

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 : Système de Télécommunication

Par : BENZAZZA Amira Hanane & BOUDALI Rahma Chaimae

Sujet

Conception et analyse des performances d'antennes textiles portables compactes et centrées sur le corps humain pour les applications 5G

Soutenu publiquement, le **26 / 06 / 2023**. Devant le jury composé de :

Mr MERIAH Sidi Mohammed	Univ. Tlemcen	Président
Mr BOUSAHLA MILOUD	Univ. Tlemcen	Encadreur
Mr BOUKLI HACENE Noureddine	Univ. Tlemcen	Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2022 / 2023

Dédicaces

*Je dédie ce mémoire à mes **parents** en premier lieu, qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu tout au long de mes études. Leur amour inconditionnel et leur encouragement constant m'ont permis de poursuivre mes rêves et de réaliser mes objectifs. Je tiens également à remercier mon cher frère **Bilal** et mon fiancé **Brahim** pour leur soutien. Enfin, je souhaite dédier ce travail à mes amis et toutes les personnes qui m'ont inspiré tout au long de mon parcours académiques et professionnel.*

Merci à tous pour votre soutien et votre inspiration continue

Benazza Amira

Dédicaces

*A mes chers parents Pour leurs soutiens et tous les efforts qu'on m'a
donnée le long mon parcours, et je leurs souhaite bonne santé et longue
vie.*

*A mes chers frères et ma sœur A mon fiancée Amro et A ma belle-
famille a toute ma famille Proche soit-elle ou lointaine Et A tous mes
collègues*

Boudali Chaimae

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH, le Tout Puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à bon terme ce présent travail.

*Nous tenons à remercier spécialement notre encadreur **Mr. BOUSAHLA Miloud** pour son soutien, conseils judicieux et sa grande bienveillance durant l'élaboration de ce projet et pour avoir bénéficié de ses compétences scientifiques et aussi pour sa disponibilité.*

*Nous exprimons aussi nos reconnaissances à tous les membres de jury **Mr. MERIAH Sidi Mohamed** et **Mr. BOUKLI HACENE Noureddine** d'avoir accepté de lire, de présider et d'examiner ce modeste travail et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de ce projet.*

Nous tiendrons à remercier tous les enseignants du département de

Télécommunications qui ont partagé leurs connaissances.

Nous sommes reconnaissants pour toute l'aide et les encouragements que nous avons

reçus tout au long de ce projet. Merci sincèrement

Résumé

Les antennes textiles intégrées aux vêtements sont une avancée technologique passionnante, elles ouvrent de nouvelles perspectives pour l'Internet des objets (IoT), les vêtements intelligents et les applications de santé. Ces antennes, fabriquées à partir de matériaux souples et conducteurs, sont conçues pour être intégrées discrètement dans les tissus des vêtements, permettant aux utilisateurs de rester connectés à leurs appareils électroniques, tels que les téléphones portables et les dispositifs IoT, sans avoir besoin d'accessoires externes.

L'objectif principal de ce travail est l'étude, la conception et la réalisation d'antennes, textiles compactes et portables, qui peuvent être intégrées dans des vêtements pour les applications 5G. Nous nous sommes aussi intéressés à l'amélioration des performances de rayonnement de ces antennes. En utilisant le logiciel CST (Computer Simulation Technology), plusieurs antennes en technologie micro ruban, sont conçues et proposées pour les applications 5G.

Mots clés : antenne textile, métamatériaux, 5G, conception ,CST

Abstract

Apparel-integrated textile antennas are an exciting technological advance, opening up new perspectives for the Internet of Things (IoT), smart clothing and healthcare applications. These antennas, made from flexible and conductive materials, are designed to be discreetly integrated into garment fabrics, enabling users to stay connected to their electronic devices, such as cell phones and IoT devices, without the need for external accessories.

The main objective of this work is the study, design and realization of compact, wearable textile antennas that can be integrated into clothing for 5G applications. We are also interested in improving the radiation performance of these antennas. Using CST (Computer Simulation Technology) software, several microstrip antennas were designed and proposed for 5G applications.

Keywords: textile antenna, metamaterials, 5G, design, CST

ملخص

تعتبر الهوائيات النسيجية المدمجة في الملابس تقدماً تقنياً مثيراً، حيث تفتح آفاقاً جديدة لإنترنت الأشياء والأجهزة الذكية القابلة للارتداء، وتطبيقات الرعاية الصحية. تم تصميم هذه الهوائيات، المصنوعة من مواد مرنة وموصلة للكهرباء، بحيث يتم دمجها بشكل سري في أقمشة الملابس، مما يسمح للمستخدمين بالبقاء على اتصال بأجهزتهم الإلكترونية، مثل الهواتف المحمولة وأجهزة إنترنت الأشياء، دون الحاجة إلى ملحقات خارجية.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة وتصميم وإنتاج الهوائيات والمنسوجات المدمجة والمحمولة، والتي يمكن دمجها في الملابس لتطبيقات الجيل الخامس. نحن مهتمون أيضاً بتحسين الأداء الإشعاعي لهذه الهوائيات. باستخدام برنامج CST (تقنية محاكاة الكمبيوتر)، تم تصميم العديد من الهوائيات في تقنية microstrip واقتراحها لتطبيقات الجيل الخامس.

الكلمات المفتاحية: هوائي نسجي، مواد خارقة، الجيل الخامس، تصميم، CST

Glossaire des termes techniques

IoT: Internet des objects.

UE: users' equipment

RAN: radio access network

CN: central networks

MIMO : Multiple Input Multiple Output.

RF: Radio Frequency.

S11: Coefficient of reflexion.

VSWR: The Voltage Standing Wave Radio.

Wi-Fi: Wireless Fidelity.

1G : Première génération

2G : Deuxième génération

3G : Troisième génération

4G : Quatrième génération

5G : Cinquième génération

Liste des figures

Figure I-1 : La 5ème génération	3
Figure I-2 : Architecture de la 5G	4
Figure I-3 : Les équipements du terminal utilisateur (UE)	4
Figure I-4 : Les réseaux d'accès radio (RAN)	5
Figure I-5 : Les réseaux centraux CN	5
Figure I-6 : Spectres de fréquences de la 5G	6
Figure I-7 : massive MIMO	10
Figure II-1 : La Bande Passante [10]	14
Figure II-2 : Diagramme de rayonnement classique d'une antenne directive [15]	15
Figure II-3 : Antenne dipôle [16]	16
Figure II-4 : Antenne monopole [17]	17
Figure II-5 : Différentes formes d'antenne patch [18]	17
Figure II-6 : Antenne patch [19]	18
Figure II-7 : Antenne PIFA [20]	18
Figure II-8 : Schéma des fonctions nécessaires au fonctionnement des e-textiles [21]	20
Figure II-9 : Cellules élémentaires électromagnétiques permettant d'affecter : (a) le champ électrique (b) le champ magnétique.	21
Figure II-10 : Association de cellules élémentaires	22
Figure III-1 : Etapes de conception de l'antenne proposée 1	25
Figure III-2 : Géométrie de l'Antenne proposée 1	26
Figure III-3 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 1 de chaque étape	27
Figure III-4 : Influences des paramètres WP à (a) et de Lp à (b)	28
Figure III-5 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 1	29
Figure III-6 : Gain de l'antenne proposée 1	29
Figure III-7 : Taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence	29
Figure III-8 : Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée 1	30

Figure III-9 : Géométrie de l'antenne proposée 2	31
Figure III-10 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2	32
Figure III-11 : Variation du gain en fonction de la fréquence	32
Figure III-12 : Variation du taux stationnaire en fonction de la fréquence	32
Figure III-13 : Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée 2	33
Figure III-14 : Géométrie de l'antenne proposée 3	34
Figure III-15 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 3	35
Figure III-16 : Effet du paramètre R1 sur l'adaptation de l'antenne	35
Figure III-17 : Influence du paramètre Lp sur l'adaptation de l'antenne	36
Figure III-18 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 3	36
Figure III-19 : Variation du gain en fonction de la fréquence	37
Figure III-20 : Diagramme de rayonnement en 3 D : (a) à 2.45 GHz et (b) à 5.8 GHz	37
Figure III-21 : Rapport stationnaire de l'antenne proposée 3	38
Figure III-22 : Géométrie de l'antenne proposée 4	38
Figure III-23 : Coefficient de la réflexion de l'antenne proposée 4	39
Figure III-24 : Gain de l'antenne proposée 4	39
Figure III-25 : VSWR en fonction de fréquence	40
Figure III-26 : Diagramme de rayonnement : (a) à 2.45 GHz et (b) à 5.8 GHz	41
Figure III-27 : Structure de réflecteur avec AMC	41
Figure III-28 : Structure de l'antenne avec réflecteur	42
Figure III-29 : Coefficient de réflexion de l'antenne avec réflecteur	43
Figure III-30 : Gain de l'antenne avec réflecteur	43

Liste des tableaux

<i>Tableau III-1 : Paramètres géométriques de l'antenne proposée 1</i>	_____	26
<i>Tableau III-2 : Paramètres géométriques de l'antenne proposée 2</i>	_____	31
<i>Tableau III-3 : Paramètres géométriques de l'antenne proposée 3</i>	_____	34
<i>Tableau III-4 : Dimensions du réflecteur avec AMC</i>	_____	42

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : la 5 ^{ème} génération.....	2
I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition de la 5G	3
I.2.1 Architecture de la 5G	4
I.2.2 Spectre de fréquence de la 5G	6
I.3 Objectifs de la 5G	7
I.4 Caractéristiques de la 5G	7
I.5 Les technologies clés de la 5G	9
I.6 Les avantages de la 5G.....	10
I.7 Les défis de la 5G.....	11
I.8 Conclusion.....	11
Chapitre II : Antennes et métamatériaux	12
II.1 Introduction	12
II.2 Les antennes corporelles	12

II.3 Les applications des antennes portables	13
II.4 Les antennes textiles	13
II.5 Les caractéristiques des antennes	13
II.5.1 Le coefficient de réflexion S11	13
II.5.2 La Bande passante	14
II.5.3 La Directivité	14
II.5.4 Le Gain.....	14
II.5.5 Rendement de l'antenne.....	15
II.5.6 Diagramme de rayonnement	15
II.5.7 Impédance d'entrée de l'antenne	16
II.6 Les Types d'antennes	16
II.6.1 Antenne dipole	16
II.6.2 Antenne monopole	16
II.6.3 Antenne patch	17
II.6.4 Antenne F inversé planaire (PIFA).....	18
II.7 Les e-textiles dans l'habillement	19
II.7.1 Les textiles intelligents.....	19
II.7.2 Les e-textiles	19
II.8 Les métamatériaux	20
II.8.1 Définition	20
II.8.2 Origine et développement des métamatériaux	20
II.8.3 Caractéristiques des métamatériaux.....	22
II.9 Conclusion	23
Chapitre III : Conception et résultats de simulation	24

III.1 Introduction.....	24
III.2 Outil de simulation.....	24
III.3 Antennes proposées.....	25
III.3.1 Antenne proposée 1	25
III.3.2 Antenne proposée 2	31
III.3.3 Antenne proposée 3	33
III.3.4 Antenne proposée 4	38
III.3.5 Antenne proposée 4 avec réflecteur.....	41
III.4 Conclusion.....	44
Conclusion générale	45

Introduction Générale

Introduction générale

Les antennes textiles intégrées aux vêtements sont une avancée technologique passionnante qui fusionne le monde de la mode avec celui des communications sans fil. Ces antennes, fabriquées à partir de matériaux souples et conducteurs, sont conçues pour être intégrées discrètement dans les tissus des vêtements, offrant ainsi une connectivité sans fil pratique et élégante. Elles permettent aux utilisateurs de rester connectés à leurs appareils électroniques, tels que les téléphones portables et les dispositifs IoT, sans avoir besoin d'accessoires externes. Les antennes textiles sur les vêtements ouvrent de nouvelles perspectives pour l'Internet des objets (IoT), les vêtements intelligents et les applications de santé, offrant ainsi un aperçu du futur où la technologie se fond harmonieusement avec notre quotidien vestimentaire.

L'objectif principal de ce travail est l'étude, la conception et la réalisation d'antennes, textiles compactes et portables, qui peuvent être intégrées dans des vêtements pour les applications 5G.

Dans le premier chapitre, nous commençons par introduire les principes fondamentaux de la 5G, en mettant en évidence ses objectifs, son architecture révolutionnaire et les technologies clés qui en font une avancée majeure dans le domaine des télécommunications. Nous examinons également les avantages et les inconvénients de cette nouvelle génération de réseau. Enfin, nous abordons les défis associés à la 5G, en mettant en évidence certaines applications essentielles.

Dans le deuxième chapitre, nous nous concentrons en premier lieu sur les antennes corporelles, en présentant leurs caractéristiques et leurs applications. Nous nous intéressons par la suite aux types d'antennes textiles. Dans la seconde partie du chapitre nous allons définir les textiles dans l'habillement, utilisés en tant que matériaux d'antennes en mettant en évidence leurs propriétés spécifiques. La dernière partie de ce chapitre est consacré à la définition et aux caractéristiques des métamatériaux.

Dans le troisième chapitre, nous nous consacrerons à l'étude et à la conception d'antennes textiles portables compactes et centrées sur le corps humain pour les applications 5G en utilisant le simulateur CST (Computer Simulation Technology). Nous présentons les résultats de simulation des antennes conçues et proposées pour les applications 5G. Ensuite, nous nous intéressons à l'amélioration des performances de ces antennes.

Chapitre I : la 5^{ème} génération

I.1 Introduction

La 5G fait référence à la cinquième génération de réseaux mobiles, offrant des vitesses Internet nettement plus rapides, une latence plus faible et une capacité accrue par rapport aux générations précédentes.

Dans ce premier chapitre, nous commençons par introduire les principes fondamentaux de la 5G, en mettant en évidence ses objectifs, son architecture révolutionnaire et les technologies clés qui en font une avancée majeure dans le domaine des télécommunications. Nous examinons également les avantages et les inconvénients de cette nouvelle génération de réseau. Enfin, nous abordons les défis associés à la 5G, en mettant en évidence certaines applications essentielles.

I.2 Définition de la 5G

La 5G est la cinquième génération de technologies de communication mobile qui repose sur une infrastructure réseau avancée pour offrir des performances de communication mobiles plus rapides, fiables et efficaces. Elle permet une connectivité améliorée et étendue pour les utilisateurs, les appareils et les applications, ainsi qu'une capacité accrue pour prendre en charge de nouveaux types de services tels que l'Internet des objets (IOT), les véhicules autonomes et la télémédecine. La 5G se caractérise par des vitesses de téléchargement et de téléversement plus rapides, une latence réduite, une couverture réseau plus large, une capacité accrue et des connexions plus stables. Elle est considérée comme un catalyseur pour la transformation numérique, l'innovation et le développement économique et social futurs.



Figure I-1 : La 5ème génération

I.2.1 Architecture de la 5G

L'architecture de la 5G se compose de trois parties principales : les équipements du terminal utilisateur (UE), les réseaux d'accès radio (RAN) et les réseaux centraux (CN) :



Figure I-2 : Architecture de la 5G

1. Les équipements du terminal utilisateur (UE): Les smartphones, les tablettes, les ordinateurs portables et autres dispositifs connectés utilisent l'UE pour communiquer sur les réseaux de téléphonie mobile.

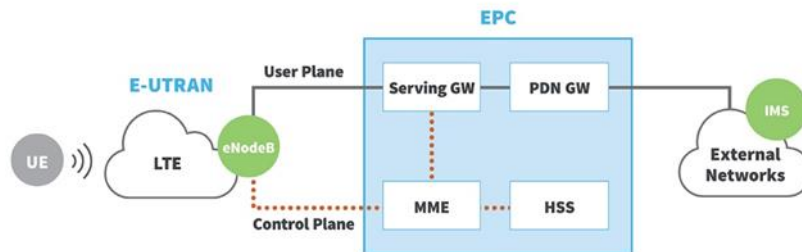


Figure I-3 : Les équipements du terminal utilisateur (UE)

2. Les réseaux d'accès radio (RAN): Ces réseaux gèrent la communication sans fil entre les équipements du terminal utilisateur et les stations de base. Les stations de base envoient et reçoivent des signaux radio pour acheminer les données entre l'UE et le réseau central.

