

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945-Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine: **Sciences et Technologie**
Filière: **Télécommunications**
Spécialité: **Systèmes des Télécommunications**

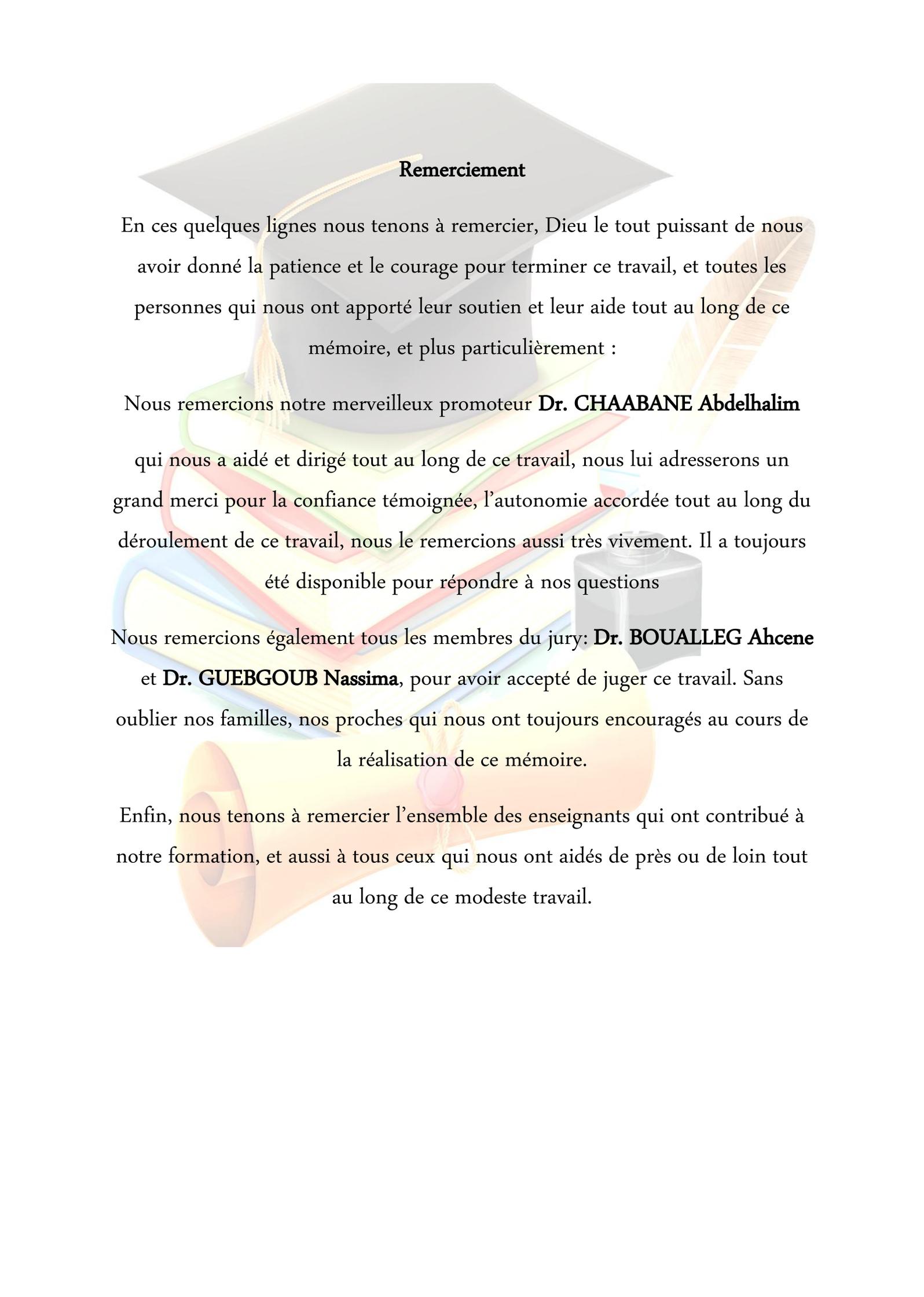
Conception d'une Antenne Innovante pour la
Surveillance Intelligente des Paramètres de Santé à
Domicile : du Concept à la Commercialisation

Présenté par :

MEHALLAINE NABILA
SERIDI SOUMEYA

Sous la direction de :
Dr. CHAABANE ABDELHALIM

Juin 2024



Remerciement

En ces quelques lignes nous tenons à remercier, Dieu le tout puissant de nous avoir donné la patience et le courage pour terminer ce travail, et toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien et leur aide tout au long de ce mémoire, et plus particulièrement :

Nous remercions notre merveilleux promoteur **Dr. CHAABANE Abdelhalim**

qui nous a aidé et dirigé tout au long de ce travail, nous lui adresserons un grand merci pour la confiance témoignée, l'autonomie accordée tout au long du déroulement de ce travail, nous le remercions aussi très vivement. Il a toujours été disponible pour répondre à nos questions

Nous remercions également tous les membres du jury: **Dr. BOUALLEG Ahcene** et **Dr. GUEBGOUB Nassima**, pour avoir accepté de juger ce travail. Sans oublier nos familles, nos proches qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Enfin, nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation, et aussi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin tout au long de ce modeste travail.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

Ma très chère MAMAN qui a sacrifié pour que je puisse arriver

Jusque-là et qui m'a beaucoup soutenu durant mon cursus.

Mon PÈRE qui a consacré tout sa vie et qui travaille nuit jour

Pour qu'on soit toujours les meilleurs.

Mes adorables sœurs khawla, takou Qui

Sont toujours à mes côtés et n'ont jamais cessé de me soutenir.

