

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : **Télécommunications**

Spécialité : **Systèmes des Télécommunications**

Par : **HADJ SLIMANE ZAHIRA**

Sujet

Conception D'antenne Planaire à Haute Fréquence Pour Les
Application 5G.

Soutenu publiquement, le 07 /07 /2021, devant le jury composé de :

Mme Y. BELHADEF	Maître de Conférences A	Univ. Tlemcen	Présidente
Mme N. SELADJI	Maître de Conférences B	Univ. Tlemcen	Examinatrice
Mme F. BOUSALAH	Maître de Conférences B	Univ. Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2020/2021

Dédicaces

Je dédie ce travail

À mon roi Papa et ma reine Mama qui m'ont soutenu durant toutes ces années d'études et qui ont été toujours présent pour me pousser vers le haut et à être toujours plus forte.

À mes chères sœurs Meriem et Ikram ; et à mes frères Mohamed ; Abdallah et Ali Sif Allah ; et mon beau-frère Kamel.

À mes jolies petites nièces Nihel, Wissam et Allae Yassmine et à mes charmants neveux Ahmed Abd el ghani et Mohamed Ziad ;

À mon cher petit neveu que je ne l'oublierai j'amaï Abd Rahmane que dieu vous garde au paradis « رحمه الله »

A ma chère et meilleur amis Ahlam qui est toujours là pour moi, à mes professeurs et à tous ceux qui m'ont assisté dans mes études.

HADJ SLIMANE Zahira.

Remerciements

Tout d'abord nous remercions avant tous, le grand dieu notre créateur de nous a donné la force, la volonté et le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions vivement, notre encadreur Madame **BOUSALAH Fayza** de nous avoir pris en charges, et pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils.

A notre honorable jurées Madame **SELADJI Nawel** comme examinatrice et Madame **BELHADEF Yamina** comme présidente d'avoir accepté de lire et d'examiner ce modeste travail et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de ce projet.

Nos vifs remerciements pour l'ensemble des enseignants du département Télécommunications qui ont contribué à notre formation d'ingénieur en télécommunications.

En fin, nous remercions tous les gens qui ont contribué de près ou de loin dans ce travail.

Merci...

Résumé

Les systèmes des télécommunications ont connu un saut qualitatif entraînant la création et l'innovation des plusieurs technologies. Ils font partie des technologies qui ont révolutionné notre mode de vie au vingtième siècle.

La plupart des systèmes sont conçus pour communiquer avec une grande facilité et rapidité et sont aussi développés pour fonctionner dans les nouveaux marchés civils et militaires qui sont à l'origine d'une évolution importante de tous les secteurs d'activité électronique radiofréquence (RF) et hyperfréquence (HF). Devant cette forte demande, les fabricants d'appareils de télécommunications ont songé à développer des produits encore plus performants. Cela entraîna la création de la 5G qui se présente comme l'évolution des communications avec une capacité bien supérieure et pouvant opérer sur des hautes fréquences. Parmi les bénéfices potentiels de ces structures, l'élargissement de leur bande passante, la réduction du couplage inter-éléments au sein d'un réseau ou encore l'augmentation de l'efficacité (rendement) des antennes et la rapidité de transmission des données. L'antenne patch en 5G est conçue pour satisfaire ces besoins, c'est un conducteur métallique de forme particulière placé sur un substrat terminé par un plan de masse.

Notre objectif est d'étudier, de concevoir, d'optimiser et de caractériser une antenne planaire qui fonctionne autour d'une résonance de 26GHz avec un maximum de compacité, une large bande, une bonne directivité, un bon gain et un bon rayonnement pour des applications 5G dans multiples domaines de télécommunications.

Mots-clés : Antenne planaire, patch, haute fréquence, directivité, diagramme de rayonnement, paramètres-S, 26GHz, bande Ka, 5G, CST WMS.

Abstract

Telecommunications systems have experienced a qualitative leap leading to the creation and innovation of several technologies. They are among the technologies that have revolutionized our way of life in the twentieth century. Most of the systems are designed to communicate with great ease and speed and are also developed to operate in the new civil and military markets which are at the origin of a significant evolution of all sectors of radio frequency (RF) electronics. and microwave (HF). Faced with this strong demand, manufacturers of telecommunications devices have considered developing even more efficient products. This led to the creation of 5G which is presented as the evolution of communications with much greater capacity and able to operate at high frequencies. Among the potential benefits of these structures, the widening of their bandwidth, the reduction of inter-element coupling within a network or even the increase in the efficiency (yield) of the antennas and the speed of data transmission. . The 5G patch antenna is designed to meet these needs, it is a specially shaped metal conductor placed on a substrate terminated by a ground plane. Our objective is to study, design, optimize and characterize a planar antenna that operates around a 26GHz resonance with maximum compactness, wide band, good directivity, good gain and good radiation for 5G applications in multiple fields of telecommunications.

Keywords: Planar antenna, patch, high frequency, directivity, radiation pattern, S-parameters, 26GHz, Ka band, 5G, CST WMS.

ملخص

شهدت أنظمة الاتصالات نقلة نوعية أدت إلى إنشاء وابتكار العديد من التقنيات. إنها من بين التقنيات التي أحدثت ثورة في أسلوب حياتنا في القرن العشرين.

تم تصميم معظم الأنظمة للتواصل بسهولة وسرعة كبيرين كما تم تطويرها أيضاً للعمل في الأسواق المدنية والعسكرية الجديدة التي تعد أصل تطور كبير في جميع قطاعات إلكترونيات التردد اللاسلكي (RF) والميكروويف (HF) في مواجهة هذا الطلب القوي، فكرت الشركات المصنعة لأجهزة الاتصالات السلكية واللاسلكية في تطوير منتجات أكثر كفاءة. أدى ذلك إلى إنشاء 5G والذي تم تقديمه كتطور للاتصالات بسعة أكبر بكثير وقادرة على العمل على ترددات عالية. من بين الفوائد المحتملة لهذه الهياكل، توسيع عرض النطاق الترددي الخاص بها، وتقليل الاقتران بين العناصر داخل شبكة أو حتى زيادة كفاءة (إنتاجية) الهوائيات وسرعة إرسال البيانات. تم تصميم هوائي التصحيح 5G لتلبية هذه الاحتياجات، وهو موصل معدني على شكل خاص يوضع على ركيزة منتهية بواسطة مستوى أرضي.

هدفنا هو دراسة وتصميم وتحسين وتوصيف هوائي مستوي يعمل حول رنين 26 جيجا هرتز بأقصى قدر من الاكتناز ونطاق عريض وتوجيه جيد وكسب جيد وإشعاع جيد لتطبيقات 5G في مجالات متعددة من الاتصالات.

الكلمات المفتاحية: هوائي مستوي، رقعة، تردد عالي، اتجاهية، مخطط إشعاع، معاملات S ، 26 جيجا هرتز، نطاق Ka ، 5G ، CST WMS

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Générale.

Chapitre I :

I.1.Présentation Générale des antennes	19
I.1.a Définition des antennes.....	19
I.1.b Fonction Principales des antennes	19
I.1.b.1 Antenne émettrice	19
I.1.b.2 Antenne réceptrice	19
I.1.b.3 Réciprocité	19
I.2.Types d'antennes	20
I.2.a Antenne Dipolaire	20
I.2.b Boucle Magnétique	20
I.2.c Antenne cornet	21
I.2.d Antenne Fente	21
I.2.e Antenne a réflexion parabolique	22
I.2.f Antenne Imprimée micro-ruban « Patch »	22
I.2.g Caractéristiques des antennes	23
I.2.g.1 Diagram.me de rayonnement	23
I.2.g.2 Directivité	24
I.2.g.3 Impédance d'entrée	24
I.2.g.4 Coefficient de réflexion	24
I.2.g.5 Rendement	25
I.2.g.6 Polarisation	25
I.2.g.7 Gain	26
I.2.g.8 Bande Passante	26
I.3.Antenne Imprimée « Patch »	26
I.3.1.Introduction	26
I.3.2 Historique des antennes imprimée	26
I.3.3 Représentation Générale d'une antenne imprimée	27
I.3.3.1 Structure d'une antenne imprimée	27

I.3.3.2.1 Coefficient de réflexion	27
I.3.3.2.2 Rapport d'onde Stationnaire « ROS »	28
I.3.3.2.3 Bande Passante	28
I.3.3.2.4 Fréquence de résonance	Erreur ! Signet non défini.
I.3.3.2.5 Efficacité	28
I.3.3.2.6 Directivité	28
I.3.3.2.7 Diagramme de rayonnement	28
I.3.3.2.8 Rendement	28
I.3.3.2.9 Angle d'ouverture	28
I.3.3.3 Paramètres Géométriques de l'antenne « Patch »	28
I.3.3.4 Différentes Techniques d'alimentation	29
I.3.3.5 Méthodes d'analyse des antennes imprimée « Patch »	29
I.3.3.6 Avantage et Inconvénients de l'antenne « Patch »	30
I.4. La Cinquième Génération 5G.....	31
I.4.2 Architecture et fonctionnement de la 5G	31
I.4.3 Avantages et inconvénients de la 5G	32
I.4.3.1 Avantages	32
I.4.3.2 Inconvénients	33
I.4.4 Domaine de fonctionnement de la 5G	34
I.4.5 Applications de la 5G	34
I.5 CONCLUSION	35
Bibliographie	

Chapitre II :

II. Introduction	39
II.1.Généralités sur les diviseurs de puissances	39
II.1.a.Historique	39
II.1.b.Définition	39
II.1.c.Topologie de diviseur de puissance :.....	40
II.2.Types des diviseurs de puissance	41
II.2.a. Diviseur de Wilkinson (WPD : Wilkinson Power Divider)	41
II.2.b.Diviseur résistif.....	41
II.2.c.Diviseurs de puissance hybrides	42

II.2.d.Le diviseur de Gysel (GPD : Gysel Power Divider)	43
II.2.e.Le diviseur de Bagley (BDP : Bagley Power Divider)	43
II.2.f.Le Diviseur de puissance en Jonction T	44
II.2.g.Diviseurs de puissance à N voies	44
II.2.h.Avantages et inconvénients des différentes formes de diviseurs de puissance	45
II.3.Les paramètres d'un diviseur de puissance	45
II.3.1.Les pertes d'insertion	45
II.3.2.Les pertes d'isolation	46
II.3.3.La directivité	46
II.4.les lignes micro-ruban	46
II.4.1.Définition	46
II.4.2.Caractéristiques d'une ligne micro ruban	47
II.4.3. Pertes sur une ligne micro ruban	47
II.4.3.a.Pertes dans les conducteurs	48
II.4.3.b.Pertes dans le diélectrique	48
II.4.3.c.Pertes par rayonnement	48
II.4.3.f. Dispersion	48
II.4.4.Avantages et inconvénients des lignes micro ruban	49
II.5.Réseaux d'antennes.....	50
II.5.1.Définition	50
II.5.2.Alimentation d'un réseau d'antennes	50
II.5.2.a .Alimentation série	50
II.5.2.b.Alimentation parallèle	51
II.5.3.Types de réseaux d'antennes	51
II.5.3.a.Réseaux linéaires	51
II.5.3.b.Réseaux circulaires	52
II.5.3.c.Réseaux planaires.....	53
II.5.3.d Autres types de réseau d'antennes.....	51
II.6 Domaines d'applications des réseaux d'antennes.....	54
III. Conclusion.....	54
Bibliographie	

Chapitre III :

III.1 PRESENTATION DU LOGICIEL CST MICROWAVE STUDIO	59
III.1.1 Introduction.....	59
III.1.2 Objectif	60
III.2 CONCEPTION ET SIMULATION D'UNE ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE POUR LA 5G	60
III.2.1 Cahier des charges.....	60
III.2.2 Outils de simulation	60
III.2.3 Calcul théorique des dimensions et caractéristiques de l'antenne	61
III.2.3.1 Calculs théorique des dimensions de l'antenne patch rectangulaire.....	61
III.3 RESULTATS DE CONCEPTION ET DE SIMULATION DE L'ANTENNE PATCH..	62
III.3.1 Conception d'une antenne patch rectangulaire initiale.....	62
III.3.2 Conception de l'antenne patch rectangulaire avec encoches	64
III.3.3 Conception de l'antenne patch rectangulaire quart d'onde sans encoches.....	65
III.3.4 Conception d'une antenne patch rectangulaire quart d'onde avec encoches.....	66
III.3.5 Conception d'une antenne patch rectangulaire quart d'onde avec triple encoches et fentes sur patch.....	68
III.4 RESULTATS DE CONCEPTION ET DE SIMULATION DE RESEAUX ANTENNES 2×1	71
III.4.1 Conception et simulation du réseaux antennes 2×1 avant adaptation	73
III.4.2 Conception et de simulation du réseau d'antennes 2×1 après adaptation	75
III.5 Résultats de conception et de simulation du réseau d'antennes 4×1	78
III.5.1 Résultats de conception et de simulation du réseau d'antennes 4×1 avant adaptation	78
III.5.2 Résultats de conception et de simulation du réseau d'antennes 4×1 après adaptation.....	79
III.6 RESULTATS DE CONCEPTION ET DE SIMULATION DU RESEAU D'ANTENNES 8×1.....	82
III.7 CONCLUSION	86

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1:Les antennes.....	19
Figure 2:Antenne Dipolaire.....	20
Figure 3:Boucle Magnétique.....	20
Figure 4:Antenne a fente.....	21
Figure 5:Antenne a réflexion parabolique.....	22
Figure 6:Antenne Imprimée micro-ruban « Patch ».....	22
Figure 7:Différents types d'antenne patch.....	23
Figure 8:Diagram.me de rayonnement 3D d'une antenne directive.....	23
Figure 9:Structure de base d'une antenne Patch.....	27
Figure 10:Angle ouverture.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 11:Architecture fonctionnelle de la 5G.....	31

Chapitre II

Figure 12:représente Un Diviseur De Puissance à haut isolation à 4 voix.....	40
Figure 13:une Topologie d'un diviseur de puissance.....	40
Figure 14:Diviseur De Wilkinson.....	41
Figure 15:Diviseur résistif.....	42
Figure 16: schémas équivalent du diviseur résistif.....	42
Figure 17:Diviseurs de puissance hybrides.....	42
Figure 18: Le diviseur de Gysel (GPD : Gysel Power Divider).....	43
Figure 19:Le diviseur de Bagley (BDP : Bagley Power Divider).....	44
Figure 20:Diviseur de puissance en Jonction T.....	44
Figure 21:Diviseur de puissance à N voies.....	45
Figure 22:La ligne micro ruban.....	46
Figure 23:Alimentation d'un réseau d'antenne en série.....	50
Figure 24:Alimentation d'un réseau d'antenne en parallèle.....	51
Figure 25:Réseaux linéaires.....	52
Figure 26:Réseaux circulaires.....	52
Figure 27:Le réseau planaire à format rectangulaire.....	53
Figure 28:Le réseau planaire à format circulaire.....	54

Chapitre III

Figure 29:Une antenne patch rectangulaire sans encoches.	62
Figure 30:Coefficient S11 de l'antenne patch sans encoches en fonction de la fréquence.	63
Figure 31:Directivité de l'antenne patch initiale. ('a ' -En 3D et 'b' -diagramme de la directivité en 2D).	63
Figure 32:le gain d'une antenne patch initiale ; ('a ' -En 3D et 'b' -diagramme de la directivité en 2D).	64
Figure 33:Antenne patch avec encoches.	64
Figure 34:Coefficient S11 de l'antenne patch avec encoches en fonction de la fréquence.	65
Figure 35:Antenne patch rectangulaire quart d'onde sans encoches.	65
Figure 36:Coefficient S11 de l'antenne patch quart d'onde sans encoches en fonction de la fréquence.	66
Figure 37:Antenne patch rectangulaire quart d'onde avec encoches.	66
Figure 38:Coefficient S11 de l'antenne patch quart d'onde avec encoches en fonction de la fréquence.	67
Figure 39:Antenne patch rectangulaire quart d'onde avec double encoches.	67
Figure 40: Coefficient S11 de l'antenne patch quart d'onde avec double encoches en fonction de la fréquence.	68
Figure 41:Antenne patch rectangulaire quart d'onde avec triple encoches et fentes sur patch.	68
Figure 42:Coefficient S11 de l'antenne patch quart d'onde avec triple encoches et fentes sur patch en fonction de la fréquence.	69
Figure 43:la bande passante de l'antenne patch quart d'onde avec triples encoches et fentes en fonction de la fréquence.....	69
Figure 44:le diagramme du Taux d'onde Stationnaire VSWR.....	71
Figure 45:Réseau d'antenne 2×1 avant adaptation.....	73
Figure 46:Coefficient S11 du réseau d'antenne 2×1.	73
Figure 47:Réseau d'antenne 2×1 après adaptation.....	75
Figure 48:Coefficient S11 du réseau d'antenne 2×1.	75
Figure 49:coefficient S11 d'une rame de rayonnement.....	77
Figure 50:représentation de toutes les gammes de fréquences utilisées dans le domaine de télécommunication.	77
Figure 51:domaine fréquentiel de la 5G, WI-FI, TNT.	78
Figure 52:Réseau d'antenne à 2 éléments rayonnant à la fréquence 10GH. [1].....	71
Figure 53:Réseau d'antenne 4×1 avant adaptation.....	78
Figure 54:coefficient S11 d'un réseau d'antenne 4×1 avant adaptation.....	79
Figure 55:Réseau d'antenne 4×1 après adaptation.....	79
Figure 56:coefficient S11 d'un réseau d'antenne 4×1 après.	80
Figure 57:Coefficient S11 d'un réseau tri-bande.	80
Figure 58:gain d'un réseau d'antenne adapté ; ('a ' -En 3D et 'b' -diagramme de la directivité en 2D).81	
Figure 59:Directivité d'un réseau d'antenne adapté; ('a ' -En 3D et 'b' -diagramme de la directivité en 2D).....	81
Figure 60:le taux d'onde stationnaire VSWR d'antenne 4×1.....	82
figure 61:Réseau d'antennes 8×1.	82
Figure 62:coefficient S11 d'un réseau d'antenne 8×1 adapté.	83

Figure 63: Coefficient S11 du réseau d'antenne 8×1 après adoption.....	83
Figure 64: gain d'un réseau d'antenne adapté(a)- En 3D et b)-diagramme de la directivité en polaire)	84
Figure 65: Directivité d'un réseau d'antenne adapté; a)- En 3D et b)-diagramme de la directivité en polaire.....	84
Figure 66: le taux d'onde stationnaire VSWR d'antenne 8×1.....	85

Liste des tableaux

Tableau 1:Avantage et Inconvénients de l'antenne « Patch ».....	30
Tableau 2:Dimensions des paramètres de l'antenne patch.....	62
Tableau 3:Dimensions des paramètres des lignes micro ruban de la jonction T.....	72

Introduction Générale

Introduction Générale

De grandes innovations techniques et technologiques ont marqué le 21^{ème} siècle par l'évolution des télécommunications afin de répondre aux exigences des utilisateurs telles que : la facilité d'accès aux informations, la mobilité des données et la flexibilité de transfert des mégas bits numériques en un temps réduit à travers la toile d'internet, tout ça pour répondre aux besoins actuels des internautes la ou ils se trouvent dans un point donné de l'espace par le biais des télécommunications. Les concepteurs en hyperfréquences sont amenés à élaborer des dispositifs à base d'antennes planaires. Ces antennes présentent des caractéristiques très avantageuses, surtout dans le cas où elles doivent opérer dans des fréquences élevées. Elles sont simples à réaliser et elles ont été étudiées et modélisées par plusieurs auteurs.

Le monde des réseaux et des télécommunications mobiles 5G connaît une évolution très rapide. Cette évolution s'accompagne toujours par une nouvelle technologie et plus de complexité pour subvenir à une forte recrudescence des demandes de clients en termes de débit et de disponibilité des services proposés. Pour répondre à cette grande sollicitation des réseaux, les opérateurs télécom cherchent des solutions pour augmenter la capacité et la couverture. Les opérateurs souhaitent déployer leurs réseaux et introduire de nouveaux et divers services plus rapidement et à moindre cout. Pour cela, ils doivent avoir des environnements de travail flexibles et accessibles. L'expansion significative de la connectivité et de la densité du trafic caractérise les besoins d'une nouvelle génération (5G) dans les réseaux cellulaires, qui doit fournir une gamme beaucoup plus large d'exigences d'accès : débit très important, faible latence, garantie de qualité de service et capacité à gérer de multiples objets connectés.

Le présent travail porte sur l'étude de synthèse d'une antenne imprimée patch placé sur un substrat qui est le Roger TR5880 et qui fonctionne à la fréquence de résonance 26GHz, cette fréquence représente celle des applications 5G, pour être ensuite placée dans un réseau d'antenne à 2 éléments, à 4 éléments et à 6 éléments pour but d'augmentation l'adaptation du coefficient S_{11} , le gain, et la directivité de l'antenne imprimée. De nombreux travaux de recherche, ont montré que la puissance dissipée dans la bande millimétrique est très grande surtout dans le cas où le matériau de patch est le cuivre.

Dans le domaine des réseaux d'antennes, de nombreux outils d'analyse théorique et de synthèse ont été développés (Guassienne, Dolph-Techybecheff, Taylor, Binomiale, ...). Le problème de synthèse de ces méthodes consiste à estimer les variations des amplitudes d'alimentation. Dans le cas, où les paramètres essentiels du réseau (les phases et les amplitudes des courants d'alimentation, l'écartement entre les éléments de réseau) sont variés, il n'y a pas une méthode analytique efficace pour les déterminer ; les seules méthodes existantes sont les méthodes d'optimisation et d'approximation. Ces méthodes peuvent donner des paramètres, qui nous permettent de fournir un diagramme de directivité aussi proche que possible d'un diagramme désiré.

Introduction Générale

Jusqu'au nos jours, l'optimisation occupe une place de plus en plus grande dans le monde scientifique. Car il existe plusieurs méthodes d'optimisation, et chacune d'entre elles donne de bons résultats avec certains types de problèmes. Le choix de cette méthode dépend d'une série de caractéristiques du problème à optimiser, et surtout du comportement de la fonction qui le représente. Récemment, des méthodes d'optimisation globale et d'approximation sont apparues, capables d'obtenir des optima globaux du problème. L'utilisation des méthodes d'optimisation et d'approximation dans le domaine des réseaux d'antennes imprimées est celui de rechercher la combinaison optimale des différents paramètres, afin que le réseau réponde aux besoins de l'utilisateur et selon un cahier des charges précis et bien défini.

Ce mémoire a pour objectif l'étude et la synthèse des antennes planaires à haute fréquence pour des applications 5G. Notre contribution s'échelonne sur trois chapitres :

Le premier chapitre, est caractérisé par une présentation globale des antennes et précisément sur les antennes planaires imprimées « patch », ensuite par un petit aperçu sur le fonctionnement, les réseaux et le domaine d'applications de la 5G qui ne cesse de révolutionner le monde des télécommunications de jour en jour.

Le second chapitre, est réservé par l'étude des diviseurs de puissances et les lignes micro ruban qui sont la base de conception du réseau d'antenne planaire.

Le troisième chapitre, est consacré pour la conception et la simulation de notre antenne patch qui résonne à la fréquence de la 5G. Les résultats de simulation obtenus sont pour un premier temps celle de l'antenne initiale puis étudiés et développés pour un réseau d'antenne à 2 éléments, à 4 éléments et à 6 éléments, afin de résonner à la fréquence 26GHz avec une bonne adaptation, un bon gain et une bonne directivité.

Chapitre I :

Généralités sur les antennes

Antenne imprimée et la 5G.



I.1.Présentation Générale des antennes :

I.1.a Définition des antennes :

Une serve pour communiquer sur de grandes distances ; par des éléments passifs permettant le transfert d'énergie électrique vers une énergie électromagnétique ou inverse ; par contre la communication sur des petites distances ne coute pas cher en employons des câbles ou des guides d'ondes. D'abord il est important d'avoir une connaissance globale de leur fonctionnement. [1]

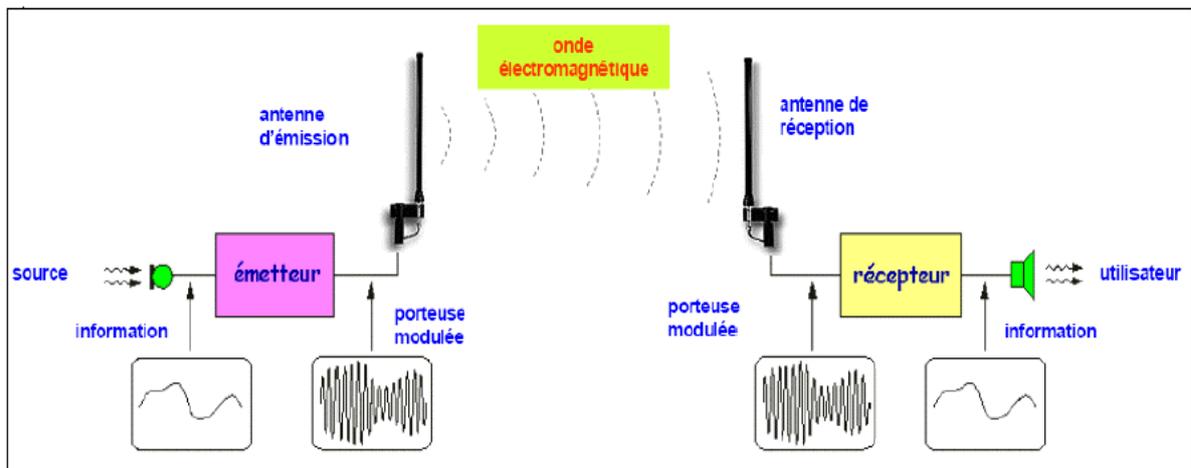


Figure 1:Les antennes.

I.1.b Fonction Principales des antennes :

Le principe rôle des antennes est au niveau de l'émission et de la réception :

I.1.b.1 Antenne émettrice :

A pour rôle de la transformation d'une puissance électromagnétique guidée ; issue d'un générateur en une puissance rayonnée ; donc elle est un **transducteur** mais il faut assurer la propagation dans l'air.

I.1.b.2 Antenne réceptrice :

De façon inverse ; l'antenne réceptrice capte la puissance rayonnée, alors là elle est un **transformateur** de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée.