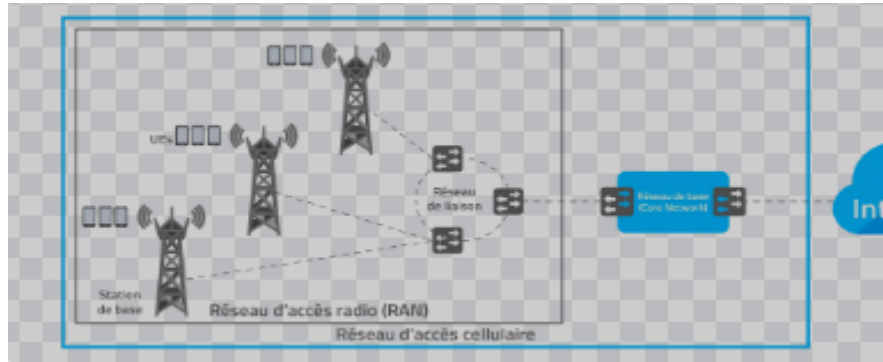


Figure I-4 : Les réseaux d'accès radio (RAN)

3. Les réseaux centraux (CN) : Ils fournissent des fonctions centrales pour la gestion de l'ensemble du réseau de téléphonie mobile. Ils contiennent des serveurs et des applications pour la gestion du trafic, la configuration des connexions réseau, la sécurité, et d'autres fonctions. L'architecture de la 5G peut être considérée comme un réseau distribué, avec des fonctionnalités de traitement décentralisées et de distribution de données permettant une faible latence, une meilleure connectivité et une utilisation plus efficace du réseau. Elle offre également une évolutivité supérieure pour prendre en charge les besoins de communication mobiles futurs [1].

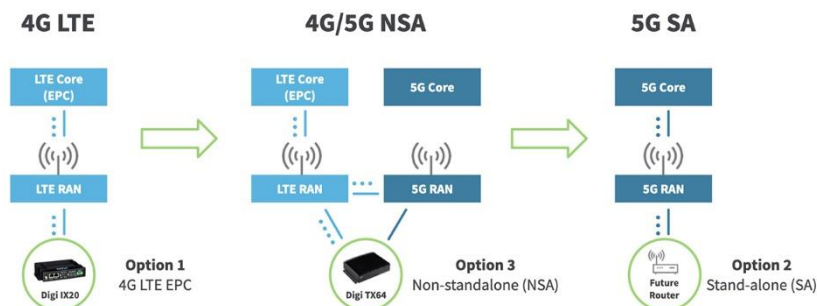


Figure I-5 : Les réseaux centraux CN

I.2.2 Spectre de fréquence de la 5G

La 5G a besoin de fréquences dans trois bandes de fréquences clés pour proposer une couverture large et permettre tous les cas d'utilisation. Ces trois bandes de fréquences sont : En-dessous de 1GHz, et 1 à 6GHz, et Au-dessus de 6GHz.

Plusieurs plages de fréquence sont désormais dédiées au spectre New Radio (NR) de la 5G. La portion du spectre radio dont les fréquences se situent entre 30 et 300 GHz est connue sous le nom d'onde millimétrique, car ses longueurs d'onde varient de 1 à 10 mm.

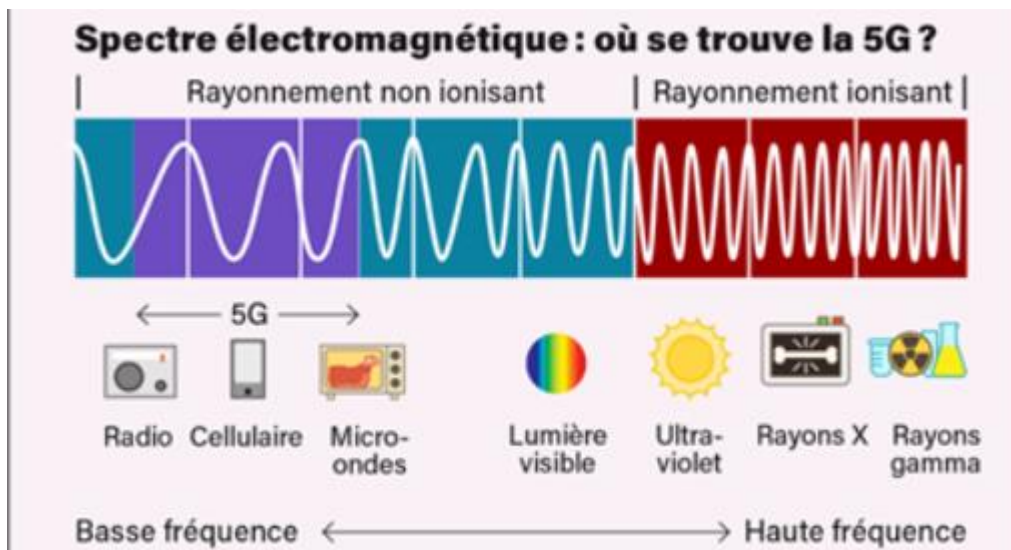


Figure I-6 : Spectres de fréquences de la 5G

Les fréquences situées entre 24 et 100 GHz sont désormais dédiées à la 5G dans de nombreuses régions du monde.

Outre l'onde millimétrique, les fréquences UHF sous-utilisées situées entre 300 MHz et 3 GHz sont elles aussi réaffectées à la 5G. La diversité des fréquences employées peut être adaptée à des applications uniques étant donné que les hautes fréquences se caractérisent par une bande passante plus élevée, bien que d'une portée plus courte.

Les fréquences d'onde millimétrique sont idéales pour les zones densément peuplées, mais inefficaces pour les cellules larges [2].

I.3 Objectifs de la 5G

Les nouvelles tendances des utilisateurs de technologies mobiles et les exigences de performance des utilisateurs ont conduit plusieurs groupes industriels et laboratoires de recherche à s'engager dans la conception de nouveaux appareils basés sur la technologie de réseau mobile dite de cinquième génération (5G), qui discutent de la mise en œuvre de la solution technologique adoptée par la nouvelle solution industrielle de connexion Internet des Objets.

La cinquième génération de réseaux mobiles (5G), norme de téléphonie mobile de nouvelle génération, s'est avérée être une technologie prometteuse qui pourrait changer les tendances dans le domaine de la communication, qui a des exigences élevées, comme la connexion d'objets. La 5G est l'un des projets de réseau de communication sans fil les plus ambitieux jamais entrepris et doit répondre aux attentes du marché de masse [3].

Les principaux objectifs incluent :

- Forfait de données plus important : le volume de données doit être 1 000 fois plus élevé
- Moins d'antennes : Le nombre de terminaux pouvant être connectés à chaque antenne doit être multiplié par 100, mais le nombre d'antennes dépend d'abord de la fréquence utilisée.
- Vitesse optimale (1 Go par seconde).
- Les faibles temps de « latence » donnent l'impression que le réseau est réactif.
- Plus de batterie, moins de consommation.[4]

I.4 Caractéristiques de la 5G

La 5G, abréviation de la cinquième génération des réseaux de télécommunications sans fil, présente plusieurs caractéristiques distinctives par rapport à ses prédécesseurs. Voici quelques-unes des caractéristiques clés de la 5G :

- Haute vitesse : La 5G offre des vitesses de téléchargement et de téléchargement beaucoup plus rapides par rapport à la 4G. Elle peut atteindre des débits théoriques allant jusqu'à

plusieurs gigabits par seconde, ce qui permet un accès plus rapide aux données, aux vidéos en streaming, aux jeux en ligne, etc.

- Latence réduite : La 5G réduit considérablement la latence, c'est-à-dire le délai entre l'envoi et la réception de données. La latence de la 5G est estimée à moins de 10 millisecondes, ce qui est bien inférieur à la latence de la 4G. Cette faible latence est cruciale pour des applications en temps réel, comme la réalité virtuelle, la réalité augmentée, les voitures autonomes, les opérations chirurgicales à distance, etc.
- Capacité accrue : La 5G a une capacité supérieure à celle de la 4G, ce qui signifie qu'elle peut gérer un plus grand nombre d'appareils connectés simultanément sur un même réseau. Cela est particulièrement important dans les environnements denses en termes de dispositifs IoT (Internet des objets), où des milliers d'appareils peuvent être connectés dans une petite zone géographique.
- Connectivité massive : La 5G est conçue pour prendre en charge la connectivité massive, ce qui signifie qu'elle peut gérer des milliards d'appareils connectés à travers le monde. Cela ouvre la voie à de nouvelles applications et à des infrastructures intelligentes, telles que les villes intelligentes, les réseaux électriques intelligents, les usines intelligentes, etc.
- Fiabilité améliorée : La 5G offre une meilleure fiabilité de connexion par rapport à la 4G. Elle est conçue pour minimiser les interruptions de service et garantir une expérience utilisateur plus stable.
- Bande passante plus large : La 5G utilise des bandes de fréquences plus larges, y compris des fréquences millimétriques, ce qui permet une transmission de données plus rapide et une plus grande capacité réseau.
- Technologies avancées : La 5G intègre des technologies avancées, telles que le réseau défini par logiciel (SDN) et la virtualisation des fonctions réseau (NFV). Ces technologies permettent une gestion plus souple et plus efficace des réseaux, ainsi qu'une meilleure adaptabilité aux différents besoins des utilisateurs et des applications. Il convient de noter que la disponibilité et les performances réelles de la 5G peuvent varier en fonction du déploiement, de l'infrastructure réseau, des dispositifs utilisés et d'autres facteurs environnementaux.

I.5 Les technologies clés de la 5G

La 5G repose sur plusieurs technologies clés, notamment :

- Les ondes millimétriques : Les ondes électromagnétiques sont un type de rayonnement électromagnétique qui se propage dans l'espace sous forme de rayonnement. Elles sont créées lorsque des charges électriques sont accélérées, comme lorsqu'un courant électrique circule dans un fil ou lorsqu'un électron saute d'un niveau d'énergie dans un atome à un autre. Les ondes électromagnétiques se déplacent à une vitesse constante dans le vide, c'est-à-dire à environ 299 792 458 mètres par seconde. Ces ondes ont une fréquence et une longueur d'onde spécifiques, qui déterminent leur position dans le spectre électromagnétique [5].
- Les Micro cell : Les micro-celles, également appelées micro-ondes cellulaires, sont des stations de base de réseau de téléphonie mobile de petite taille utilisées pour desservir des zones à faible densité de population ou des sites de couverture limitée. Ces stations de base sont conçues pour utiliser des fréquences de micro-ondes plus élevées que celles utilisées par les stations de base traditionnelles, ce qui leur permet de fournir une couverture plus basse mais plus dense. Les micro-celles sont souvent utilisées pour améliorer la couverture de la téléphonie mobile dans les zones urbaines denses, les bâtiments à plusieurs étages, les tunnels, les parkings souterrains et les zones rurales éloignées.[6]
- Beamforming : la formation de faisceaux ou le filtrage spatial est une technique de traitement du signal utilisée dans les réseaux de capteurs pour la transmission ou la réception de signaux directionnels. Ceci est réalisé en combinant des éléments dans un réseau d'antennes de telle sorte que les signaux à des angles particuliers subissent des interférences constructives tandis que d'autres subissent des interférences destructives. La formation de faisceau peut être utilisée à la fois aux extrémités de transmission et de réception afin d'obtenir une sélectivité spatiale. L'amélioration par rapport à la réception/émission omnidirectionnelle est connue sous le nom de directivité du réseau [7].
- Full-duplex : permet la réception et l'émission de données simultanément. Le mode full-duplex a fait l'objet de tests lors de la première phase des essais de la 5G [8].

- Massive MIMO : est la technologie la plus captivante pour la 5G et au-delà, elle regroupe des centaines voire des milliers d'antennes à la station de base et dessert des dizaines d'utilisateurs simultanément.

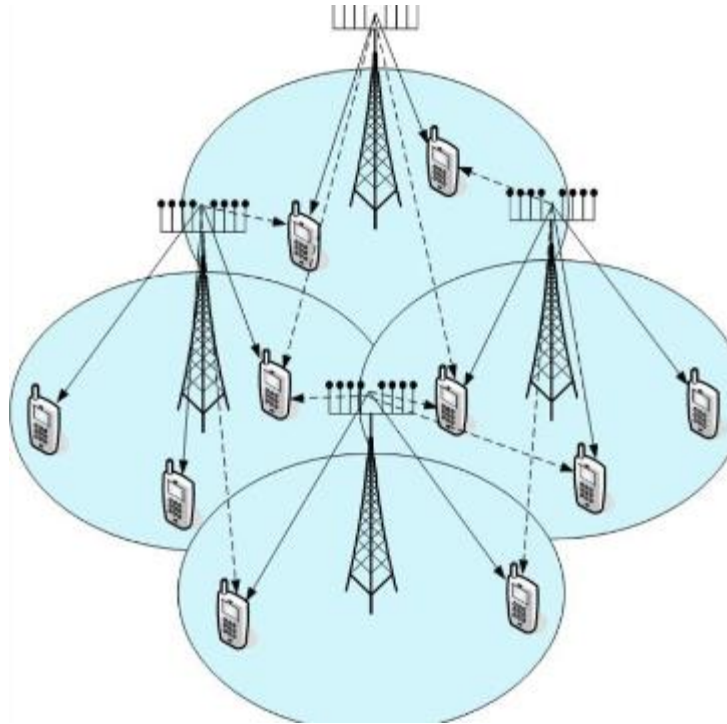


Figure I-7 : massive MIMO

I.6 Les avantages de la 5G

La technologie 5G permet une forte réduction de la consommation d'énergie, augmentation des débits, amélioration des connectivités, optimisation du travail à distance, prolongement de la durée de vie des appareils. Les débits en 5G sont 10 fois plus élevés que ceux de la 4G. La vitesse moyenne de téléchargement est multipliée par 7. Cette vitesse permet donc de télécharger des fichiers volumineux, les éditer de manière collaborative et les partager à partir d'un appareil mobile [9].

I.7 Les défis de la 5G

- Jusqu'à 10 Gbit/s de débit de données - > de 10 à 100 fois plus que les réseaux 4G et 4.5G
- 1 milliseconde de latence
- 1 000 fois plus de bande passante par unité de surface
- Jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface (par rapport à la 4G LTE)
- 99,999 % de disponibilité
- 100 % de couverture
- 90 % de réduction en utilisation d'énergie du réseau
- Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie pour les appareils IOT à faible-consommation

I.8 Conclusion

En conclusion, la 5G représente une avancée majeure dans le domaine de la télécommunication, son développement devrait être poursuivi pour garantir que ses avantages soient équitables et durables pour tous.

Ce chapitre a été consacré, dans son ensemble, à une présentation de la 5G en général et ses technologies en particulier. On a présenté ses caractéristiques, ses avantages et ses défis.

**Chapitre II : Antennes et
*métamatériaux***

II.1 Introduction

Les systèmes de communication ont connu un bond en avant en termes de qualité, ce qui a conduit à la création et à l'innovation de multiples technologies. Les métamatériaux, dotés de propriétés électromagnétiques inhabituelles, sont l'une des nouvelles découvertes de la dernière décennie et un domaine de recherche passionnant.

Dans ce chapitre, nous nous concentrons en premier lieu sur les antennes corporelles, en présentant leurs caractéristiques et leurs applications. Nous nous intéressons par la suite aux types d'antennes textiles. Dans la seconde partie du chapitre nous allons définir les textiles dans l'habillement, utilisés en tant que matériaux d'antennes en mettant en évidence leurs propriétés spécifiques. La dernière partie de ce chapitre est consacré à la définition et aux caractéristiques des métamatériaux.

II.2 Les antennes corporelles

Les antennes portables sont utilisées dans le contexte des réseaux corporels sans fil (WBAN). Dans un WBAN, l'antenne est le composant clé qui prend en charge la communication sans fil, qui comprend la communication dans le corps, la communication sur le corps et la communication hors du corps. Les antennes corporelles sont classées en trois types selon le type d'application :

- Les antennes In-Body

Ce sont des antennes rayonnantes à l'intérieur du corps humain. Elles peuvent être soit implantées sous la peau (implants) ou prises par voie orale sous forme d'un système embarqué de capteurs condensés dans des capsules bien isolées

- Les antennes On-Body

Ce type d'antennes utilise les ondes rampantes pour maintenir un lien électromagnétique par exemple, un podomètre utilise une antenne attachée au corps pour communiquer avec une montre intelligente.