Mes frères Yassine et Djalal et Amin

Mes chères amies Abla et Meryem

En fin à toute ma promotion de Télécom



Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père ABDELHAK

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais Dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour Me rendre heureuse : mon adorable mère MALIKA

A ma chère sœur ABIR , MERYEM , Iness et mon frère Mohamed, qui n'a pas cessée de me conseiller, Encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur

A ma grand-mère, mes tantes. Que Dieu leur Donne une longue et joyeuse vie

A tous les cousins, et les amis (Nabila ,Hiba,Ahlem) Merci pour leurs amours et leurs encouragement

Soumeya

Résumé

Ce mémoire se concentre sur la conception d'une antenne innovante en forme de rectangulaire, opérant dans la plage de fréquences ISM [2.4-2.6] GHz, pour la surveillance intelligente des paramètres de santé à domicile. L'antenne est alimentée par une ligne d'impédance adaptée à 50Ω et une sonde coaxiale, ce qui permet d'obtenir un rayonnement optimal, une taille compacte et un coût réduit. Les résultats des simulations ont été vérifiés à l'aide du logiciel CST Microwave Studio. Lorsque l'antenne est posée sur la main ou le bras humain, le système résonne à la même fréquence avec un changement minime du niveau du coefficient de réflexion, ce qui témoigne de la stabilité et de la robustesse de l'antenne face aux variations de l'environnement immédiat. Cela est essentiel pour assurer une performance fiable dans des conditions d'utilisation réelles. Les performances de l'antenne se sont avérées excellentes, ouvrant ainsi la voie à de futures applications pratiques où la fiabilité et la constance des performances sont primordiales. Ces résultats prometteurs démontrent le potentiel significatif de cette antenne pour améliorer la qualité des services de santé et faciliter le suivi médical à domicile.

Mots clés : Antennes imprimées, WBAN, ISM

Abstract

This master thesis focuses on the design of an innovative rectangular-shaped antenna operating in the ISM frequency range [2.4-2.6] GHz for intelligent health parameter monitoring at home. The antenna is fed by a 50Ω impedance line and a coaxial probe, providing optimal radiation, compact size, and reduced cost. The simulation results were verified using CST Microwave Studio software. When the antenna is placed on the human hand or arm, the system resonates at the same frequency with minimal change in the reflection coefficient level, demonstrating the antenna's stability and robustness against variations in the immediate environment. This is essential for ensuring reliable performance under real-world conditions. The antenna's performance has proven to be excellent, paving the way for future practical applications where reliability and consistent performance are crucial. These promising results highlight the significant potential of this antenna to improve the quality of health services and facilitate home medical monitoring

Keywords: Patch antennas, WBAN, ISM

ملخص

يركز هذا البحث على تصميم هوائي مبتكر على شكل مستعمل في نطاق الترددات جيغا هرتز لمراقبة المعلومات الصحة المنزلية تقنية WBAN, ISM بواسطة خط مقاومة مطابق 50 اوم ISM (2,4-2,6) جيغا هرتز و مسيلو محوري مما يسمح بالحصول على إشعاع مثالي وحجم مدمج وتكلفة منخفضة تم التحقق من نتائج المحاكاة باستخدام برنامج CST Microwave Studio

عند وضع الهوائي على اليد أو الذراع البشرية، يتردد النظام على نفس التردد مع تغيير طفيف في مستوى معامل الانعكاس، مما يدل على استقرار ومتانة الهوائي في مواجهة التغيرات في البيئة المحيطة. هذه الخاصية ضرورية لضمان أداء موثوق في ظروف الاستخدام الفعلية

أثبت أداء الهوائي أنها ممتازة، مما يفتح المجال لتطبيقات عملية مستقبلية حيث تكون الموثوقية وثبات الأداء أمرًا أساسيًا. هذه النتائج الواعدة تظهر الإمكانيات الكبيرة لهذا الهوائي في تحسين جودة خدمات الصحة وتسهيل المتابعة الطبية في المنزل

الكلمات المفتاحية: هوائيات مطبوعة، تقنية شبكة منطقة الجسم اللاسلكية، نطاق التردد الصناعي والعلمي والطبي

Sommaire

Remerciement.....	
<i>Dédicaces</i>	
Résumé.....	
Liste des figures	
Liste des acronymes.....	
Introduction Générale.....	

Partie théorique

Chapitre I: La télémédecine

I.1. Introduction.....	4
1.1. Histoire de la télémédecine	4
1.2. Définition de la télésanté et de la télémédecine	5
1.2.1. Définition de la télésanté.....	5
1.2.2. Définition de la télémédecine.....	6
1.3. Enjeux et objectifs.....	9
1.3.1. Enjeux.....	9
1.3.2. Objectifs	10
1.4. L'utilisation de la télémédecine	10
1.5. Les principales activités de la télémédecine et domaine d'application.....	10
1.5.1. Les services de la télémédecine.....	10
1.5.2. Les applications de la télémédecine	11
1.6 Techniques de la télémédecine et de télécommunication.....	12
1.7.1 Types de services de télémédecine	13
1.7.2 Données.....	14
1.7.3 Services audio.....	14
1.7.4 Transferts d'images	14
1.7.5. Services d'information	14
1.8. Les avantages et les inconvénients de la télémédecine	14
I.8.1. Les avantages de la télémédecine:	14
I.8.2. Les inconvénients de la télémédecine.....	17

I.9. Perspectives et avenir de la télémédecine	18
I.9.1. L'avenir de la télémédecine après le COVID-19	18
I.9.2. La télémédecine en Algérie.....	18
I.10 Conclusion	20

Chapitre II : les antennes imprimées

II.1 Introduction	23
II.2. Principe de propagation des ondes électromagnétiques	23
II.3. Concept d'Antenne	24
II.3.1. Définition d'une antenne	24
II.3.2. Propriétés fondamentales.....	25
II.3.3. Définition des différentes zones de rayonnement	26
II.4. Les caractéristiques d'antenne.....	27
II.4.1. Caractéristiques électriques	27
II.5. Différents types d'antennes.....	32
II.5.1. Les antennes filaires	33
II.5.2. Les antennes à ouverture rayonnante	35
II.5.2.1. Antennes cornet	35
II.5.2.2. Antenne parabolique	36
II.6 Les antennes planaires	37
II.6.1 Les différentes formes d'une antenne planaire.....	37
II.6.2 Techniques d'alimentation des antennes imprimées	40
II.6.2.1 Alimentation par ligne micro ruban.....	41
II.6.2.2. Alimentation par sonde coaxiale.....	41
II.6.2.3 Alimentation couplée par ligne microruban	42
II.6.2.4 Alimentation par couplage à travers une fente	43
II.6.2.5 Alimentation par guides d'ondes coplanaires.....	44
II.6.3 Les avantages et les inconvénients des antennes planaires	45
II.6.3.1 Les avantages des antennes imprimées	45
- Faible Coût et Facilité de Fabrication	45
- Compactes et Légères	45
- Intégration Facile avec d'Autres Composants Électroniques	45
- Versatilité de Conception.....	45
- Performances Robustes dans Divers Environnements	45
- Compatibilité avec les Technologies Flexibles et Portables.....	45

