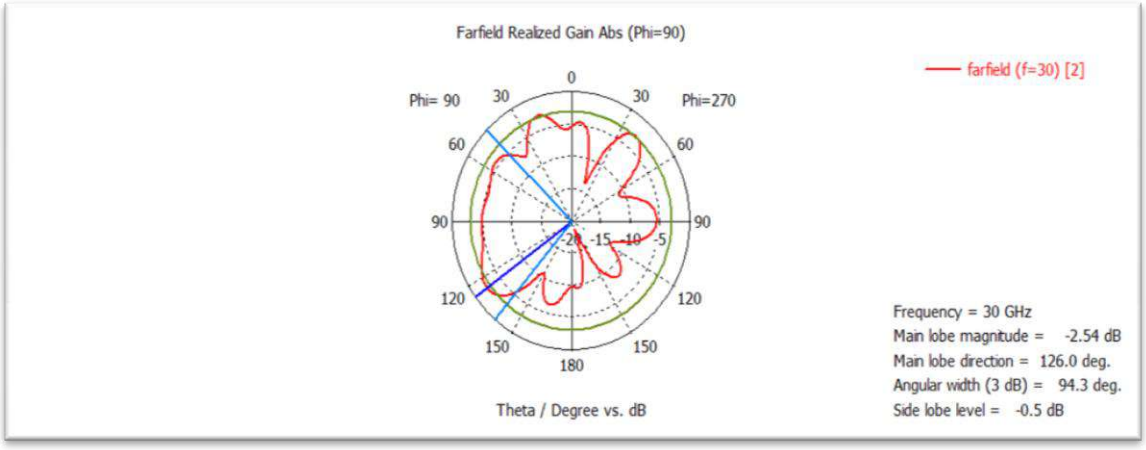


Figure III.3.7**:** Diagramme de rayonnement en 2D (phi=90°) d'antenne conventionnel.

III.3.3.6. Radiation efficacité :

Notez que la valeur radiation efficacité par cette antenne est (-4.5) dans la bande de fréquence (30GHz) et cela signifie qu'il est très approprié pour atteindre ce que nous voulons.

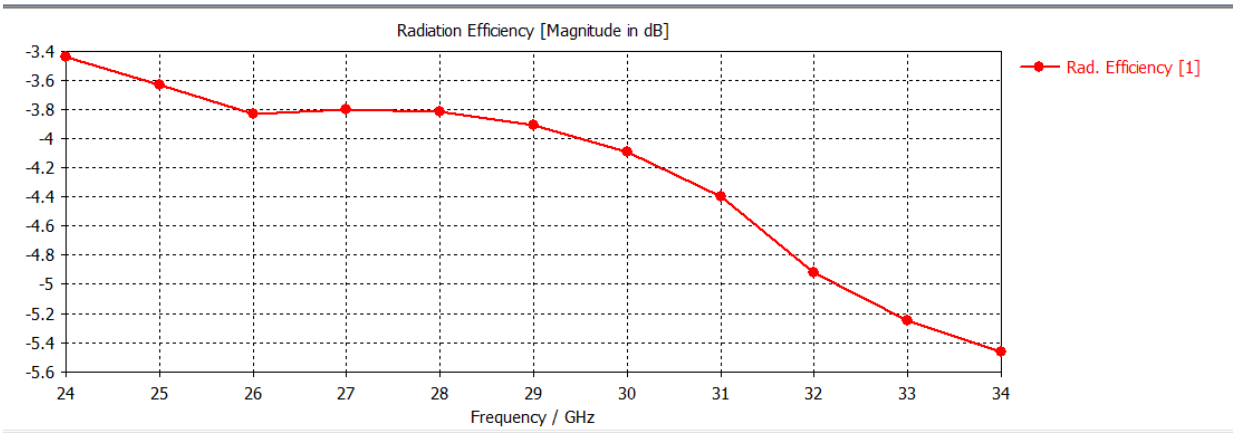


Figure III.3.8: radiation efficacité d'antenne conventionnel.