- Les antennes Off-Body

Une antenne externe est une antenne rayonnant vers l'extérieur du corps humain.

II.3 Les applications des antennes portables

L'avènement des antennes miniatures à haut rendement permet des dispositifs invasifs/non invasifs dans les applications grand public, les soins de santé et plusieurs applications militaires. Quelques exemples d'appareils portables destinés aux consommateurs qui utilisent des antennes portables sont les montres intelligentes (antennes Bluetooth intégrées), les lunettes intelligentes (antennes Wi-Fi, GPS et IR intégrées), les caméras d'action portées par le corps (Wi-Fi et Bluetooth) et les petits capteurs. Des appareils dans des chaussures de sport (Wi-Fi / Bluetooth) pouvant être couplés avec des smartphones. Le dispositif WBAN assure une surveillance continue de la santé d'une personne âgée ou d'un patient sans entraver ses activités quotidiennes. Les capteurs d'antenne implantables sont également utilisés pour plusieurs applications biomédicales telles que les stimulateurs cardiaques, les implants cochléaires et les implants intraoculaires, entre autres. Dans l'armée, les antennes portables trouvent plusieurs applications telles que le suivi de localisation en direct du soldat, la transmission en temps réel d'images et de vidéos pour des communications décentralisées instantanées, etc. Ces antennes sont également utilisées pour la gestion des accès/identités, la navigation, etc.

II.4 Les antennes textiles

L'antenne textile est un type d'antenne qui est fabriquée en utilisant des matériaux textiles. Elle est généralement fabriquée en incorporant des fils conducteurs et des tissus conducteurs dans les tissus. L'avantage principale d'antenne textile est sa flexibilité légèreté et sa capacité à être intégrée dans les tissus sans compromettre la qualité du signal.

II.5 Les caractéristiques des antennes

D'une manière générale, les caractéristiques d'une antenne sont :

II.5.1 Le coefficient de réflexion S_{11}

Le coefficient de réflexion S_{11} est généralement exprimé en dB (décibels). Il représente la proportion du signal entrant qui est réfléchi, par rapport au signal total entrant et est utilisé pour évaluer la performance d'un dispositif de communication en mesurant la quantité de pertes de signal lors de la transmission. Plus le coefficient de réflexion est faible, meilleure est la performance du dispositif de communication.

$$|S_{11}|^2 = P_r/P_t \quad (\text{II.1})$$

II.5.2 La Bande pesante

La bande passante est la différence entre la fréquence la plus élevée et la fréquence la plus basse du signal transmis. Elle est généralement exprimée en hertz (Hz), et plus la bande passante est large, plus il est possible de transmettre rapidement et efficacement des données.

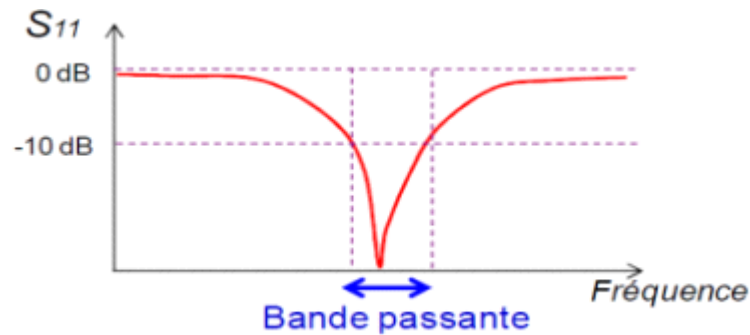


Figure II-1 : La Bande Passante [10]

II.5.3 La Directivité

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la Puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, φ) et la puissance que rayonnerait une Antenne isotrope [11][12]

$$D(\theta, \varphi) = p(\theta, \varphi)/(P_r/4\pi) \quad (\text{II.2})$$

Avec

$P(\theta, \varphi)$: La Puissance rayonnée par unité d'angle solide (θ, φ) .

P_r : est la puissance totale rayonnée

II.5.4 Le Gain

Le gain est une mesure de la capacité d'une antenne à concentrer l'énergie du signal dans une direction privilégiée par rapport à une antenne de référence. Il est exprimé en décibels et représente le rapport entre la puissance rayonnée dans la direction privilégiée de l'antenne et la

puissance rayonnée par une antenne de référence avec la même puissance d'entrée. Il est présenté par l'équation suivante [13] [14]

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \cdot (P(\theta, \varphi)/P_a) \quad (\text{II.3})$$

$P(\theta, \varphi)$: Puissance rayonné dans une direction.

P_a : Puissance rayonnée par l'antenne.

II.5.5 Rendement de l'antenne

Le rendement, noté η , d'une antenne est défini comme le rapport entre la puissance totale rayonnée, P_r , et la puissance d'alimentation fournie à l'antenne, P_a .

$$\eta = P_r/P_a \quad (\text{II.4})$$

Avec :

P_r : Puissance totale rayonné.

P_a : Puissance d'alimentation de l'antenne.

II.5.6 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement, également connu sous le nom de pattern de rayonnement, est une représentation graphique de la manière dont une antenne rayonne ou capte des ondes électromagnétiques dans l'espace. Il montre l'intensité du champ électrique rayonné dans différentes directions, en fonction de l'angle et de la distance par rapport à l'antenne.

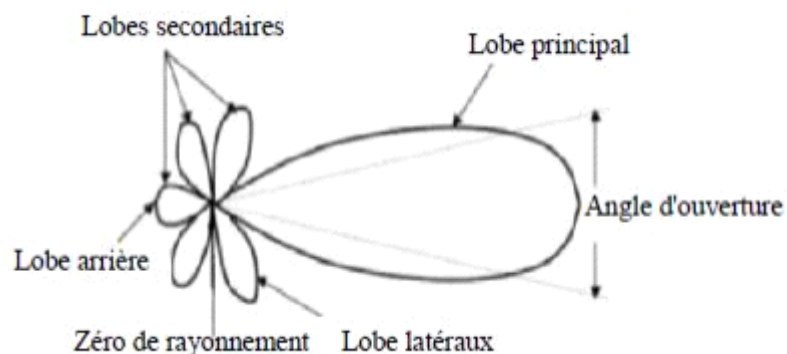


Figure II-2 : Diagramme de rayonnement classique d'une antenne directive [15]

II.5.7 Impédance d'entrée de l'antenne

L'impédance d'entrée d'une antenne dépend de la fréquence, de la polarisation et de la géométrie. Elle doit correspondre à celle du dispositif de transmission pour une performance optimale. Les adaptateurs d'impédance améliorent la transmission en résolvant les problèmes d'impédance.

II.6 Les Types d'antennes

II.6.1 Antenne dipole

L'antenne dipolaire est une sorte d'une antenne la plus basique, élaborée vers 1886 par Heinrich Rudolph Hertz. Elle présente une géométrie symétrique, constituée de deux brins en Métal, et mesure une demi-longueur d'onde et une alimentation centrale

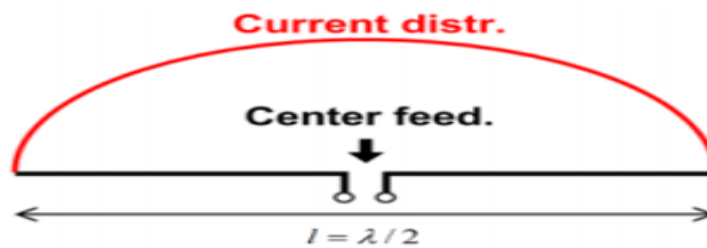


Figure II-3 : Antenne dipôle [16]

II.6.2 Antenne monopole

Une antenne monopôle est la moitié d'une antenne dipôle, presque toujours montée au-dessus d'une sorte de plan de masse. Le cas d'une antenne monopôle de longueur L montée au-dessus d'un plan de masse infini

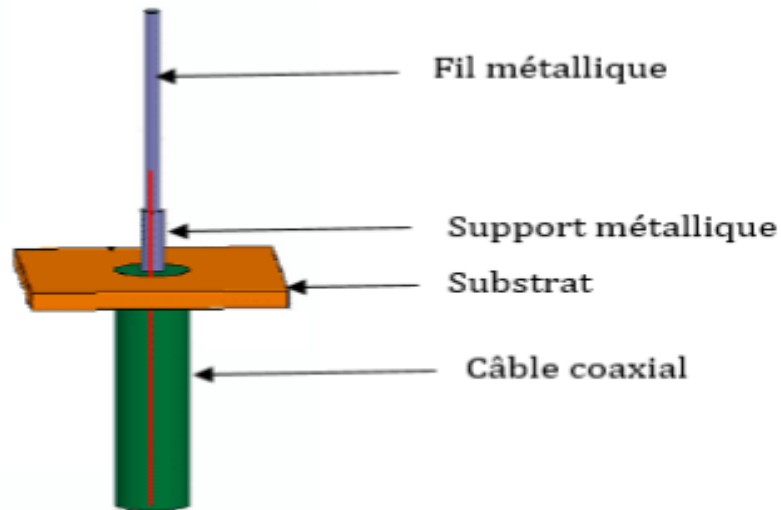


Figure II-4 : Antenne monopole [17]

II.6.3 Antenne patch

Les antennes patch se présentent sous différentes formes et tailles et consistent en un patch de métal directement au-dessus d'un plan de masse. Le principal inconvénient de ces antennes est leur taille relativement importante par rapport aux autres types d'antennes. Par exemple, certaines antennes patch ont environ une demi-longueur d'onde de chaque côté. La polarisation peut être circulaire ou linéaire selon la conception du patch.

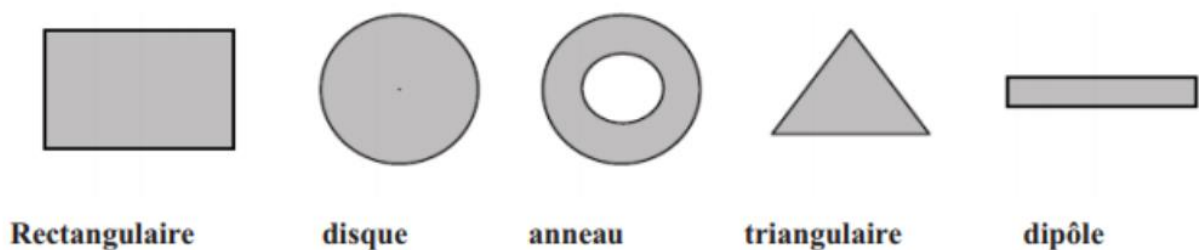


Figure II-5 : Différentes formes d'antenne patch [18]

La structure de base d'une antenne patch est constituée d'un plan de masse conducteur et d'un matériau diélectrique appelé substrat, caractérisé par une permittivité relative ϵ_r , sur lequel est imprimé l'élément rayonnant.

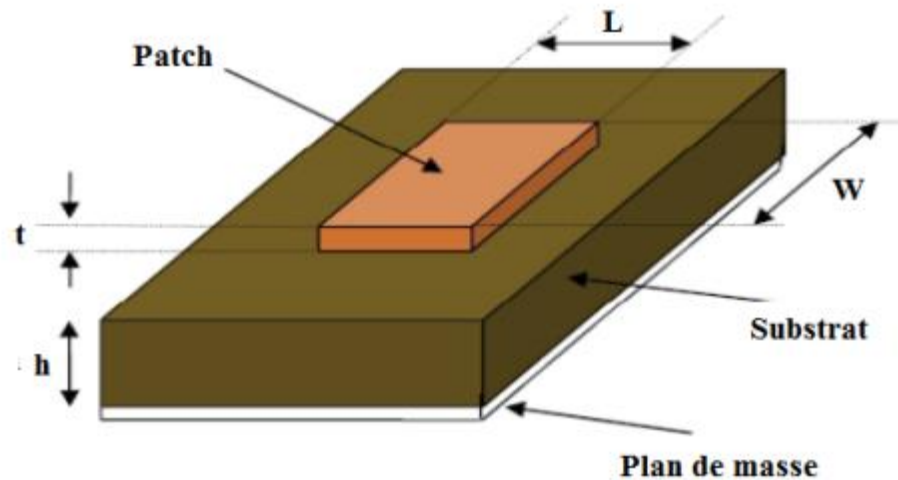


Figure II-6 : Antenne patch [19]

Dans une antenne patch, la majeure partie de la propagation se fait au-dessus du plan de masse et peut avoir un gain directionnel élevé.

II.6.4 Antenne F inversé planaire (PIFA)

L'antenne Planer Inverti-F (PIFA) est de plus en plus utilisée sur le marché de la téléphonie mobile.

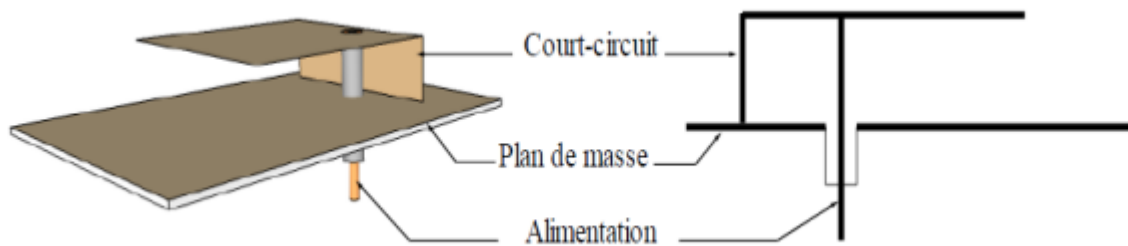


Figure II-7 : Antenne PIFA [20]

L'antenne résonne à un quart de longueur d'onde (réduisant ainsi l'espace requis sur le téléphone)

Et possède généralement de bonnes propriétés SAR. Cette antenne ressemble à un F inversé, ce qui explique le nom PIFA. L'antenne Phanar Inverted-F est populaire car elle a un profil bas et un motif omnidirectionnel.

II.7 Les e-textiles dans l'habillement

II.7.1 Les textiles intelligents

Les textiles intelligents, également appelés textiles électroniques (e-textiles) ou tissus intelligents, sont des textiles qui contiennent des composants électroniques et améliorent les caractéristiques des vêtements, des automobiles et d'autres produits. Ils sont soit transformés en un produit textile, soit créés avec l'intention d'être intégrés dans un textile.

II.7.2 Les e-textiles

Le vêtement connecté utilise des micro capteurs dans le tissu du vêtement pour analyser divers paramètres tels que le mouvement, la température corporelle, la tension, l'activité pulmonaire et cardiaque, ainsi que mesurer la distance parcourue, les pas effectués et les pas effectués. Permet brûler des calories et plus encore. Ces textiles high-techs sont également équipés de capteurs lumineux et sonores et réagissent en fonction de leur environnement. Enfin, les vêtements connectés peuvent jouer un rôle de surveillance dans les services de santé, les alertant de signaux anormaux



Figure II-8 : Schéma des fonctions nécessaires au fonctionnement des e-textiles [21]

II.8 Les métamatériaux

II.8.1 Définition

Les métamatériaux sont des matériaux non naturels conçus par l'homme avec des propriétés électromagnétiques inhabituelles. Le préfixe "méta" signifie "au-delà de" ou "un niveau au-dessus", le terme métamatériau désigne donc une classe de matériaux dont les propriétés vont d'une certaine manière au-delà de ce l'on peut espérer observer dans des matériaux classiques.