II.6.3.2 Les inconvénients des antennes imprimées	46
- Bande passante limitée.....	46
- Pertes diélectriques	46
- Puissance d'émission limitée	46
- Sensibilité aux conditions environnementales	46
- Limitations en termes de directivité et de gain	46
- Problèmes d'isolation entre les éléments d'antenne.....	46
II.7 Les applications biomédicales des antennes imprimées.....	47
II.7.1 Imagerie médicale.....	47
II.7.2 Télémedecine	47
II.7.3 Dispositifs de surveillance médicale.....	47
II.7.4 Capsules endoscopiques	47
II.7.5 Biocapteurs	48
II.7.6 Thérapie par hyperthermie.....	48
II.7.7 Étude du mouvement humain	48
II.8. Conclusion	48

Chapitre III: Simulation et Résultats

III.1. Introduction	50
III.2. Définition du logiciel CST Micro ave studio	50
III.3. Description générale de l'interface CST	50
III.4. La géométrie de l'antenne de base	52
III.5. Résultats de simulation	52
III.5.1 Simulation de l'antenne proposée	53
III.5.2 Simulation de l'antenne proposée avec un bras d'un êtres humains	54
III.6. Réalisation et validation	56
III.6.1 Equipements de fabrication et de mesure utilisés.....	56
III-6.2 Résultats de mesures	58
III-7. Conclusion	59

Chapitre IV: Stratégies de commercialisation.....

IV.1. Introduction.....	61
IV.2. Problème	61
IV.3. Solution	61
IV.4. Valeur ajoutée du business model.....	61

IV.5. Business Model.....	62
IV.6. Concurrents	62
IV.7. Analyse du Marché	62
IV.7.1 Taille du marché.....	62
IV.7. 2 Tendances du marché.....	63
IV.7.3 Segments de marché.....	63
IV.7.4 Croissance du marché	63
IV.8. Positionnement Concurrentiel.....	63
IV.8.1 Identification des concurrents	63
IV.8.2 Forces et Faiblesses.....	63
IV.8.3 Différenciation	64
IV.8.4 Stratégie de positionnement	64
IV.9. Stratégies de Prix	64
IV.9.1 Prix Basé sur la Valeur.....	64
IV.9.2 Forfaits Tarifaires.....	64
IV.9.3 Tarification Différenciée	64
IV.10. Stratégies de Distribution.....	65
IV.10.1 Vente Directe en Ligne	65
IV.10.2 Partenariats avec les Fournisseurs de Soins de Santé :	65
IV.10.3 Distribution en Pharmacie :	65
IV.10.4 Plateformes de Commerce Électronique	65
IV.11. Marketing Digital.....	65
IV.11.1 Site Web.....	65
IV.11.2 Contenu de blog	66
IV.11.3 Réseaux Sociaux	66
IV.12. Campagnes Publicitaires	66
IV.12.1 Publicités en ligne	66
IV.12.2 Publicités vidéo	66
IV.12.3 Relations Publiques	66
IV.12.3.1 Communiqués de presse.....	66
IV.12.3.2 Partenariats Média :	66
IV.13. Événements et Démonstrations	67
IV.13.1 Salons et Foires :	67
IV.13.2 Démonstrations en magasin :	67

IV.14. Programmes de Parrainage et de Référencement.....	67
IV.14.1 Programme de Parrainage	67
IV.14.2 Récompenses pour les Références	67
Conclusion générale	69
RéférencesBibliographiques	72

Liste des figures

Chapitre II: Les antennes imprimées

Figure. II.1: Principe d'une liaison radioélectrique	24
Figure.II.2: Différentes zones de rayonnement.	26
Figure.II.3: Antenne en mode émetteur.	28
Figure.II.4: Polarisations d'une onde électromagnétique.	31
Figure.II.5: Différents types des liaisons	32
Figure.II.6: Couverture en fonction des diagrammes de rayonnement d'antennes dans le plan horizontal.....	33
Figure.II.7: Configuration de l'antenne filaire.	Erreur ! Signet non défini.
Figure.II.8: Représentation de quelques antennes filaires.	33
Figure.II.9: Illustrations de quelques réseaux d'antennes.	36
Figure.II.10: Lentilles diélectriques.....	37
Figure.II.11: Antennes diélectriques type cigare.	37
Figure.II.12: Structure d'une antenne Yagi	37
Figure.II. 13: Géométrie d'une antenne Patch	37
Figure.II. 14: les formes les plus courantes d'antennes patch.....	38
Figure.II. 15: Rayonnement d'une antenne planaire	40
Figure.II. 16: Alimentation par ligne micro-ruban	41
Figure.II. 17: Type de la ligne micro ruban.....	41
Figure.II. 18: Alimentation par ligne coaxial	42
Figure.II. 19: Alimentation couplée par ligne microruban	42
Figure.II. 20: Alimentation couplée par fente	43
Figure.II. 21: Vue encoupée d'une ligne coplanaire	44
Figure.II. 22: Représentation des modes de propagation d'une ligne coplanaire.....	44

Chapitre III: Simulation et Résultats

Figure III. 1: L'interface du logiciel CST studio.	51
Figure III. 2: Structure et dimensions de l'antenne (a) vue avant, (b) vue arrière.	53
Figure III. 3: Coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne proposée.	53