Nous pouvons également calculer le rendement en utilisant le gain figure III.3.9

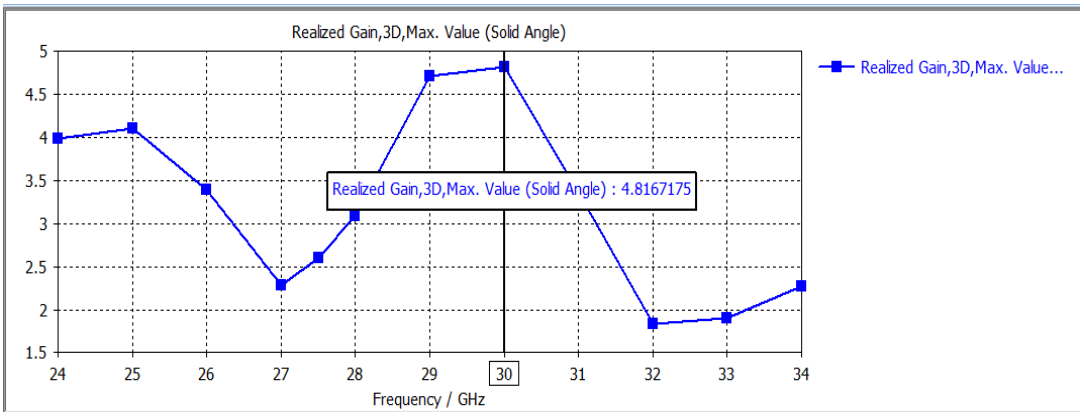


Figure III.3.9**:** Gain d'antenne conventionnel.

III.3.3.7 : 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. Le patch 1 voir la figure III.3.9, le patch 2 voir la figure III.3.10

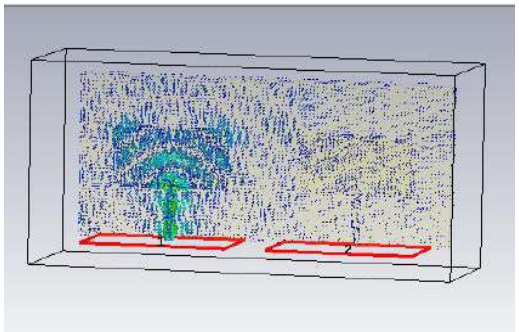


Figure III.3.9**:** Courant de surface d'antenne conventionnel patch1

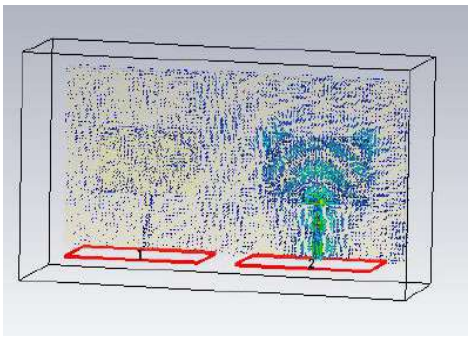


Figure III.3.10 :Courant de surface d'antenne conventionnel patch2.

La valeur le gain 3.23 dB à la fréquence est de 30GHz.

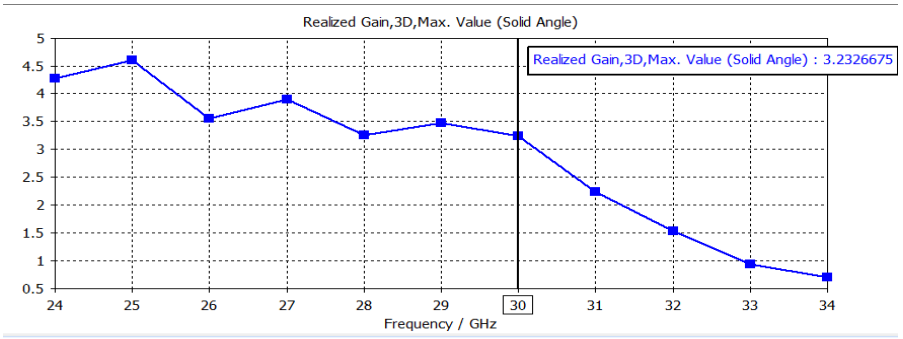


Figure III.3.11**:** Gain d'antenne conventionnel

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 antenne a 2 port)

III.3.4. III.3.4. Antenne MIMO basé sur substrat cristaux photoniques.