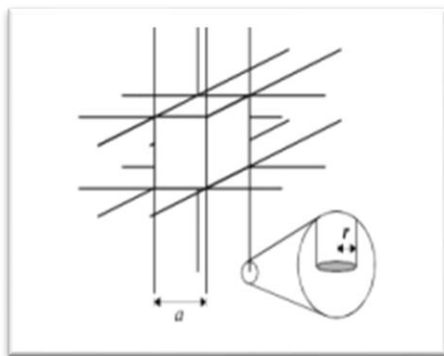
II.8.2 Origine et développement des métamatériaux

En 1966, Victor Georgievich Veselago, physicien théoricien russe, professeur à l'institut de physique et de technologie de Moscou, décrit théoriquement la propagation des ondes électromagnétiques dans des matériaux possédant une constante diélectrique et une perméabilité négative [22]. Il fit le constat qu'à priori rien n'interdisait d'avoir un milieu à perméabilité relative μ_r et à permittivité relative ϵ_r toutes deux négatives pour une onde (\vec{E}, \vec{B}) se propageant

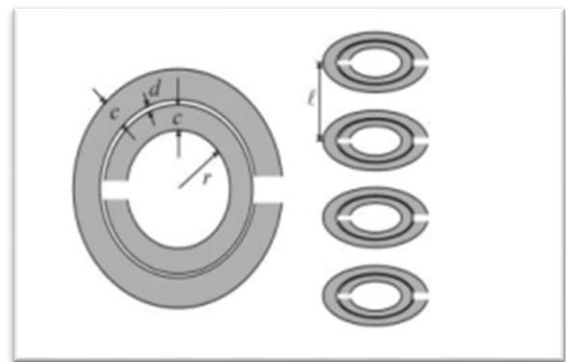
dans le milieu à la vitesse $v = c / \sqrt{\epsilon_r \mu}$. Un matériau présentant cette double négativité aurait vis-à-vis de la propagation de cette onde un comportement tout à fait atypique. La vitesse de groupe serait en effet négative, produisant notamment une inversion de l'effet Doppler, de la radiation Tcherenkov et de la pression de radiation. Il posséderait également un indice optique négatif, inversant ainsi les lois de Snell-Descartes et permettant d'obtenir une réfraction négative à son interface.

La condition de double négativité resta longtemps difficile à réaliser. On connaissait la possibilité d'obtenir séparément soit une permittivité ϵ_r négative (avec un plasma par exemple) soit une perméabilité μ_r négative, mais la double négativité n'a réellement fait son apparition qu'à la fin des années 90 avec les travaux de J. Pendry, professeur à l'Imperial Collège. Dans deux articles successifs en 1996 puis 1999, il proposa le concept de cellules élémentaires possédant chacune l'une des négativités recherchées.

Dans un premier article [23], il montra que l'association de fins fils conducteurs (fils d'aluminium) dans une structure de type « cage à poule1 » conduit dans le domaine du micro-onde ≈ 10 GHz à une constante diélectrique effective ϵ_{eff} négative pour une onde se propageant au sein de la structure. Une particularité de ces fils est que leur diamètre est bien plus petit que la longueur d'onde. Dans un second article [24], une cellule en forme d'anneau, appelée « split ring resonator » (SRR), plus petite que la longueur d'onde, est fabriquée afin d'obtenir une perméabilité effective μ_r négative (figure II-9).



(a) Cellule « fil » avec $\epsilon_r < 0$ [23]



(b) Cellule SRR avec $\mu_r < 0$ [24]

Figure II-9 : Cellules élémentaires électromagnétiques permettant d'affecter : (a) le champ électrique (b) le champ magnétique.



(a) : réseau de fils métalliques cylindriques (b) : réseau de résonateurs circulaires coupés (c) : associations des deux réseaux précédents

Figure II-10 : Association de cellules élémentaires

L'association de ces deux cellules élémentaires en une « méta cellule », dont la fabrication était complètement contrôlée, rendit alors possible l'obtention d'un matériau possédant pour l'onde électromagnétique une permittivité et une perméabilité toutes deux négatives dans le domaine des micro-ondes. Ce travail expérimental fut réalisé en 2000 par l'équipe du professeur David Smith [25]. Le premier métamatériau à résonances locales électromagnétiques d'indice négatif $n_{\text{eff}} \approx -3$ était né ². Cette même année, J. Pendry démontra grâce aux travaux de V. Veselago qu'un tel matériau permettrait la production d'une superlentille plate exempte d'aberrations [26]. Cette lentille pourrait alors focaliser l'énergie lumineuse sur une taille inférieure à la limite de diffraction

Suite à ces travaux, on prit conscience de la possibilité incroyable qu'offrait ce genre de matériau pour le contrôle de la propagation du champ électromagnétique [27]. [28]. Une application directe de cette technologie fut la réalisation d'une cape d'invisibilité dans le domaine micro-onde [29][30].

II.8.3 Caractéristiques des métamatériaux

II.8.3.1 Constante diélectrique relative (Permittivité)

La constante diélectrique relative, également appelée permittivité relative, est une propriété physique qui mesure la capacité d'un matériau à stocker l'énergie électrique lorsqu'il est soumis à un champ électrique. Elle est définie comme le rapport de la permittivité d'un matériau à celle du

vide. La constante diélectrique relative indique comment un matériau modifie le champ électrique à l'intérieur de celui-ci par rapport au vide. Elle joue un rôle important dans de nombreux domaines de l'électromagnétisme, tels que la propagation des ondes électromagnétiques et la conception d'antennes.

II.8.3.2 Tangente de perte

La tangente de perte, ou facteur de dissipation, mesure la quantité d'énergie dissipée sous forme de chaleur lorsqu'un matériau est soumis à un champ électromagnétique. Elle représente le rapport entre la puissance dissipée et la puissance réactive du matériau. La tangente de perte évalue les pertes d'énergie dues à des facteurs tels que la conductivité électrique et les défauts du matériau. Elle est couramment utilisée pour caractériser les propriétés de dissipation des matériaux diélectriques et des composants électroniques.

II.8.3.3 Perméabilité relative

La perméabilité relative est une mesure de la capacité d'un matériau à répondre magnétiquement à un champ magnétique appliqué. Elle est définie comme le rapport de la perméabilité magnétique d'un matériau à celle du vide. La perméabilité relative indique comment un matériau modifie la densité de flux magnétique à l'intérieur de celui-ci par rapport au vide. Elle joue un rôle important dans de nombreux domaines de l'électromagnétisme, tels que la propagation des ondes électromagnétiques et la conception de dispositifs magnétiques.

II.8.3.4 Impédance

L'impédance d'entrée de l'antenne, notée Z_A , est définie comme l'impédance présentée aux bornes de l'antenne. Cette impédance décrit la relation entre la tension et le courant, ou entre la composante électrique tangentielle et le champ magnétique au port de l'antenne

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en premier lieu, des généralités sur les antennes corporelles. Nous nous sommes intéressés aux types d'antennes textiles, leurs caractéristiques et leurs applications. Ensuite nous avons défini les textiles dans l'habillement, utilisés en tant que

matériaux d'antennes en mettant en évidence leurs propriétés spécifiques. La seconde partie de ce chapitre a été consacré à la définition et aux caractéristiques des métamatériaux.

***Chapitre III : Conception et résultats de
simulation***

III.1 Introduction

Les antennes textiles fabriquées à partir de matériaux souples et conducteurs, sont conçues pour être intégrées discrètement dans les tissus des vêtements, offrant ainsi une connectivité sans fil pratique et élégante. Elles permettent aux utilisateurs de rester connectés à leurs appareils électroniques, tels que les téléphones portables et les dispositifs IoT, sans avoir besoin d'accessoires externes.

Dans ce chapitre, nous nous consacrerons à l'étude et à la conception d'antennes textiles portables compactes et centrées sur le corps humain pour les applications 5G en utilisant le simulateur CST (Computer Simulation Technology). Nous présentons les résultats de simulation des antennes conçues et proposées pour les applications 5G. Ensuite, nous nous intéressons à l'amélioration des performances de ces antennes.

III.2 Outil de simulation

Le logiciel CST est un puissant outil de simulation électromagnétique largement utilisé pour la conception et l'analyse de systèmes électromagnétiques dans divers domaines de l'ingénierie et des sciences appliquées.

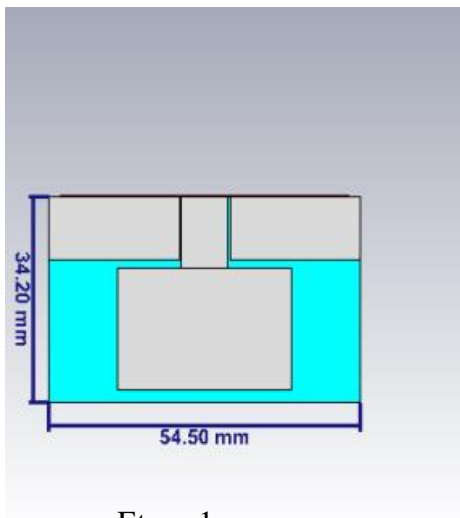
Les utilisateurs de CST peuvent importer des modèles géométriques en 3D, définir les propriétés des matériaux, les sources électromagnétiques et les conditions aux limites, puis exécuter des simulations pour étudier le comportement des champs électromagnétiques dans leur système.

Les résultats de simulation sont généralement présentés sous forme de graphiques, de cartes de champ ou d'animations, permettant ainsi d'analyser et de visualiser les performances du dispositif ou du système.

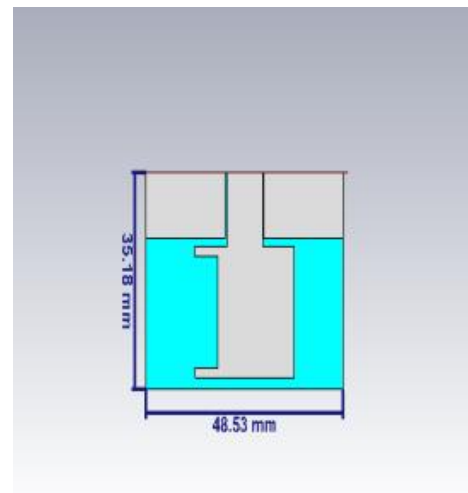
III.3 Antennes proposées

III.3.1 Antenne proposée 1

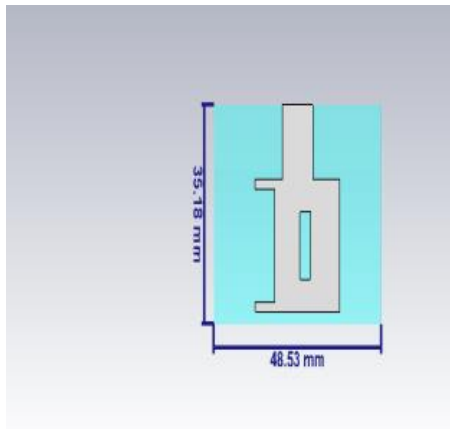
La première antenne conçue est une antenne textile coplanaire, sur substrat de type feutrine caractérisée par une permittivité $\epsilon_r=1.22$, une épaisseur de 2 mm et une tangente de perte $\tan \delta=0.016$. Pour le patch et le plan de masse nous avons utilisé le Zelt qui est un tissu en nylon lisse recouvert d'étain/cuivre, son épaisseur est de 0.06 mm et sa conductivité est égale à $1 \text{ e}+006 \text{ S/m}$. La Figure III-1 montre les étapes de conception de cette antenne. Nous avons choisi une alimentation par guide d'onde coplanaire.



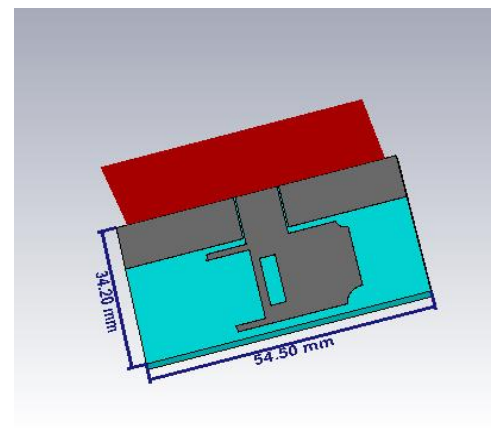
Etape 1



Etape 2



Etape 3



Etape 4

Figure III-1 : Etapes de conception de l'antenne proposée 1

La figure III-2 montre la géométrie de l'antenne proposée 1.

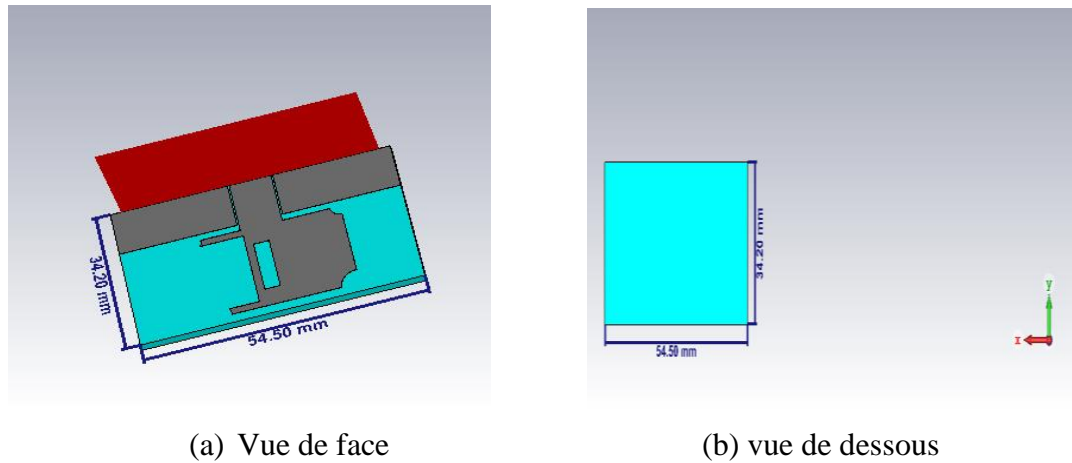


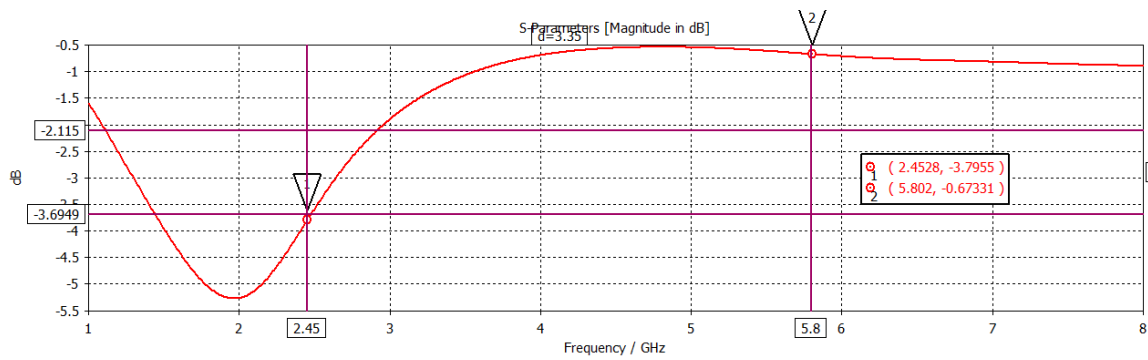
Figure III-2 : Géométrie de l'Antenne proposée 1

Le tableau III--1 montre les paramètres géométriques de l'antenne proposée 1.