I.1.b.3 Réciprocité :

Une antenne peut être utilisée en émission ou en réception avec les mêmes propriétés rayonnantes dans les plus parts des cas, alors les antennes fonctionnes on **réciprocités** ; donc

il ne sera pratiquement jamais fait de différences entre le rayonnement en émission ou en réception. [2]

I.2.Types d'antennes :

Les types des antennes sont diversifiées et multiples, mais il y a que deux catégories d'antennes :

- Antenne émettre dans toutes les directions (**omnidirectionnelle**).
- Antenne émettre dans une seule direction (**directionnelle**).

Alors les différents types d'antennes sont : [3]

I.2.a Antenne Dipolaire :

Est une antenne filaire composée de deux brins conducteurs alignés alimentés par une ligne bifilaire, en utilisant les basses fréquences. [4]

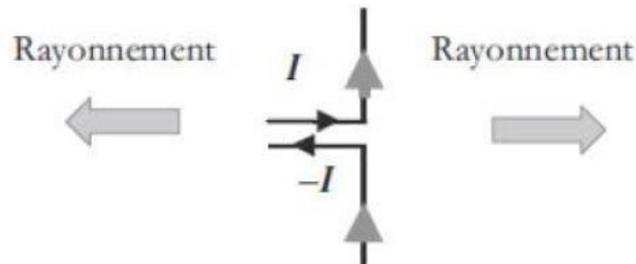


Figure 2:Antenne Dipolaire.

I.2.b Boucle Magnétique :

Est constituée d'un conducteur circulaire alimenté par un générateur à travers une ligne bifilaire. [5]

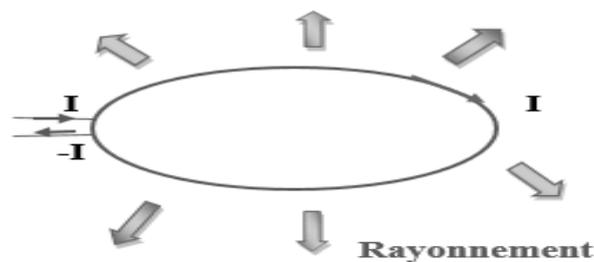


Figure 3:Boucle Magnétique

I.2.c Antenne cornet :

Est un guide d'onde rectangulaire avec une section variable et en utilise les hautes fréquences. [6]

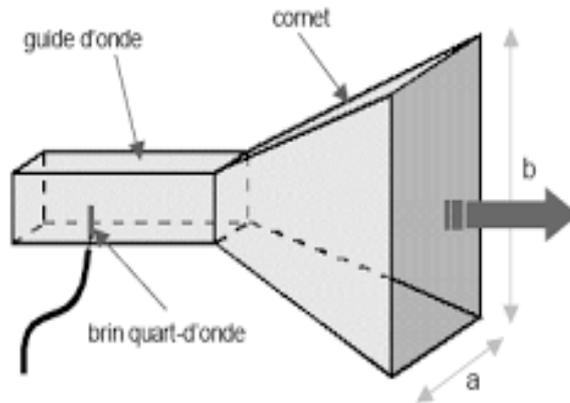


Figure 4 : Antenne Cornet.

I.2.d Antenne Fente :

C'est un guide d'onde rectangulaire qui contient des fentes sur sa paroi métallique, alors le rayonnement s'effectue **perpendiculairement** au plant troué du guide. [7]

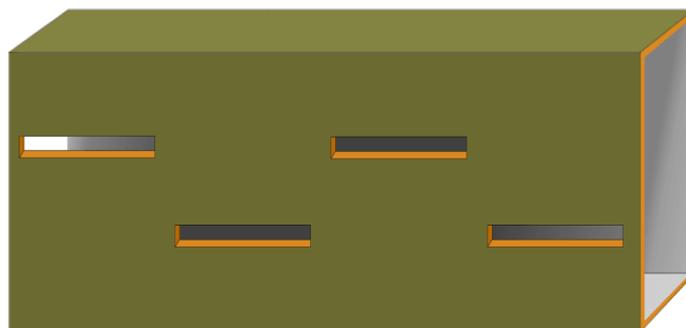


Figure 4:Antenne a fente.

I.2.e Antenne à réflexion parabolique :

Elle est constituée d'une source d'émission associée à une partie métallique réfléchissante, de forme parabolique. [8]

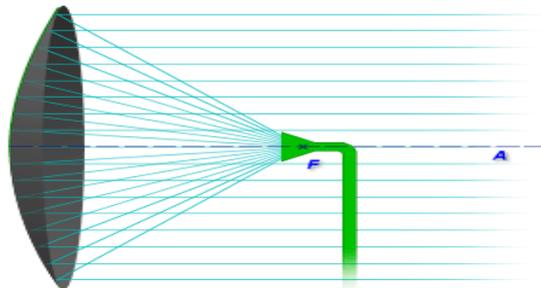


Figure 5: Antenne à réflexion parabolique.

I.2.f Antenne Imprimée micro-ruban « Patch » :

Est le plus récent type d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents, elle est constituée de : [9]

- Un diélectrique « substrat ».
- Un plan de masse métallique.
- Un patch, qui va créer un champ électromagnétique.
- Une Alimentation « feed line ».

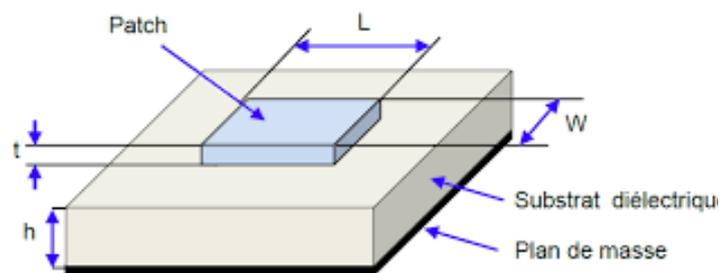


Figure 6: Antenne Imprimée micro-ruban « Patch ».

Patch porte plusieurs formes exemple : [10]

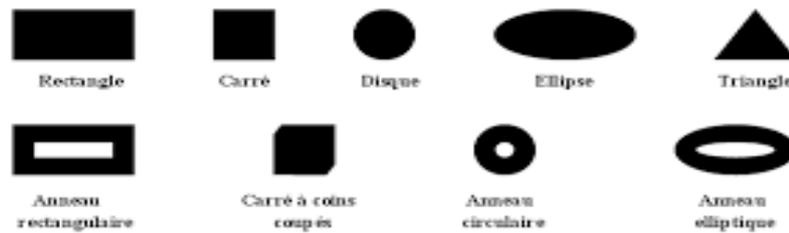


Figure 7: Différents types d'antenne patch.

I.2.g Caractéristiques des antennes :

Il y a plusieurs caractéristiques qui définissent une antenne tel que :

- La directivité.
- La polarisation.
- La bande passante.
- Le diagramme de rayonnement.... Etc.

I.2.g.1 Diagram.me de rayonnement :

C'est la représentation du rayonnement en 2D ou 3D du gain, de la puissance, ou des champs électriques rayonnés par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. [6]

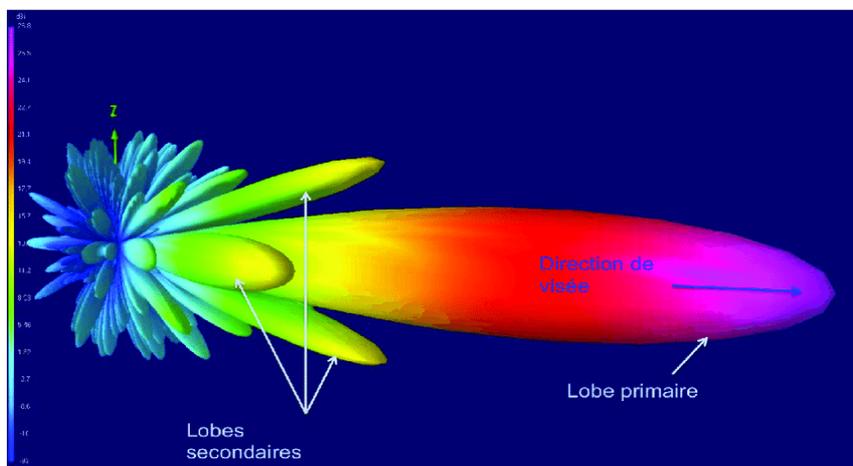


Figure 8: Diagram.me de rayonnement 3D d'une antenne directive.

- **Lobe principale** : contient le maximum d'énergie et la direction de visée.
- **Un angle d'ouverture** : pour qu'il y on a une bonne directivité il faut que cet angle soit bien étroit.
- **Lobes secondaires** : est le rayonnement d'antenne dans des directions indésirables.
- **Lobe arrière** : c'est lobe opposée du lobe principal par 180°.

I.2.g.2 Directivité :

Caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement des certaines directions de l'espace. [6]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{F_n(\theta, \varphi)}{\frac{1}{4\pi} \iint S_r(\theta, \varphi) \cdot d\Omega} \quad (1.1)$$

Peuvent aussi s'exprime en fonction de la densité surfacique de puissance. [6]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{S_r(\theta, \varphi)}{\frac{1}{4\pi} \iint S_r(\theta, \varphi) d\Omega} \quad (1.2)$$

I.2.g.3 Impédance d'entrée

Il faut considérer l'antenne à l'émission pour avoir Z_{in} , et elle est équivalente à la charge à l'entrée de laquelle existent un courant I_{in} et une tension V_{in} . [7]

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} + jX_{in} \quad (1.3)$$

R_{in} : la partie réel (active) de la puissance et elle comporte une puissance rayonnée R_r et une puissance perdue R_p :

$$R_{in} = R_r + R_p$$

X_{in} : est la partie réactive (réactance) de l'antenne ; représente la puissance stockée.

I.2.g.4 Coefficient de réflexion :

Quand l'onde incidente change de milieu de propagation ou bien quand-elle passe à une nouvelle interface ; une partie de cette onde est réfléchié et l'autre partie est transmise dans le nouveau milieu. [11]

$$|\Gamma|^2 + |T|^2 = 1. \quad (1.4)$$

Γ : coefficient de réflexion.

T : coefficient de transmission.

Pour qu'on a un meilleur transfert de puissance maximum il faut que le module du coefficient de réflexion soit le plus faible possible.

$$\Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_0}{Z_{ant} + Z_0} \quad (1.5)$$

Z_{ant} : impédance d'entrée de l'antenne.

Z_0 : impédance caractéristique fixée à 50Ω .

Aussi qu'on peut s'exprimer en décibel comme suite.

$$S_{11}(dB) = 20 \log_{10}(\Gamma). \quad (1.6)$$

I.2.g.5 Rendement :

Fournit l'alimentation, il est exprimé par le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne. [12]

$$\eta = \frac{R_r}{(R_r + R_p)} \quad (1.7)$$

R_r : Résistance de rayonnement.

R_p : Résistance de pertes d'antenne.

Ou bien par :

$$\eta = \frac{P_r}{P_a} \quad (1.8)$$

I.2.g.6 Polarisation :

Indique la direction de ses champs électriques E d'une antenne ; il existe 3types des polarisations :

- Polarisation linéaire.
- Polarisation circulaire.
- Polarisation elliptique.

I.2.g.7 Gain :

Est la quantité descriptive de la performance de l'antenne, aussi c'est la quantité d'énergie rayonnée dans cette direction comparée à l'énergie d'une antenne isotrope. [13]

$$Gain = \frac{P(\theta, \varphi)}{(Pa/4\pi)} \quad (1.9)$$

Aussi par : $Gain = \eta \cdot D \quad (1.10)$

Pour avoir un Gain important il faut que l'antenne doive avoir un **diagramme de rayonnement directif et** réciproquement.

I.2.g.8 Bande Passante :

Est la gamme de fréquence utile, pour que l'antenne possède des capacités optimales à l'émission ou à la réception.

$$BP(\%) = \left[\frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \right] \cdot 100 \quad (1.11)$$

f_c : est la fréquence centrale ou de résonance.

Elle définit aussi le domaine de fréquence située entre la valeur minimale et maximale. [14]

$$BP = f_{max} - f_{min}. \quad (1.12)$$

I.3. Antenne Imprimée « Patch » :

I.3.1. Introduction :

Le monde dernier a vécu une évolution technologique très importante grâce à l'intelligence humaine dans des plusieurs domaines, alors nos spécialité tend vers la miniaturisation des antennes plaquées ou Patch ; qui largement employées car sont les éléments de base pour une liaison radioélectrique ; et qui impose le système de transmission ; alors sa forme miniature favorisent leurs intégration sur plusieurs mobiles (portable, téléphone, voiture, avion,...) , qui va éviter les encombrement, le poids est plus faible et surtout le cout imposée par les émergentes. Alors ce circuit imprimé a révolues le domaine d'électronique dans les hyperfréquences, et ses antennes offres les possibilités d'intégrée facilement les systèmes d'émission-réception. [15][16]

I.3.2 Historique des antennes imprimée :

« Structures imprimées rayonnantes » ce concept est apparu en 1953 avec Deschamps et la première validation ont été réalisées vers 1970 par **Howell** et **Nunson**. [15]

Chapitre I : Généralistes sur les antennes, antenne imprimée et la5G

Au début des années 70, Byron décrit une piste rayonnante conductrice gravée sur un substrat diélectrique ($\epsilon_r < 10$) qui repose sur un plant de masse. [17]

Weinschel développa plusieurs géométries de Patch micro-ruban pour l'usage en réseau cylindrique. [17]

I.3.3 Représentation Générale d'une antenne imprimée

I.3.3.1 Structure d'une antenne imprimée

Elle est composée en générale de :

- Un plant de masse.
- Un ou plusieurs couches de substrat a une permittivité (ϵ_r).
- Et un élément rayonnant « Patch » ; et une alimentation.

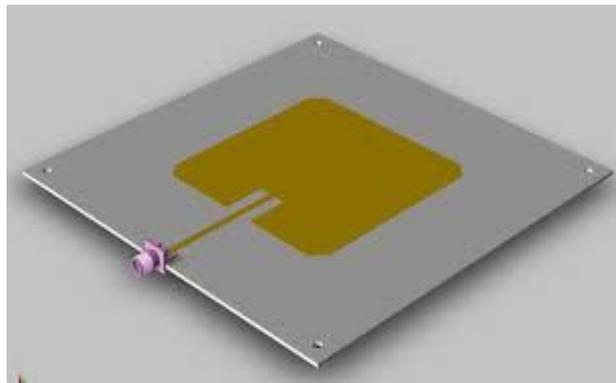


Figure 9:Structure de base d'une antenne Patch.

Paramètres physiques et géométriques liées à la structure [16]

- Permittivité relative de diélectrique (ϵ_r).
- Tangente des pertes (Tang) du même substrat ; avec pertes par effet de joule.
- Epaisseur diélectrique.
- Dimensions de l'élément rayonnant.

Différentes formes d'antennes imprimées « Patch » [10]

On a plusieurs formes tel que : carré, rectangulaire, triangle, pentagone, anneau, et disque.

I.3.3.2 Caractéristique de l'antenne Patch :

I.3.3.2.1 Coefficient de réflexion

I.3.3.2.2 Rapport d'onde Stationnaire « ROS » :

En anglais c'est « VSWR : Voltage Standing Wave Ratio » est le rapport des valeurs max et min de l'amplitude de l'onde stationnaire. [11]

$$ROS = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (1.13)$$

I.3.3.2.3 Bande Passante

I.3.3.2.5 Efficacité

I.3.3.2.6 Directivité

I.3.3.2.7 Diagramme de rayonnement

I.3.3.2.8 Rendement :

I.3.3.2.9 Angle d'ouverture

I.3.3.3 Paramètres Géométriques de l'antenne « Patch » rectangulaire :

I.3.3.3.1 Largeur du Patch :

Joue un rôle important pour l'impédance d'entrée d'antenne et la bande passante a ses résonances, par contre à un effet mineur sur la fréquence de résonance et sur le diagramme de rayonnement. [17]

$$W = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1.14)$$

f_r : fréquence de rayonnement.

ϵ_r : constante diélectrique du substrat.

C : vitesse de la lumière.

I.3.3.3.2 Longueur du Patch

Pour calculer la longueur 'L' il faut d'abord calculer ' ΔL ' qui correspond au débordement des champs ; puis L_e la longueur de la ligne est une demi-onde, qui contient une permittivité effective d'une ligne microstrip, qui repose sur la largeur de la ligne est sur la hauteur du substrat. [18]

$$\epsilon_e = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2}\right) \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} \quad (1.15)$$

ϵ_e : constant diélectrique effective.

ϵ_r : constant diélectrique du substrat.

H : hauteur du substrat.

W : largeur du patch.

$$L_e = \frac{\lambda_e}{2} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_e}} \quad (1.16)$$

Avec :

$$\Delta L = 0.421h \cdot \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (1.17)$$

$$\text{Et la dimension effective du Patch sera : } L_e = L + 2\Delta L. \quad (1.18)$$

$$\text{Donc la longueur du patch est : } L_p = L_e - 2\Delta L \quad (1.19)$$

I.3.3.4 Différentes Techniques d'alimentation :

Il y a 2 techniques d'alimentation d'une antenne Patch.

- Alimentation par contacte (par sonde ou ligne micro-ruban).
- Alimentation par à proximité (couplage électromagnétique par ligne ou par fente).

I.3.3.5 Méthodes d'analyse des antennes imprimée « Patch » :

Il y a plusieurs méthodes qui sont :

- Méthode de la ligne de transmission.
- Méthode de la cavité.
- Méthode d'analyse numérique : contient 4 méthodes :
 - 1- Méthode des éléments finie (MEF).
 - 2- Méthode des différences finie (MDF).
 - 3- Méthode de matrice des lignes de transmission (TLM).
 - 4- Méthode d'intégrale (MI).

I.3.3.6 Avantages et Inconvénients de l'antenne « Patch » :

Comme toutes les inventions technologiques ont des Avantages et des Inconvénients :

Les Avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Fort rendement d'ouverture.- Faible poids.- Polarisation variable simplement avec la position d'alimentation.- Faible encombrement.- A une possibilité d'association a des éléments actifs ou passifs exp : déphaseur, modulateur et amplificateur.- Faible épaisseur.- Simplicité de réalisation et reproduction.	<ul style="list-style-type: none">- Rayonnement parasite de l'alimentation.- Puissance supporté limitée.- Pureté de polarisation difficile à obtenir.- Bande passante très étroites.- Effet de couplage parasite entre les éléments.- Gain faible dû aux pertes.

Tableau 1:Avantages et Inconvénients de l'antenne « Patch ».

I.4. La Cinquième Génération 5G



La 5G est la nouvelle technologie développée dans le but de soutenir les demandes croissantes des clients en termes de rapidité, de facilité, et de diversité, elle permet d'augmenter le débit et la capacité des réseaux. Cette génération s'intéresse plus uniquement à des communications grand public et non pas au monde des opérateurs de téléphonie mobile mais elle ouvre des perspectives permet de diversifier l'usage e la 5G envisage la numérisation de la société et de l'économie, alors l'objectif des utilisateurs dans le but de diversité et des usages soient grandement élargies. [19]

I.4.2 Architecture et fonctionnement de la 5G :

Comme le montre la figure suivante, un modèle système de la 5G est modèle entièrement basée sur IP conçu pour les réseaux sans fil et mobile.

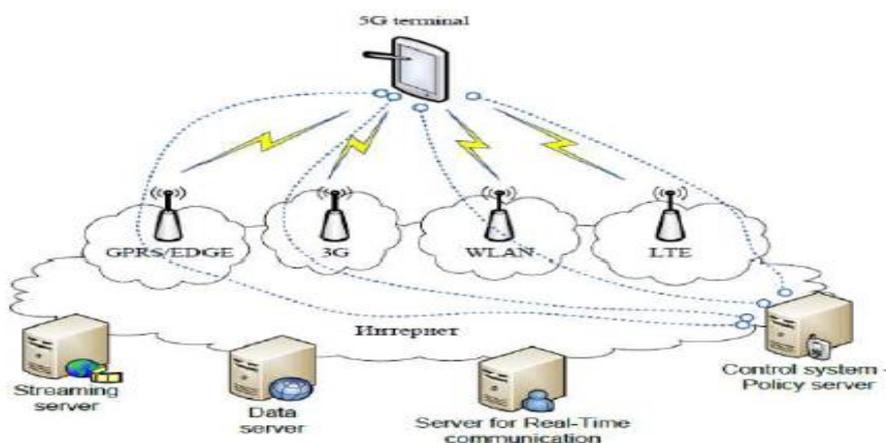


Figure 10:Architecture fonctionnelle de la 5G.

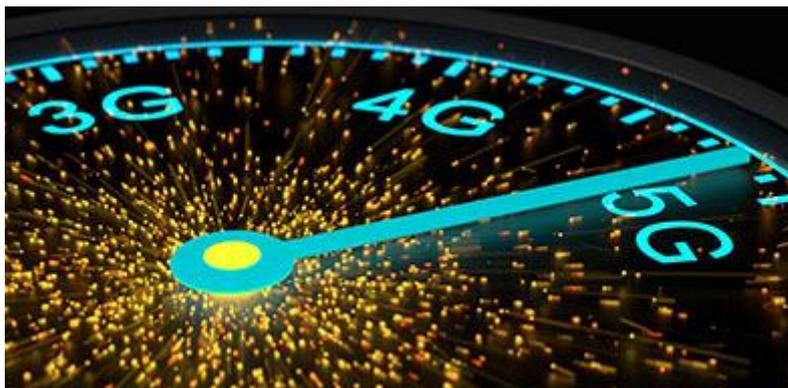
I.4.3 Avantages et inconvénients de la 5G :

I.4.3.1 Avantages :

Intérêt pour l'entreprise : La 5G permet une forte réduction de la consommation d'énergie ; amélioration des connectivités ; augmentation des débits ; aussi une optimisation du travail à distance, et le prolongement de la durée de vie des appareils, alors pour une entreprise a beaucoup besoin de ce réseau cause à leur énorme gain de productivité. [20]



Débit : La 5G va permettre d'aller beaucoup plus vite : des débits de 10 Gbit/s contre 100 Mb/s aujourd'hui c'est-à-dire que les débits en 5G sont 10 fois plus élevés que ceux de la 4G. Ce débit peut se comparer avec le réseau de fibres standard disponible chez vous actuellement. Avec une vitesse moyenne de téléchargement est multipliée par 7 par rapport aux 4G cette vitesse permet donc de télécharger des fichiers volumineux. [20]



Latence : Désignée le délai entre une action et le déclenchement d'une réaction.

Connectivité massive : Tous les utilisateurs peuvent être connectés au même temps sans que leur vitesse de connexion s'en ressentent.

Objets connectés : l'explosion des volumes de données transmises alors que tous vos objets du quotidien vont pouvoir être connectés simplement et à moindre coût au réseau. [21]

I.4.3.2 Inconvénients :

La 5G et santé : ce réseau peut avoir des répercussions sur la santé à cause des ondes électromagnétiques et un impact sur l'environnement en vue du nombre d'antennes 5G qu'il faudra déployer. La 5G inquiète autant qu'elle fascine, puisqu'elle augmentera l'exposition aux champs électromagnétiques qui diffusera les ondes millimétriques. Alors ces ondes peuvent avoir des effets néfastes sur la santé « Troubles neurologiques, Stress cellulaire, risque de cancer ... ». [20]



Inquiétudes environnementales de la 5G : puisque la 5G utilise des fréquences beaucoup plus proches de celles utilisées pour les prévisions météorologiques. Alors ces derniers se basent sur les observations reçues des satellites ce qui peut créer des interférences. Les satellites vont donc envoyer des relevés qui peuvent résulter des interférences 5G au lieu d'un phénomène naturel. Cela risque d'impacter la qualité des informations et réduira la fiabilité des prédictions météo. [20]



I.4.4 Domaine de fonctionnement de la 5G :

Pour un réseau fonctionne, il est besoin de deux éléments indispensables : « la fréquence et des antennes » ; d'abord en commence par les fréquences. [22]

-Bande 3.5GHz

C'est la bande préférentielle du nouveau réseau mobile, qui permet une montée en débit vraiment significative.

-Fréquences de la 4G

Ce sont que des basses fréquences (700, 800, 900MHz, 1.8, 2.1 et 2.6GHz) alors ces basses fréquences présentent l'avantage de porter plus loin, elles sont parfaitement adaptées aux zones rurales, si on applique des fréquences plus hautes dans le spectre de 2.1GHz, cette haute fréquence couvre une surface plus réduite, donc elle est bien adaptée dans les zones urbaines avec un bon débit.

-Bande 26GHz

Ce sont des fréquences très élevées alors on parle d'ondes millimétriques ; la bande 26GHz n'a pas encore utilisée dans la téléphonie mobile, elle sera attribuée à la 5G dans les années à venir mais pas avant 2022/2023, en revanche, elles ont une mauvaise pénétration à l'intérieur des bâtiments et une mauvaise portée.

Et en fin vas conclure par les antennes de la 5GHz :

Toutes les communications qui passent par les fréquences sont relayés par les antennes, c'est pour ça il faut que certaine opératrice doive déployer leur propre réseau mobile 5G. Donc il s'agit d'antenne spécifique appelée **Massive MIMO**, qui a de très nombreux connecteurs qui peuvent toucher un plus grand nombre d'utilisateur, par une émission d'un signal ciblé vers chaque utilisateur grâce au **Beamforming**, et qui vas s'adapter à son besoin grâce au **Network Slicing** et au terme de la 5G on parle des ondes millimétriques qu'elles ont des faibles portées alors on est besoin d'installer les **Small Cells** (très petites cellules) par des antennes miniatures.

I.4.5 Applications de la 5G :

Dans le monde de services mobiles l'application de la 5G ouvre le champ à des nombreuses opportunités et cas d'usage. Alors en termes de technologie, est définitivement le « hot topique » de ce début d'année. Cette technologie portes des avantages indéniable : une localisation bien précise d'utilisateurs, une vitesse de téléchargement est très élevées, un temps de latence réduits, alors de cette cause la 5G a des énormes applications dans certaines secteurs (télé médecine, e-commerce, trafique, véhicules autonomes...) aussi dans différent domaine d'éducation ou encore le monde de travail. [23]

I.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre I en à présenter une définition globale sur les différents types d'antenne qu'on a, aussi on a étudié les fonctions principales des antennes avec ces différents caractéristiques, en suite on a basé nos études sur les antennes imprimées « patch » tout ce qui concerne la structure, les caractéristiques, leur paramètre géométrique, les techniques d'alimentations, les méthodes d'analyses et en fin leur avantages et inconvénients de cette antenne imprimée.