Figure III. 4: Le gain de l'antenne de l'antenne proposée.	54
Figure III. 5: L'impédance Z_{11} d'antenne en fonction de fréquence.	54
Figure III. 6: Antenne proposée posée sur un modèle équivalent de bras humain.....	55
Figure III. 7: Coefficient de reflection simulé pour différents cas.	56
Figure III. 8: La machine LPKF ProtoMat E44.....	57
Figure III. 9: Connecteur SMA.	57
Figure III. 10: Prototype d'antenne réalisé.	58
Figure III. 11: Analyseur de réseau R&S®ZNB20.	58
Figure III. 12: Coefficient de reflection mesuré pour différents cas.	59

Listes des tableaux

Tableau II. 1: Avantages et inconvénients de la ligne microruban	41
Tableau II. 2: Avantages et inconvénients de la sonde coaxiale	42
Tableau II. 3: Avantages et inconvénients du couplage par ligne microruban	43
Tableau II. 4: Avantages et inconvénients du couplage par fente	43
Tableau II. 5: Avantages et inconvénients de la ligne coplanaire	44
Tableau III. 1: Paramètres du modèle fantôme du bras humain à 4 couches à 2,45 GHz.....	56

Liste des abréviations

2D:Deux Dimensions

3D:Trois Dimensions

ANDS : Agence Nationale de Documentation de la Santé.

ATM : Articulation Temporo Mandibulaire.

CDTA : Centre de Développement Technologique de l'Algérie.

CERIST : Centre de recherche sur l'Information et la Technologie.

CST: Computer Simulation Technology

dB: Decibel

DGOS : Direction générale de l'offre de soins.

DMP : Dossier Médical Partagé.

E-field : Electric Field

HPST : Hôpital, Patient, Santé, Territoire

ISM:Industrial, Scientific and Medical

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

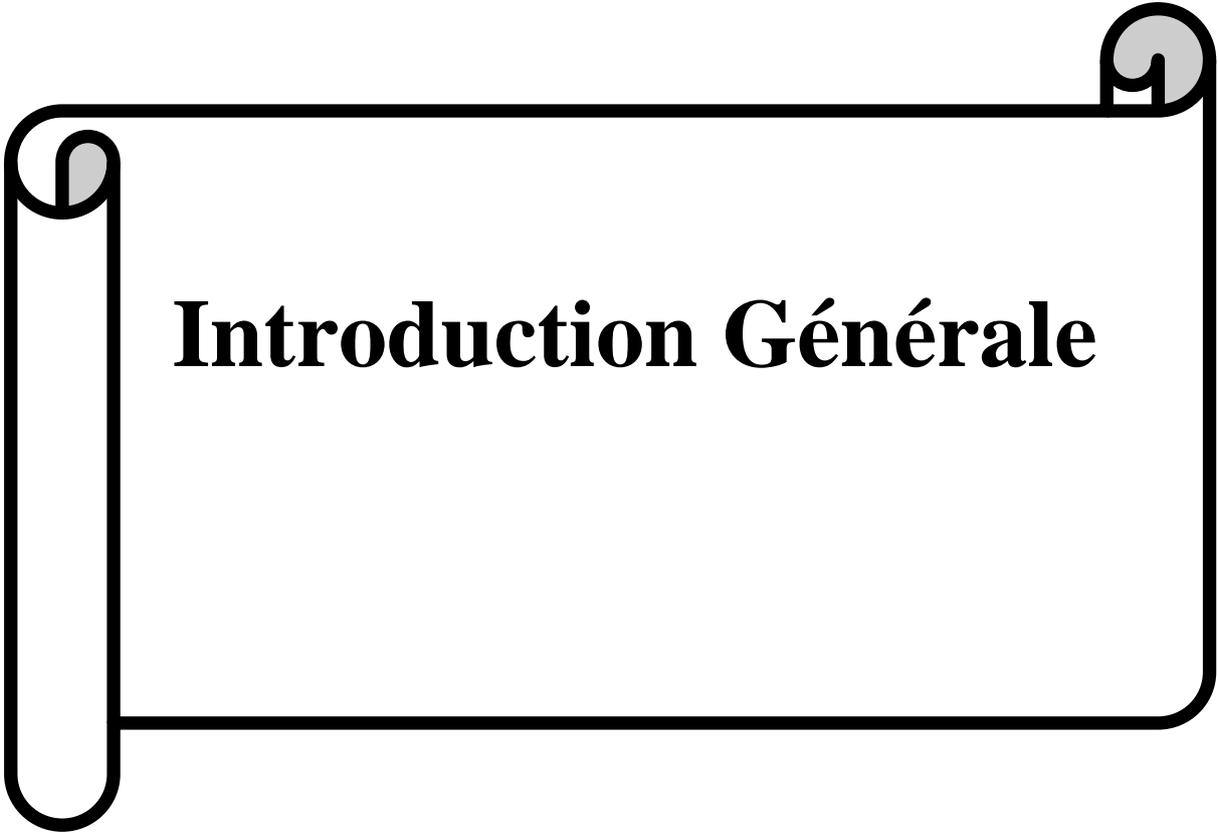
RFID : Identification Radiofréquence

SATeS:Société Algérienne de télémédecine et de santé

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication.

VSWR: Voltage Standing Wave Ratio

WBAN: Wireless Body Area Networks



Introduction Générale

Introduction Générale

Portée aux avancées des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), la télémédecine a suscité un intérêt croissant ces dernières années.[1]

Allant des robots télécommandés pour des opérations à distance aux dossiers médicaux virtuels et télé-expertises avec images numérisées, la télémédecine, est souvent vue comme l'une des solutions aux problèmes organisationnels des praticiens [2]

La télémédecine est un outil efficace pour combattre la désertification médicale dans les zones éloignées, aidant à réduire l'isolement des professionnels de la santé et leur permet de se former les personnes de la santé à distance pour mettre à jour leurs connaissances.[1]

Ainsi ans tous les systèmes de communication sans fil (par propagation d'ondes électromagnétiques), radiodiffusion, radar, télévision par voie hertzienne ou par satellite, téléphone mobile, etc., divers types d'antennes comme les antennes cornets, filaires, paraboliques et imprimées sont essentielles pour permettre la transition entre une onde guidée et une onde rayonnée et vice-versa, grâce à leur structure géométrique spécifique [3].