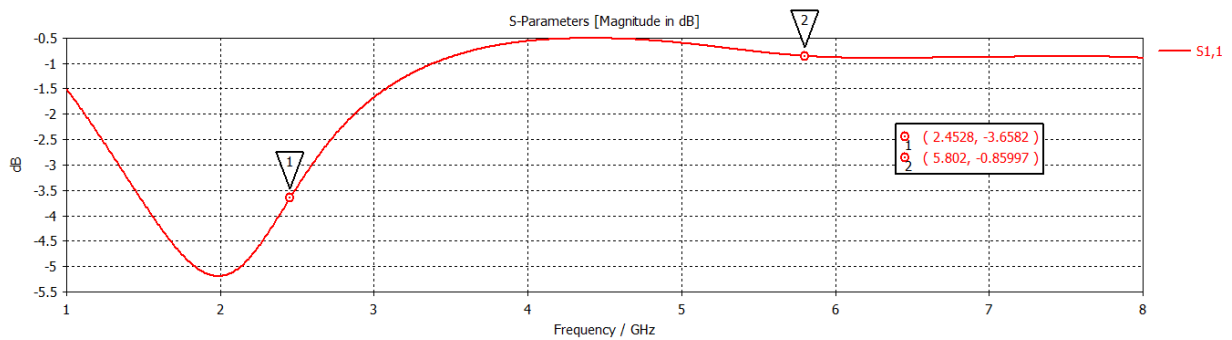
Paramètres	Dimensions (mm)	Description
Wp	30.50	Largeur de patch
Lp	20.20	Longueur de patch
Hs	2	Epaisseur de substrat
Em	0.06	Epaisseur de patch
Wf	8.14	Largeur de la ligne d'alimentation
R1	6	Rayon (1) du patch circulaire
R2	3.5	Rayon (2) du patch circulaire
R3	2	Rayon (3) du patch circulaire
R4	3.5	Rayon (4) du patch circulaire

Tableau III-1 : Paramètres géométriques de l'antenne proposée 1

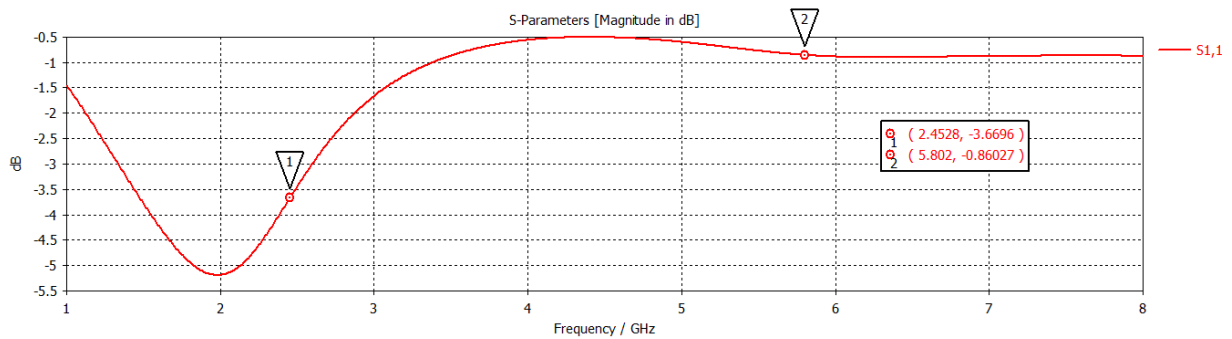
La figure III-3 présente le coefficient de réflexion de l'antenne proposée 1.



Etape 1



Etape 2



Etape 3

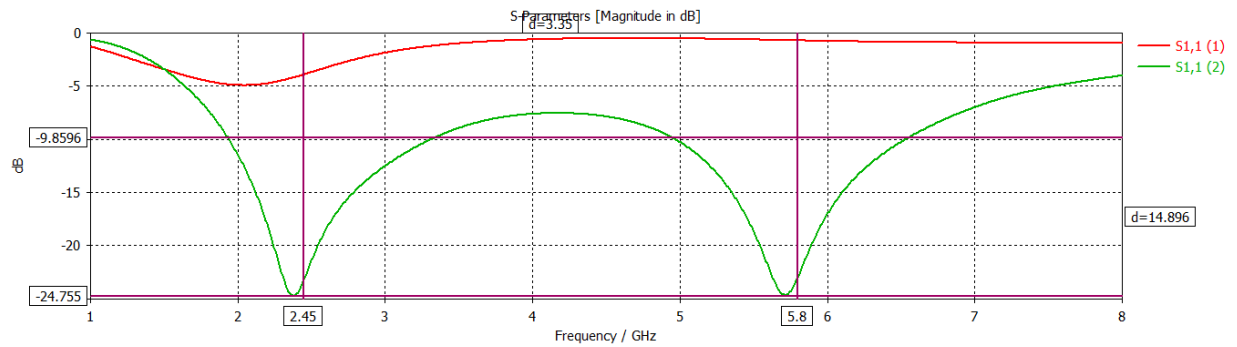
Figure III-3 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 1 de chaque étape

Nous remarquons que l'antenne ne présente pas une bonne adaptation autour des fréquences de fonctionnement désirées.

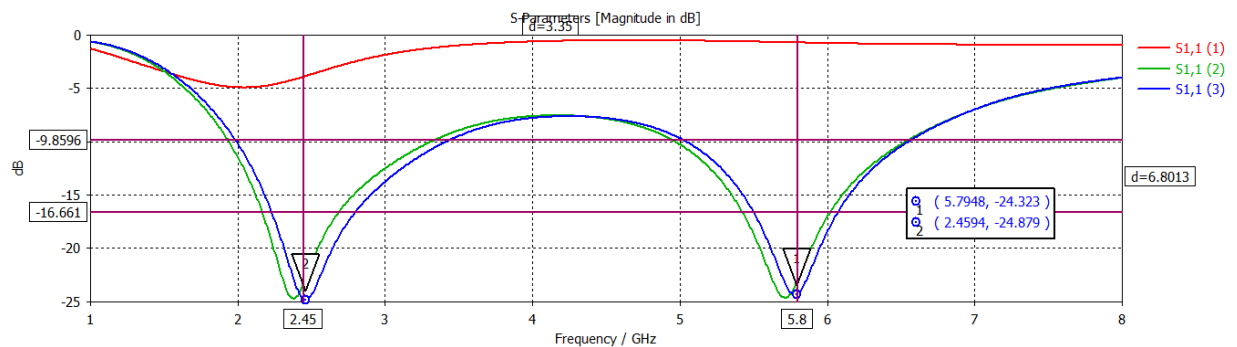
Nous effectuons une étude paramétrique approfondie de cette conception afin de comprendre l'impact de chaque paramètre sur l'évolution du coefficient de réflexion. Cette analyse nous permettra de mieux contrôler les performances de l'antenne.

III.3.1.1 Etude paramétrique de W_p et L_p

La figure III-4 montre que les paramètres W_p et L_p ont une influence significative sur l'adaptation et la largeur de bande de fréquence de l'antenne.



(a)



(b)

Figure III-4 : Influences des paramètres W_p à (a) et de L_p à (b)

III.3.1.2 Performances de l'antenne proposée 1

La figure III-5 représente la variation du coefficient de réflexion S_{11} (dB) en fonction de la fréquence. Nous remarquons une bonne adaptation aux fréquences 2.45 GHz et 5.8 GHz.

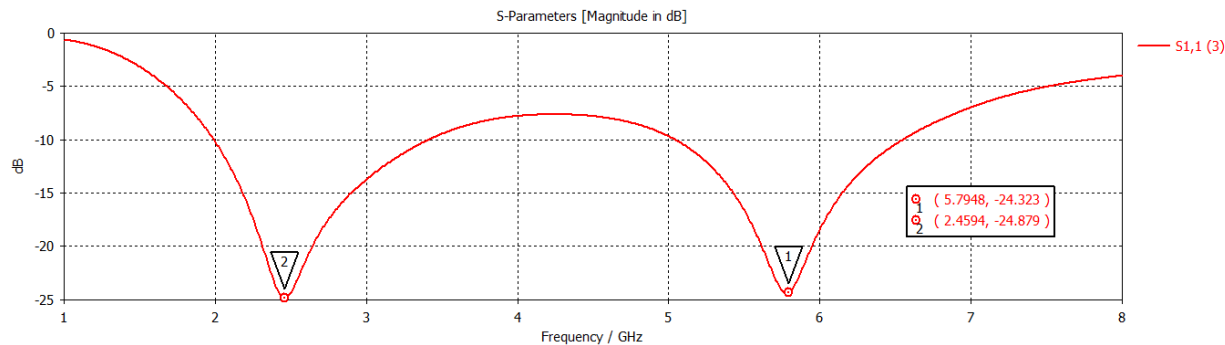


Figure III-5 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 1

La figure III-6 représente le gain de l'antenne en fonction de la fréquence. Nous remarquons que la valeur du gain est de 1.0794 à la fréquence 2.45 GHz et qu'elle est égale à 2.2841 à la fréquence 5.8 GHz.

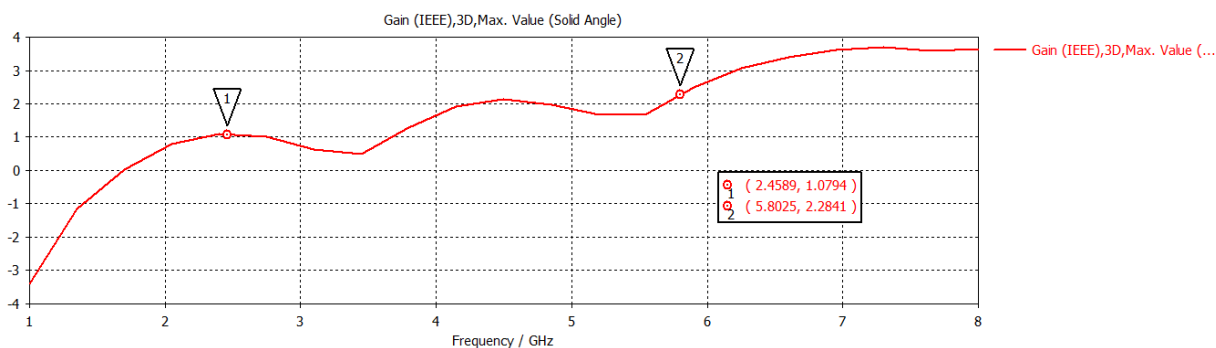


Figure III-6 : Gain de l'antenne proposée 1

La figure III-7 montre que le taux d'onde stationnaire est inférieur à 2 aux fréquences souhaitées, ce qui montre que l'antenne est bien adaptée.

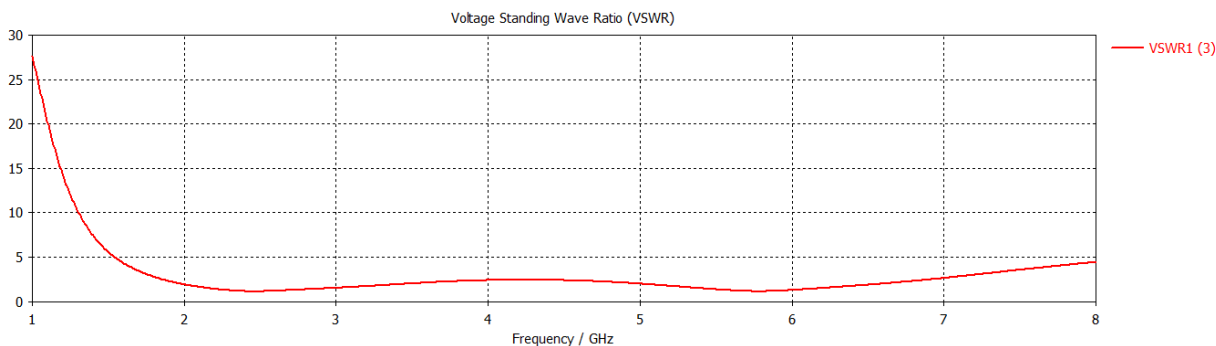
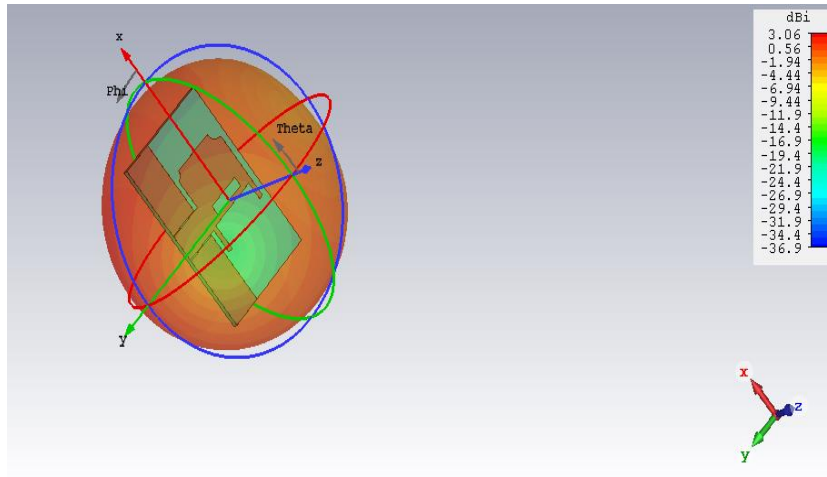
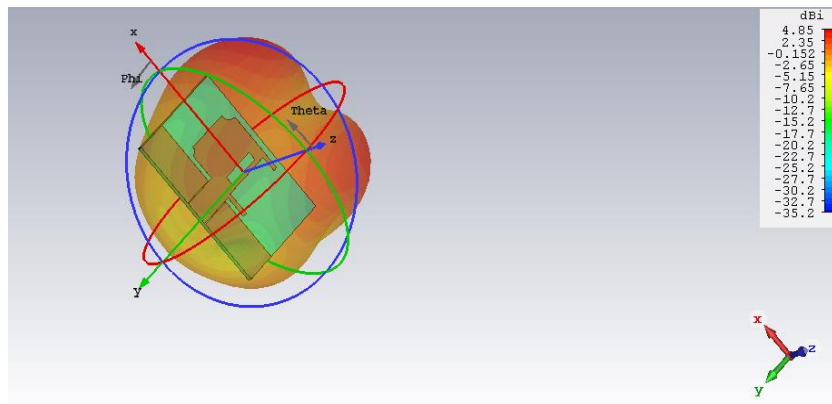


Figure III-7 : Taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence

Le résultat obtenu et représenté sur la figure III-8 montre le diagramme de rayonnement aux fréquences de fonctionnement 2.45 GHz et 5.8 GHz.



(a)



(b)

Figure III-8 : Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée 1

(a) fréquence 2.45 GHz

(b) fréquence 5.8 GHz

III.3.2 Antenne proposée 2

Toujours en partant de la même antenne initiale et en utilisant le même type de substrat, nous avons conçu une deuxième antenne. La figure III-9 représente la géométrie de cette antenne proposée. Le plan de masse est partiel et il est situé dans la face arrière du substrat tandis que l'alimentation est assurée par une ligne micro-ruban

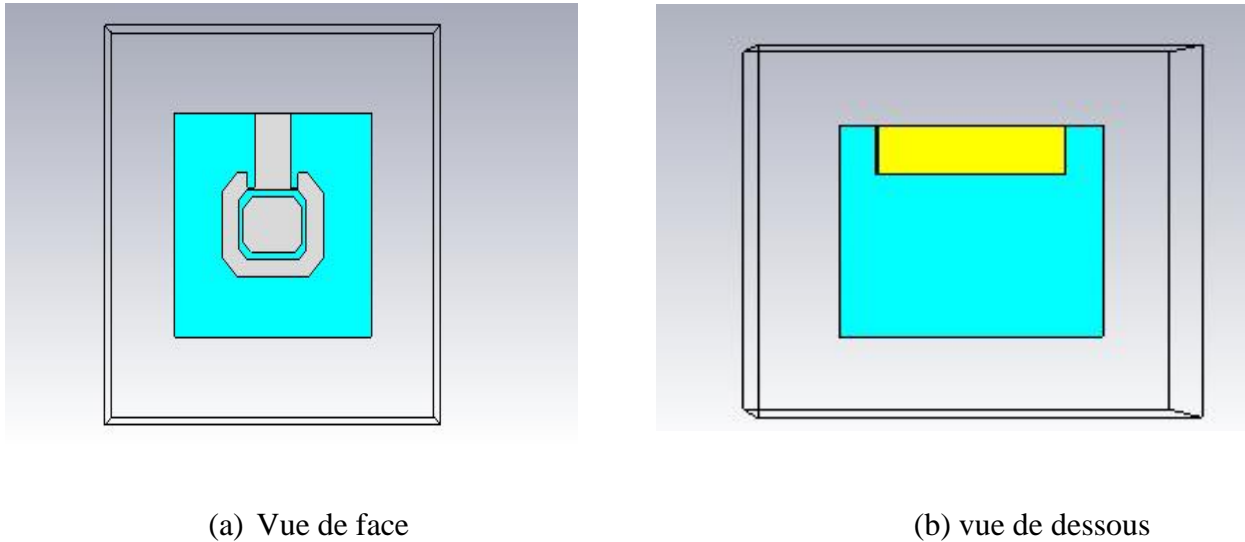


Figure III-9 : Géométrie de l'antenne proposée 2

Tableau III-2 montre les paramètres géométriques de l'antenne proposée 2.