Le but de cette partie est d'ajouter les cristaux photonique à l'antenne précédente figure III.3.1 : diagramme de directivité tridimensionnel du patch à deux élémentes afin d'améliorer le résultat de l'optimisation . le comportement d'un cristal photonique bidimensionnel composé de tiges cylindriques d'InGaAsP sur un substrat d'InP pour des longueurs d'ondes allant de l'infrarouge proche jusqu7àl'ultraviolet en analysant les spectres de transmission par rapport au facteur de remplissage f (rapport entre la surface du cylindre et l'aire de la cellule unitaire)?à l'angle incident 0^0 (angle entre la direction de propagation de l'onde et la normale), aux compositions fractionnaires x et y du Ga et du As, à la température T et aux taux d'impuretés N et P. Le cristal possède une structure carrée et il est composé de tiges cylindriques de longueur infinie. Comme il existe une symétrie miroir par rapport à la troisième direction, il y a seulement deux modes de propagation: les polarisations E et H. Dans le premier cas le champ électrique E est parallèle à l'axe du cylindrique alors que dans le second cas c'est le champ magnétique H qui est parallèle à l'axe du cylindre

Pour les cristaux photoniques, vous pouvez utiliser la périodicité 2,41 mm. Ensuite, étudiez ou optimisez les paramètres suivants :

- **Rayon** des trous compris entre 0,24 mm et 0,964 mm
- **Lp** dans la plage comprise entre 2 mm et 13 mm
- **Wp** dans la plage entre 3 mm et 13 mm

III.3.4.1 . Résultats et discussions optimisation :

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 deux élément via CST MWS , sont illustrés sur la figure III.4.1

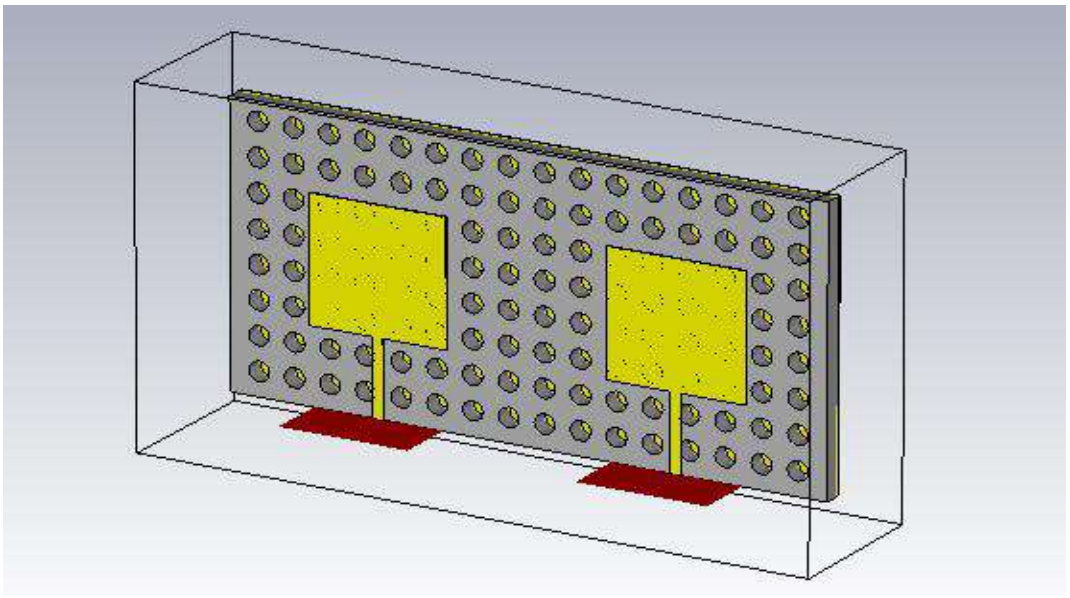


figure III.4.1 : diagramme de directivité tridimensionnel d'antenne avec crystaux photonique .

III.3.2.1 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.4.2 L'antenne résonne à 30 GHz, répondant ainsi à cette exigence de conception .