Contrairement à la télémédecine, récente, l'histoire des antennes remonte à J.C. Maxwell, qui a unifié les théories de l'électricité et du magnétisme en 1873. L'idée d'un élément rayonnant à micro-ruban a été proposée par Deschamps en 1950. Après les années 1980, de nombreux travaux de recherche sur les antennes ont émergé grâce à la découverte de nouveaux matériaux de substrat diélectrique.[4]

Nous allons au cœur de ce travail essayer de répondre à une question fondamentale sur la nécessité des antennes et leurs utilisations dans les différents systèmes de télécommunications pour assurer la transmission des informations utilisées pour améliorer la qualité des services de la télémédecine.

Les intérêts de ce sujet sont multiples : améliorer la qualité des services dans le domaine de la santé pour assurer une bonne santé aux citoyens et un accès aux soins médicaux dans de meilleures conditions, gérer efficacement les établissements médicaux et financer leurs programmes de santé ; montrer la nécessité des antennes dans les liaisons sans fil ; concevoir, simuler et optimiser une antenne biomédicale validée par le logiciel CST Microwave Studio ; et valider les résultats de simulation par des mesures expérimentales.

Ce manuscrit comprend une introduction exposant la problématique et les objectifs de la recherche, suivie de quatre chapitres détaillant nos travaux. Chaque chapitre commence par une introduction qui précise le contexte et se termine par une conclusion. Le mémoire se conclut par une synthèse générale et est structurée de la manière suivante :

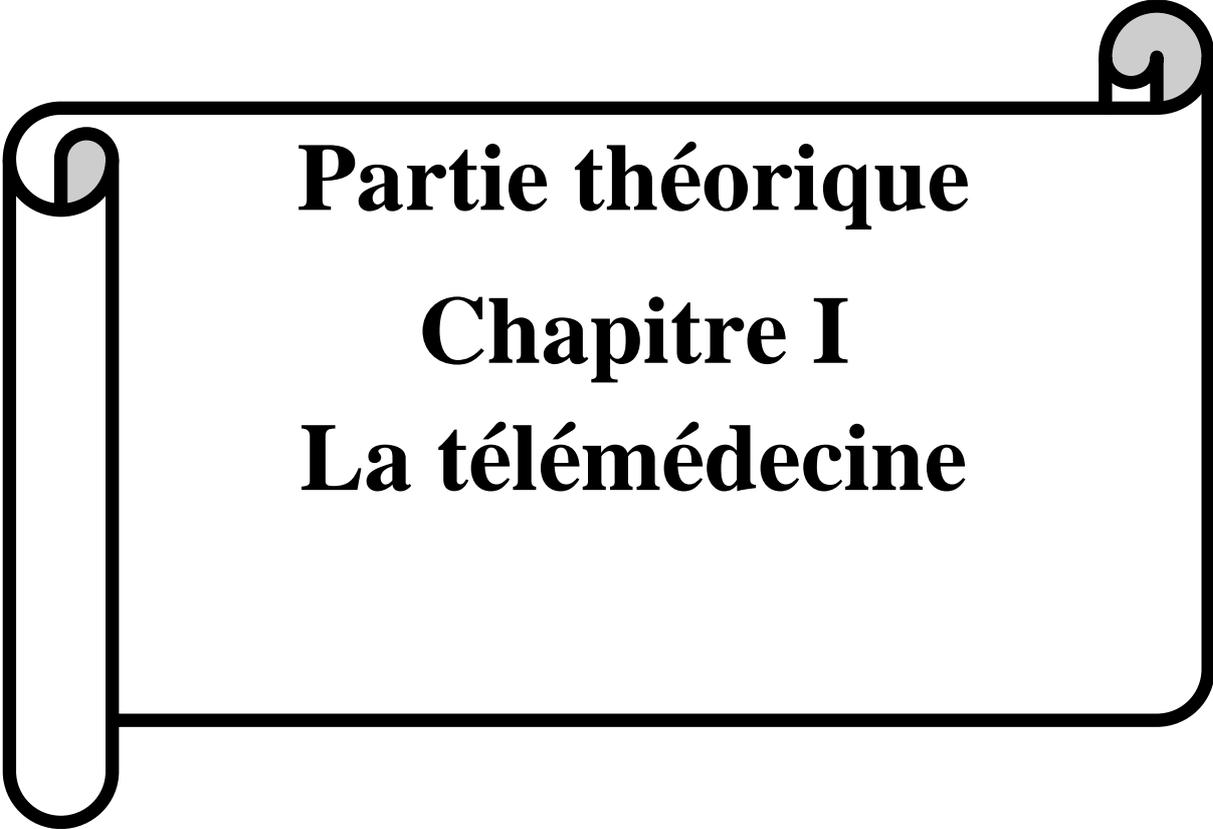
Dans le premier chapitre, nous exposons des généralités sur la télésanté et ses composants tels que : l'e-santé, la télémédecine en donnant quelques définitions, les différents aspects ainsi que ces champs d'application et les différents avantages et inconvénients.

Le deuxième chapitre vise à définir ce qu'est une antenne, nous donnons une vue d'ensemble des antennes imprimées en abordant leurs caractéristiques, leurs types variés, les méthodes d'alimentation et les techniques d'analyse couramment utilisées dans ce domaine.

Le troisième chapitre est consacré à la conception, la simulation, et à la réalisation d'une antenne biomédicale. Le principe de conception de cette dernière sera étudié en tenant en compte des matériaux utilisés et leurs propriétés. Une simulation d'adaptation et de rayonnement pour la structure antenne biomédicale optimisée, sera accomplie. Pour montrer l'opportunité apportée par nos contributions, les résultats de simulation et de mesures seront présentés et comparés.