A la fin de ce chapitre on définir de façon générale la 5G leur avantage et inconvénient aussi leur domaine de fonctionnement et les différentes applications de cette nouvelle technologie cinquième Génération 5G.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Ilham OUACHANI « Analyse de performance de systèmes de communication sans fils exploitant micro et macro diversité », UNIVERSITE DE PARIS-SUD U.F.R. SCIENTIFIQUE D'ORSAY, 28 juin 2005.
- [2] N. Hassan, X. Fernando « Massive MIMO Wireless Networks: An Overview Electronics » 2017, 6, 63; 5 September 2017.
- [3] O. Picon, Coll les antennes, Théorie, « conception et application l'usine du nouvelle », Dunod, 2009.
- [4] S. BOUSSAHA, « Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaires Applications aux systèmes de communication », Thèse de Magister en Télécommunication, Université 8Mai 1945 – Guelma, 2012.
- [5] Denis. Audubon « antenne a boucle magnétique formation radioamateur », <https://radioamateur.org/formation/technique-lt-bm>.
- [6] M. CHAABANE.A « Conception d'une antenne bip large bande a fort gain », thèse de docteur en science en Electronique, Université Ferhat Abbas - Sétif 1-, 23 Février 2017
- [7] A. BENOMAR, « Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications », thèse en cotutelle en Télécommunication pour docteur de l'université de Tlemcen et docteur de l'université de Limoges, 06 juin 2015.
- [8] « Antenne parabolique », ooreka. <https://antenne.ooreka.fr/comprendre/antenne-arabolique>.
- [9] Stalling, D, Zockler, M; Hege, H-C: "Fast display of illuminated field lines "Visualization and computer Graphics ", IEEE transaction on.Vol.3, Issue2, pp.118-128, June 1997.
- [10] F. CHETOUAH, « Etude et modélisation des antennes miniatures basées sur des matériaux diélectriques », thèse doctorat en Electronique Université FERHAT ABBAS SETIF-1, octobre 2018
- [11] A. NIANG, « Antennes miniatures et structures électromagnétiques avec circuits non-Foster », THESE DE DOCTORAT En Physique, Université Paris-Saclay préparée a l'Université Paris-Sud », 09 Janvier 2017. Université de Tlemcen, Mai 2014.
- [12] Stalling, D, Zockler, M; Hege, H-C: «Fast display of illuminated field lines "Visualization and computer Graphics », IEEE transaction on.Vol.3, Issue2, pp.118-128, June 1997.
- [13] Punit S.NA "Design of Mircostrip Patch à compact for use in wireless cellular Devices", thèse Master of Science: Florida state University, 2004.

Chapitre I : Généralistes sur les antennes, antenne imprimée et la5G

[14] M. Gujral, J.L. W, Li,T, Yuan, and CW.Qiu, « Bandwidth improvement of microstrip antenna array using dummy ebg pattern on feed line» national university of singapore, progress in electromagnetic research, Vol.127, pp.79-92, 2012.

[15] H. CHAKER, « conception et optimisation de réseaux d'antennes imprimées a faisceaux multiples application des réseaux de neurones », Thèse de doctorat en Télécommunication, Université Abou-BekrBelkaid – Tlemcen, Mars 2012.

[16] S. AZZAZ, H. BOUKLI « Analyse des antennes imprimées en anneaux concentriques », Livre, Schaltungsdienst Lange O.H.G, Berlin, Edition Universitaire Européennes ,2012.

[17] S. SAMIRA, « Etude et caractérisation d'antennes imprimées pour système ultra-large bande », Thèse de Magister en Génie Electrique, Université Mohamed Khider –Biskra, Septembre 2015.

[18] A. BERKAT, « Conception et réalisation d'antenne Miniatures Isotropes dans les Bandes C et ISM », thèse de docteur en télécommunication option communication et réseaux sans fil, Université de Tlemcen, Mai 2014.

[19] Rapport-Enjeux de la 5G « Autorité de régulation des communications électronique et des postes », République Française, Mars 2017.

[20] <https://www.abime-concept.com/blog/2020/09/29/les-avantages-et-inconvenients-de-la-5g>.

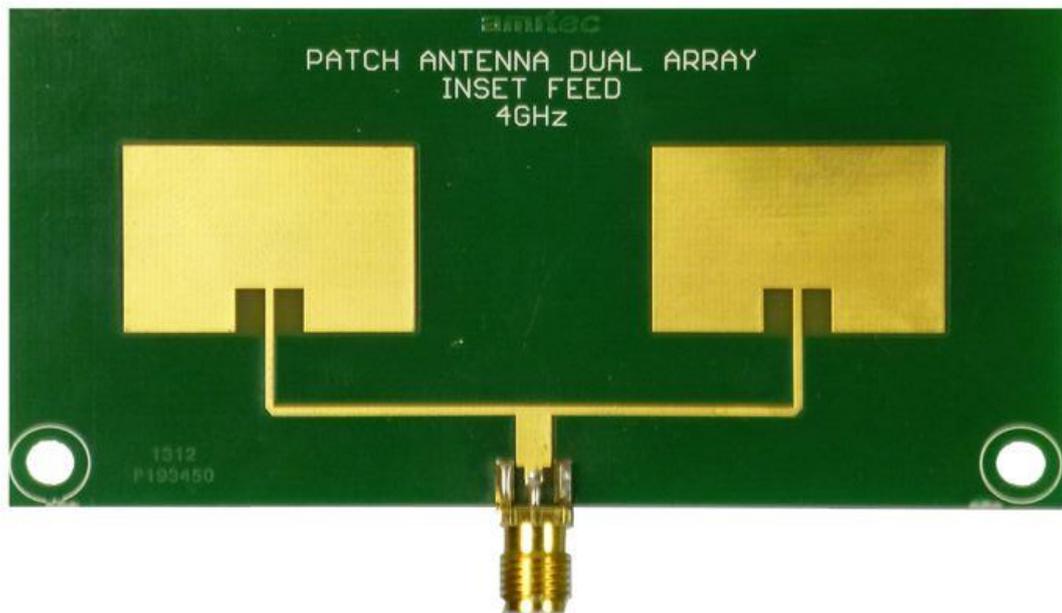
[21] R. Cetkovic, « Les avantages de la 5G simplement », Article rédigé dans <https://www.journaldunet.com/ebusiness/telecoms-fai/1420427-les-avantages-de-la-5g-simplement/#>, 20/12/2018

[22] <https://blog.ariase.com/mobile/dossiers/5g>.

[23] PASCAL.E, CHIEF.B, « « Rand Officer chez Connectings5 applications de la 5G au service de la mobilité dont on ne parle jamais », Article rédigé dans <https://www.usine-digitale.fr/article/5-applications-de-la-5g-au-service-de-la-mobilite-dont-on-ne-parle-jamais.N826915>, publié le 04 avril 2019

Chapitre II

Les diviseurs de Puissances



II. Introduction :

Avec la tendance moderne relative au déploiement de services de communications sans fil (LTE, 5 G) nécessitent des émetteurs/récepteurs RF polyvalents capables de les prendre en charge [1]. Alors que le transfert d'énergie électrique d'un point à un autre peut être effectué à l'aide de lignes de transmission. Ceux-ci sont placés au point source et au point de réception. Les lignes de transmission peuvent également être pensées comme des structures guidées. Alternativement, l'énergie peut être transmise et reçue sous forme d'ondes électromagnétiques dans l'espace libre à travers le principe du rayonnement. Les appareils qui fonctionnent selon le principe du rayonnement sont appelés antennes. La classe des antennes qui ont un poids léger, sont compatibles avec d'autres appareils électriques et peuvent être facilement fabriquées sont appelées antennes micro-ruban. Ces antennes sont constituées d'un substrat diélectrique placé entre un plan de masse et rayonnant patch sur le dessus. Les réseaux d'antennes micro-ruban conventionnels ont de sérieuses limitations de bande passante étroite et génération d'ondes de surface [2-3]. Donc chaque système de communication sans fil comprend des circuits microondes passifs et actifs tels que les coupleurs, les filtres et les diviseurs de puissance.

II.1. Généralités sur les diviseurs de puissances :

II.1.a. Historique :

Le diviseur de puissance est un périphérique connu à trois ports, et très important pour les applications micro-ondes et radio fréquences, qui peut être largement utilisé dans les amplificateurs de puissance équilibrés, les systèmes radar et les déphaseurs. Comme on le sait, le diviseur de puissance le plus célèbre est le diviseur développé par Wilkinson qui porte son nom [4]. Ce diviseur contient deux lignes de longueur $L = \frac{\lambda}{4}$ et fonctionne sur une seule bande de fréquence $f = c/\lambda$. Aussi qu'on a plusieurs types de Diviseurs tels que le diviseur de puissance de Bagley (BPD) [5]. Ce diviseur BPD n'utilise pas des éléments localisés, tels que les résistances, et peut facilement être étendu à un nombre quelconque de ports de sortie. Dans, une conception générale de diviseurs planaires multivoies basée sur des BPD a été introduite. Dans, un diviseur planaire BPD à deux fréquences en utilisant des lignes de transmission composites droite / gauche a été implémenté. Donc actuellement, les diviseurs de puissance ont déjà largement dépassé les deux prototypes originaux pour suivre le développement rapide des technologies de communication modernes.

II.1.b. Définition :

Les diviseurs /combineur de puissance sont des dispositifs possédant au minimum trois accès. Lorsqu'ils sont utilisés en diviseurs il y aura deux ou plusieurs accès de sorties et un accès d'entrée. Par contre, leur utilisation en combineurs, on constate un accès en sortie et deux ou plusieurs accès d'entrées. Les accès de sortie peuvent être isolé ou nom. [6] Les diviseurs de puissance sont utilisés dans de nombreux circuits, notamment les amplificateurs équilibrés, les mélangeurs et les circuits d'alimentation des antennes En particulier, les diviseurs utilisés à des

Chapitre II : Les diviseurs de puissances

fréquences micro-ondes qui sont généralement des structures passives. Ces circuits passifs en technologie planaire sont considérés comme des éléments réciproques avec des ports adaptés afin d'atteindre des applications performantes. Les nouvelles innovations des diviseurs planaires résident dans la conception des diviseurs de taille réduite avec une intégration facile sur les applications envisagées.



Figure 11:représente Un Diviseur De Puissance à haut isolation à 4 voix.

II.1.c. Topologie de diviseur de puissance :

Pour diviser un signal en deux composantes d'amplitude réduite, le concepteur utilise simplement une connexion en « T » en plaçant deux charges sur une source commune.[7]

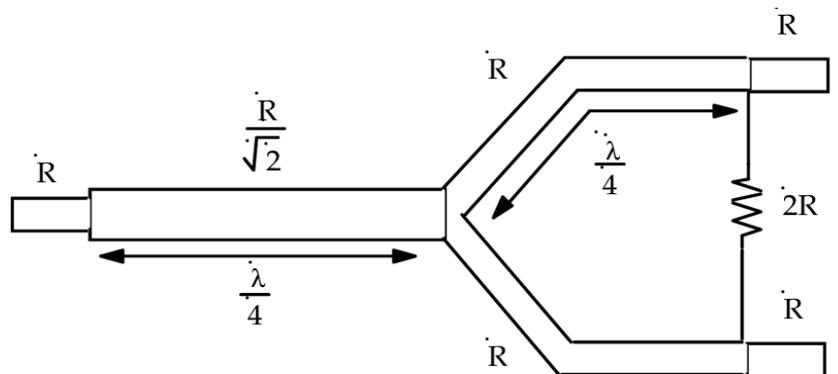


Figure 12:une Topologie d'un diviseur de puissance.

II.2. Types des diviseurs de puissance :

Il existe trois topologies de circuit principales pour les diviseurs de puissance qui éliminent les limitations d'une connexion en T. Les trois types de topologie sont : résistif, hybride et Wilkinson. Les diviseurs Wilkinson et hybrides appartiennent à une classe de diviseurs appelés diviseurs réactifs. [7] Il existe aussi d'autres types de diviseur.

II.2.a. Diviseur de Wilkinson (WPD : Wilkinson Power Divider) :

Le diviseur de Wilkinson est réalisé à l'aide de deux tronçons de ligne TEM connectés en parallèle à l'entrée, et interconnectés à la sortie par une impédance d'équilibre. Ce diviseur est un réseau à trois ports et généralement conçu pour fonctionner avec la même impédance caractéristique sur chacun des ports. [8]

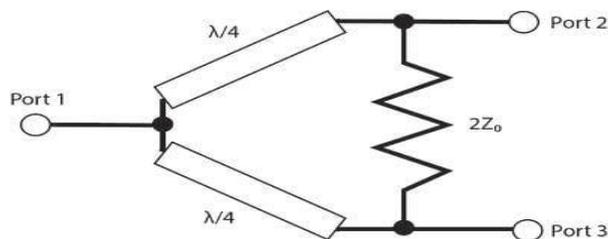


Figure 13: Diviseur De Wilkinson.

Ce diviseur de puissance est un diviseur réactif qui utilise deux transformateurs de ligne de transmission en quart d'onde, parallèles et non couplés. L'utilisation de lignes de transmission rend ce diviseur facile à implémenter à l'aide de lignes de transmission à circuit imprimé standard. La longueur des lignes de transmission limite généralement la plage de fréquences du diviseur Wilkinson aux fréquences supérieures à 500 MHz. La résistance entre les ports de sortie permet d'avoir des impédances adaptées tout en fournissant un isolement. Comme les ports de sortie contiennent des signaux de même amplitude et de même phase, il n'y a pas de tension sur la résistance, il n'y a donc pas de flux de courant et la résistance ne dissipe aucune énergie. [7]

II.2.b. Diviseur résistif :

Le diviseur de type résistif, utilise trois résistances de valeur égale, le plus souvent dans une configuration en étoile. En raison de la symétrie du dispositif, il n'existe pas de port d'entrée désigné. Il est possible d'utiliser n'importe quel port comme entrée. Les valeurs de la résistance correspondent à un tiers de l'impédance caractéristique avec laquelle le diviseur de puissance est utilisé.

Le principal avantage de ce diviseur est sa simplicité. Il est facile à implémenter à un coût minimum. Il s'agit également du plus petit dispositif.

Son inconvénient majeur est la perte de puissance via les résistances série entre les ports de sortie. Ces dispositifs ont une spécification de puissance nominale. La plupart des applications

Chapitre II : Les diviseurs de puissances

du diviseur de puissance résistif utilisent une puissance relativement basse. L'isolement fourni par les résistances entre les ports est amélioré par rapport à la configuration en T. [7]



Figure 14: Diviseur résistif.

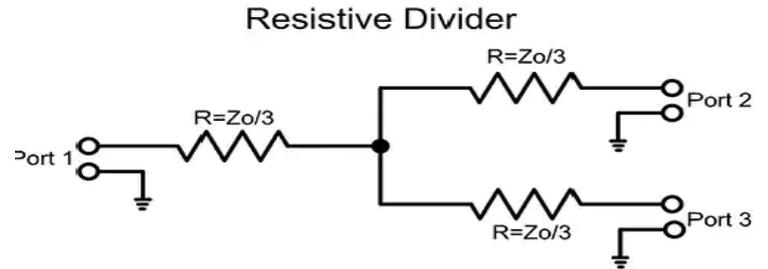


Figure 15: schémas équivalent du diviseur résistif.

II.2.c. Diviseurs de puissance hybrides : [7]

Il est constitué de trois tronçons $\lambda_g/4$ et d'un tronçon $3\lambda_g/4$.

- Si un signal est émis au **port 1** ; les signaux résultants aux **ports 2 et 3** sont identiques et en phases car ils parcourent tous deux une longueur $L = \lambda_g/4$. En revanche le signal issu de **port 4** est nul car deux signaux arrivent en opposition de phase (l'un parcourt $\lambda_g/2$ et l'autre $\lambda_g/4$).
- Inversement si un signal est émis au **port 4**, les signaux résultants au **port 2 et 3** sont en opposition de phase car l'un parcourt une longueur $L = \lambda_g/4$ et l'autre une longueur.

$L = 3\lambda_g/4$. En revanche le signal issu du **port 1** est nul.

- L'antenne hybride peut réaliser la somme et la différence de 2 signaux injectés en 1 et 4. Une application est la démodulation superhétérodyne avec $LO - RF \rightarrow IF$ après filtrages des harmoniques.

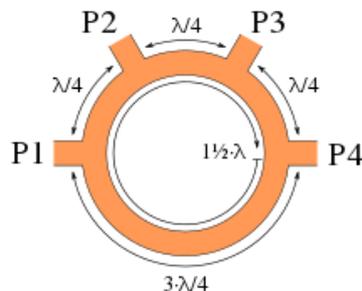


Figure 16: Diviseurs de puissance hybrides.

II.2.d. Le diviseur de Gysel (GPD : Gysel Power Divider) :

Un diviseur de puissance de Gysel est également un réseau à trois ports, comme le diviseur de Wilkinson, mais il possède deux résistances d'isolement dont leurs autres bornes sont connectées à la masse. [9].

L'avantage principal du GPD réside dans sa capacité de dissiper la chaleur. Lorsqu'on prend le WPD montré précédemment sur la Figure 2.3, il n'y a pas de connexion directe à la masse et la résistance se trouve sur le plan supérieur. En revanche, dans un GPD, les deux résistances doivent être connectées au plan de masse ce qui permet d'avoir une bonne dissipation de la chaleur.

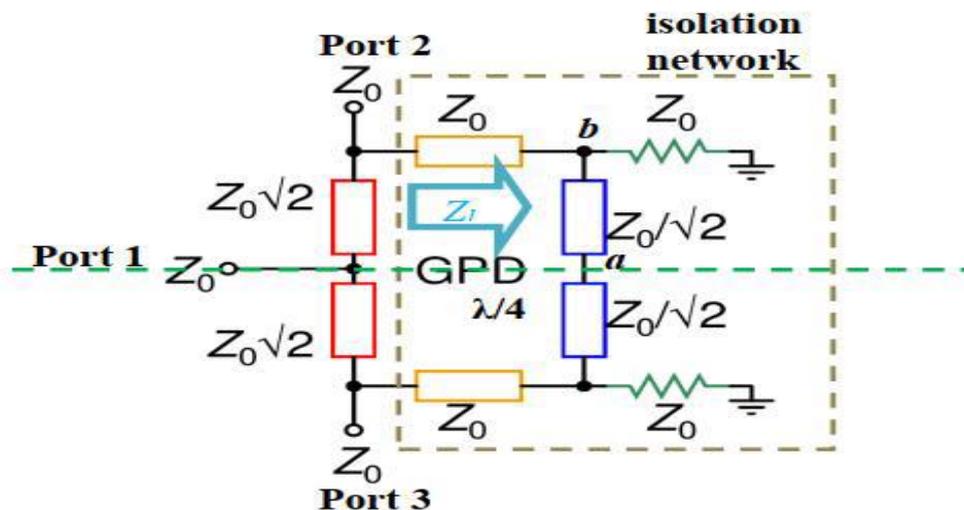


Figure 17: Le diviseur de Gysel (GPD : Gysel Power Divider).

II.2.e. Le diviseur de Bagley (BDP : Bagley Power Divider) :

Le diviseur de Bagley est diviseur à trois ports. Ce diviseur été conçu pour améliorer les performances des différents diviseurs classiques (Wilkinson et Gysel). Dans [10]. Pour réduire la taille de la DBP multivoies, les lignes couplées sont conçues pour remplacer la ligne micro ruban classique

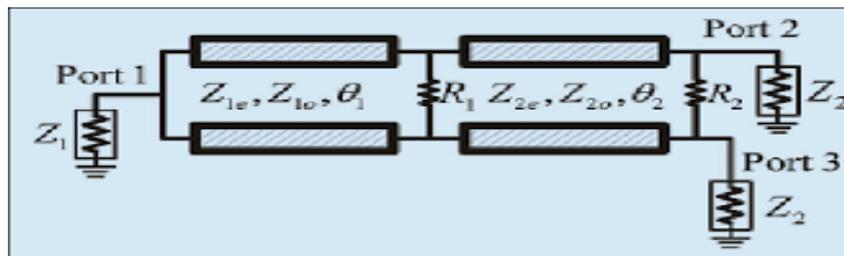


Figure 18:Le diviseur de Bagley (BDP : Bagley Power Divider).

II.2.f. Le Diviseur de puissance en Jonction T : [11]

Le diviseur de puissance en jonction T est un simple réseau à trois ports qui peut être utilisé pour la division ou la combinaison de puissance, et il peut être implémenté pratiquement en utilisant les différents types des lignes de transmission.

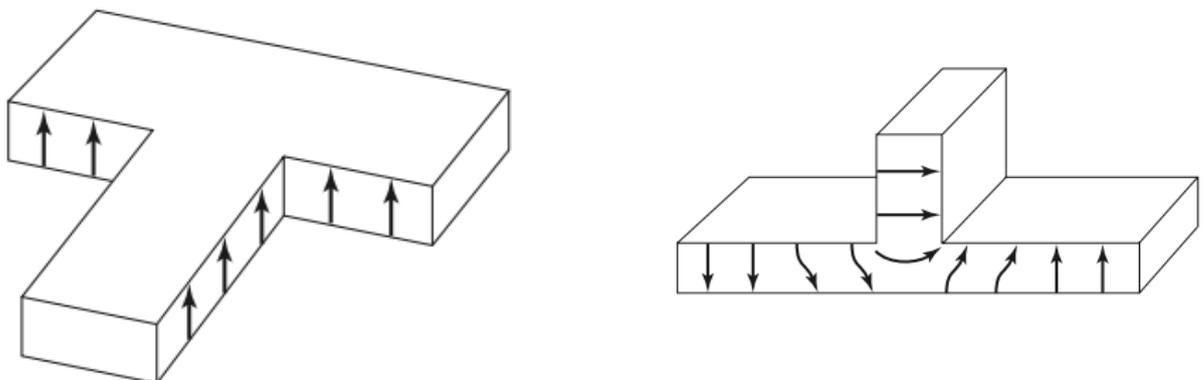


Figure 19:Diviseur de puissance en Jonction T.

II.2.g. Diviseurs de puissance à N voies :

On considère un émetteur RF utilisant des diviseurs / combineurs de puissance permettant de produire une puissance de sortie élevée vers l'antenne dans les systèmes à commande de phase [11]. Dans ce cas, il est également nécessaire de fournir un degré d'isolation élevé entre les ports de sortie sur une bande de fréquence. Ce diviseur peut être utilisé comme un combineur qui fournit une combinaison de puissances provenant des N sources de signal. Ici, l'impédance d'entrée des lignes de transmission N_i (connectées en parallèle) avec l'impédance caractéristique de Z_0 est égale à Z_0/N .

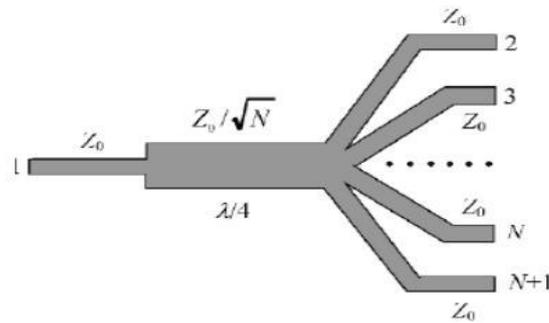


Figure 20: Diviseur de puissance à N voies.

II.2.h. Avantages et inconvénients des différentes formes de diviseurs de puissance :

Les avantages

- Les bonnes isolations entre les Ports de sortie
- Une efficacité élevée.
- Des pertes modérées.

Les inconvénients

- Les grandes pertes.
- Une puissance supportée faible.
- Difficulté d'intégration avec la technologie MMIC.
- La grande taille du circuit.

II.3. Les paramètres d'un diviseur de puissance : [12]

Il existe trois majeurs paramètres qui caractérisent un diviseur de puissance qui sont :

II.3.1. Les pertes d'insertion :

Comme tout élément microonde, l'insertion d'un diviseur de puissance dans une matrice d'alimentation va atténuer le signal transmis à l'antenne alors ces pertes de puissance dans un signal, au sein d'une ligne de transmission, à cause de l'insertion d'un dispositif sont connues par les pertes d'insertion et généralement exprimée en décibels (dB). Cette atténuation a deux origines :

- Pour un diviseur de puissance dont le facteur de couplage est de 10 dB, ce prélèvement est de 10%, la puissance en sortie sera égale à 90% de la puissance en entrée, ce qui correspondra à une perte de 0.45dB entre les deux ports P₁ et P₂. Car la puissance réfléchiée et due au couplage.

Les pertes d'insertion sont définies comme un rapport de la puissance de sortie à la puissance d'entrée :

$$IL = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_e} \right) \quad (2.1)$$

Avec : P_e est la puissance d'entrée.

Et P_s est la puissance de sortie.

II.3.2. Les pertes d'isolation :

L'isolation est désignée pour un coupleur directionnel et peut être définie comme une différence dans les niveaux des puissances en dB entre le port d'entrée et le port d'isolé quand les deux ports de sortie sont adaptés et on écrit :

$$I_{dB} = -10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_4}{P_1} \right) \quad (2.2)$$

II.3.3. La directivité :

La directivité d'un coupleur est liée à l'isolement entre les deux ports P_3 et P_4 . La directivité est une mesure de la capacité du coupleur à isoler les ondes transmises et réfléchie, tout comme l'isolation :

$$D_{dB} = -10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_3}{P_4} \right) \quad (2.3)$$

II.4. les lignes micro-ruban :

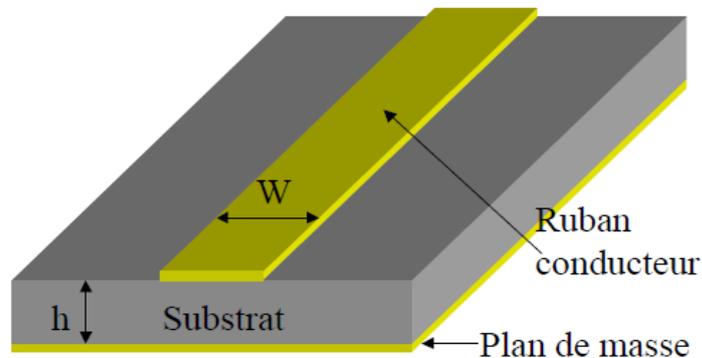


Figure 21: La ligne micro ruban.