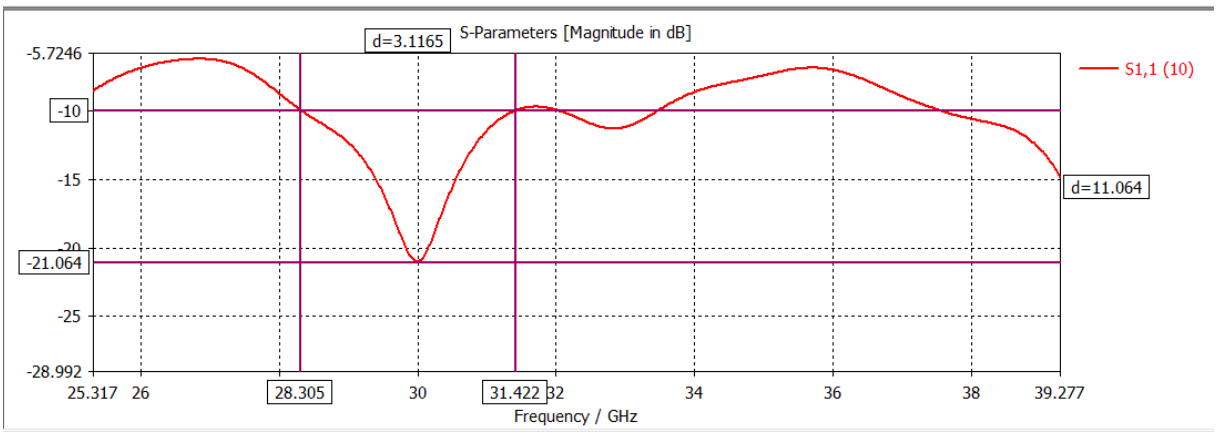


figure III.4.2 : Variation de *S*11 d'antenne avec crystaux photonique .

On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de d=3.1165 GHz autour de la fréquence de résonance (30 GHz) dans l'intervalle (28.305 – 31.422) GHz

III.3.2.2 Taux d'onde stationnaire (VSWR):

le taux d'onde stationnaire nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 30 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. illustrés sur les figure III.4

qui montre variation du VSWR.

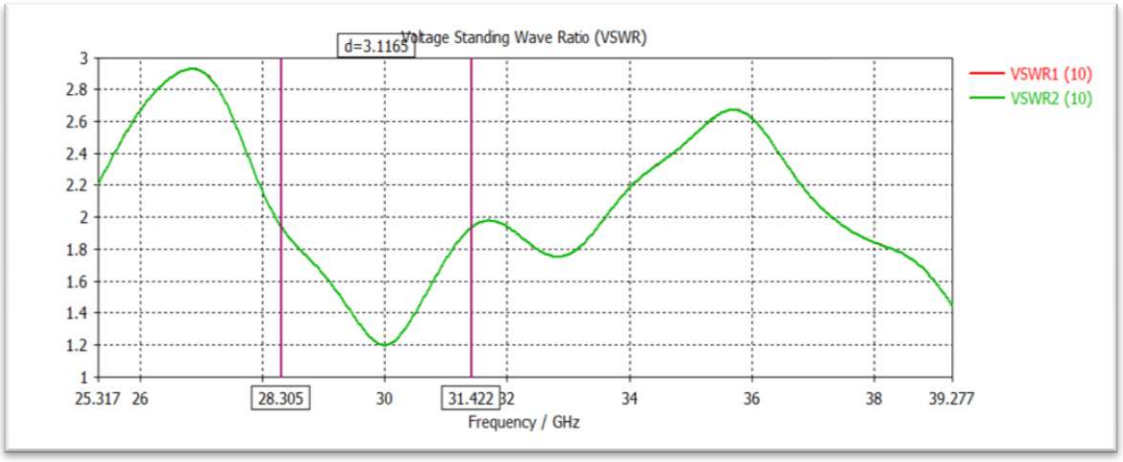


figure III.4.3 : VSWR d'antenne avec crystaux photonique .

III.3.2.3.Diagrammes de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement de l'antenne a une forme appropriée comme le montre les figures III.4.4 et III.4.5 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.