Dans le quatrième chapitre, la stratégie de commercialisation est une composante cruciale de tout produit proposé pour le commercialiser sur le marché. Ce chapitre explore les différentes facettes de la commercialisation, en fournissant un cadre pour comprendre comment nous pouvons efficacement présenter et vendre notre produit aux consommateurs.

Finalement, nous donnons une conclusion générale à propos du travail réalisé, nous parlons de notre contribution, en mettant l'accent sur les résultats obtenus ainsi que des perspectives pour un travail futur.



Partie théorique

Chapitre I

La télémedecine

I.1. Introduction

Le monde de la santé vit avec son temps et naturellement se saisit de ces techniques et a tiré parti des nouvelles possibilités ainsi ouvertes. La médecine se pratique maintenant en réseau en assurant de communication multimodale entre les acteurs à l'intérieur des hôpitaux et entre hôpitaux.

C'est ainsi qu'a progressivement émergé le concept de "télésanté" ou "e-santé", un concept qui regroupe tous les services, activités, systèmes, liés à la santé et qui sont accessibles ou pratiqués, à distance au moyen des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

La télémédecine qui est un sous-ensemble de l'e-santé pouvant se définir comme étant l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication pour effectuer un acte médical, l'e-santé regroupant plus largement toutes les utilisations des technologies numériques en rapport avec la santé.

Par contre la télémédecine regroupe l'ensemble des pratiques médicales (téléconsultation, télé-expertise, télésurveillance médicale...) qui permettent aux patients d'être pris en charge à distance.

1.1. Histoire de la télémédecine

Le sujet de la télémédecine a longtemps été mis de côté par les autorités compétentes et les professionnels de santé. Cette nouvelle pratique médicale a vu doucement le jour. Elle connaît un essor important durant l'épidémie de COVID-19.

La télémédecine n'est pas une pratique nouvelle, elle débute en 1876 avec l'invention du téléphone, qui sera le premier outil exploité en télémédecine.

Mais le premier acte de télémédecine remonte à 1905, lorsque Willem Einthoven, prix Nobel de médecine en 1924, transmet le premier électrocardiogramme par voie téléphonique à une distance de 1,5 km.

La télémédecine est pratiquée officiellement depuis 1920, année de la première licence pour radio de service médical aux bateaux publiée à New York .

En 1948, la transmission d'images radio est faite, *via* une ligne téléphonique (38 km). En 1959, des consultations en psychiatrie, *via* un réseau vidéo spécialisé (180 km), sont réalisées.

C'est le 8 novembre 1994 qu'a lieu la première démonstration de télémédecine : un examen scanner aux rayons X est piloté depuis l'Hôtel-Dieu de Montréal (Canada) sur un patient situé dans l'appareil de l'hôpital Cochin, à Paris. En 2001, une opération de téléchirurgie est réalisée entre New York, où était le chirurgien, et Strasbourg, où était la patiente, *via* des fibres optiques sur 7 500 km.

En France, le premier acte de télémédecine autorisé et pris en charge par l'Assurance maladie concerne le dépistage de la rétinopathie diabétique par les orthoptistes [5].

1.2. Définition de la télésanté et de la télémédecine

1.2.1. Définition de la télésanté

On ne peut pas parler de la télémédecine sans définir les supports et les moyens (technologies)quelles l'utilise. Cette technologie autrement appelée«*e-santé*»

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la e-santé se définit comme «*les services du numérique au service du bien-être de la personne*» c'est-à-dire l'application des différentes technologies de l'information et de la communication (TIC) en soutien de la santé et du bien-être de la santé.[6]

De cette définition on peut dire que la "d'e-santés" recouvre l'ensemble des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) capables de produire, traiter, stocker ou transmettre une information à des fins médicales ou médico-sociales et offre aux praticiens et aux patients, des sources d'information et des services nouveaux. Elle comprend :

- Les réseaux régionaux et nationaux d'information pour la santé et les systèmes des dossiers médicaux électroniques distribués, y compris les systèmes d'information pour les professionnels de santé et les hôpitaux, les services en ligne tels que la prescription électronique, les bases de données, portails, forums et les systèmes de promotion.

La e-santé inclut les outils et les services utilisés par les Tic, pour améliorer le service de la santé tel que la télémédecine, la prévention, le suivi d'une maladie chronique à distance, le diagnostic, le traitement, la surveillance, les dossiers médicaux électroniques, les applications mobiles (m-santé) et la gestion de tous problèmes liés à la santé.[7]

1.2.2. Définition de la télémédecine

Tandis que la télémédecine est une activité professionnelle qui met en œuvre des moyens de télécommunications numériques (télésanté) permettant à des médecins et à d'autres membres du corps médical de réaliser à distance des actes médicaux, elle a été définie, pour la première fois en 1997, par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme :

« La partie de la médecine qui utilise la transmission par télécommunication d'informations médicales (images, comptes rendus, enregistrements, etc.), en vue d'obtenir à distance un diagnostic, un avis spécialisé, une surveillance continue d'un malade, une décision thérapeutique » ; c.-à-d. la pratique de la médecine au moyen de techniques interactives de communication des données; cela comprend la fourniture de soins médicaux, la consultation, le diagnostic et le traitement, ainsi que la formation et le transfert de données médicales »

Elle n'a été définie précisément et légalement que par la loi HPST (Hôpital, Patient, Santé, Territoire) en 2009, dans l'article 78 et dans le Code de la santé publique française comme suite : *« La télémédecine est une forme de pratique médicale à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication. Elle met en rapport, entre eux ou avec un patient, un ou plusieurs professionnels de santé, parmi lesquels figure nécessairement un professionnel médical et, le cas échéant, d'autres professionnels apportant leurs soins au patient »*. [8]

Elle permet d'établir un diagnostic, d'assurer, pour un patient à risque, un suivi à visée préventive ou un suivi post-thérapeutique, de requérir un avis spécialisé, de préparer une décision thérapeutique, de prescrire des produits, de prescrire ou de réaliser des prestations ou des actes, ou d'effectuer une surveillance de l'état des patients.