Paramètres	Dimensions (mm)	Descriptions
W_p	26	Largeur de patch
L_p	20.95	Longueur de patch
H_s	2	Epaisseur de substrat
E_m	0.06	Epaisseur de patch
W_f	9	Largeur de ligne d'alimentations

Tableau III-2 : Paramètres géométriques de l'antenne proposée 2

La variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence est montrée sur la figure III-10. Nous observons que l'antenne est bien adaptée aux deux fréquences de fonctionnement.

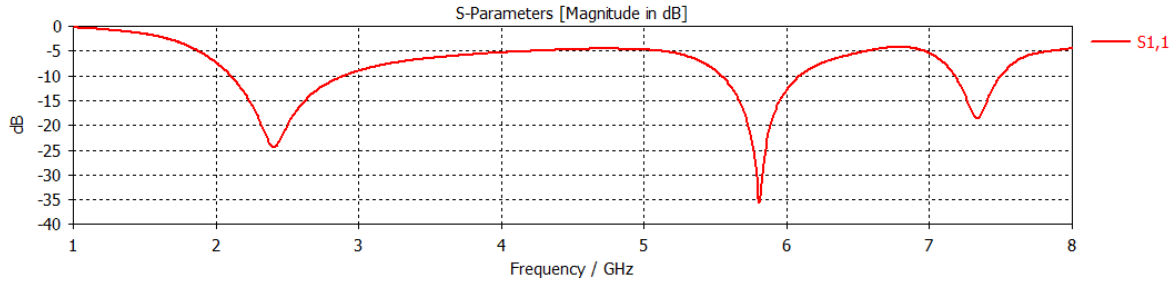


Figure III-10 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2

Les figures III-11 et III-12 représentent respectivement la variation du gain et la variation du taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

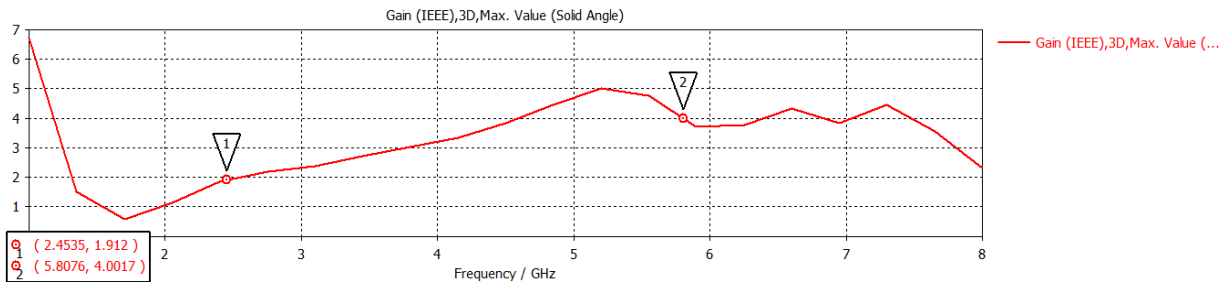


Figure III-11 : Variation du gain en fonction de la fréquence

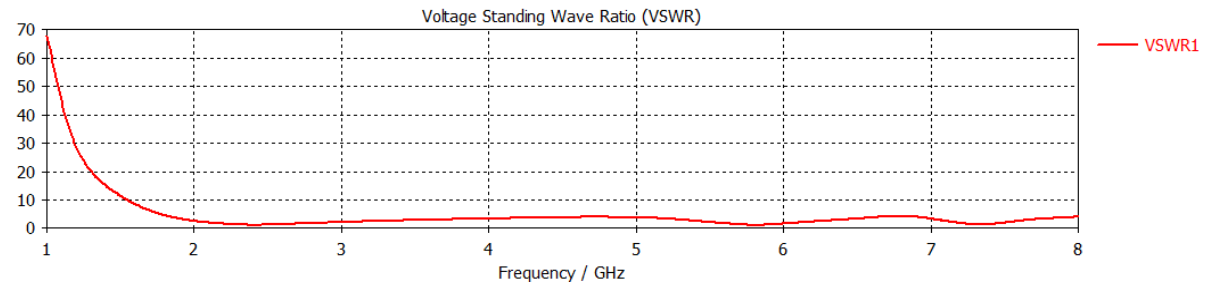
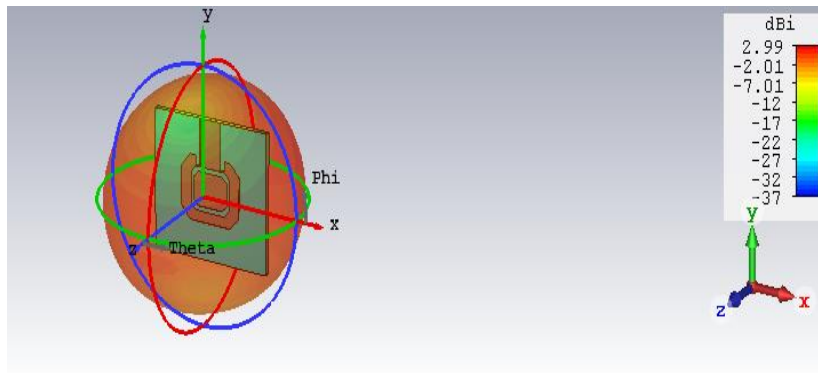
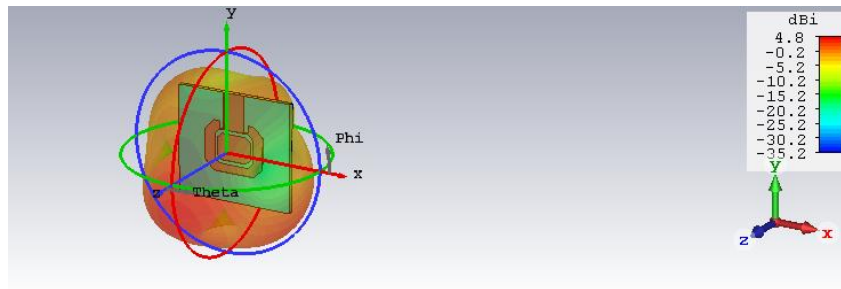


Figure III-12 : Variation du taux stationnaire en fonction de la fréquence

Le diagramme de rayonnement aux fréquences de fonctionnement 2.45 GHz et 5.8 GHz est représenté dans la figure III-13.



(a)



(b)

Figure III-13 : Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée 2

III.3.3 Antenne proposée 3

En suivant les mêmes étapes nous avons conçu une troisième antenne sur un substrat de type FR-4 (Lossy) de permittivité relative = 4.3 et de tangente de perte $\tan\delta=0.025$, d'épaisseur $h_s = 1.6$ mm Le patch et le plan de masse sont en cuivre avec une épaisseur de métallisation de 0.035mm.La figure III-14 représente la géométrie de cette deuxième antenne conçue.

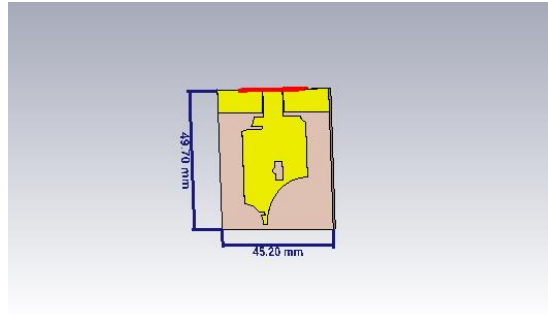


Figure III-14 : Géométrie de l'antenne proposée 3

Le tableau III-3 représente les paramètres géométriques de l'antenne proposée 3.

Les paramètres	Dimensions (mm)
Wp	26
Lp	38,5
Hs	1.6
Em	0.035
Wf	8.14
Wf1	1
R1	5
R2	2
R3	17
R4	1

Tableau III-3 : Paramètres géométriques de l'antenne proposée 3

La représentation du coefficient de réflexion de l'antenne proposée est montrée dans la figure III-15.

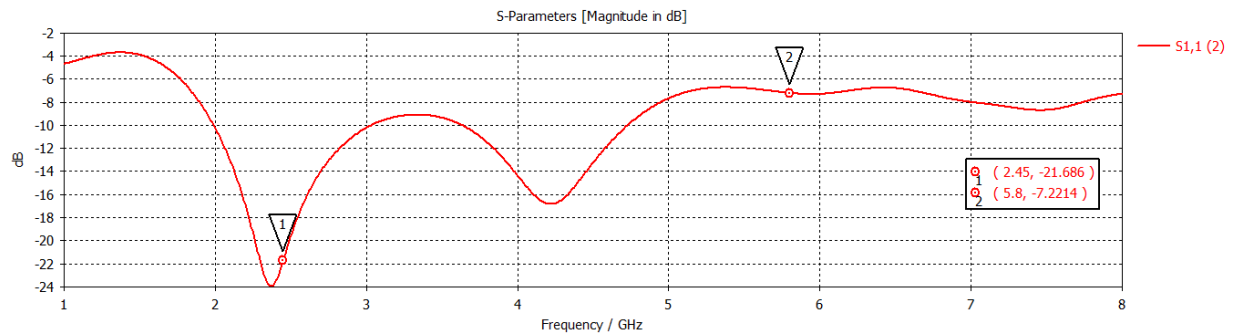


Figure III-15 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 3

D'après ce résultat, on remarque que l'antenne ne présente pas une bonne adaptation aux fréquences 2.45 GHz et 5.8 GHz. Donc nous effectuons une étude paramétrique des paramètres géométriques de l'antenne afin de contrôler l'évolution du coefficient de réflexion en fonction de chaque paramètre.

III.3.3.1 Etude paramétrique de l'antenne proposée 3

L'adaptation de l'antenne est influencée par le paramètre R1, comme indiqué dans la figure III-16.

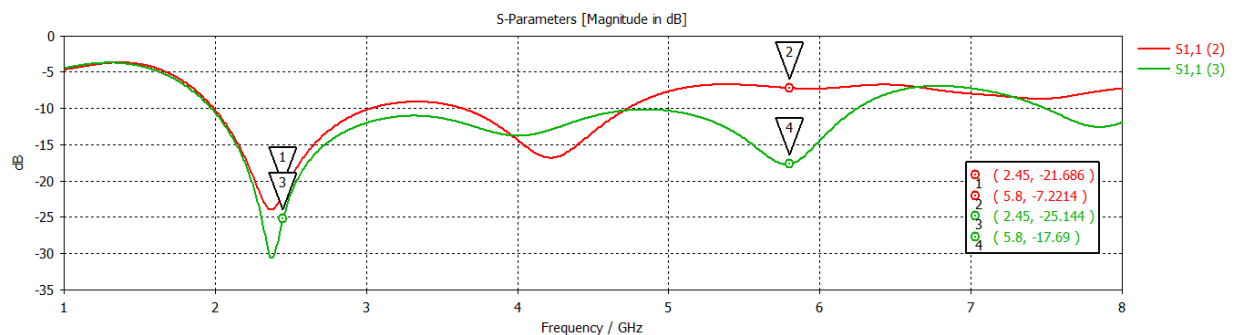


Figure III-16 : Effet du paramètre R1 sur l'adaptation de l'antenne

La figure III-17 montre clairement que le paramètre L_p joue un rôle significatif sur l'adaptation de l'antenne conçue.

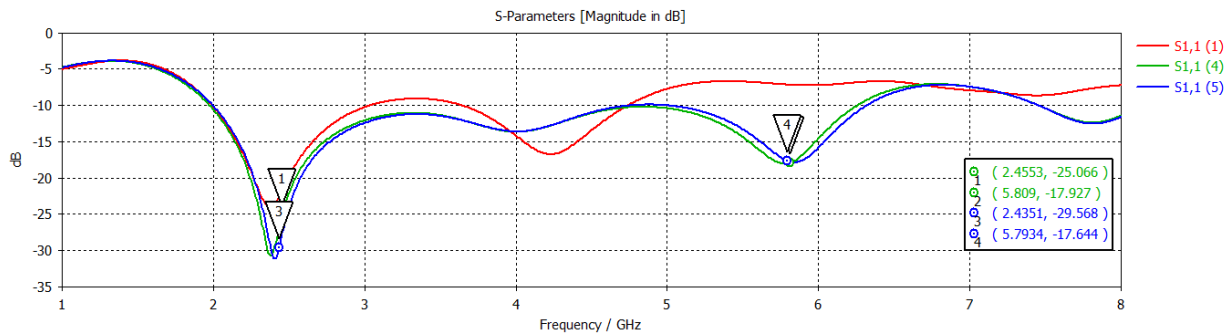


Figure III-17 : Influence du paramètre L_p sur l'adaptation de l'antenne

III.3.3.2 Performance de l'antenne proposée 3

Le coefficient de réflexion de l'antenne, obtenu après une étude paramétrique, est illustré sur la figure III-18. Nous observons une bonne adaptation de l'antenne aux deux fréquences de fonctionnement avec une valeur du S_{11} de -29,56 dB pour la fréquence 2.45 GHz et -17,64 dB pour la fréquence 5.8 GHz.

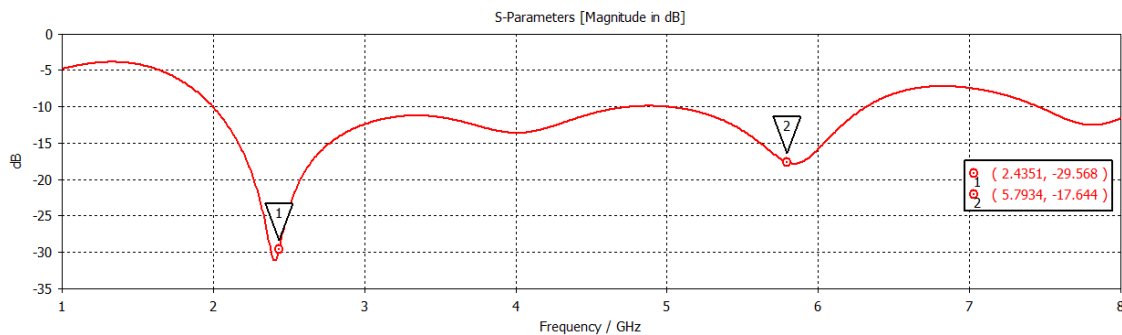


Figure III-18 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 3

La figure III-19 montre la variation du gain en fonction de la fréquence.

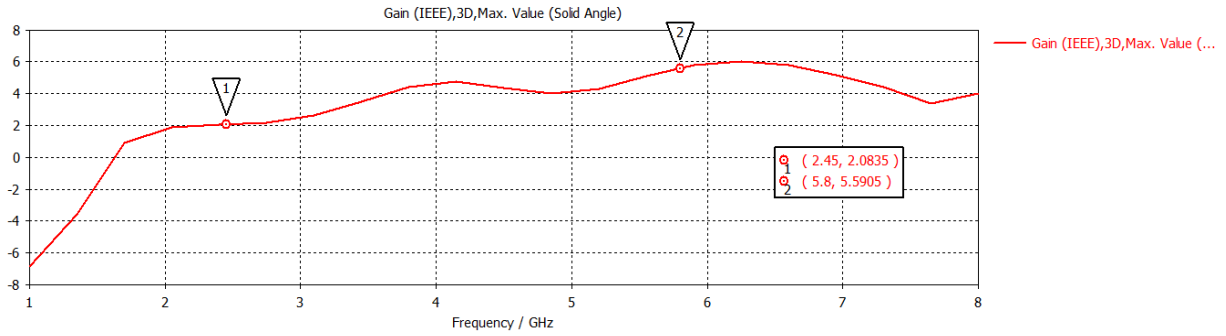
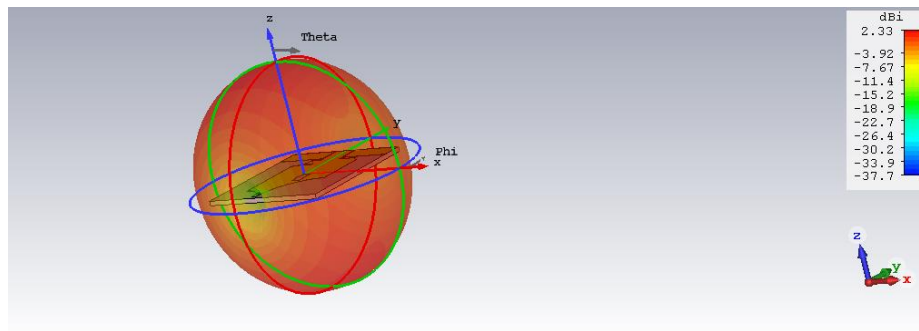
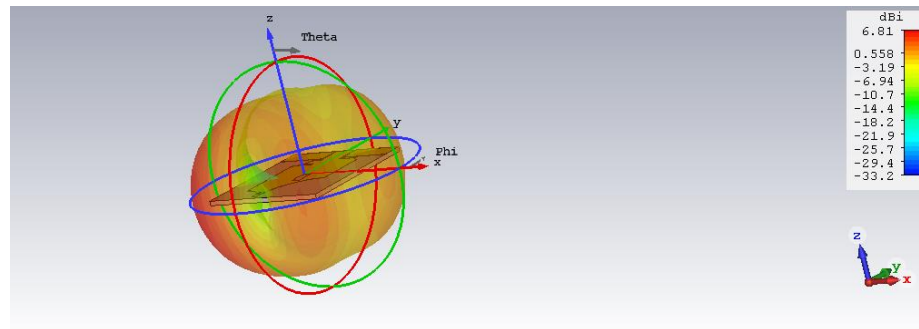


Figure III-19 : Variation du gain en fonction de la fréquence

La figure III-20 montre les diagrammes de rayonnement aux deux fréquences de résonance, auxquelles l'antenne résonne le mieux et émet le plus efficacement.