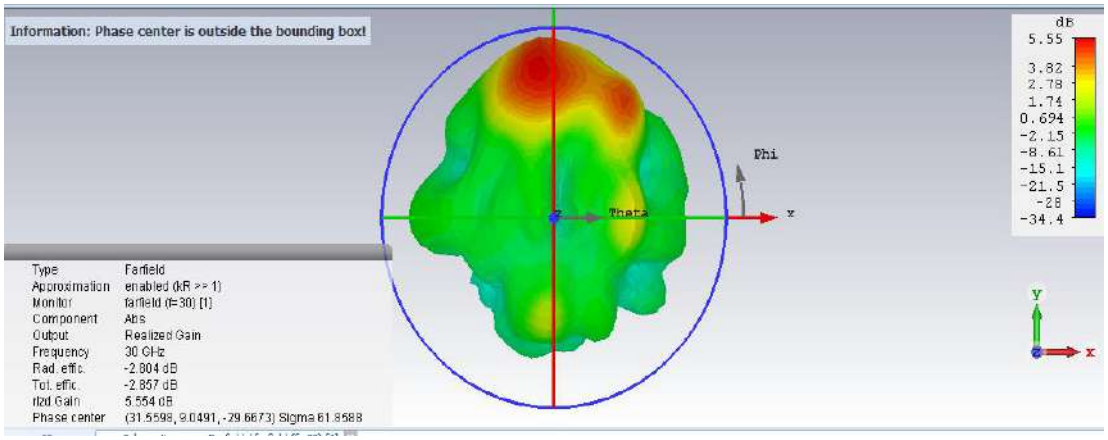


Figure III..4.4: Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) d'antenne avec crystaux photonique

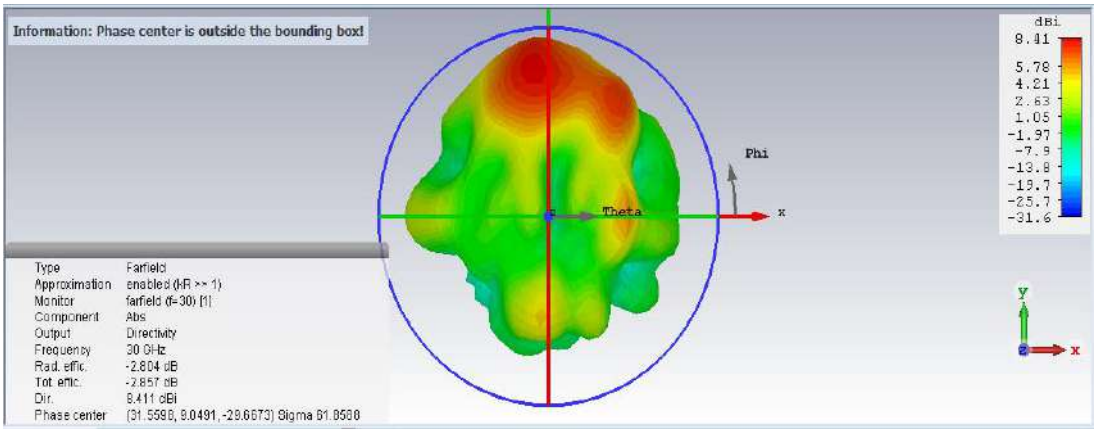


Figure III.4.5: Diagramme de rayonnement (directivité) d'antenne avec crystaux photonique

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 . figures III.4.6 et III.4.7

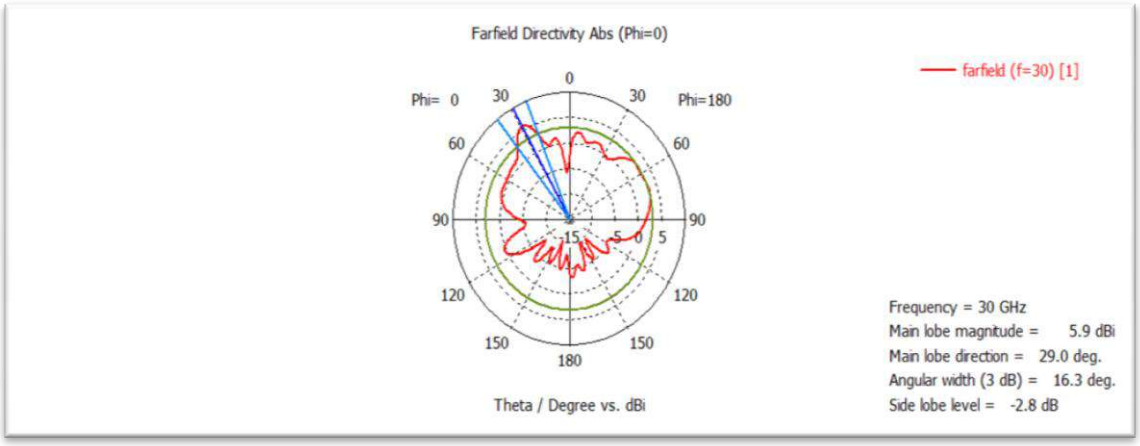


Figure III.4.6: Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°) d'antenne avec crystaux photonique.