II.4.1. Définition :

La ligne micro ruban est constituée d'un ruban métallique déposé sur la face supérieure d'une plaque de diélectrique l'autre face étant entièrement métallisée. Le milieu de propagation des ondes n'est pas homogène car une partie des lignes de champ se trouve dans le substrat tandis que l'autre partie se trouve dans l'air [13]. De façon rigoureuse, la présence d'un champ longitudinal interdit de traiter la ligne microstrip comme une structure de propagation TEM. Toutefois tant que la fréquence n'est pas trop élevée on travaillera avec l'approximation dite quasi TEM.

II.4.2. Caractéristiques d'une ligne micro ruban :

- Vitesse de propagation V_p ou La vitesse de phase :

$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

- L'impédance caractéristique Z_c Le calcul de cette l'impédance n'est pas un calcul exact et de nombreuses formules empiriques sont disponibles dans la littérature scientifique, dont celle de Wheeler : [14]

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{8h}{w_f} + \frac{w_f}{4h} \right] & \text{si } \frac{w_f}{h} \leq 1. \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[1.393 + \frac{w_f}{h} + \frac{2}{4} \ln \left(\frac{w_f}{h} + 1.444 \right) \right]} & \text{si } \frac{w_f}{h} \geq 1 \end{cases} \quad (2.5)$$

Avec :

$$\frac{w_f}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A}-2} & \text{si } \frac{w_f}{h} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \text{si } \frac{w_f}{h} > 2 \end{cases} \quad (2.6)$$

Avec :

$$A = \frac{Z_c}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.7)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.8)$$

Et ces caractéristiques dépendent des paramètres suivants :

- La largeur du ruban W .
- L'épaisseur du substrat h .
- La permittivité relative du substrat ϵ_r .

II.4.3. Pertes sur une ligne micro ruban :

Les pertes constatées lors de la propagation sur une ligne micro-strip peuvent avoir trois origines : les pertes dans les conducteurs, les pertes dans le diélectrique, et les discontinuités sur la ligne micro ruban.

II.4.3.a. Pertes dans les conducteurs :

Les pertes (α_c en Neper/mètre) dans les conducteurs sont données par les relations approchées suivantes : [15]

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_c = \frac{1}{h} \frac{10}{\pi \ln 10} \frac{R_m}{Z_c} \frac{32 - (\frac{w}{h})^2}{32 + (\frac{w}{h})^2} \left[1 + \frac{h}{w} \left(1 + \frac{\partial w_e}{\partial b} \right) \right] \quad \text{pour } \frac{w}{h} \leq 1 \\ \alpha_c = \frac{1}{h} \frac{20}{\pi \ln 10} \frac{\epsilon_{\text{eff}} Z_c R_m}{Z_0^2} \left(\frac{w}{h} + \frac{6h}{w} \left[\left(1 - \frac{h}{w} \right)^5 + 0.08 \right] \right) \left(1 + \frac{h}{w} \left(1 + \frac{\partial w_e}{\partial b} \right) \right) \quad \text{pour } \frac{w}{h} \geq 1 \end{array} \right. \quad (2.9)$$

Où $\frac{\partial w_e}{\partial b}$ est :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial w_e}{\partial b} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{2h}{b} \quad \text{si } \frac{w}{h} \geq \frac{1}{2\pi} \\ \frac{\partial w_e}{\partial b} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{4\pi w}{b} \quad \text{si } \frac{w}{h} \leq \frac{1}{2\pi} \end{array} \right. \quad (2.10)$$

R_m : est la résistance caractéristique du métal :

$$R_m \cong \sqrt{\omega \mu' / 2\sigma} \quad (2.11)$$

II.4.3.b. Pertes dans le diélectrique :

Le substrat en diélectrique, sur lequel sont déposés les conducteurs, est caractérisé non seulement par sa permittivité relative mais également par sa tangente de perte $\tan \delta$. Les pertes diélectriques associées (en Neper/mètre) s'écrivent : [16]

$$\alpha_d = 27.3 \frac{\epsilon_e - 1}{\epsilon_r - 1} \frac{\epsilon_r \tan \delta}{\epsilon_e \lambda_g} \quad (2.12)$$

Où $\tan \delta$ est la tangente de perte ; puisque la permittivité s'écrit $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$ la tangente de perte s'écrit alors : $\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$

II.4.3.c. Pertes par rayonnement :

Le rayonnement d'une ligne micro ruban est le fait des modes d'ordres supérieur qui sont engendrés par les discontinuités.

$$f_M = 2.14 \frac{(\epsilon_r)^{1/4}}{h} \quad (2.13)$$

II.4.3.f. Dispersion :

La faible longueur d'onde des signaux hyperfréquences devant les dimensions géométriques de la ligne microstrip rend obsolètes les approximations quasi statiques utilisées en général pour résoudre les équations de raccordement des champs à l'interface air- diélectrique. On

pratique on considère que l'effet dispersif ne peut plus être négligé au-delà de la fréquence précisée ci-dessous (h est en mm) : [17]

$$f = 0.95 \sqrt{\frac{Z_0}{h\sqrt{\epsilon_r - 1}}} \quad (2.14)$$

Alors la permittivité effective évolue de la façon suivante (h est en m) :

$$\epsilon_e(f) \cong \epsilon_r \frac{\epsilon_r - \epsilon_e}{1 + G \left(\frac{f}{f_d}\right)^2} \quad (2.15)$$

Où ϵ_e est la permittivité effective en basse fréquence, les constantes f_d et G sont données par :

$$f_d = \frac{1}{2\mu_0} \frac{Z_c}{h} \quad (2.16)$$

$$G = 0.6 + 0.09Z_c \quad (2.17)$$

II.4.4. Avantages et inconvénients des lignes micro ruban :

La ligne micro ruban est très utilisée pour la fabrication de circuits hyperfréquences principalement, parce qu'elle permet une intégration simple des composantes passives et actives par montage en surface.

Leurs avantages :

- Un faible coût.
- Faible poids, faibles dimensions.
- Adaptées à la réalisation des circuits micro-ondes intégrés.
- Un faible encombrement.
- Une facilité de fabrication.

En général, les conducteurs micro ruban sont les meilleurs types de conducteurs pour réaliser des circuits intégrés, Or les lignes micro ruban transportent des puissances faibles et ont des pertes plus importantes due à l'absence de blindage.

Les inconvénients :

- Fragilité de certains substrats.
- Rayonnement de l'énergie dans l'espace environnant.
- Pertes d'énergie par effet Joule dans les conducteurs et le diélectrique.

II.5. Réseaux d'antennes :

II.5.1. Définition :

Un réseau d'antennes est un assemblage d'antennes élémentaires identiques (antennes filaires, cornets, patchs ...) avec la même orientation, disposées selon une forme donnée et excitées par un système d'alimentation. Le rayonnement résultant est la superposition des rayonnements provenant de chaque élément, la puissance rayonnée est donc plus grande. Le diagramme de rayonnement d'un réseau d'antenne est plus étroit que celui d'une antenne élémentaire, sa directivité et son gain sont aussi importants, c'est pour ces avantages que les systèmes de télécommunication récents utilisent les réseaux d'antennes comme dispositifs d'émission et de réception. [18][19]

II.5.2. Alimentation d'un réseau d'antennes :

La synthèse d'un réseau consiste à trouver les bons coefficients de pondération en amplitude et/ou en phase qui permettent d'approcher au mieux le besoin. Alors, l'alimentation d'un réseau d'antennes s'effectue à travers un réseau d'alimentation qui assure la répartition d'énergie sur différentes antennes élémentaires. Donc, le réseau d'excitation peut avoir des architectures différentes. Dans le cas d'un réseau d'antennes patch, la répartition d'énergie se fait par des lignes micro rubans, les diviseurs et les combineurs de puissance sont réalisés par des lignes micro ruban.

II.5.2. a. Alimentation série :

Les éléments qui vont se rayonner sont excités en série à travers une ligne de transmission. Entre deux éléments rayonnants consécutifs il y a un déphaseur qui permet d'imposer la loi de phase appropriée.



Figure 22:Alimentation d'un réseau d'antenne en série.

II.5.2.b. Alimentation parallèle :

Le circuit d'alimentation possède une entrée et plusieurs sorties égales aux nombres des éléments rayonnants.



Figure 23:Alimentation d'un réseau d'antenne en parallèle.

Le problème de synthèse doit répondre aux contraintes de rayonnement, surtout la réduction des lobes secondaires et l'amélioration du lobe principal. Ce qu'il existe diverses lois d'alimentation en amplitude d'un réseau d'antennes, telles que : [20]

Alors Pour un réseau de N éléments rayonnants, les coefficients d'excitation C_i sont :

- Loi uniforme : $C_i = 1; \forall_i = 1, \dots, N.$
- Loi triangulaire : $C_i = \left(1 - \frac{2|i|}{D}\right); \forall_i = 1, \dots, N.$
- Loi cosinus : $C_i = \cos\left(\frac{\pi_i}{D}\right); \forall_i = 1, \dots, N.$
- Loi cosinus carré : $C_i = \cos^2\left(\frac{\pi_i}{D}\right)$ aussi que $C_i = \left(\frac{1}{3}\right)(1 + 2\cos^2\left(\frac{\pi_i}{D}\right))$
- Loi binomiale :

$$(1 + x)^{m-1} = 1 + (m-1)x + \frac{(m-1)(m-2)}{2!}x^2 + \dots + \frac{(m-1) \dots (m-p)}{p!}x^p$$

Avec m représente le nombre d'éléments rayonnants du réseau.

II.5.3. Types de réseaux d'antennes :

Il existe plusieurs configurations géométriques des réseaux d'antennes que l'on peut regrouper comme suit : réseau linéaire, réseau circulaire, réseau planaire et réseau volumique.

II.5.3.a. Réseaux linéaires :

Un réseau linéaire est un réseau où les sources sont alignées le long d'une ligne droite et espacées d'une distance constante d . l'étude se limite généralement à l'expression du facteur de réseau se simplifie alors comme suit : [21]

$$\vec{d}_i \cdot \vec{u} = d_i \sin\theta \cos\varphi \quad (2.18)$$

Le gain de réseau est l'un des critères les plus sensibles dans le choix de la loi d'alimentation s'écrit sous forme :

$$G_{i,dB} = 10 \log_{10} \left[\frac{(\sum_{i=1}^N C_i)^2}{\sum_{i=1}^N C_i^2} \right] \quad (2.19)$$

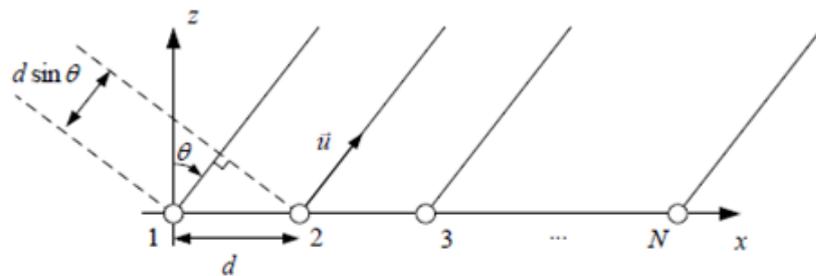


Figure 24: Réseaux linéaires.

II.5.3.b. Réseaux circulaires :

Un réseau circulaire leurs éléments rayonnants sont répartis sur le périmètre d'un cercle et d'espacements égaux. Le plan où l'analyse de réseau se limite est le plan horizontal, il est caractérisé par les coordonnées polaires (a, φ) . [22]

Puisque $d_i = a$ quel que soit i , où a est le rayon du cercle, le produit scalaire s'écrit dans le plan caractérisé par l'angle d'azimut, est :

$$\vec{d}_i \vec{u} = a \sin \theta \cos (\varphi - \varphi_i) \quad (2.20)$$

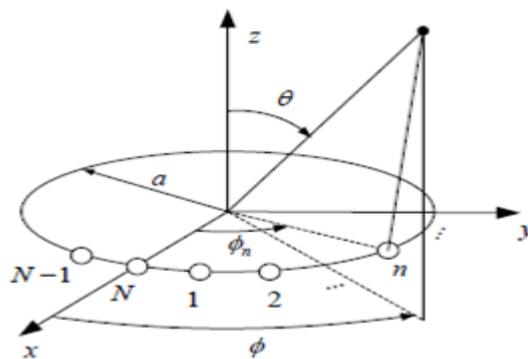


Figure 25: Réseaux circulaires.

II.5.3.c. Réseaux planaires

Un réseau planaire est un arrangement des antennes dans un plan. Il y a deux formes de réseaux planaires. [23]

Le réseau planaire à format rectangulaire :

Et le cas le plus simple c'est à mettre en équation correspond à la mise en réseau selon un maillage rectangulaire $N \times M$ des éléments rayonnants. Le pas du réseau rectangulaire ainsi obtenu peut être différent selon les deux axes principaux du réseau, Le facteur de réseau s'écrit :

$$f(u, v) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M C_{nm} e^{j\Psi_{nm}} e^{j(K(n-1)d_x u + (K(m-1)d_y v)} \quad (2.21)$$

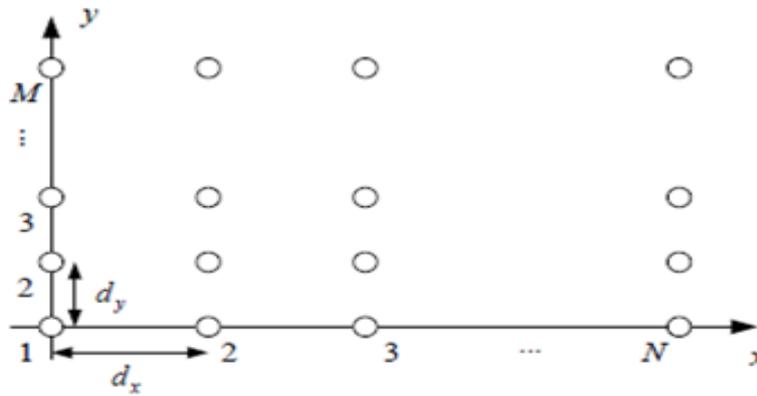


Figure 26: Le réseau planaire à format rectangulaire.

Le réseau planaire à format circulaire :

Est une configuration intéressante car il permet une répartition azimutale des lobes secondaires et réduit ainsi les niveaux. Par contre, la formulation pour ces réseaux est un peu plus compliquée puisqu'il n'est plus possible de séparer les deux axes comme dans la configuration rectangulaire. Le facteur de réseau peut s'écrire comme suit :

$$f(u, v) = \sum_{i=1}^N e^{j[K(i-1)d_x u - \psi_i]} \left(\sum_{m=1}^{M_i} e^{j[K(m-1)d_y v - \psi_m]} \right) \quad (2.22)$$

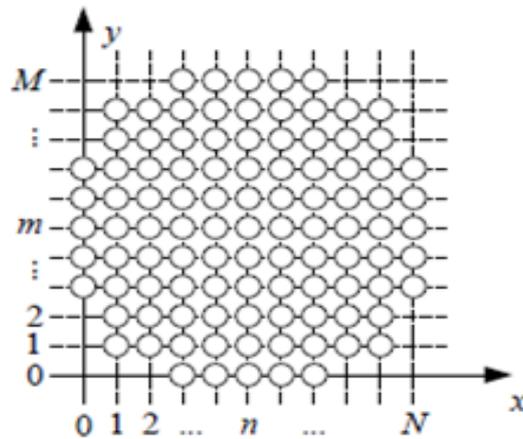


Figure 27:Le réseau planaire à format circulaire.

L'intérêt des réseaux planaires est qu'ils permettent de pointer le rayonnement principal dans n'importe quelle direction de l'espace.

II.5.3.d Autres types de réseau d'antennes

Il existe d'autres configurations de réseaux d'antennes qui sont développées à partir de la structure planaire. L'objectif de ces configurations est de réduire les niveaux des lobes secondaires et/ou l'amélioration du lobe principal, ainsi que l'amélioration de la couverture de l'espace entouré. Parmi ces configurations, on trouve les réseaux multi surfaces dans lesquels un polyèdre est couvert par des réseaux d'antennes planaires. Le polyèdre peut être un parallélépipède, un cylindre, un hémisphère ou une pyramide. Les dimensions des réseaux planaires multi surfaces sont généralement grandes et les lois d'alimentations nécessitent parfois des processus d'optimisation pour réduire les interférences entre les lobes, ce qui limite l'utilisation de ces réseaux aux secteurs spatial et militaire. [24]

II.6 Domaines d'applications des réseaux d'antennes

Grâce aux réseaux d'antennes, et à leur robustesse par rapport à une antenne élémentaire que la communication entre deux points distants puisse être effectuée et pour que le récepteur puisse distinguer le signal émis du bruit, sont utilisés dans plusieurs applications :

- **Aéronautique** : - Radars de poursuite monopulse ou synchrone.
- systèmes d'atterrissages, navigation, altimètres, Communication.
- **Télécommunications** : - Antennes sur stations de bases.
- Téléphonie mobile (terminaux portatifs, DCS, PCS, GSM,..).
- **Satellites** : - Réseaux à faisceaux commutés à couverture reconfigurable.
- Systèmes de radiolocalisation par GPS, Galileo, Glonass.
- Télévision directe domestique ou embarquée sur véhicules.

III. Conclusion

Ce deuxième chapitre a divisé sur trois sections ; parties une sur les diviseurs de puissance, dans cette partie on a présenté une définition générale sur les diviseurs de puissance ou le combineur avec leur historique et leurs différents types aussi que ça topologie et leurs paramètres nécessaires qui sont les pertes d'insertion, pertes d'isolation et la directivité ainsi les avantages et les inconvénients d'un diviseur de puissance, pour la deuxième partie est sur les lignes micro ruban, en a définir globalement ces lignes en suite en a présentes ces différents Caractéristiques comme la vitesse de propagation, l'impédance caractéristique... ; puis ces pertes qui sont les pertes dans le conducteur, pertes dans le diélectrique, pertes de rayonnement, et la dispersion et on a finir par leurs avantages et leurs inconvénients. En fin la dernière partie s'intéresse sur le réseau d'antenne qui ce sont aussi des alimentations, que l'on a définir généralement ces alimentations et qu'elle contienne deux types (en série et en parallèle), mais qu'on a trois types des réseaux (réseau linéaire, réseau circulaire, et réseau planaire « rectangulaire et circulaire »), et en fin en a déterminé leur domaine d'application qui se fait en Aéronautique, en Télécommunication et en Satellite.

Bibliographies

- [1] R. Gomez-Garcia, R. Loeches-Sanchez, D. Psychogiou, and D. Peroulis, "Single/multiband Wilkinson-type power dividers with embedded transversal filtering sections and application to channelized filters," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I : Regular Papers*, vol. 62, no. 6, pp. 1518–1527, Jun. 2015.
- [2] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design* 1997.
- [3] Ming-Jyun Hou and Jeen-Sheen Row, Compact Circularly Polarized Microstrip Antenna for GPS Applications, *Microwave and Optical Technology Letters*, June 2014 ; 56(6) : 1293-1296.
- [4] E. J. Wilkinson, "An N-way hybrid power divider," *Microwave Theory and Techniques, IRE Transactions on*, vol. 8, no. 1, pp. 16- 18, 1960.
- [5] : Wuren, T., K. Taniya, I. Sakagami, and M. Tahara, "Miniaturization of 3- and 5-way Bagley polygon power dividers," *Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) Proceedings*, Vol. 4, Dec. 2005.
- [6] Daniel Courivaud-SIGTEL-Groupe ESIEE-2002.
- [7] <https://www.digikey.fr/fr/articles/the-fundamentals-of-rf-power-dividers-and-combiners>
- [8] E. J. WILKINSON, an N-Way Hybrid Power Divider. *IRE Transactions on Microwave Theory and Technique*. Vol. 8, pp. 1 16-118. January 1960.
- [9] K.-K. M. Cheng and P.-W. Li, "A novel power-divider design with unequal powerdividing ratio and simple layout," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 57, no. 6, pp. 1589–1594, Jun.2009..
- [10] Xi Wang, Ke-Li Wu, and Wen-Yan Yin, "A Compact Gysel Power Divider With Unequal Power-Dividing Ratio Using One Resistor" *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, VOL. 62, NO. 7, JULY 2014.
- [11] Deng, P., J. Guo, and W. Kuo, "New Wilkinson power dividers based on compact stepped-impedance transmission lines and shunt open stubs," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 123, 407{426, 2012.
- [12] TITTAFI Abdelhadi. MOULAY Saïd, « Etude et conception d'un diviseur de puissance bi-bande à quatre ports », mémoire de fin d'étude, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2019.
- [13] BOUTEHOULA Sarra, « Conception des Diviseurs Optimales à base de la Technologie SIW pour Télécommunication Spatiales. »,mémoire de fin d'étude, UNIVERSITÉ DE TLEMCEM, Juin 2015.

Chapitre II : Les diviseurs de puissances

- [14] Akaninyene B. Obot, Gabriel A. Igwe, Kufre M. Udofia, « Design and Simulation of Rectangular Microstrip Antenna Arrays for Improved Gain Performance », University of Uyo, Uyo, Akwa Ibom State, University of Agriculture, Makurdi, Benue State, Nigeria, 2019.
- [15] A.V. Vorst, D. Vanhoenacker-Janvier Bases de l'ingénierie micro-onde De Boeck & Larcier s.a, 1996.
- [16] R. N. Simons Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems John Wiley & Sons, 2001
- [17] H. R. Kaup Characteristics of microstrip transmission lines IEEE Transactions on Computer, avril 1967
- [18] R.J.Mailloux Phased Array Antenna Handbook, Second Edition Artech House, Inc, 2005
- [19] W.K. CHEN The Electrical Engineering Handbook Elsevier Inc, 2004.
- [20] T.A. Milligan Modern Antenna Design, second edition John Wiley & Sons, Inc, 2005
- [21] J.L. Allen A theoretical Limitation on the Formation of Lossless Multiple Beams in Linear Arrays IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 9, No. 7, pp. 350-352, Juillet 1961.
- [22] D. E. N. Davies Circular Arrays: Their Properties and Potential Applications IEE Second International Conference on Antennas and Propagation, pp. 1–10, April 1981.
- [23] O. A. Civil, P. H. Pathak, P. Janpugdee' and B. A. Mu Surface Waves On A Finite Planar Dipole Array In Free Space IEEE Trans. Antenna Propogate pp 78-81, 2002
- [24] W.K. CHEN The Electrical Engineering Handbook Elsevier Inc, 2004.

Chapitre 3

CONCEPTION ET SIMULATION D'UN RESEAU D'ANTENNE POUR LA 5G



III.1 PRESENTATION DU LOGICIEL CST MICROWAVE STUDIO

III.1.1 Introduction

En 1992, le logiciel de simulation électromagnétique en 3D le CST STUDIO SUITE est l'aboutissement de nombreuses années de recherches et de développements dans les solutions les plus efficaces et précises de calcul pour la conception électromagnétique. CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passive en 3 dimensions basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3D 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.

L'infrastructure SAM peut servir à analyser et à optimiser un équipement entier constitué de plusieurs composants individuels. Ceux-ci sont décrits par des quantités physiques pertinentes, comme les courants, les champs ou les paramètres S. L'infrastructure SAM permet d'utiliser la technologie de solveur la plus efficace pour chaque composant. Elle aide les utilisateurs à comparer les résultats de différents solveurs ou configurations de modèle dans un même projet de simulation, et se charge automatiquement du post-traitement. SAM facilite la configuration d'une séquence liée d'exécutions de solveur dans le cadre des simulations hybrides et multi-physiques. Par exemple, en utilisant les résultats d'une simulation EM pour calculer les effets thermiques, puis la déformation de la structure, puis une autre simulation EM pour analyser les dérèglements.

L'interface avec ruban présente des onglets qui contiennent tous les outils et toutes les options nécessaires pour configurer, exécuter et analyser une simulation. Ils sont regroupés suivant leur position dans le flux de travail. Les onglets contextuels contiennent les options les plus pertinentes à portées de clic. En outre, le Project Wizard et le QuickStart Guide guident les nouveaux utilisateurs offrent un accès à une vaste gamme de fonctionnalités. L'outil de modélisation 3D interactif, au cœur de l'interface, utilise le noyau de CAO 3D ACIS. Ce puissant outil permet de construire des modèles complexes au sein de CST Studio Suite et de modifier leurs paramètres via une simple approche WYSIWYG.

CST Studio Suite permet aux utilisateurs d'accéder à de nombreux solveurs de simulation électromagnétique qui utilisent des méthodes telles que la méthode des éléments finis, la technique d'intégration finie et la matrice des lignes de transmission. Il s'agit des solveurs généraux les plus puissants pour les tâches de simulation à haute fréquence. Des solveurs supplémentaires pour les applications spécialisées dans les hautes fréquences comme les structures de grandes tailles par rapport à la longueur d'ondes ou les structures hautement résonnantes complètent les solveurs généraux. CST Studio Suite comprend des solveurs FEM dédiés aux applications de basse fréquence ou de fréquence statique comme des équipements électromécaniques, des transformateurs ou des capteurs.

III.1.2 Objectif

L'objectif de ce chapitre est de concevoir une antenne patch qui doit fonctionner à la fréquence de résonance 26 GHz, avec un coefficient de réflexion au-dessous de -10dB. Alors on doit calculer les paramètres de l'antenne avant la simulation les caractéristiques internes (les paramètres S, la fréquence de résonance, la bande passante), et les caractéristiques Radio électrique (le gain, la directivité, la polarisation et le diagramme de rayonnement dans le plan E et H).

Une méthodologie a été mise en place pour la conception de l'antenne patch rectangulaire celle-ci consiste à :

- Calculer les dimensions théoriques du patch réaliser à la fréquence désirée.
- Optimiser l'adaptation de l'antenne par des encoches.
- Faire une simulation sous logiciel CST Microwave Studio.
- Vérifier les performances de l'antenne tel que l'adaptation, le gain, la directivité.
- Amélioration du gain par un réseau d'antenne.

III.2 CONCEPTION ET SIMULATION D'UNE ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE POUR LA 5G

III.2.1 Cahier des charges

Ce projet consiste à réaliser une antenne patch microstrip à la fréquence de 26 GHz. Le cahier des charges nous impose les paramètres suivantes :

- Permittivité diélectrique du substrat (Rogers RT5880 ; $\epsilon_r = 2.2$).
- Hauteur du substrat diélectrique : $h_s = 0.508mm$.
- Fréquence de résonance que l'on désire : $f_r = 26 GHz$.
- Adaptation à 50 Ohm.
- Alimentation par ligne microstrip.
- Epaisseur de la métallisation : $h_c = 0.035mm$.