La définition des actes de télémédecine ainsi que leurs conditions de mise en œuvre et de prise en charge financière sont fixées par décret, en tenant compte des déficiences de l'offre de soins dues à l'insularité et l'enclavement géographique ».

De manière plus concrète, la télémédecine consiste à mettre en relation pour une pratique médicale, des patients et professionnels de santé (médecins, infirmiers...) ou professionnels de santé entre eux, via les technologies de l'information et de la communication. Mais contrairement à ce que l'on pourrait penser à première vue, la télémédecine ne se limite pas à la réalisation de consultations à distance, son champ est bien plus large que cela.

Donc la télémédecine est un moyen particulièrement utile pour optimiser la qualité des soins par une rapidité collégiale des échanges médicaux au profit de patients dont l'état de santé nécessite une réponse adaptée, rapide quelle que soit leur situation géographique, elle permet :

- D'établir un diagnostic,
- D'assurer, pour un patient à risque, un suivi dans le cadre de la prévention ou un suivi post thérapeutique,
- de requérir un avis spécialisé,
- de préparer une décision thérapeutique,
- de prescrire des produits, de prescrire ou de réaliser des prestations ou des actes,
- d'effectuer une surveillance de l'état des patients.

Il existe trois principaux modes de prestation des services de téléconsultation : synchrone, asynchrone et hybride. Chacun de ces modèles de prestation est décrit comme suite :[9]

- La téléconsultation synchrone est prodiguée de manière interactive en temps réel à l'aide de la technologie audiovisuelle permettant la communication en direct par vidéoconférence entre le patient et le professionnel de santé géographiquement éloigné. Notre recherche se concentre surtout sur ce mode de prestation de service virtuel. Les vidéoconférences ont permis aux patients de contacter les prestataires de soins de chez eux sans la pression supplémentaire causée par les visites. Ce service requiert une caméra vidéo, une chaîne audio, un écran d'ordinateur et une connexion

internet sécurisée et préférablement à haute vitesse pour transmettre des données d'un centre à un autre.

- D'un autre côté, la téléconsultation est dite asynchrone (mise en mémoire et transmission) quand il y a de la transmission de données sans qu'il y ait des interactions en temps réel entre le patient et le professionnel de santé. Elle comporte la collecte d'échantillons numériques (électrocardiogrammes [ECG], résultats des tests audio-logiques, images radiologiques, analyses médicales etc.) d'un endroit et leur transmission à un professionnel de la santé vers un autre endroit.
- La téléconsultation est dite mixte ou hybride quand il y a une combinaison du modèle synchrone et du modèle asynchrone de prestation de télésanté.

Mais la pratique de la télémédecine et l'exploitation des TIC santé sont possibles seulement si certaines conditions sont respectées :

✓ Les droits fondamentaux des patients : en télémédecine et/ou dans le cadre d'une téléconsultation, aucun soin ne peut être pratiqué sans le consentement de la personne. Le patient doit également être informé du fait qu'un échange de données médicales le concernant peut être fait entre plusieurs professionnels de santé lors d'un acte de télémédecine (grâce aux TIC santé).

✓ L'authentification du professionnel de santé et l'identification du patient : le professionnel de santé doit être authentifié et disposer de l'accès aux données médicales du patient nécessaires à l'acte de télémédecine. De même, le patient doit être identifié. Lorsque la situation l'impose, il doit bénéficier de la formation ou de la préparation nécessaire à l'utilisation du dispositif de télémédecine (par exemple, un patient diabétique doit être formé pour vérifier sa glycémie à domicile et transmettre les résultats de manière sécurisée à son médecin pour qu'il les interprète).

✓ Le compte rendu de la réalisation de l'acte : l'acte de télémédecine doit être rapporté dans le dossier médical, ainsi que les prescriptions médicamenteuses effectuées, l'identité des professionnels de santé intervenant, la date et l'heure de l'acte, et le cas échéant, les incidents.

✓ La prise en charge financière de l'acte de télémédecine : il faut distinguer le remboursement des actes de télémédecine (tarification des actes de téléconsultation, télésurveillance...) du financement de l'organisation de l'activité de télémédecine.

1.3. Enjeux et objectifs

Le développement de la télémédecine constitue un enjeu clé vise à permettre l'accès de toutes les personnes à des soins de qualité.

1.3.1. Enjeux

Le gouvernement souhaite que la télémédecine puisse devenir rapidement une pratique quotidienne car elle présenterait de nombreux avantages tel que : [5]

- L'accès aux soins : la désertification médicale est un des plus importants défis que la santé devra relever. Dans les zones où la ressource médicale est insuffisante, la télémédecine pourrait favoriser l'accès aux soins, en rapprochant virtuellement médecins et patients, et constituer ainsi une des réponses aux déserts médicaux.

- La diminution des dépenses de santé : la télémédecine permettrait d'éviter de nombreuses hospitalisations, consultations spécialisées et transports sanitaires. Elle représente donc un enjeu financier important en permettant de diminuer, à terme, les dépenses de santé.

- La collaboration médecins généralistes/spécialistes : la télémédecine pourrait aussi renforcer la collaboration entre médecins généralistes et spécialistes. En effet, la téléexpertise permet de mettre en lien rapidement deux médecins, qui peuvent alors échanger directement au sujet d'un patient. Cette pratique aurait aussi pour conséquence une réduction du nombre de consultations spécialisées, et donc une réduction des délais

Dans tous les cas, la télémédecine ne doit pas se substituer aux pratiques actuelles et ne peut être appliquée que dans un cadre strict. La confidentialité des données médicales et administratives doit être garantie, les locaux adaptés, le profil des patients pouvant prétendre à une téléconsultation doit être défini précisément, et la place du médecin traitant dans le parcours de soins doit être maintenue.