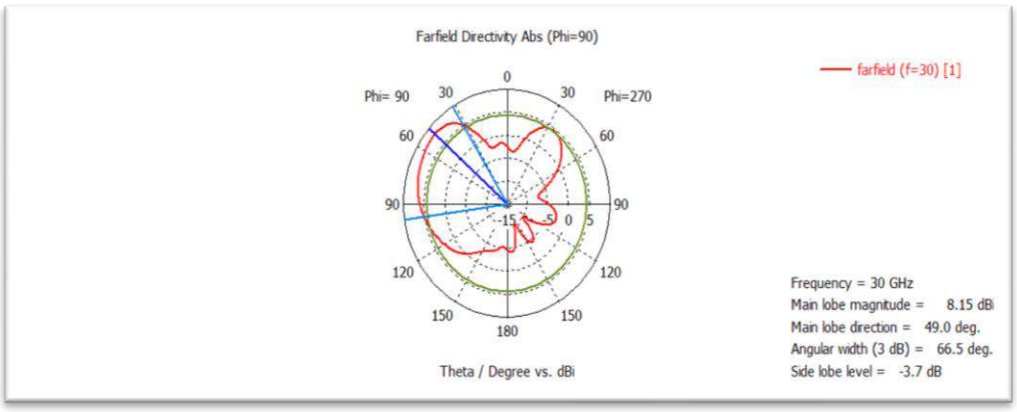


Figure III.4.7: Diagramme de rayonnement en 2D (phi=90°) d'antenne avec crystaux photonique

III.3.2.3. Radiation efficacité :

Notez que la valeur du rendement fourni par cette antenne est (-2.3) dans la bande de fréquence 30GHz) et cela signifie qu'il est très approprié pour atteindre ce que nous voulons.