III.2.2 Outils de simulation

Plusieurs logiciels commerciaux sont utilisés pour simuler le comportement des structures planaires et étudier leurs performances. Parmi ces logiciels on peut citer le logiciel CST (Computer Simulation Technology) et le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator).

III.2.3 Calcul théorique des dimensions et caractéristiques de l'antenne

III.2.3.1 Calculs théorique des dimensions de l'antenne patch rectangulaire

Dans les calculs qui suivent nous allons utiliser la permittivité du substrat $\epsilon_r = 2.2$ son épaisseur est de $h=0.0508 \text{ mm}$, le choix de ces valeurs va traiter l'influence des caractéristiques du substrat sur les performances de l'antenne.

- **Calcule de la largeur W_p du patch :** La formule (1.20) permet de calculer la largeur du patch travaillant à la fréquence de résonance 26 GHz. Cette formule permet d'optimiser le rayonnement et de limiter les modes d'ordres supérieurs.

$$W_p = \frac{c}{2f_r} \cdot \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = 4.56 \text{ mm.}$$

- **Calcule la longueur de patch (L_p) :** d'après l'équation (1.26)

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L.$$

- a. Calcule la longueur efficace L_{eff} :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}}.$$

- b. Calcule de constants diélectriques effectifs ϵ_{eff} :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \cdot [1 + 12 \cdot \frac{h}{w}]^{-1/2} = 1.9924.$$

$$\text{Donc : } L_{eff} = 4.087 \text{ mm.}$$

- c. Extension de longueur (ΔL) : d'après la relation (1.24)

$$\Delta L = 0.2614 \text{ mm.}$$

Alors la longueur du patch est : $L_p = 3.5642 \text{ mm.}$

- **Calcule de longueur d'alimentation (L_f) :**

$$L_f = \frac{c}{2f} = 5.77 \text{ mm.}$$

- **Calcule de longueur de substrat (L_g) :**

$$L_g = L_p + 6 \cdot h + L_f = 12.378 \text{ mm.}$$

- **Calcule la largeur du substrat (w_g) :**

$$w_g = w_p + 6 \cdot h = 7.608 \text{ mm.}$$

- **Calcul la largeur de la ligne d'alimentation (w_f) avec $Z_c=50\Omega$:**

➤ On utilise le calculateur CST pour calculer la largeur de l'alimentation : $w_f = 1.578mm$.

L'outil « MicrostripAnalysis/SynthesisCalculator » sera utilisé afin d'accélérer le processus pour avoir une impédance à 50Ω .

Le tableau III.1 représente les paramètres de l'antenne patch.

$w_p(mm)$	ϵ_e	$L_e(mm)$	$\Delta L(mm)$	L_p	L_f	w_f	L_g	w_g
4.56	1.9924	4.087	0.2614	3.5642	5.77	1.578	12.378	7.608

Tableau 2:Dimensions des paramètres de l'antenne patch.

III.3 RESULTATS DE CONCEPTION ET DE SIMULATION DE L'ANTENNE PATCH

III.3.1 Conception d'une antenne patch rectangulaire initiale

Maintenant puisque toutes les dimensions sont calculées, on peut représenter l'antenne patch sous CST à la fréquence 26 GHz qui représente l'une des fréquences utilisées pour la 5G.

La figure (28) représente une antenne patch rectangulaire sans encoches.

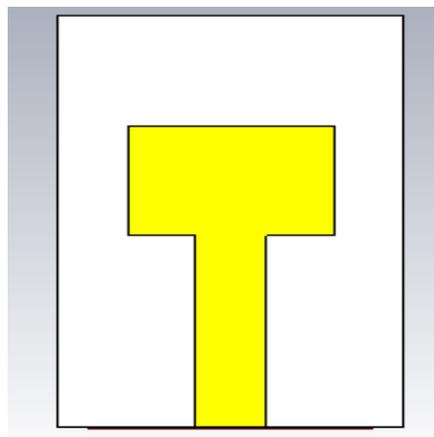


Figure 28:Une antenne patch rectangulaire sans encoches.

La figure (29) représente le résultat de simulation du coefficient de réflexion S_{11} qui est de l'ordre de **-4.2 dB** pour une fréquence de résonance de **27.5 GHz**.

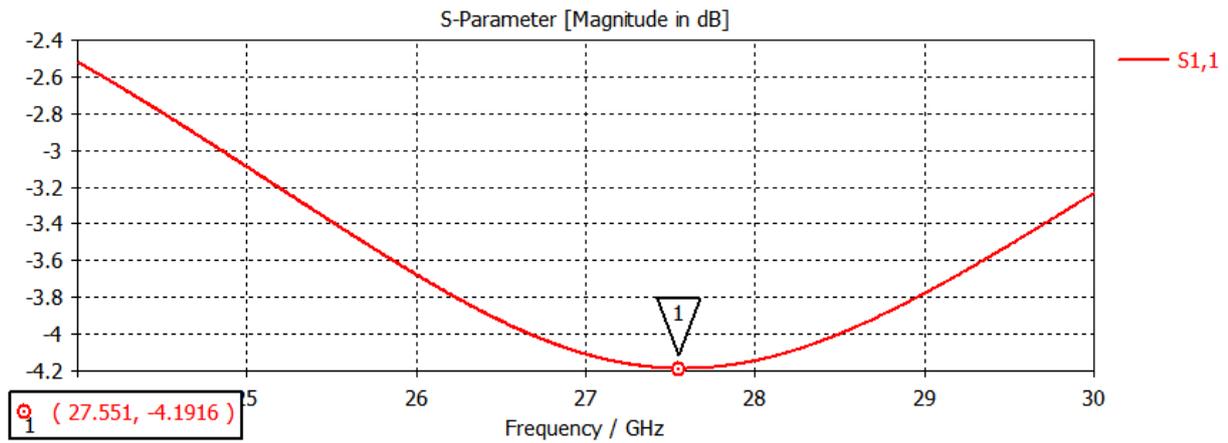


Figure 29: Coefficient S11 de l'antenne patch sans encoches en fonction de la fréquence.

➤ Le gain et la directivité de l'antenne initiale

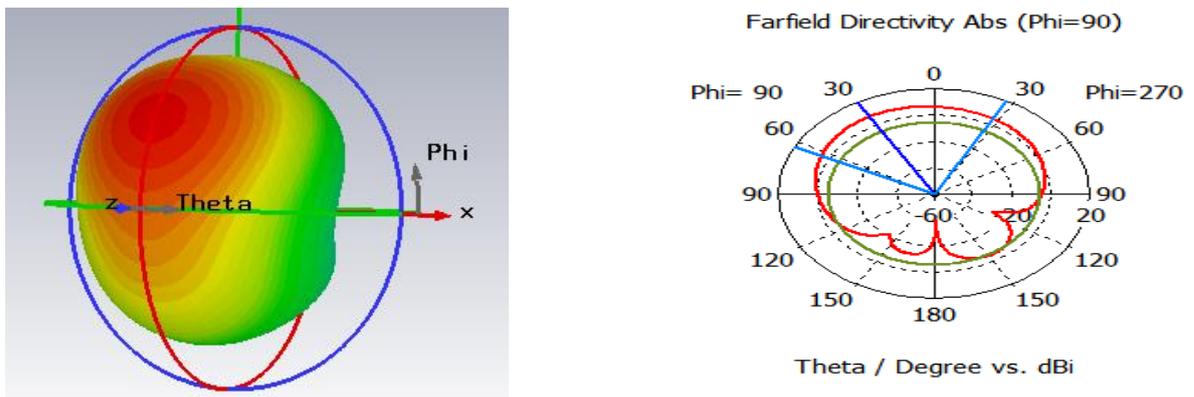


Figure 30: Directivité de l'antenne patch initiale. ('a' -En 3D et 'b' -diagramme de la directivité en 2D).

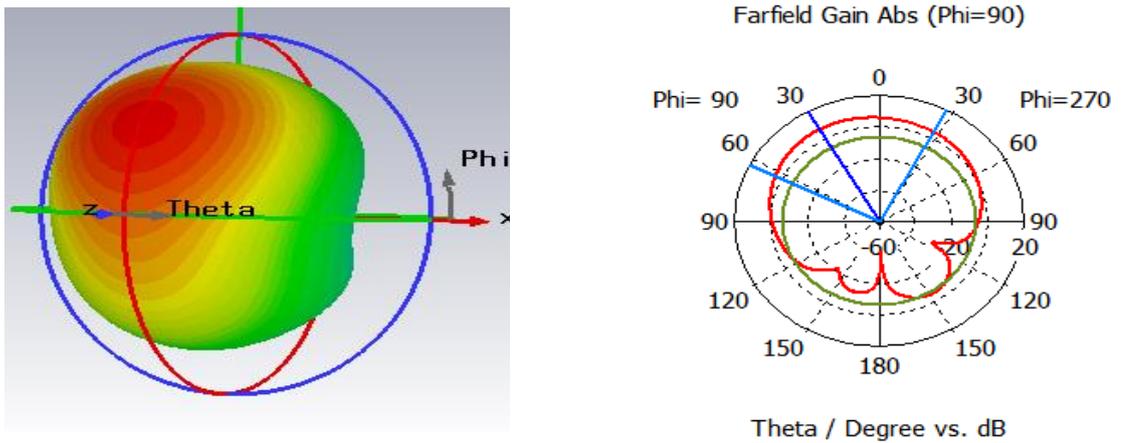


Figure 31:le gain d'une antenne patch initiale ; ('a'-En 3D et 'b'-diagramme de la directivité en 2D).

Avant l'adaptation de l'antenne patch on a obtenu un gain de **6.88 dB** et une directivité de **7.4 dBi** à la fréquence **27.57GHz**.

III.3.2 Conception de l'antenne patch rectangulaire avec encoches

Cette antenne n'est plus adaptée pour cette raison on a décidé de faire des encoches, la figure (32) représente une antenne patch avec encoches.

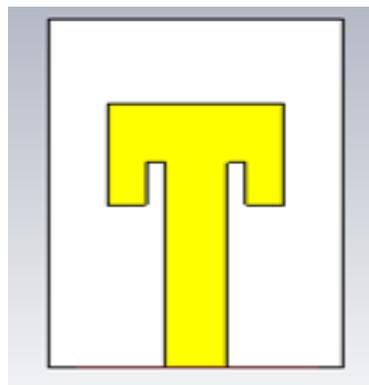


Figure 32:Antenne patch avec encoches.

La figure (33) représente le résultat de simulation du coefficient **S11** qui est de l'ordre de **-0.83 dB** pour une fréquence de résonance de **24.3 GHz**.

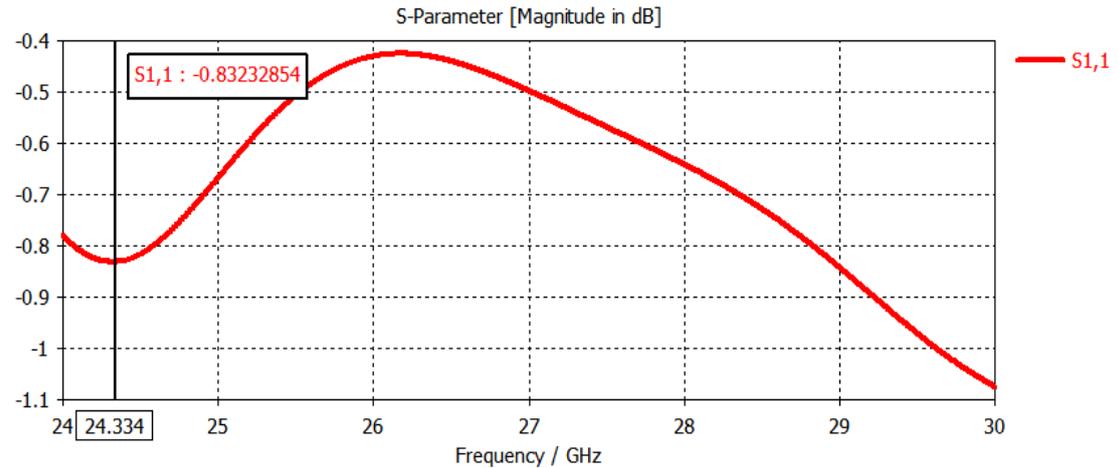


Figure 33: Coefficient S₁₁ de l'antenne patch avec encoches en fonction de la fréquence.

III.3.3 Conception de l'antenne patch rectangulaire quart d'onde sans encoches

On n'a pas eu une bonne adaptation de cette antenne alors on a ajouté une ligne quart d'onde mais et on a supprimé les encoches comme présenté sur la figure (34).

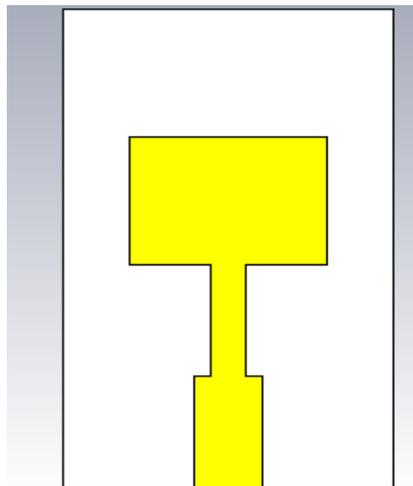


Figure 34: Antenne patch rectangulaire quart d'onde sans encoches.

La figure (34) représente le résultat de simulation du coefficient **S₁₁** qui est de l'ordre de **-9dB** pour une fréquence de résonance de **25.98GHz**.

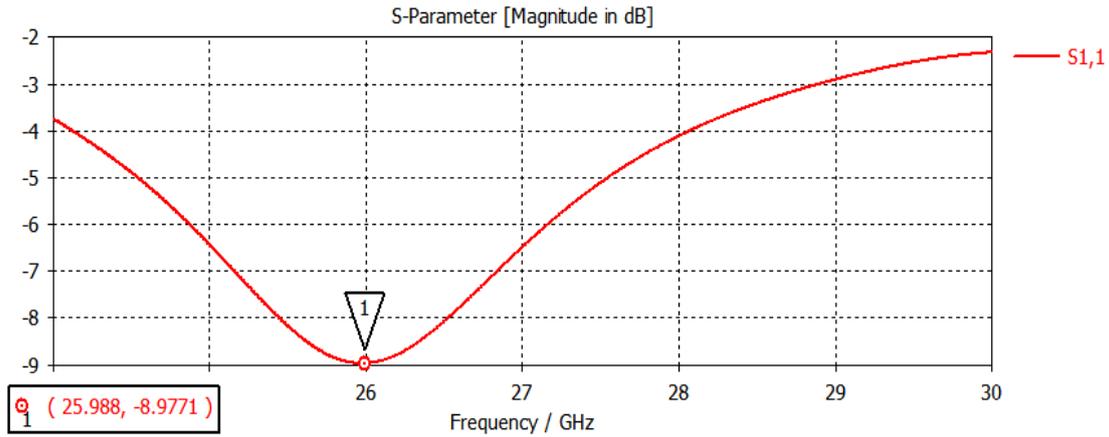


Figure 35: Coefficient S₁₁ de l'antenne patch quart d'onde sans encoches en fonction de la fréquence.

On constate une certaine adaptation du pic de résonance à la fréquence 26GHz.

III.3.4 Conception d'une antenne patch rectangulaire quart d'onde avec encoches

Après amélioration de l'antenne à la fréquence souhaitée par une ligne quart d'onde, on a rajouté de nouveau des encoches, comme présenter à la figure (36).

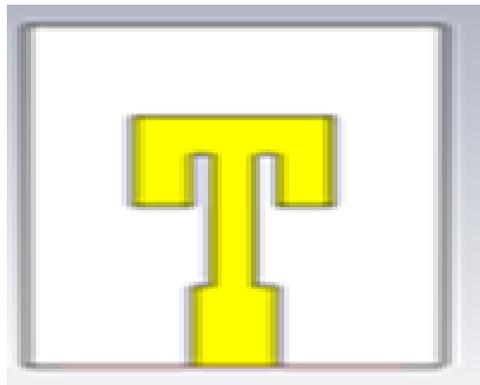


Figure 36: Antenne patch rectangulaire quart d'onde avec encoches.

La figure (36) représente le résultat de simulation du coefficient S₁₁ qui est de l'ordre de **-4.19dB** pour une fréquence de résonance de **26.005GHz**.

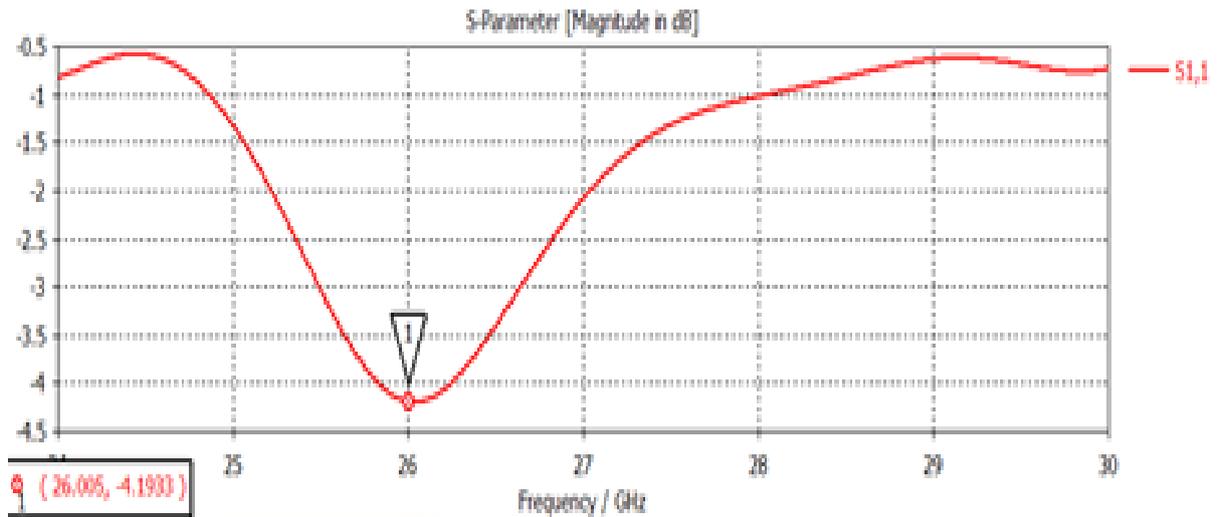


Figure 37: Coefficient S11 de l'antenne patch quart d'onde avec encoches en fonction de la fréquence.

On remarque que la fréquence est déplacée à $f_r = 26\text{GHz}$, mais pour le paramétré S11 a été diminuer S11 = -4.5dB. Pour cela on a ajouté doubles encoches pour améliorer le paramètre S11 et obtenir une bonne adaptation.

III.3.5 Conception de l'antenne patch rectangulaire quart d'onde avec double encoches

Pour avoir une bonne adaptation on a ajouté doubles encoches à la ligne quart d'onde suivant la figure (38)

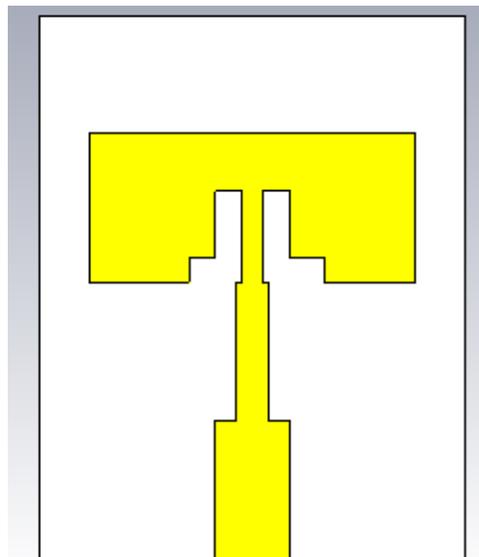


Figure 38: Antenne patch rectangulaire quart d'onde avec double encoches.

La figure (39) représente le résultat de simulation du coefficient **S11** qui est de l'ordre de **-7dB** pour une fréquence de résonance de **26.27GHz**.

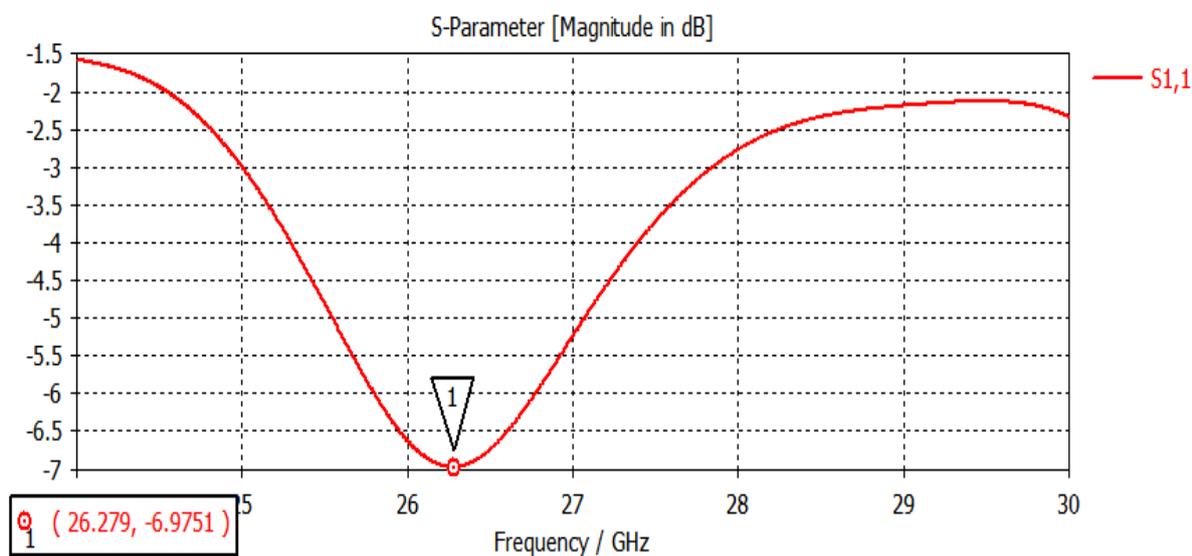


Figure 39: Coefficient S11 de l'antenne patch quart d'onde avec double encoches en fonction de la fréquence.

On remarque une petite amélioration du coefficient de réflexion S11.

III.3.5 Conception d'une antenne patch rectangulaire quart d'onde avec triple encoches et fentes sur patch

Pour but d'augmentation du paramètre S11 on a ajouté des fentes sur cette antenne, comme présenté sur la figure (40).

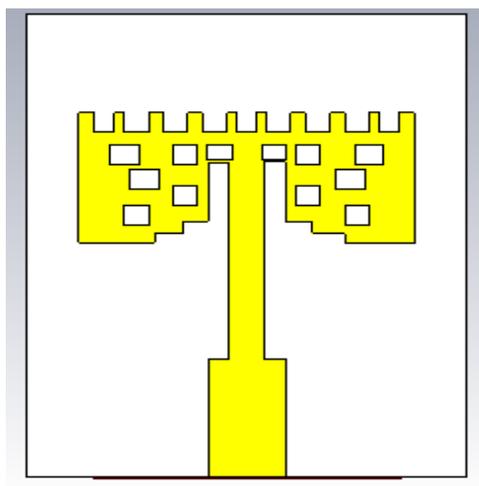


Figure 40: Antenne patch rectangulaire quart d'onde avec triple encoches et fentes sur patch.

La figure (41) représente le résultat de simulation du coefficient **S11** qui est de l'ordre de **-74.78dB** à la fréquence de résonance **26.08GHz**.

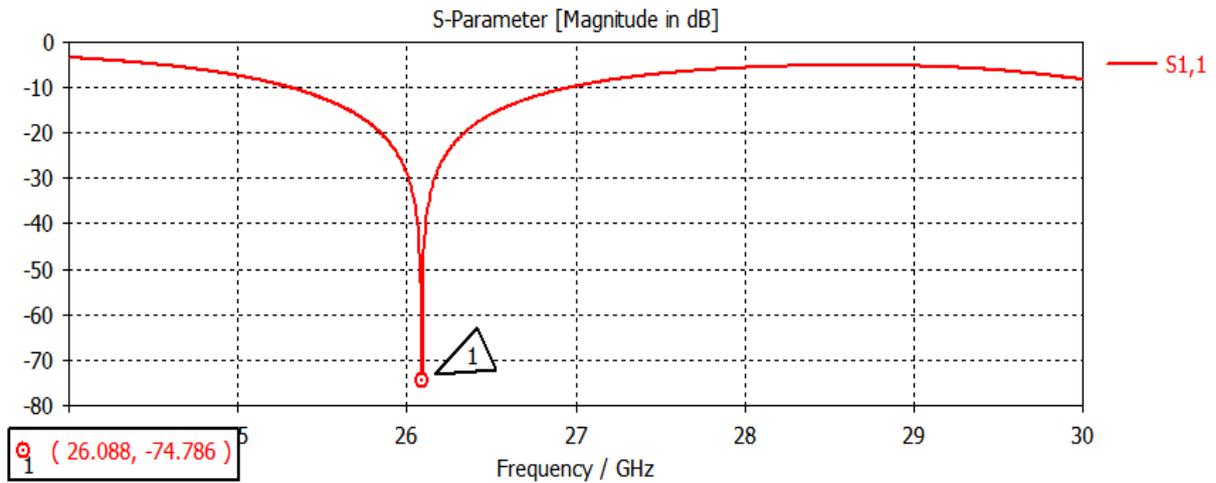


Figure 41: Coefficient S11 de l'antenne patch quart d'onde avec triple encoches et fentes sur patch en fonction de la fréquence.