(a)



(b)

Figure III-20 : Diagramme de rayonnement en 3 D : (a) à 2.45 GHz et (b) à 5.8 GHz

Le rapport d'onde stationnaire (VSWR), montré sur la figure III-21, est inférieur à 2 aux deux fréquences de résonance 2.45 GHz et 5.8 GHz, on peut conclure que l'antenne est correctement adaptée à ces deux fréquences de fonctionnement.

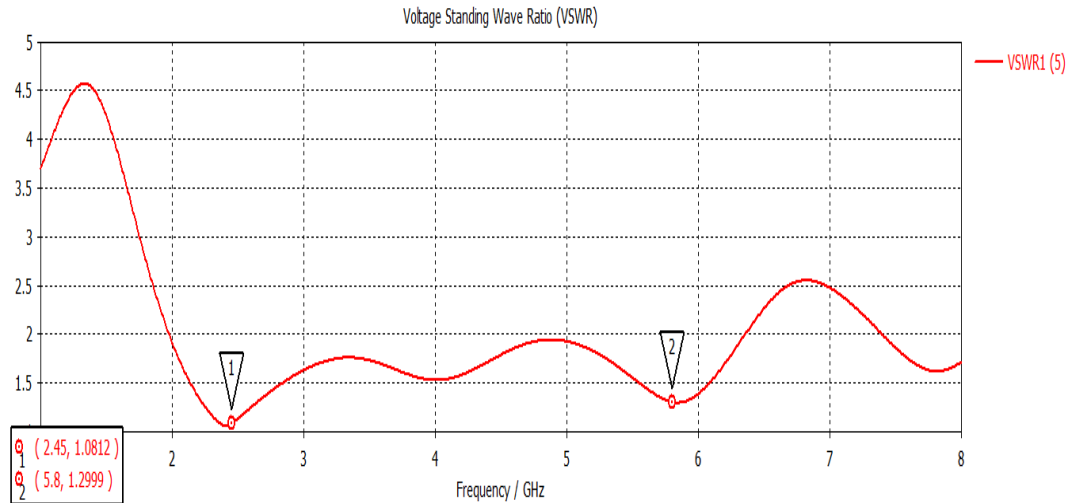


Figure III-21 : Rapport stationnaire de l'antenne proposée 3

III.3.4 Antenne proposée 4

En utilisant le même type de substrat mais avec une épaisseur de 1.5 mm à la place de 1.6 mm, nous avons conçu une quatrième antenne. La figure III-22 représente la géométrie de l'antenne proposée 4.

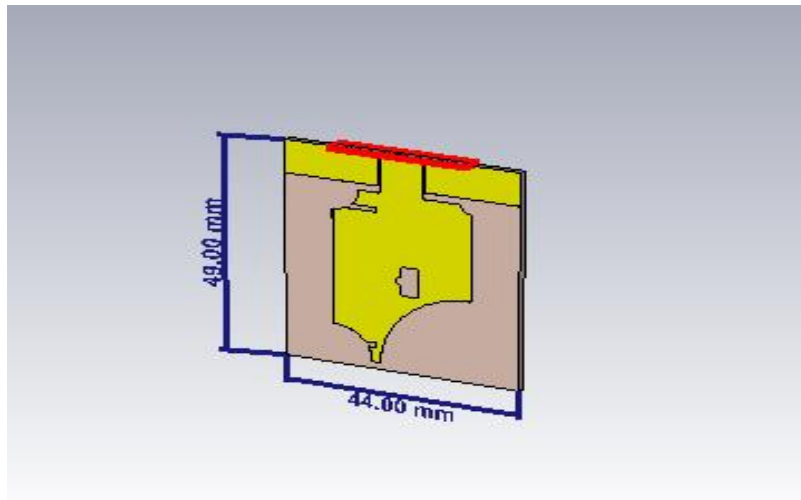


Figure III-22 : Géométrie de l'antenne proposée 4

Le coefficient de réflexion (S11) est représenté sur la figure III-23.

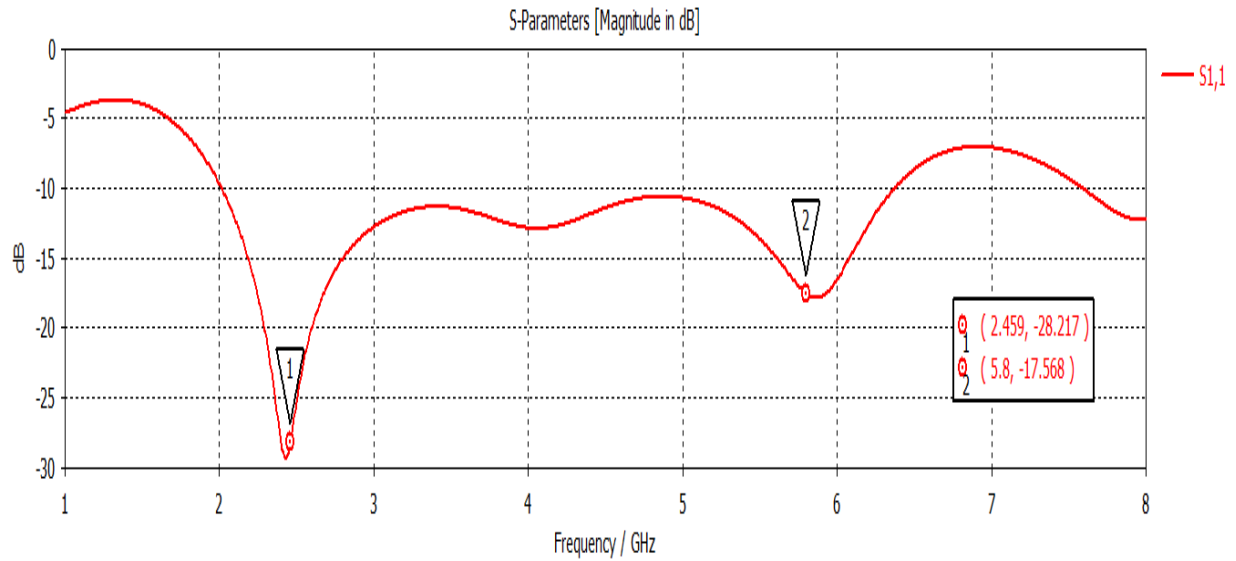


Figure III-23 : Coefficient de la réflexion de l'antenne proposée 4

La figure III-24 montre que le gain de l'antenne varie avec la fréquence et que le maximum de gain est inférieur à 6 dB.

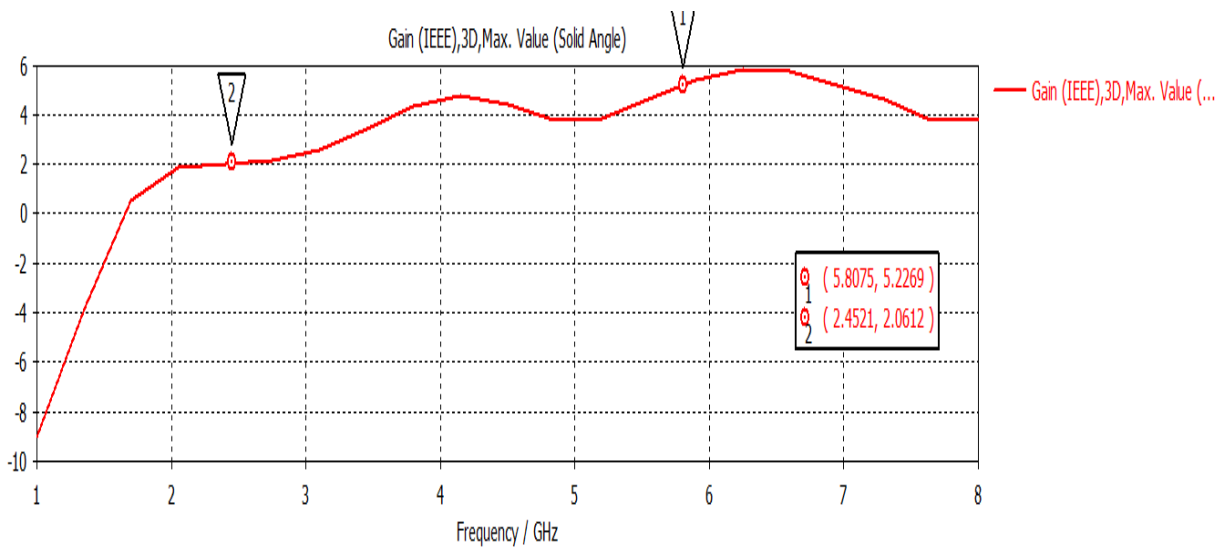


Figure III-24 : Gain de l'antenne proposée 4

La figure III-25 montre la variation du taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence. Il reste compris entre 1 et 2 aux deux fréquences de fonctionnement. Ce qui montre une bonne adaptation, et donc un transfert maximal de puissance entre l'alimentation et l'antenne.

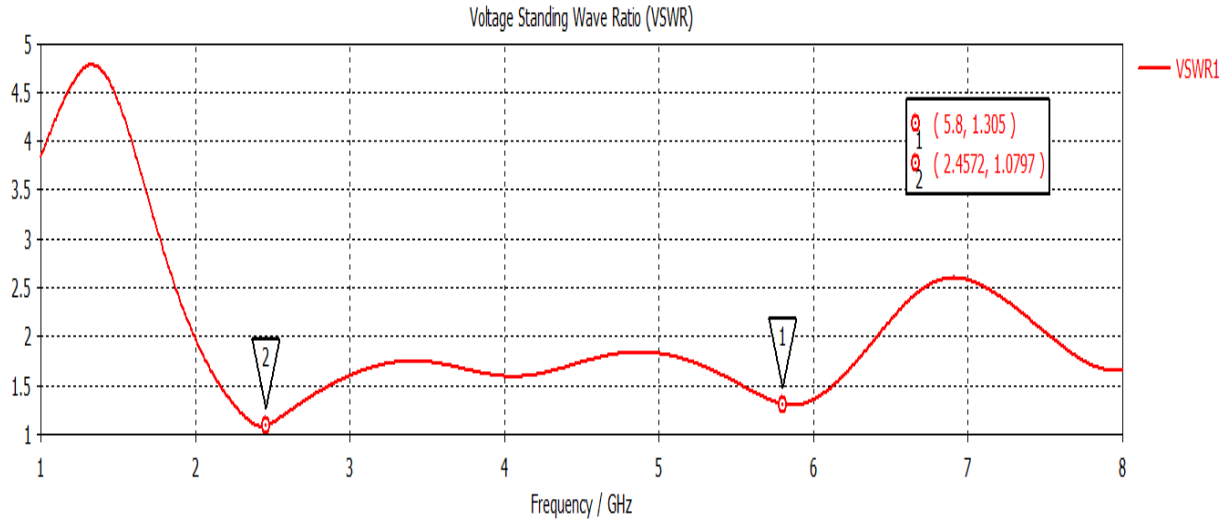
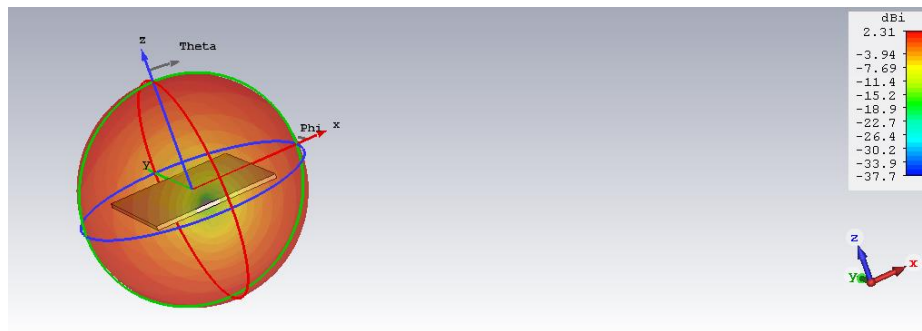
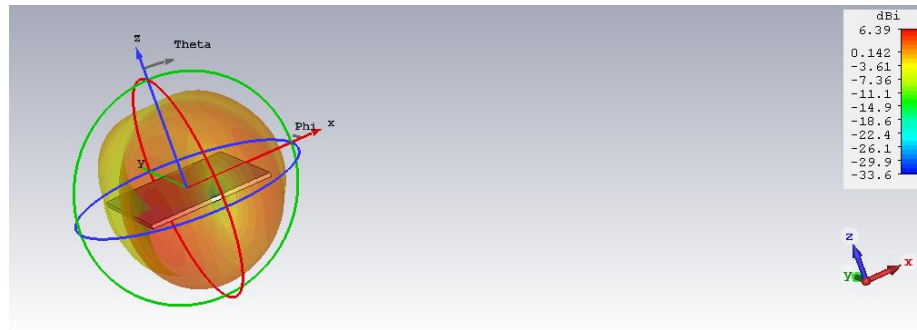


Figure III-25 : VSWR en fonction de fréquence

Sur la figure III-26 nous représentons le diagramme de rayonnement de gain aux deux fréquences de fonctionnement 2.45 GHz et 5.8 GHz.



(a)

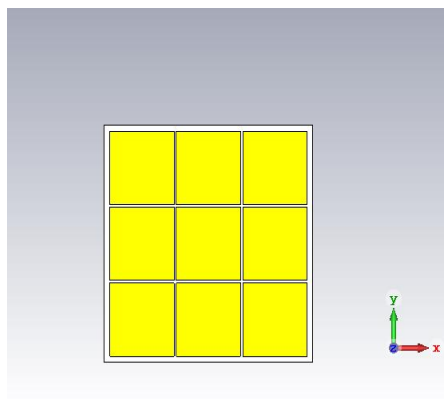


(b)

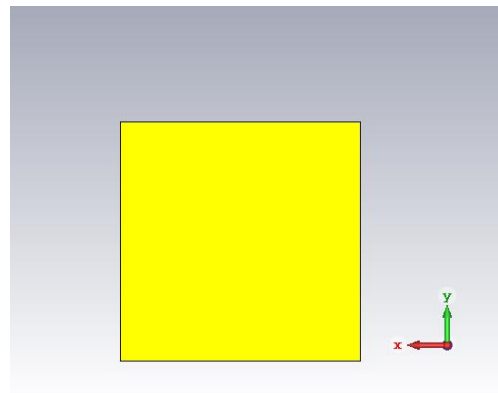
Figure III-26 : Diagramme de rayonnement : (a) à 2.45 GHz et (b) à 5.8 GHz

III.3.5 Antenne proposée 4 avec réflecteur

Nous avons ajouté au-dessous de l'antenne proposée 4 une structure de réflecteur pour améliorer ses performances. Il s'agit d'une structure AMC avec (3x3) patches carrés sur la face avant du substrat et un plan de masse en arrière, comme la montre la figure III-27.