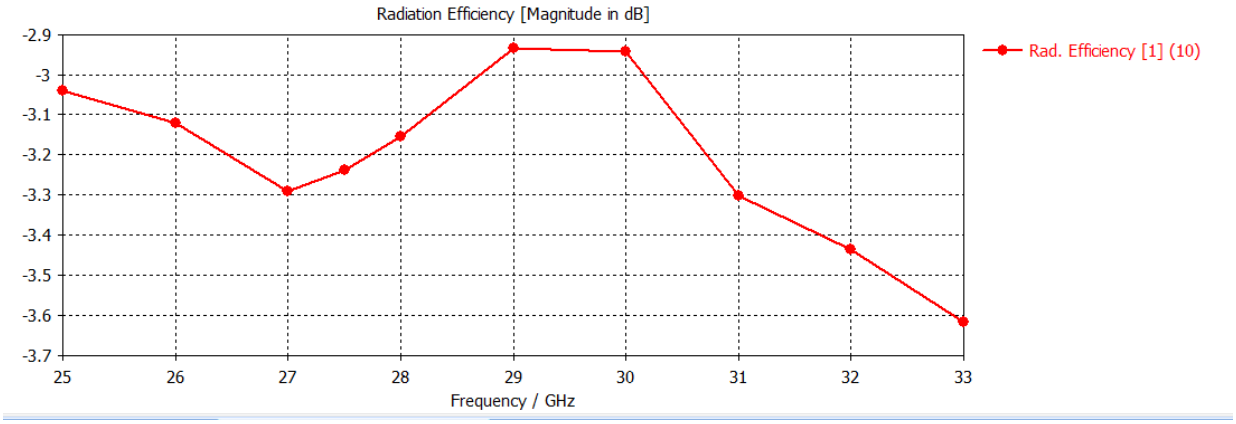


Figure III.4.8: radiation efficacité d'antenne avec crystaux photonique

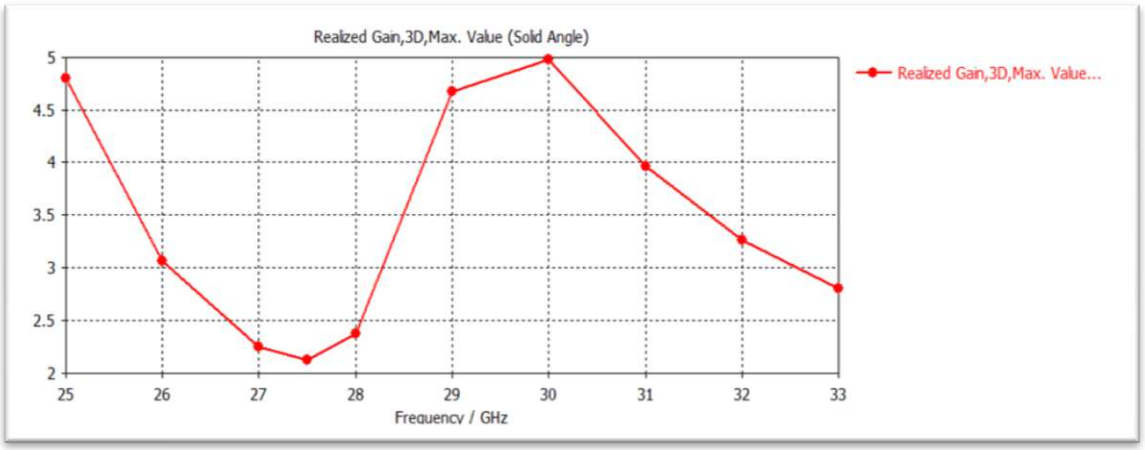


Figure III.4.9: Gain de d'antenne avec crystaux photonique

III.3.2.4 : 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.le patch 1 voir la figure figure III.4.10, le patch 2 voir la figure figure III.4.11

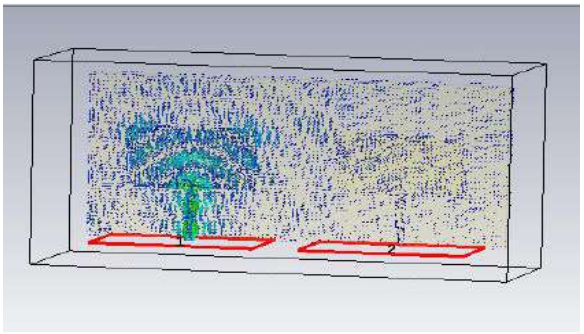


Figure III.4.10: Courant de surface d'antenne avec crystaux photonique patch1

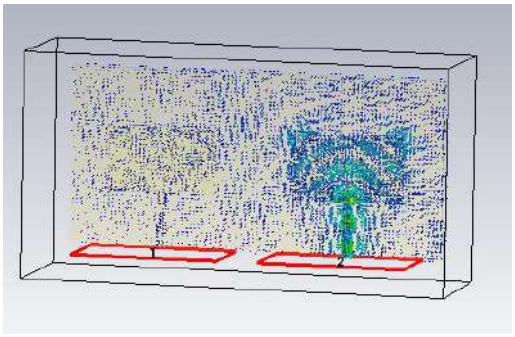


Figure III. 11: Courant de surface d'antenne avec crystaux photonique patch2

III.3.2.5. Gain :

La valeur Le gain 5 dB à la fréquence de 30GHz.

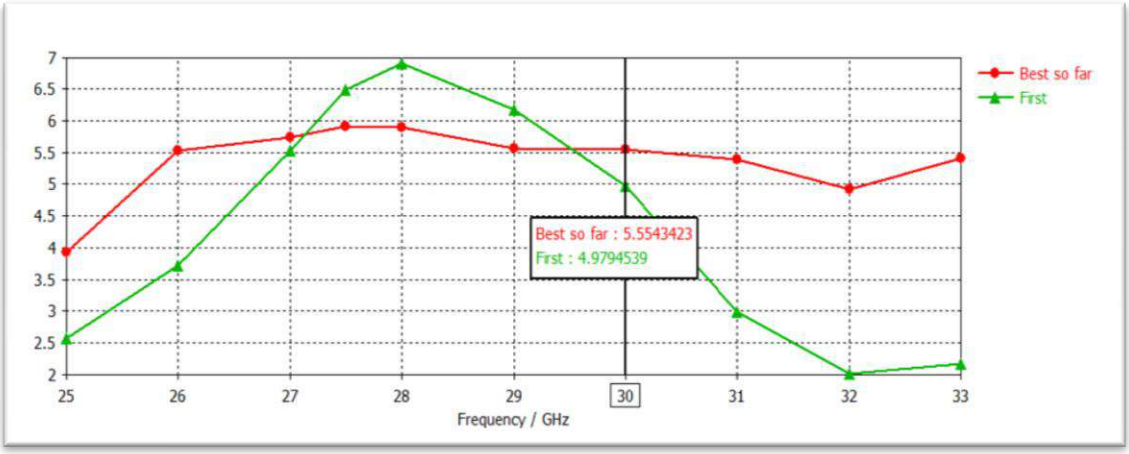


Figure III.13: Gain de l'antenne patch

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 plusieure éléments antenne a système MIMO.