On a obtenu un meilleur résultat avec une bande passante **BP=1570.8MHz** après plusieurs itérations et modifications des paramètres de l'antenne, comme montré sur la figure (42)

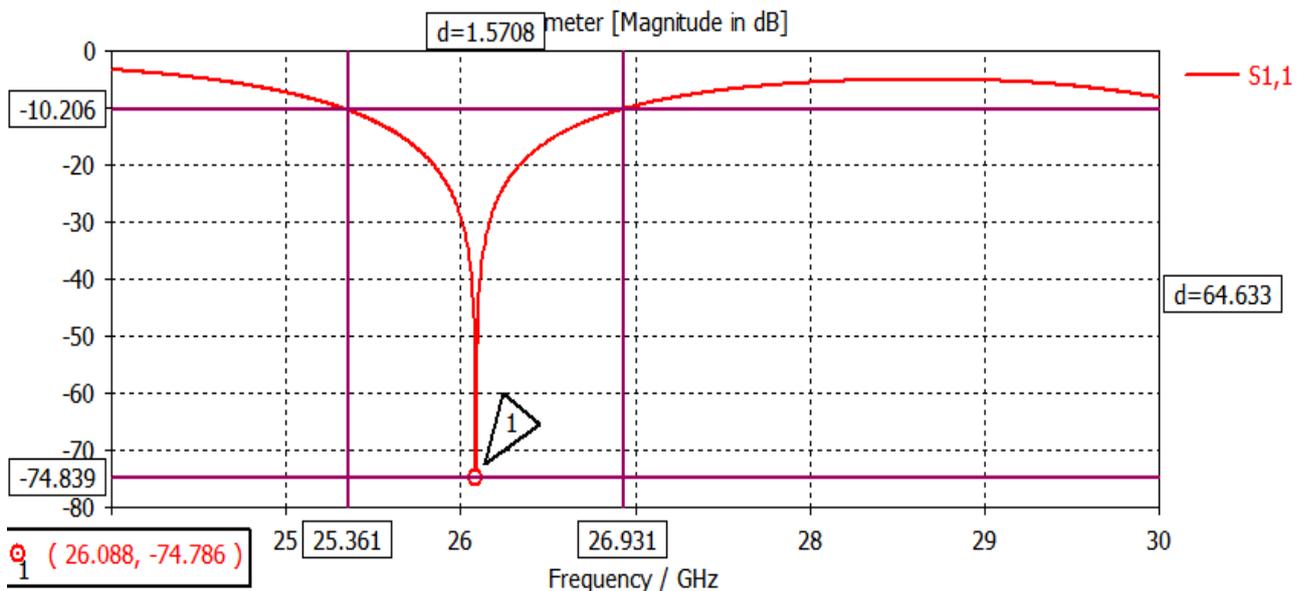


Figure 42: la bande passante de l'antenne patch quart d'onde avec triples encoches et fentes en fonction de la fréquence.

- **Diagramme de rayonnement (gain et directivité) de l'antenne adaptée à la fréquence 26GHz**

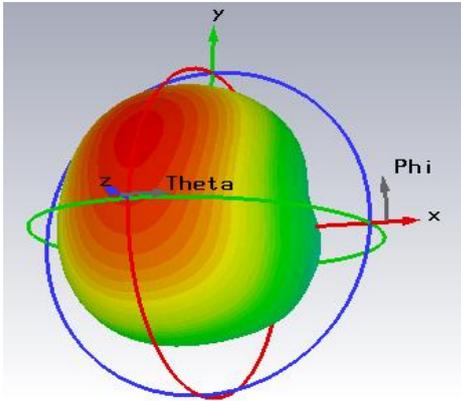


Diagramme de gain en 3D.

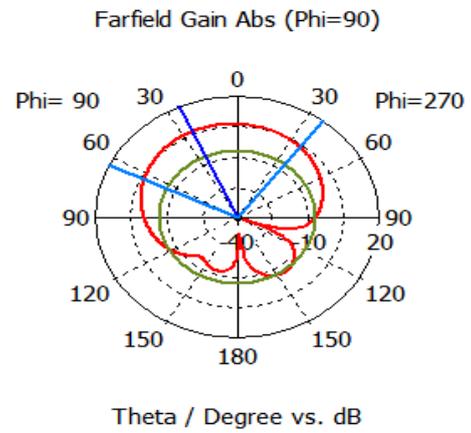


Diagramme du gain en polaire.

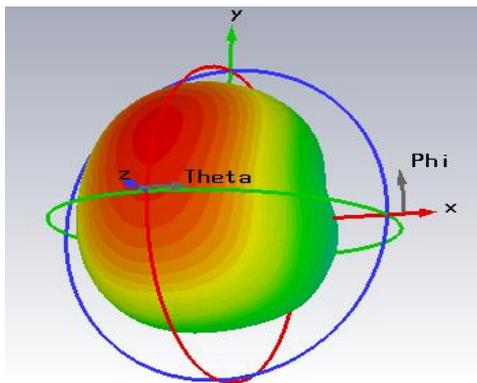


Diagramme de la directivité en 3D.

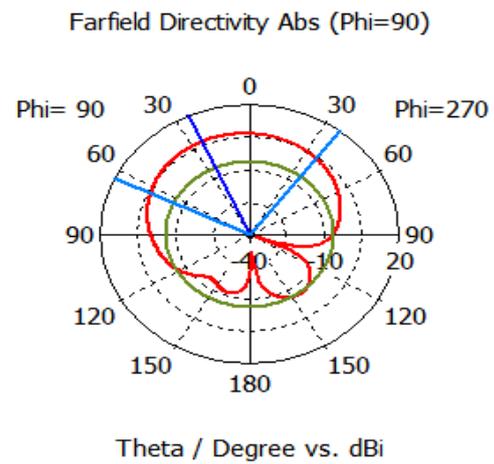


Diagramme de la directivité en polaire.

Après adaptation de l'antenne patch on a obtenu des résultats satisfaisants du gain qui est égale à **6.62dB** et de la directivité qui est de l'ordre de **6.99dBi**.

➤ **Taux d'onde stationnaire VSWR**

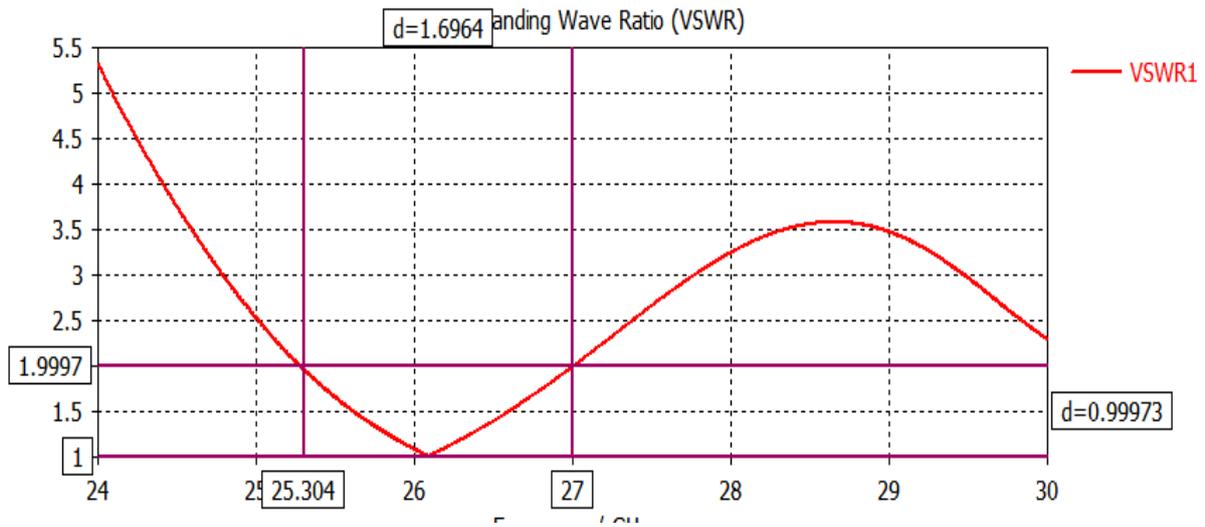


Figure 43: Diagramme du Taux d'onde Stationnaire VSWR.

On constate que le diagramme du taux d'onde stationnaire VSWR est compris entre 1 et 2 ce qui montre un bon résultat de rayonnement de l'antenne.

Par la suite, nous allons concevoir un réseau d'antenne à 2 éléments 2×1 puis à 4 éléments 4×1.

III.4 RESULTATS DE CONCEPTION ET DE SIMULATION DE RESEAUX ANTENNES 2×1

Afin de concrétiser notre travail on a étudié un réseau d'antennes patch à 2 éléments placé sur une jonction T (diviseur de puissance) fonctionnant à la fréquence de résonance 10GHz, les résultats obtenus sont satisfaisants et adéquat à l'article [1].

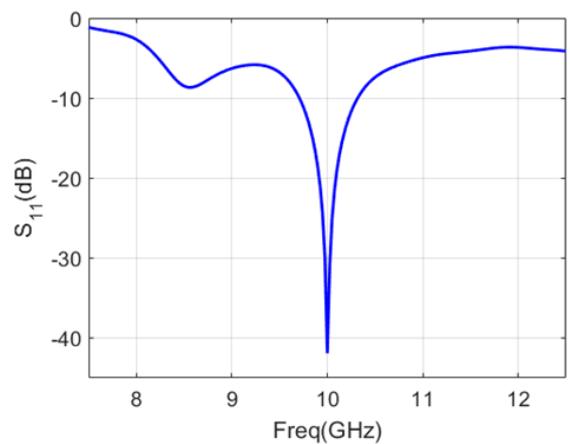
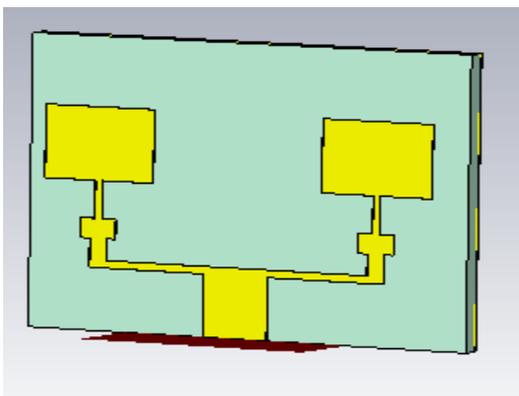


Figure 44: Réseau d'antenne à 2 éléments rayonnant à la fréquence 10GH. [1]

Pour obtenir un diviseur de puissance sous forme d'une jonction T est qui rayonne bien, alors il faut suivre des étapes suivantes :

- L'impédance d'entrée de la première alimentation $Z_0 = 50\Omega$.
- La deuxième branche d'alimentation a une impédance $Z_1 = 100\Omega$ avec : $Z_0 = n Z_s$

Avec : n : est le nombre de branches.

Z_0 : est l'impédance d'entrée.

Z_s : est l'impédance de sortie.

Donc : $Z_1 = 2 \times 50 = 100\Omega$.

La troisième branche d'alimentation c'est un quart d'onde $Z_Q = 75\Omega$. Avec : $Z_Q = \sqrt{Z_0 Z_1}$

Pour faciliter les calculs de la longueur et de la largeur de chaque ligne d'alimentation on a utilisé le programme « Microstrip Line Calculator ». Les paramètres des lignes micro ruban de la jonction T sont données sur le tableau III.2.

$w_{50\Omega}$	$L_{50\Omega}$	$w_{75\Omega}$	$L_{75\Omega}$	$w_{100\Omega}$	$L_{100\Omega}$
1.5652	4.6248	0.80825	4.71018	0.4552	4.7728

Tableau 3:Dimensions des paramètres des lignes micro ruban de la jonction T.

Cette nouvelle technique du diviseur a pour but d'augmentation le gain et la directivité, et d'améliorer le résultat du paramètre S11, afin obtenir un bon rayonnement du réseau d'antenne 2x1.

Avec L : longueur de la ligne et W : largeur de la ligne.

III.4.1 Conception et simulation des réseaux antennes 2×1 avant adaptation

La figure 44 représente un réseau d'antenne 2×1 avant adaptation.

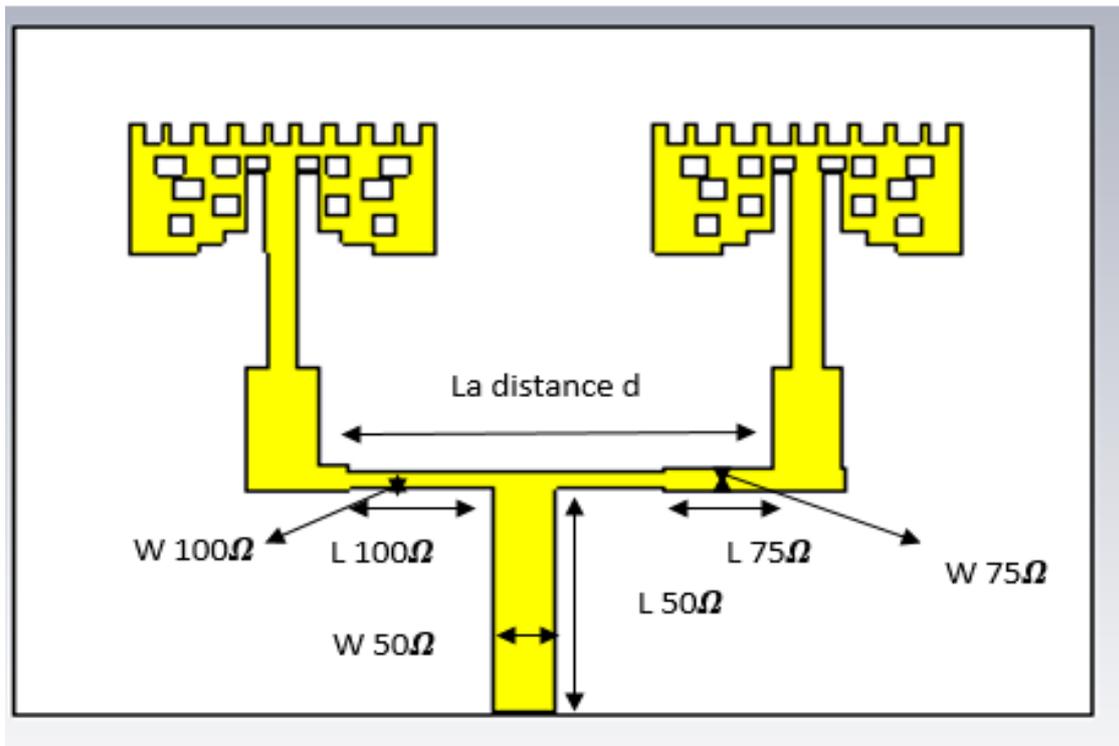


Figure 45: Réseau d'antenne 2×1 avant adaptation.

La figure (45) représente le résultat de simulation du coefficient S_{11} qui est de l'ordre de -33.55 dB pour une fréquence de résonance de 26.57 GHz, avec une distance entre éléments

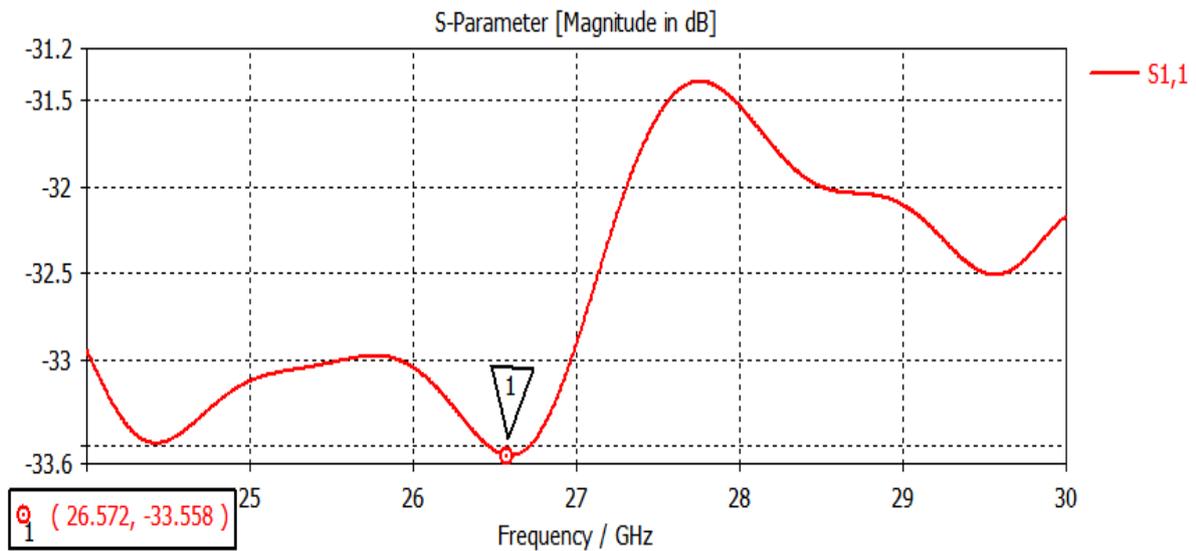


Figure 46: Coefficient S_{11} du réseau d'antenne 2×1 avant adaptation.

➤ **Gain et la directivité d'un réseau d'antenne 2×1 avant adaptation**

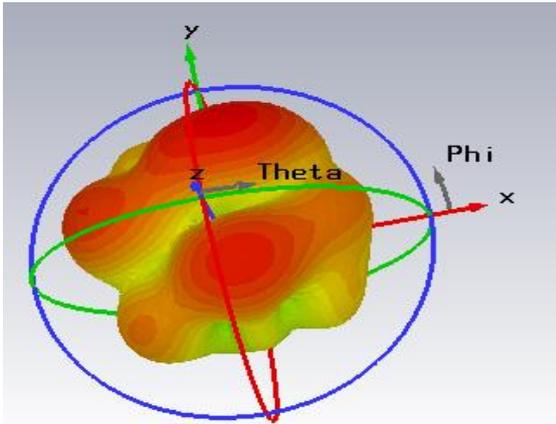


Diagramme de gain en 3D.

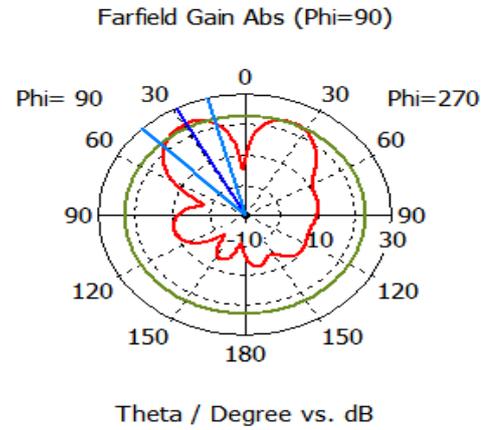


Diagramme de gain en 3D.

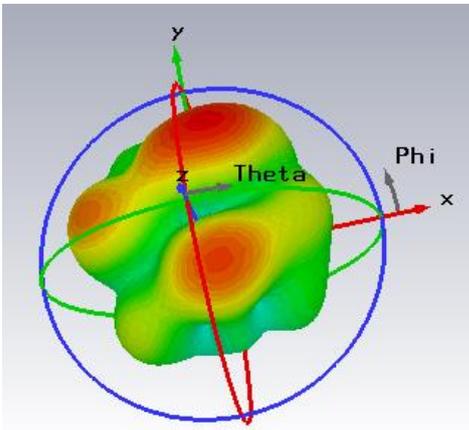


Diagramme de la directivité en 3D.

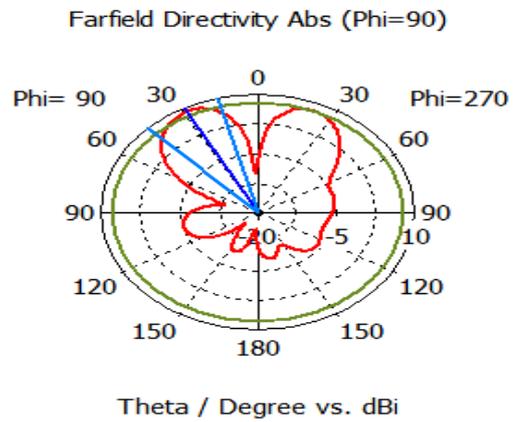


Diagramme de la directivité en polaire.

Avant adaptation on a obtenu un gain égal à **24.7dB** et une directivité égale à **9.49dBi**. Après une étude paramétrique du paramètre 'd' qui correspond à la distance entre les antennes on a obtenu un résultat satisfaisant.

III.4.2 Conception et de simulation du réseau d'antennes 2×1 après adaptation

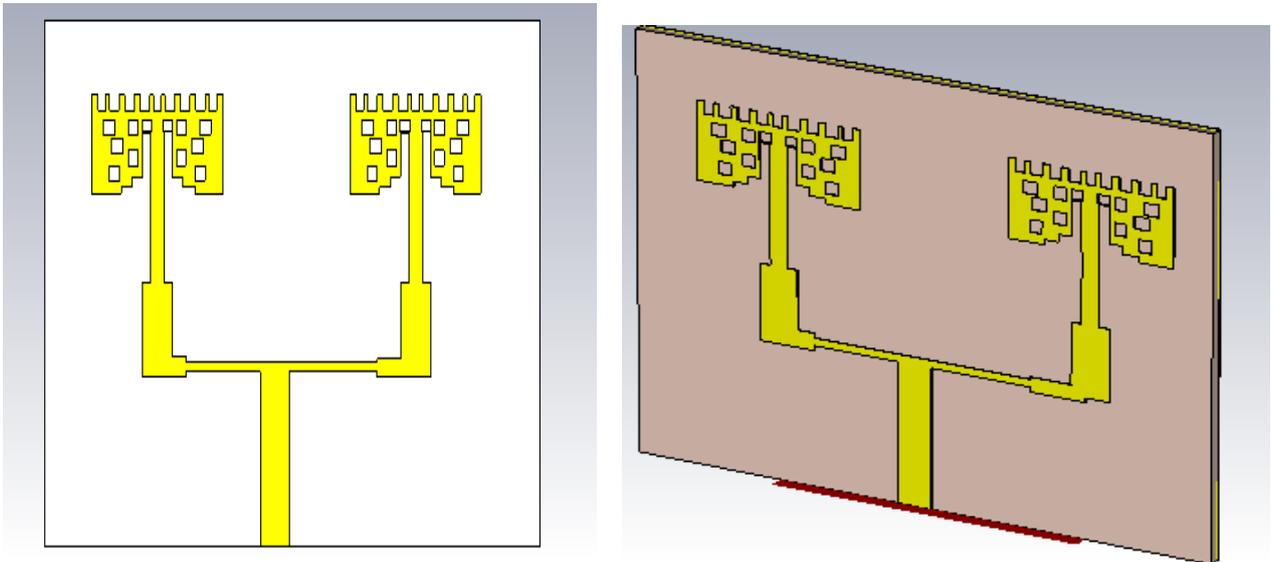


Figure 47: Réseau d'antenne 2×1.

La figure (47) représente le résultat de simulation du coefficient S_{11} qui est de l'ordre de -54.921 dB pour une fréquence de résonance de 26 GHz avec une distance $d=13$ mm.

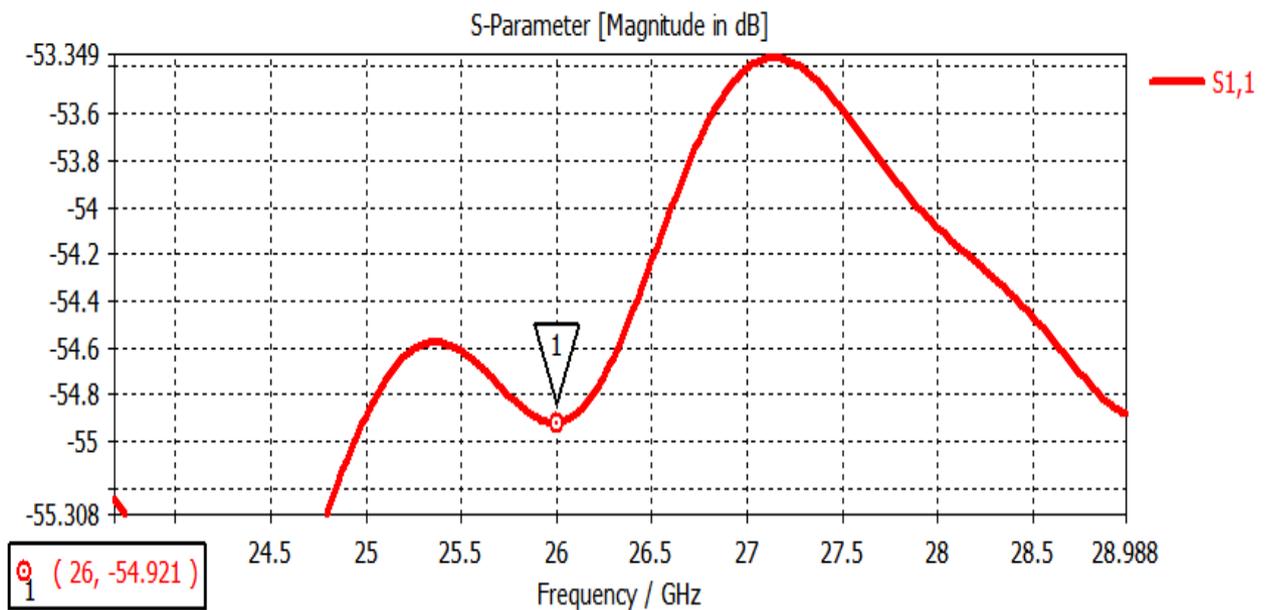
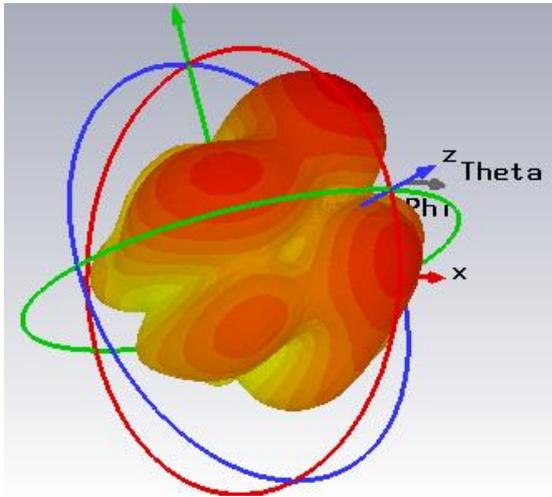
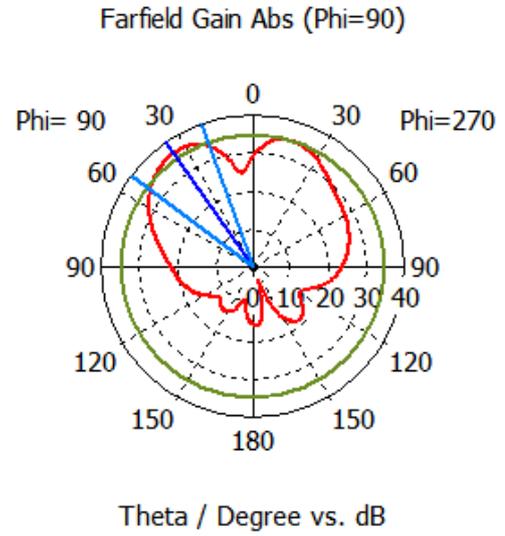


Figure 48: Coefficient S_{11} du réseau d'antenne 2×1.