(a) Vue de face



(b) vue de derrière

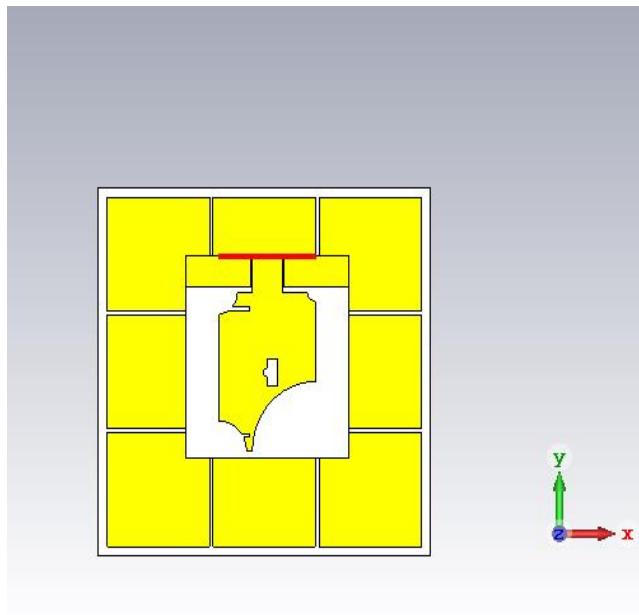
Figure III-27 : Structure de réflecteur avec AMC

Le tableau III-4 donne les valeurs du réflecteur avec AMC

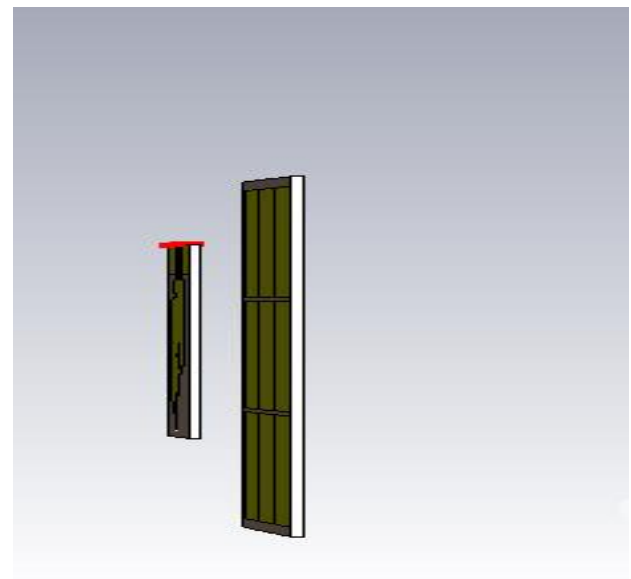
Paramètres	Dimensions (mm)	Descriptions
Ws	90	Largeur de AMC
Ls	90	Longueur de AMC
Hv	7	L'espace entre AMC et antenne
Amx	27,75	Largeur de patch
Amy	27,75	Longueur de patch

Tableau III-4 : Dimensions du réflecteur avec AMC

La figure III-28 représente la structure de l'antenne avec réflecteur.



(a) Vue de face



(b) vue de profil

Figure III-28 : Structure de l'antenne avec réflecteur

Les figure III-29 et III-30 représentent respectivement, en fonction de la fréquence, le coefficient de réflexion S11 (dB) et le gain de l'antenne avec réflecteur.

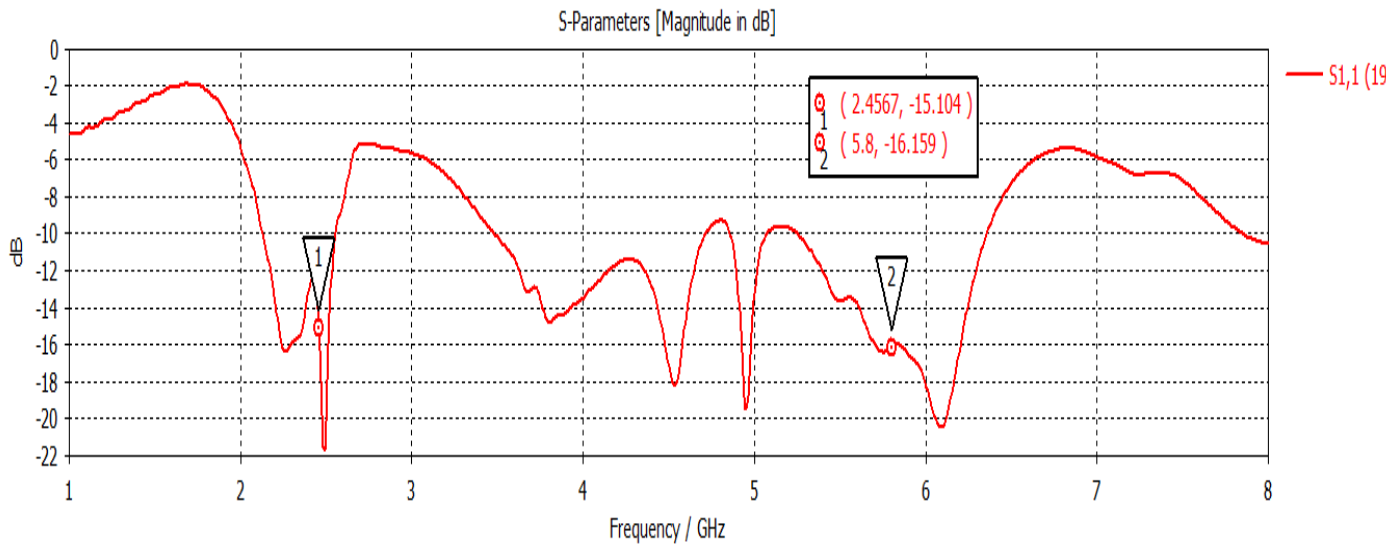


Figure III-29 : Coefficient de réflexion de l'antenne avec réflecteur

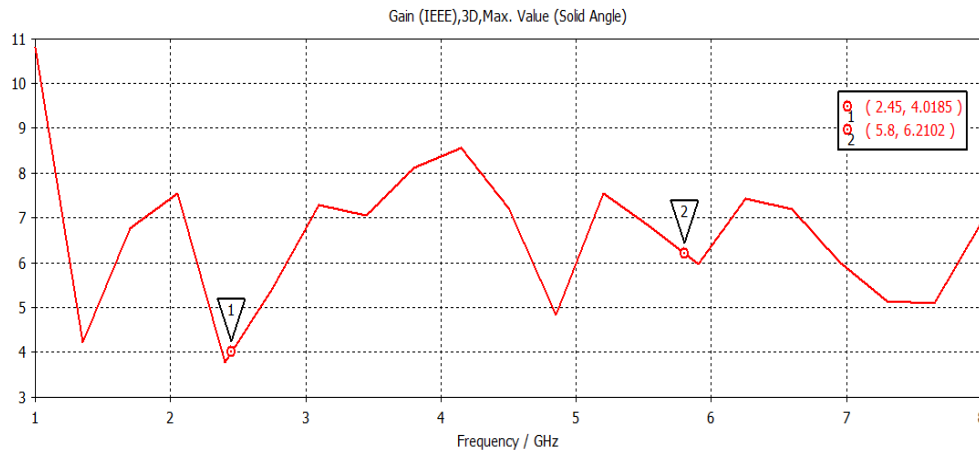


Figure III-30 : Gain de l'antenne avec réflecteur

Nous avons réadapter notre antenne pour fonctionner aux deux fréquences souhaitées et nous avons obtenu une amélioration du gain aux fréquences 2.45 GHz et 5.8GHz.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié, simulé et conçu plusieurs antennes. La première antenne conçue est une antenne textile coplanaire, sur substrat de type feutrine. Le matériel utilisé pour le patch et le plan de masse est le Zelt qui est un tissu en nylon lisse recouvert d'étain/cuivre et l'alimentation est assurée par guide d'onde coplanaire.

Toujours en utilisant le même type de substrat, nous avons conçu une deuxième antenne alimentée par une ligne micro-ruban et possédant un plan de masse partiel situé dans la face arrière du substrat. En suivant les mêmes étapes de conception nous avons conçu une troisième antenne sur un substrat de type FR-4 et où le patch et le plan de masse sont en cuivre. En utilisant le même type de substrat (FR-4) mais avec une épaisseur de 1.5 mm à la place de 1.6 mm, nous avons conçu une quatrième antenne.

A la fin de ce chapitre nous nous sommes intéressés à l'amélioration des performances de ces antennes proposées.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les antennes textiles intégrées aux vêtements sont une avancée technologique passionnante. Ces antennes, fabriquées à partir de matériaux souples et conducteurs, sont conçues pour être intégrées discrètement dans les tissus des vêtements, offrant ainsi une connectivité sans fil pratique et élégante. Elles permettent aux utilisateurs de rester connectés à leurs appareils électroniques, tels que les téléphones portables et les dispositifs IoT, sans avoir besoin d'accessoires externes. Les antennes textiles sur les vêtements ouvrent de nouvelles perspectives pour l'Internet des objets (IoT), les vêtements intelligents et les applications de santé.

L'objectif principal de ce travail était l'étude, la conception et la réalisation d'antennes, textiles compactes et portables, qui peuvent être intégrées dans des vêtements pour les applications 5G.

Dans le premier chapitre, nous avons introduit les principes fondamentaux de la 5G, en mettant en évidence ses objectifs, son architecture révolutionnaire et les technologies clés qui en font une avancée majeure dans le domaine des télécommunications. Nous avons examiné également les avantages et les inconvénients de cette nouvelle génération de réseau. Enfin, nous avons abordé les défis associés à la 5G, en mettant en évidence certaines applications essentielles.

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes concentrés en premier lieu sur les antennes corporelles, en présentant leurs caractéristiques et leurs applications. Nous nous sommes intéressés par la suite aux types d'antennes textiles. Dans la seconde partie du chapitre nous avons défini les textiles dans l'habillement, utilisés en tant que matériaux d'antennes en mettant en évidence leurs propriétés spécifiques. La dernière partie de ce chapitre a été consacré à la définition et aux caractéristiques des métamatériaux.

Le troisième chapitre a été consacré l'étude et à la conception d'antennes textiles portables compactes et centrées sur le corps humain pour les applications 5G en utilisant le simulateur CST (Computer Simulation Technology). Nous avons présenté résultats de simulation des antennes conçues et proposées pour les applications 5G. Ensuite, nous nous sommes intéressés à l'amélioration des performances de ces antennes.

Références bibliographiques

Bibliographies

[1] H. Rahimi, A. Zibanejad, et A. A. Safari, « A Novel IoT Architecture based on 5G-IoT and Next Generation Technologies », in 2018 IEEE 9th Annual Information Technology.

[2] Rappaport, T. S., et al. (2019). *Wireless Communications: Principles and Practice*. Pearson. Ce livre est une référence classique dans le domaine des communications sans fil, et il couvre également les concepts fondamentaux de la 5G.

[3] Andrews, J. G., et al. (2014). *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*. Prentice Hall. Bien que ce livre soit spécifiquement axé sur WiMax, il fournit des informations précieuses sur les technologies sans fil de nouvelle génération, y compris la 5G.

[4] Articles de revues scientifiques. Consultez des revues scientifiques spécialisées dans les télécommunications et les réseaux sans fil, telles que *IEEE Communications Magazine*, *IEEE Wireless Communications*, et *IEEE Transactions on Wireless Communications*. Ces revues publient régulièrement des articles de recherche sur la 5G.

[5] M. Mantash, M. De Cos, A. Tarot, S. Collar Dey, K. Mahdjoubi, and F. Las-Heras, “Dual-band textile hexagonal artificial magnetic conductor for WIFI wearable applications,” in *Antennas and Propagation (EUCAP), 2012 6th European Conference on*, 2012, pp. 1395–1398.

[6] H. Giddens, D.-L. Paul, G. Hilton, and J. McGeehan, “Numerical and experimental evaluation of phantoms for off-body wireless communications,” in *Antennas and Propagation Conference (LAPC), 2011 Loughborough*, 2011.

[7] Mahmood, Nurul Huda; Gatnau, Marta; Berardinelli, Gilberto. Mogensen, Preben Elgaard. « Full Duplex Communications in 5G Small Cells ». *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*. pp. 1665-1670. 2017.

[8] H. Rahim, F. Malek, I. Adam, S. Ahmad, N. Hashim, and P. Hall, “On-body textile monopole antenna characterisation for body-centric wireless communications,” in *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, 2012, pp. 1377–1380.

[9] H. Dholakiya, D. Pujara, and S. Sharma, "Wide-slot fractal antenna design with improved bandwidth," in Applied Electromagnetics Conference (AEMC), 2011 IEEE, 2011, pp. 1–3.

[10] Aboyer, « Cours_antennes_oct11_v4_5RT », INSA Toulouse, octobre 2011

[11] ZianecherifAbderrahmanetBenhaddoudiabderrahim, « Conception, modélisation et Réalisation d'une antenne micro ruban triangulaire miniature ULB », Mémoire de Fin d'Etudes MASTER. Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2016/2017.

[12] Rabih A Slim, « Conception Antenne WIFI », Rapport MDR. Université Antonine Faculté Des Ingénieurs en Télécommunications, Informatique

[13] Belabas Lynda et Chamoun Lila, « Miniaturisation de l'antenne PATCH sous CST » ; Mémoire de Fin d'Etudes MASTER, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, 2017 / 2018.

[14] Chorfi Hamid, « Conception d'un nouveau système d'antenne réseau en onde », Thèse de Doctorat, Université De Québec, Mai 2012

[15] NOUIRI Mouna et TERKI Zakia, « Conception d'une Antenne MicrorubanReconfigurable à base de Diode PIN et des Structures EBG », Master Académique systèmes de télécommunication, UniversitéMohamedBoudiaf - M'SILA,2018 /2019

[16] EL May Wissam LEAT & LREM, « Développement d'antennes textiles pour des applications IoT », Thèse de Doctorat, D'Université Côte d'Azur et de l'université Tunis ELMANAR, Décembre 2021.

[17] <https://ar.scribd.com/doc/306817231/aksas-livre.25/01/2017>.

[18] Constantine A. Balanis, "Antenna theory analysis and design", A John Wiley & Sons, INC Publication, Third Edition. Hoboken, New Jersey 2005.

[19] D. M. Pozar, "Microstrip antennas", IEEE, Vol. 80, N° .1, pp. 79-91, January 1992

[20] 4. M, HARBADJI. Thèse de doctorat " Contribution à l'étude d'antennes miniatures multi-bandes ". 2018.

[21] Canan Çelikel, D., 2020. Smart E-Textile Materials. Advanced Functional Materials.

[22] V.G. Veselago. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values

of ϵ and μ . Soviet Physics Uspekhi, 10 :509, 1968.

[23] J.B. Pendry, A.J. Holden, W.J. Stewart, and I. Youngs. Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructures. Physical Review Letter, 76 :4773–4776, 1996.

[24] J.B. Pendry, A.J. Holden, D.J. Robbins, and et al. Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 47 :2075–2084, 1999.

[25] D.R. Smith, W.J. Padilla, D.C. Vier, S.C. Nemat-Nasser, and S. Schultz. Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. Physical Review Letter, 84(18), May 2000.

[26] M. Dubois, M. Farhat, E. Bossy, S. Enoch, S. Guenneau, and P. Sebbah. Flat lens for pulse focusing of elastic waves in thin plates. Applied Physics Letters, 103, 2013.

[27] Pendry JB, Schurig D, and Smith DR. Controlling electromagnetic fields. Science, 312(ISSN :0036-8075) :1780–1782, 2006.

[28] Stewart D. Jenkins and Janne Rostenkowski. Theoretical formalism for collective electromagnetic response of discrete metamaterial systems. arXiv :1206.0204, 2012.

[29] D. Schurig, J.J Mock, B.J. Justice, S.A. Cummer, J.B. Pendry, A.F. Starr, and D.R. Smith.

Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies. Science, 314 :977–980,2006.

[30] Matthew D. Guild, Michael R. Haberman, and Andrea Alù. Plasmonic cloaking and scattering cancelation for electromagnetic and acoustic waves. Wave Motion, 48 :462–482, 2011. Published. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92439>