III.3.5. Comparaison avec les trois partie de simulation :

La comparaison entre les trois partie de simulation a partire le tableux suivant :

Tableux III.2 : Comparaison avec les trois partie de simulation

parèmètre	Partie1 Antenne Un patch	Parti2 Antenne 2 patch	Parti3 Parti2+cristaux photonique
Cofficient de reflexion s_{min}	-23.578	-21.248	-20.983
Fréquence de résonnance (GHz)	29.97	29.499	29.991
Gain (db)	4.8167	3.222	5.00

Nous pouvons remarquer à partir de cette comparaison que les caractéristiques de notre antenne patch simple et d'antennes a 2 patch suparé et crisaux photonique ont fourni de meilleurs résultats qui utilse les crisaux photonique et les dimensions de patch après optimisation devenu (8.9667mm x 9.29967 mm) comme melleiure résultat et rayon cylindrique de cristaux photonique R= 0.698533 mm .

III.3.6. conclusion :

Dans ce chapitre, les étapes de conception et de simulation de réseau d'antenne patch fonctionnant à la bande millimétrique 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 antenne mimo . Et l'importance des cristaux photoniques sur Permittivité diélectrique Pour ce faire, des outils CST Microwave Studio ont été utilisés pour l'étude et le resultat de simulation Appartenir à exigences du mobile de la 5G (meilleure performance en termes de radiographie, directivité, gain et bande passante …)

Conclusion Générale

Conclusion générale

Coclusion générale

Les travaux réalisés dans le présent mémoire de recherche s'inscrivent dans le domaine,Développement d'antenne MIMO à ondes millimétriques pour les communications mobiles 5G.pour une importante application de télécommunications. Le modèle MIMO , 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 antenne MIMO à 2 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 l'antenne MIMO 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 30 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.
4) 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 system MIMO

Bibliographiques

Bibliographiques

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] 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.

[4] 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.

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

[6] A.Osseiran, J. F. Monserrat, P. Marsch « 5g Mobile and Wireless communications Technology » Livre, Juin 2016.

[7] M. H. Abu Saada « Design Of Efficient Millimeter Wave Planar Antennas For 5g Communication Systems » Mémoire de Master, Université Islamique de Gaza 2017.
[7] 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.

[8] 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

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

[10] 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.

[11] Bouguen, Yannick, Eric Hardouin, and François-Xavier Wolff. LTE pour les reseaux 4G. Editions

Eyrolles, 2012.

Bibliographiques

[12] MIMO Formats - SISO, SIMO, MISO, MU-MIMO,https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/siso-simo-miso-mimo.php

[13] J.Qiao « Enabling Millimètre Wave Communication For 5g Cellular Network Mac-Layer.Perspective » Thèse Doctorat, Université Waterloo de Canada 2015.

[14] J.Rodriguez « Fundamentals Of 5g Mobile Networks » Livre, Institut des Télécommunications, Aveiro, Portugal, 2015.

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

[16] F.A. Belainine, M.A. Salmi « Etude De La Miniaturisation Des Antennes Par Repliement

[17] Application Pour La Conception D'une Antenne 2.4ghz » Mémoire de Master,

Université Houari Boumediene d'Alger 2013.

[18] S. Azzaz-Rahmani, N. Boukli-Hacene, « Analyse des antennes imprimées en anneaux concentriques », Editions universitaires européennes, ISBN : 978-3-8417-9716-2, 2012.

[19] D. Steyaert ''Nouvelles structures`a bande interdite photonique pour applications antennaires''Stage du Master 2, 2006 .

[20] RSoft CAD 5.1.9, "User guide" RSoft Design Group, 200 Executive Blvd. Ossining, NY 10562

[21] Yannick Merle, « Etude de la dispersion électronique dans les matériaux périodiques diélectriques bidimensionnels»,Thèse de doctorat n°47-2003, Université de limoges, Novembre 2003.

[22] J. D. Joannopoulos, « Self-assembly lights up » , Nature, vol. 414, no. 6861, pp. 257-258, 2001.

[23] Y.A. Vlasov, X.-Z. Bo, J.C. Sturm, and D.J. Norris, « On-chip natural assembly of silicon photonic bandgap crystals»,Nature, vol. 414, no. 6861, pp. 289-293, 2001.