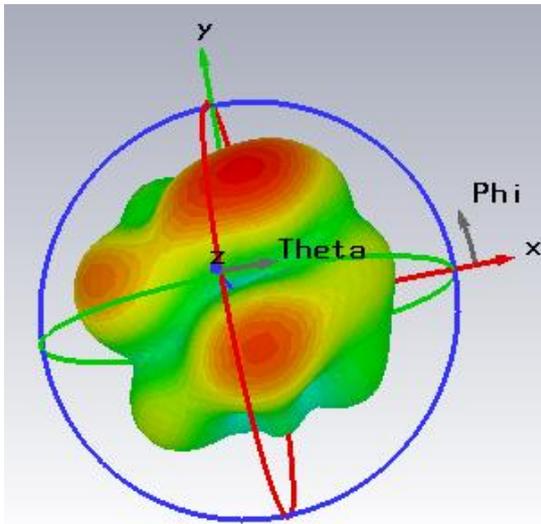
➤ Gain et la directivité du réseau d'antenne 2×1



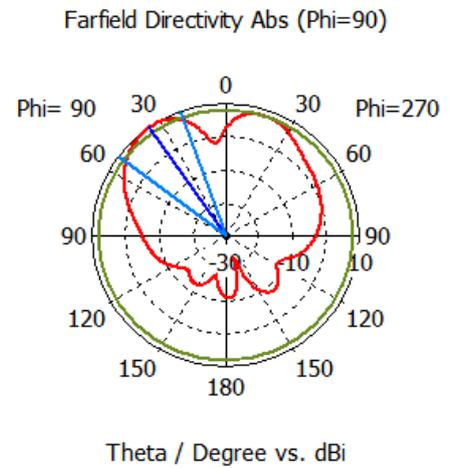
Le diagramme de gain en 3D



Le diagramme de gain en polaire



Le diagramme de la directivité en 3D



Le diagramme de la directivité en polaire

Avant adaptation on a obtenu un gain égal à **37dB** et une directivité égale à **10.4dBi**. On remarque qu'il existe d'autres pics de résonances qui définissent d'autres domaines d'applications comme montré sur la figure suivante.

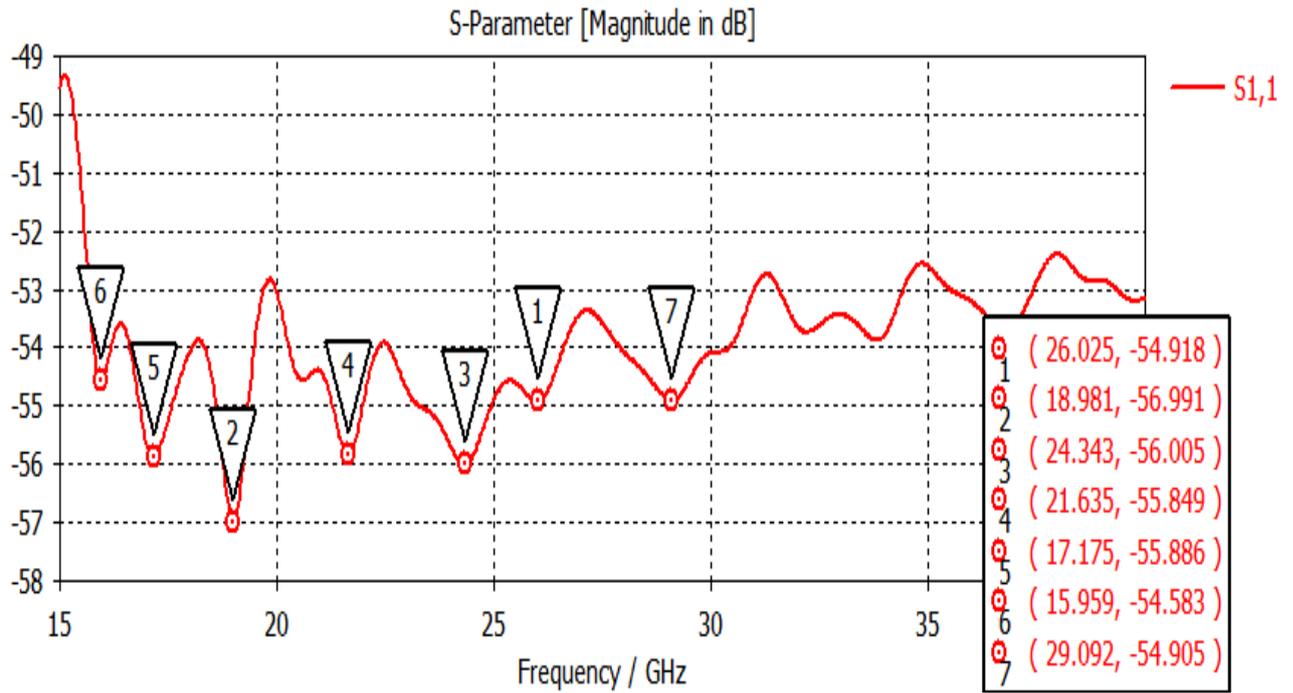


Figure 49:coefficient S11 d'une rame de rayonnement.

Ces résultats présentent un avantage pour notre antenne car les ondes millimétriques (millimètres Waves) sont de nouvelles gammes de fréquence utilisées pour la 5G situées dans un spectre entre [30-300] GHz et aussi entre [24-30] GHz dans le domaine de la 5G. Elles permettent un meilleur débit au détriment de la portée et la capacité à traverser les murs. Aussi leur bande passante est supérieure à 800MHz. Par conséquent, notre antenne est une antenne multi-bande.

Donc les pics 1, 3, 4 et 7 rayonnent toujours dans la 5G et pour les pics 2, 5, et 6 rayonnent dans d'autres domaines d'applications des télécommunications.

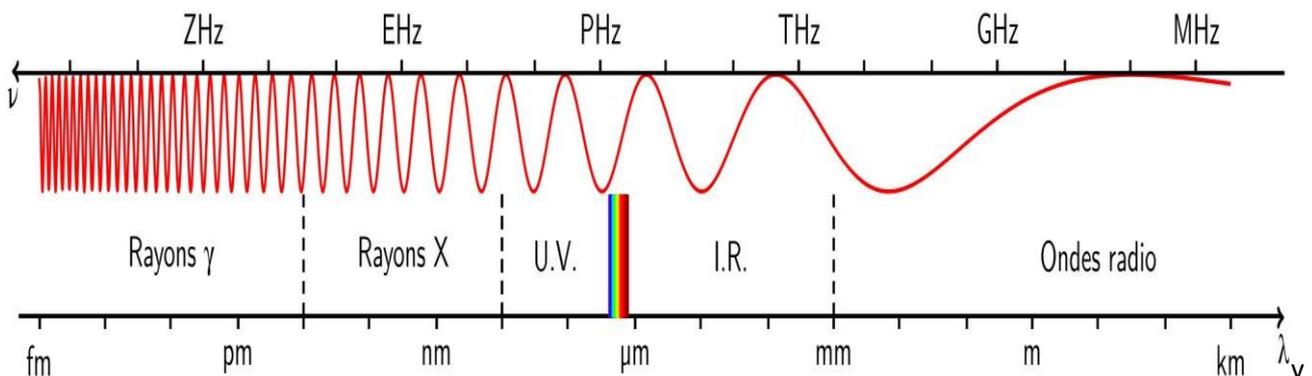


Figure 50:représentation de toutes les gammes de fréquences utilisées dans le domaine de télécommunication.

On remarque : ton que la fréquence s'étoite et tond verts les hyperfréquences les ondes devient millimétriques.

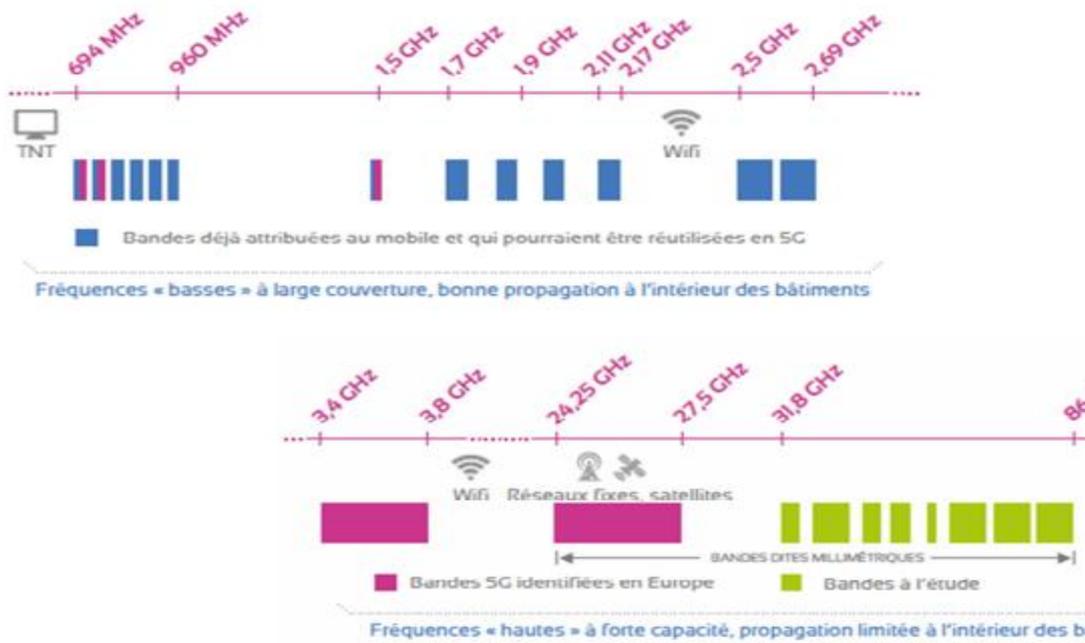


Figure 51:domaine fréquentiel de la 5G, WI-FI, TNT, Satellites.

III.5 Résultats de conception et de simulation du réseau d'antennes 4×1

III.5.1 Résultats de conception et de simulation du réseau d'antennes 4×1 avant adaptation

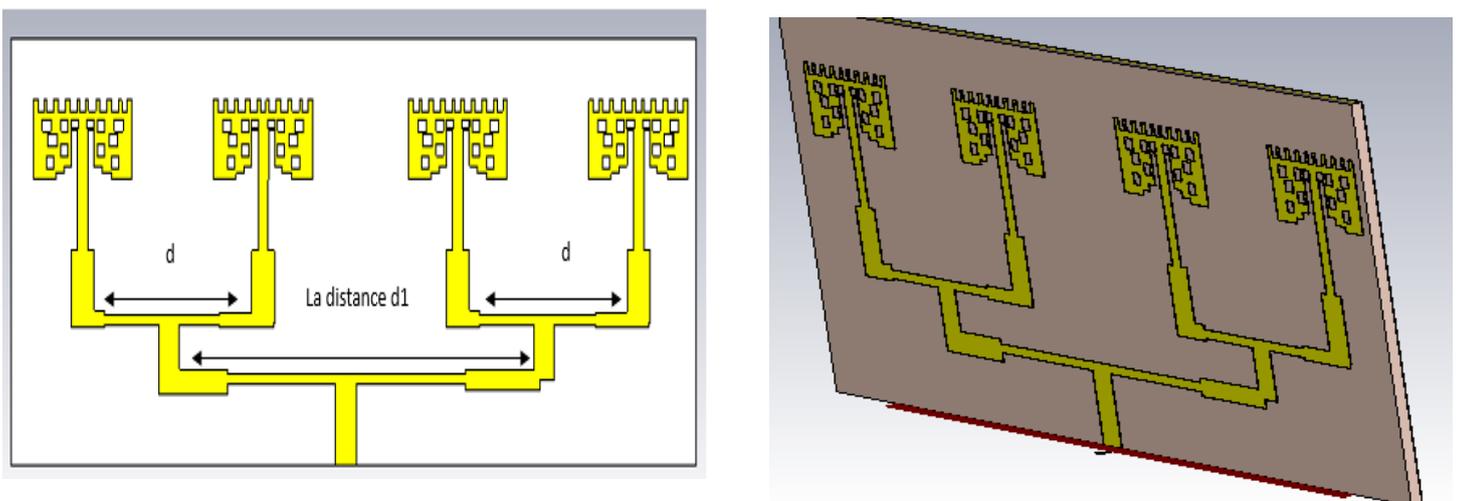


Figure 52: Réseau d'antenne 4×1.

La figure (53) représente le résultat de simulation du coefficient **S11** qui est de l'ordre de **-52.107 dB** pour une fréquence de résonance de **26 GHz** avec une distance **d=12.5mm** et **d1=26mm**.

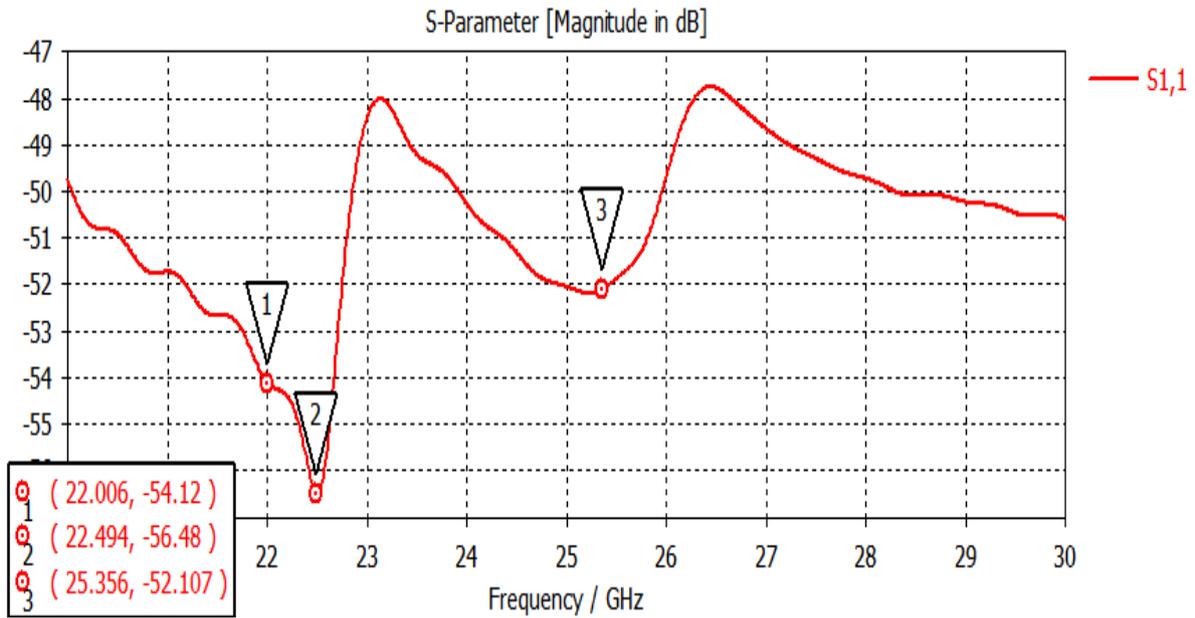


Figure 53: Coefficient S11 du réseau d'antenne 4×1 avant adaptation.

III.5.2 Résultats de conception et de simulation du réseau d'antennes 4×1 après adaptation

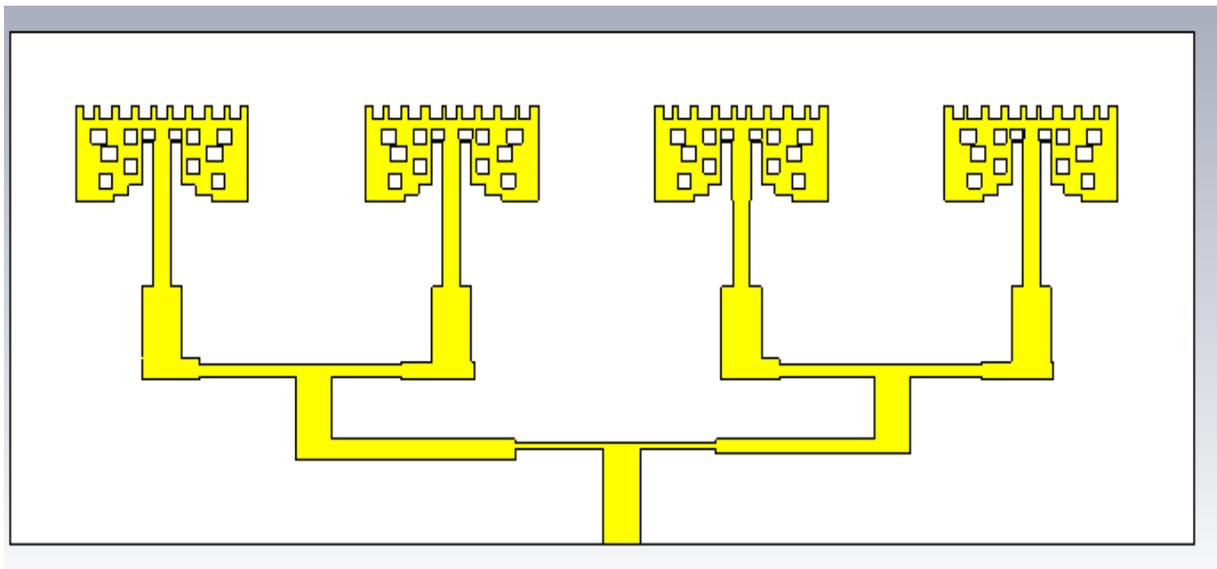


Figure 54: Réseau d'antenne 4×1 après adaptation.

La figure (55) représente le résultat de simulation du coefficient **S11** qui est de l'ordre de **-53.60dB** pour une fréquence de résonance de **26.40GHz** avec une distance **d=11.5mm** et **d1=23mm**.

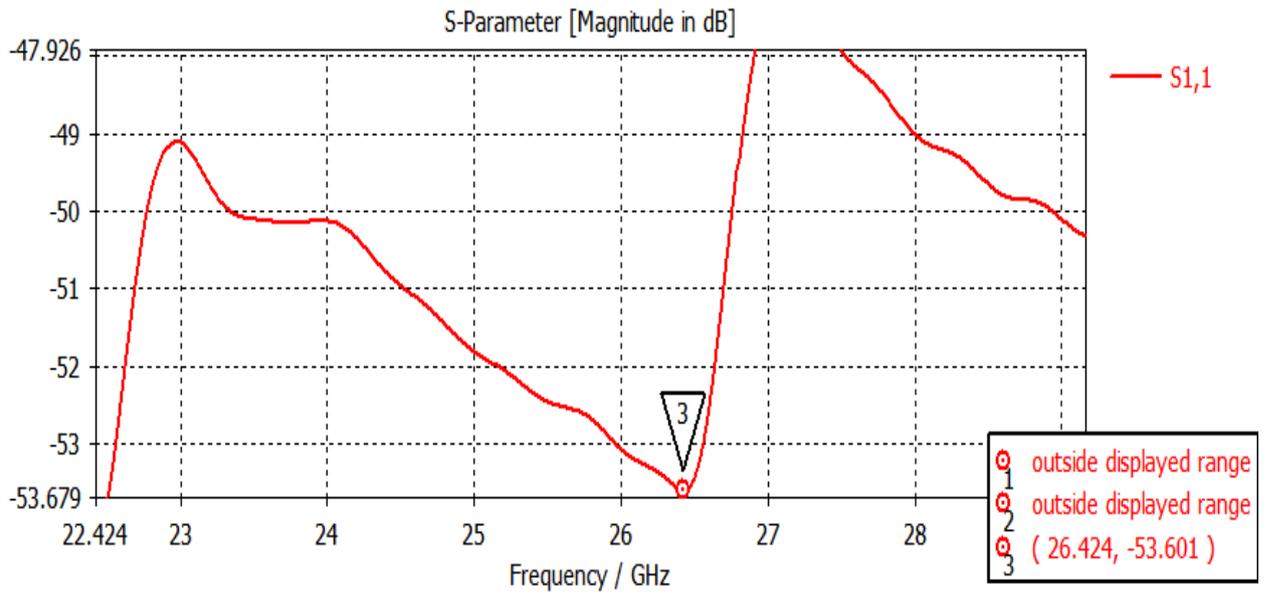


Figure 55: Coefficient S11 du réseau d'antenne 4×1 après adaptation.

La figure suivante présente un diagramme de coefficients de réflexion S11 en fonctions de la fréquence ou on obtient 3 pics de résonances dans différentes fréquences (tri-bande).

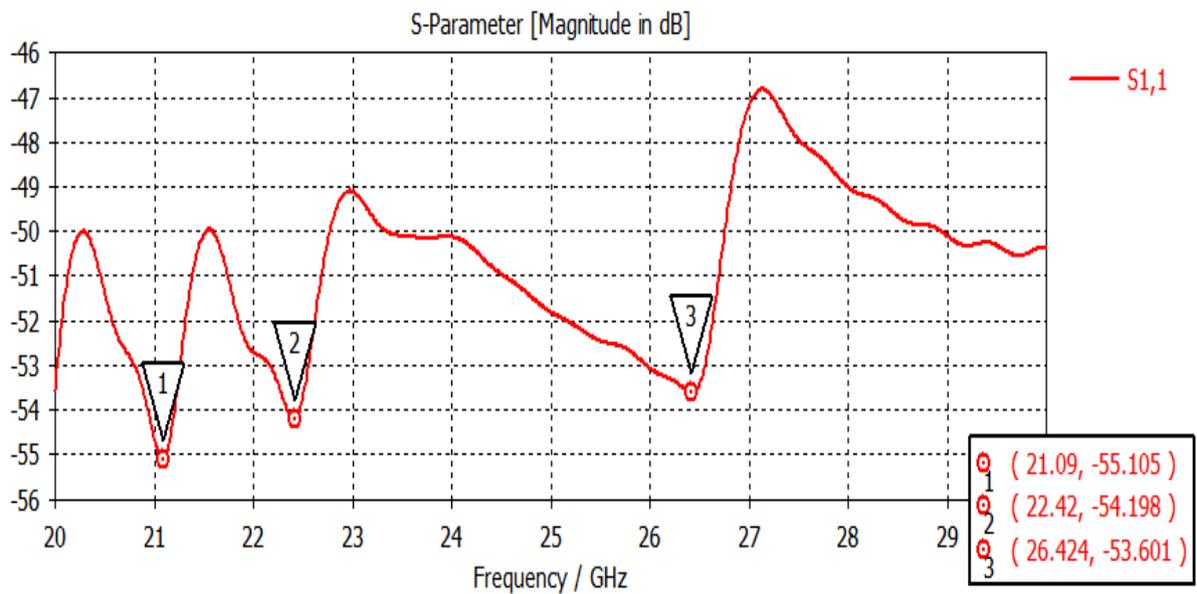
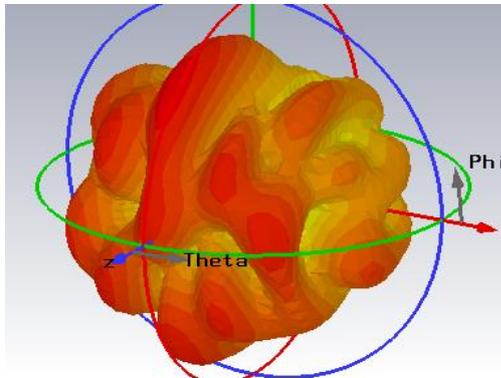
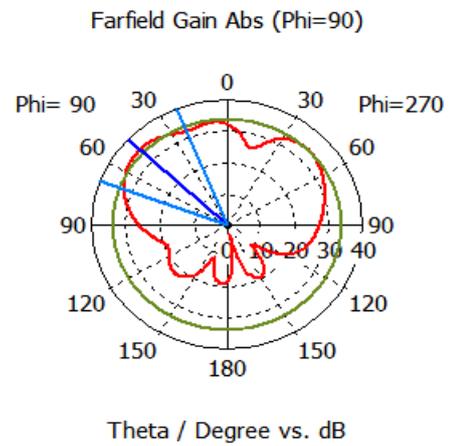


Figure 56: Coefficient S11 d'un réseau tri-bande.

➤ **Diagramme de rayonnement (gain et directivité) d'un réseau d'antenne adaptée à la fréquence 26GHz**

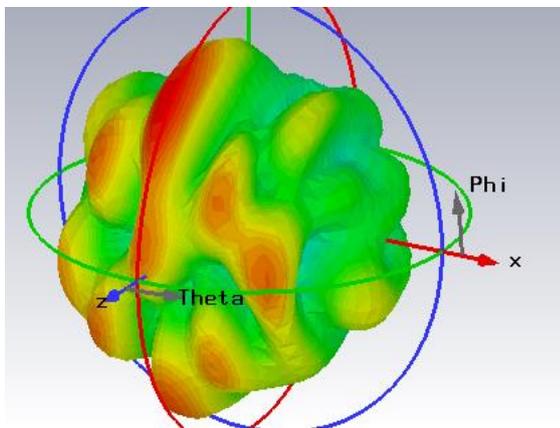


a

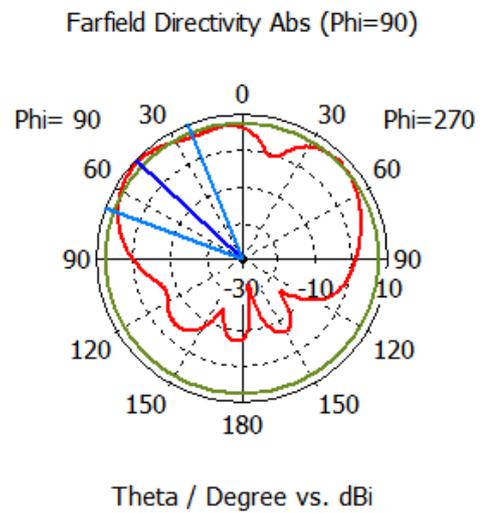


b

Figure 57:gain d'un réseau d'antenne adapté ; ('a '-En 3D et 'b'-diagramme de la directivité en 2D).



a



b

Figure 58:Directivité d'un réseau d'antenne adaptation ('a'-En 3D et 'b'-diagramme de la directivité en 2D).

Après adaptation du réseau d'antenne on a obtenu un gain de **35.2 dB** et une directivité de **9.19 dBi** à la fréquence **26.4 GHz**.

➤ **Le taux d'onde stationnaire VSWR**

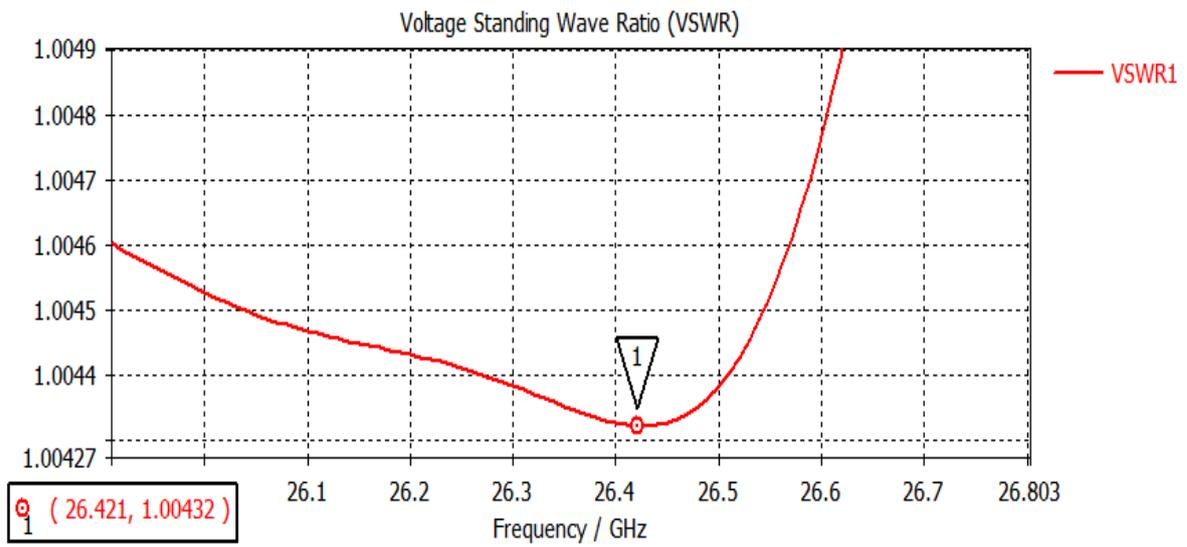


Figure 59:le taux d'onde stationnaire VSWR d'antenne 4×1.

On voit bien que le taux d'onde stationnaire de ce réseau est compris entre la valeur 1 et 2 donc le résultat obtenu est correct et aux normes.

III.6 RESULTATS DE CONCEPTION ET DE SIMULATION DU RESEAU D'ANTENNES 8×1

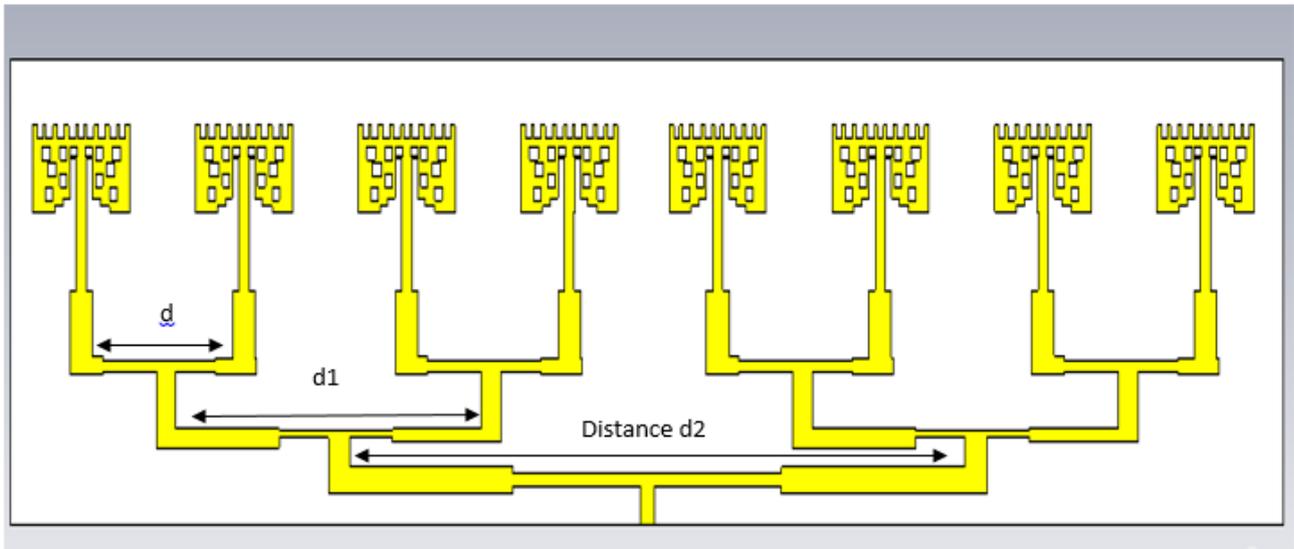


Figure 60: Réseau d'antennes 8×1.

La figure (61) représente le résultat de simulation du coefficient **S11** qui est de l'ordre de **-32.685 dB** pour une fréquence de résonance de **26.4 GHz** avec une distance **d=11.5mm**, **d1=23mm** et **d2= 45mm**.

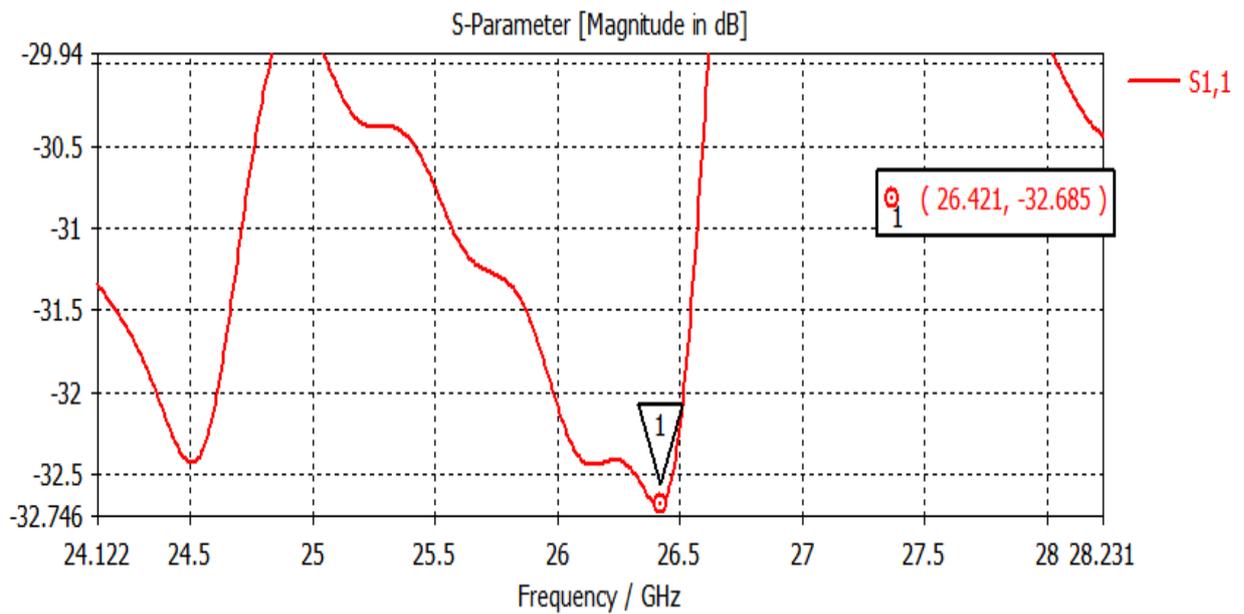


Figure 61: Coefficient S₁₁ du réseau d'antenne 8×1 après adaptation.

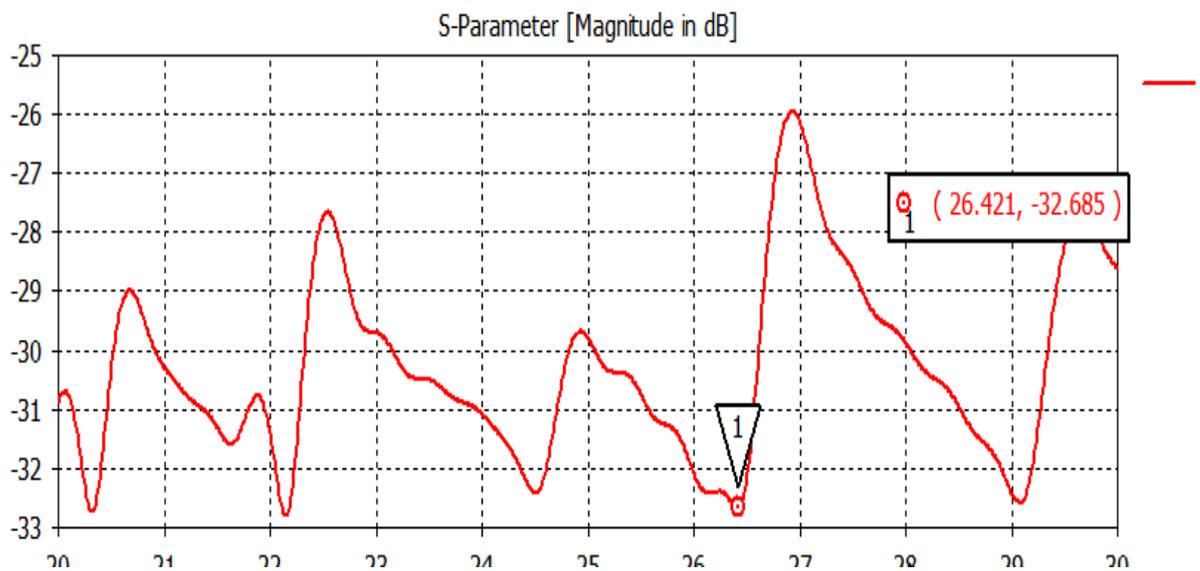


Figure 62: Coefficient S₁₁ du réseau d'antenne 8×1 en fonction de la fréquence (multi-bande).

- **Diagramme de rayonnement (gain et directivité) d'un réseau d'antenne adaptée à la fréquence 26GHz**

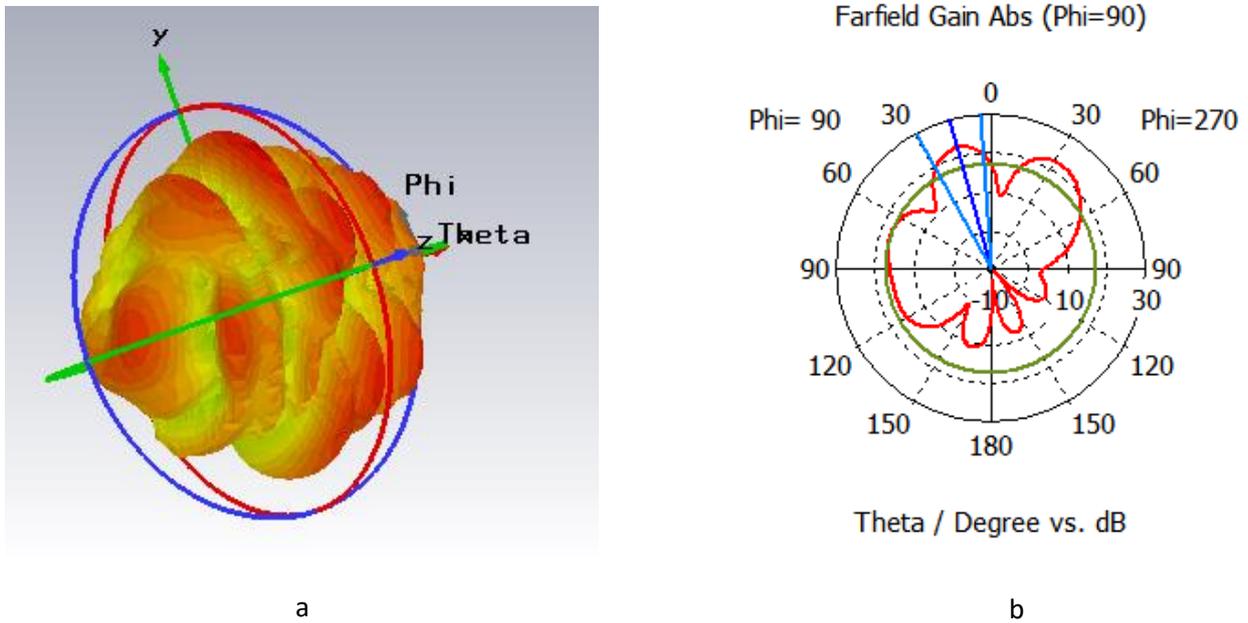


Figure 64 : Gain d'un réseau d'antenne après adaptation (a)- En 3D et b)-diagramme de la directivité en polaire).

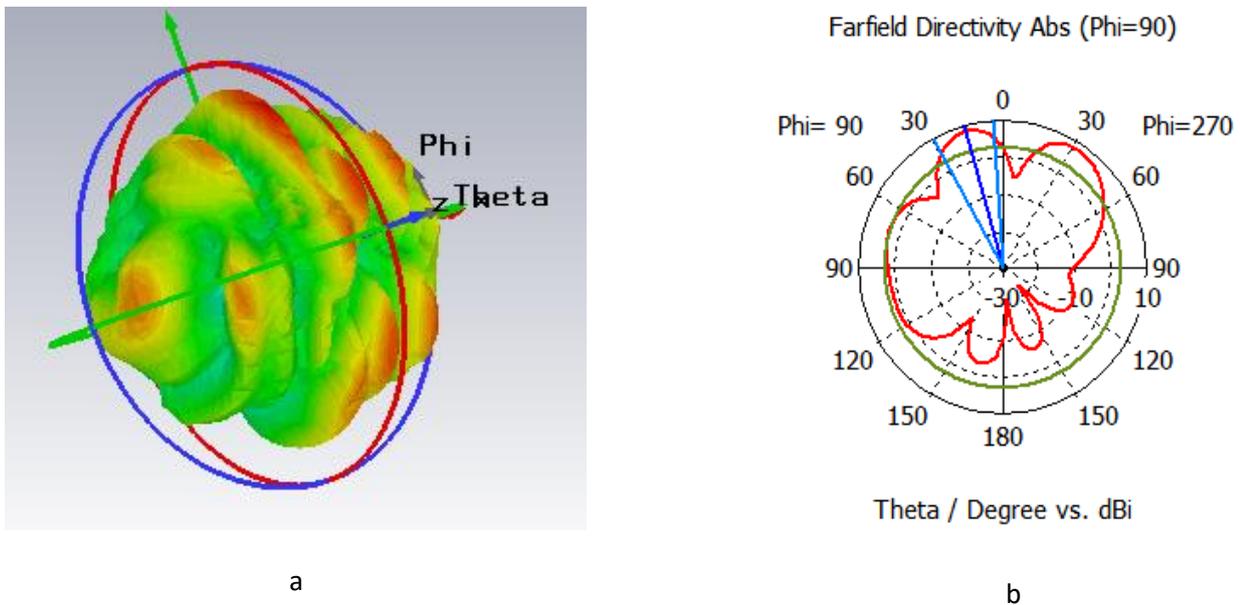


Figure 65 : Directivité du réseau d'antenne après adaptation (a)- En 3D et b)-diagramme de la directivité en polaire).

Après adaptation du réseau d'antenne on a obtenu un gain de **23.6dB** et une directivité de **9.27dBi** à la fréquence **26.4GHz**.

➤ **Taux d'onde stationnaire VSWR**

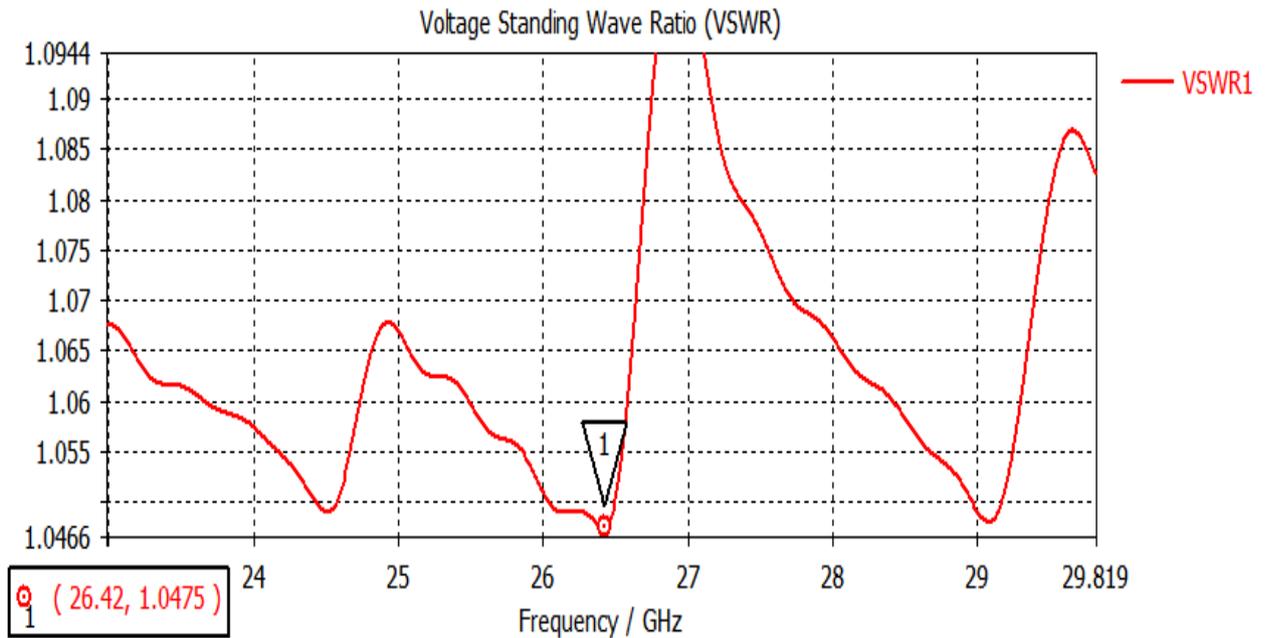


Figure 66 : Taux d'onde stationnaire VSWR pour le réseau d'antenne 8×1.

On remarque que le taux d'onde stationnaire de ce réseau est compris entre la valeur le 1 et 2 donc le résultat obtenu est satisfaisant et correcte.

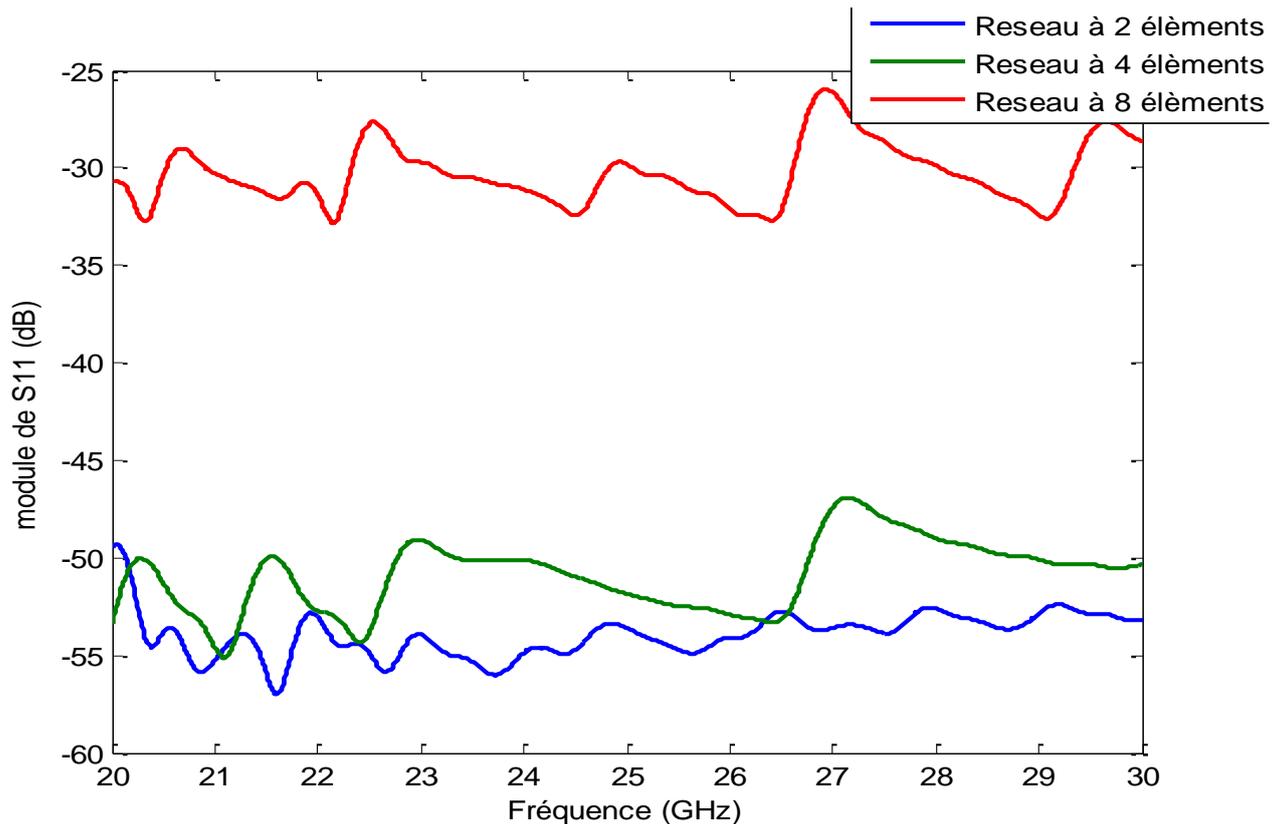


Figure 68 : Coefficient de réflexion S_{11} pour les 3 réseaux d’antennes 2×1 , 4×1 , 8×1 après adaptation en fonction de la fréquence (multi-bande).

La figure 68 représente le coefficient de réflexion S_{11} pour les 3 réseaux d’antennes 2×1 , 4×1 , 8×1 après adaptation en fonction de la fréquence. On constate qu’à la fréquence de résonance 26GHz, on a obtenu un pic de résonance -55dB pour le réseau d’antennes 2×1 , -53dB pour le réseau d’antennes 4×1 et -34dB pour le réseau d’antennes 8×1 , aussi d’autres pics de part et d’autre de la fréquence de résonance dans l’intervalle de fréquence [20-30]GHz mais qui appartiennent toujours à la bande de fréquence 5G. On remarque une meilleure adaptation pour le réseau d’antenne 2×1 avec un S_{11} de -55dB à la fréquence 26GHz.

III.7 CONCLUSION

Ont conclu que le réseau d’antenne améliore le gain et la directivité d’une antenne patch, et à chaque fois qu’on en augmente le nombre de réseaux 2×1 , 4×1 , et 8×1 on constate que les résultats du gain et de la directivité obtenus sont meilleurs qu’aux précédents. Afin d’améliorer le gain il faut augmenter le nombre d’élément du réseau d’antenne.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ehab K. I. Hamad. Ahmed Abdalaziz, « Performance of a Metamaterial-based 1×2 Microstrip Patch Antenna Array for Wireless Communications Examined by Characteristic Mode Analysis », Article in Radio engineering· December 2019, <https://www.researchgate.net/publication/337900940>.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce mémoire est de faire une étude des diviseurs de puissance (alimenter par les lignes micro-ruban) sur une antenne patch. Pour commencer nous avons étudié dans le premier chapitre un état d'art des différentes antennes planaires avec leurs fonctionnements et leurs différentes caractéristiques, en suite on s'est basé sur les antennes imprimées « patch » concernant leurs caractéristiques, leurs paramètres géométriques, leurs techniques d'alimentations, leurs méthodes d'analyses et en fin leurs avantages et inconvénients. A la fin de ce chapitre on a donné une définition générale sur la 5^{ème} génération (5G) ses avantages et inconvénients aussi ses domaines d'applications et son fonctionnement pour les nouvelles technologies.

Dans le second chapitre on s'est basé sur les diviseurs de puissance, on a donné une définition de façon générale sur les diviseurs et combineurs à puissances avec un bref aperçu historique sur leurs fonctionnements, en suite on a présenté les différents types des diviseurs, leurs topologies et leurs caractéristiques (pertes d'insertion, pertes d'isolation et directivité) ainsi que leurs avantages et inconvénients, puis on a fait une étude des lignes micro ruban, par la suite on a présenté leurs différentes caractéristiques (vitesse de propagation, impédance caractéristique avec ces différents pertes qui sont : pertes diélectrique, pertes de rayonnement et dispersion). Enfin, on a donné une petite conclusion en citant les avantages et les inconvénients des lignes micro rubans. Finalement, à la dernière partie on s'est intéressé aux différents types de réseaux d'antennes (en série et en parallèle), avec différentes topologies de réseaux (réseau linéaire, réseau circulaire, et réseau planaire « rectangulaire et circulaire »), enfin on a cité quelques domaines d'applications comme par exemple l'aéronautique, les télécommunications et les satellites, le domaine de la santé....

Dans le troisième chapitre on a appliqué un des types de diviseurs de puissances qui sont l'une des techniques d'amélioration des performances des antennes patch (gain, adaptation...). Ces techniques consiste a placé des éléments d'antennes patch sur ces diviseurs afin d'améliorer et d'augmenter les gains des réseaux d'antennes. Les conceptions des différentes antennes sont obtenues par le logiciel de simulation en 3D CST Studio suite, les résultats de simulations obtenus sont satisfaisants et acceptables et ont montrés une nette amélioration sur les performances de l'antenne étudiée (adaptation, directivité, gain et taux d'ondes stationnaire VSWR...).

Le travail que nous avons effectué s'avère une solution tout à fait naturelle pour faire face à l'augmentation du nombre d'abonné et leur engouement pour les applications de plus en plus gourmandes en termes de débit et de bande passante. L'apparition des réseaux 5G et leurs flots massifs de données conjuguées aux exigences des abonnés ont amené à repenser les architectures faciles, rigides et flexibles. Ce qui donne lieu à des réseaux très répons dans le monde, notamment le réseau 5G qui est une solution beaucoup plus flexible permettant entre autres le déploiement de nouveaux services rapidement.