1.3.2. Objectifs

Selon la Direction générale de l'offre de soins (DGOS) de la France, la télémédecine doit permettre d'améliorer la performance du système de santé. Elle est considérée comme une réponse organisationnelle et technique aux problèmes actuels, du fait des données épidémiologiques (vieillesse de la population, augmentation du nombre de patients souffrant de maladies chroniques...), démographiques (inégale répartition des professionnels sur le territoire national) et économiques (contrainte budgétaire) [5]

1.4. L'utilisation de la télémédecine

La télémédecine est une prestation de soins de santé réalisée à distance, c'est une alternative intéressante lorsque les consultations en personne ne sont pas sûres ou ne sont pas possibles. Les progrès technologiques ont permis aux médecins d'interagir avec leurs patients lorsqu'ils ne peuvent ou ne doivent pas se rencontrer en personne.

La télémédecine implique l'utilisation de : [11]

- Appels téléphoniques
- Messages texte
- Courriers électroniques (généralement envoyés via un portail pour les patients : site sécurisé où sont conservés les dossiers électroniques des patients, notamment les ordonnances, les antécédents médicaux et les résultats des analyses biologiques)
- Discussions vidéo sur Internet

1.5. Les principales activités de la télémédecine et domaine d'application

1.5.1. Les services de la télémédecine

La télémédecine est très vaste et diverse. En fonction des informations échangées et des personnes en présence, on distinguera différents services de télémédecines, à savoir : [12]

- La télémédecine de soins ;
- La télémédecine et la formation en sante ;
- La télémédecine et ses applications aux réseaux de soins.

1.5.2. Les applications de la télémédecine

Selon l'objectif visé, on peut distinguer plusieurs types d'application de télémédecine.

En France par exemple la télémédecine est réglementée En France depuis 2009 [9] et le Code de la Santé publique définit 5 types d'actes médicaux relevant de la télémédecine et exploitant les TIC santé [12] :

- la téléconsultation : cette pratique de télémédecine permet à un professionnel médical de consulter un patient à distance. Dans le cadre d'une téléconsultation, le patient peut avoir à ses côtés un professionnel de santé assistant le professionnel à distance ainsi qu'un psychologue,
- la télé-expertise : cette pratique de télémédecine consiste, pour un professionnel médical, à solliciter l'avis d'un ou de plusieurs professionnels médicaux experts à partir d'éléments du dossier médical du patient,
- la télésurveillance médicale : cette pratique de télémédecine permet à un professionnel de santé d'interpréter à distance les données nécessaires au suivi médical du patient pour prendre des décisions sur sa prise en charge,
- la téléassistance médicale : cet acte qui relève de la télémédecine permet à un professionnel médical d'assister à distance un autre professionnel au cours de la réalisation d'un acte
- La tété-consultation : consultation à distance entre un patient (accompagné ou non par un professionnel de santé) et un médecin. Un diagnostic est effectué et une prescription électronique peut être délivrée si nécessaire. Toutes les situations médicales peuvent donner lieu à une téléconsultation mais le recours à la téléconsultation relève de la seule décision du médecin.
- La téléconsultation s'effectue naturellement en relation avec le patient. Ce dernier prend contact, par téléphone, avec un centre où le médecin établit le diagnostic de gravité et prend la décision d'orientation du patient.

La Téléconsultation en tant qu'activité de la télémédecine, qui est une pratique de soins Online permet de donner rendez-vous aux patients aux heures qui conviennent. Au niveau de l'établissement de santé, le service de téléconsultation qui est non seulement sécurisé et crypté qui va conduire les consultations sur internet. Et, la finalité de ces consultations virtuelles est pour assurer une activité profitable au professionnel de santé et aux patients

La téléconsultation, qui a pour objet de permettre à un professionnel médical de donner une consultation à distance à un patient. Un professionnel de santé peut être présent auprès du patient et, le cas échéant, assister le professionnel médical au cours de la téléconsultation. [13]

Le médecin donne une consultation à distance à un patient, lequel peut être assisté d'un professionnel de santé. Le patient et/ou le professionnel à ses côtés fournissent les informations, le médecin à distance pose le diagnostic.

- La régulation : réponse médicale apportée dans le cadre de l'activité des centres d'urgence. Les médecins de ces centres établissent un premier diagnostic afin de déterminer et de déclencher la réponse la mieux adaptée à la situation.
- Télésoin:est une forme de pratique de soins à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) [14]. La majorité des établissements publics hospitaliers sont équipés des ordinateurs, scanners, logiciels dans le but d'améliorer l'accès à la technologie de l'information.

Selon le rapport de la banque mondiale, le progrès technologique de l'information médical constitue un puissant moteur de croissance économique.

Il met en rapport un patient avec un ou plusieurs pharmaciens ou auxiliaires médicaux dans l'exercice de leurs compétences. Les activités de télésoin sont définies par arrêté du ministre de la Santé.

Aucune situation de soin ne peut être exclue, a priori, du télésoin, à l'exception des soins nécessitant :

- un contact direct en présentiel avec le patient ;
- un équipement spécifique, non disponible auprès du patient.

1.6. Techniques de la télémédecine et de télécommunications

a. Techniques de télémédecine

Les pays en développement peuvent tirer parti des technologies de l'information et des réseaux de télécommunication pour améliorer les soins de santé dans les zones rurales et isolées. Si les applications de télémédecine de pointe peuvent exiger une infrastructure de télécommunication complexe et coûteuse, en revanche certaines techniques ne nécessitent qu'une infrastructure élémentaire pour la fourniture de services de soins de santé dans les zones excentrées.

Les applications de télémédecine peuvent être classées en fonction de la largeur de bande des lignes de transmission qu'elles doivent utiliser faible, moyenne ou grande.

Les options offertes en matière de réseau sont les suivantes : téléphonie de base, ligne terrestre numérique, communications cellulaires/sans fil, transmission par satellite et réseaux à large bande, par exemple ATM [14].

b. Techniques de télécommunications

La technologie d'information médicale est un levier potentiel au changement dans les établissements publics hospitaliers de santé et porteuse d'une meilleure adéquation entre formation et prestations de soins. L'utilisation des nouvelles technologies dépend en partie de l'expérience de l'utilisateur, de son parcours d'apprentissage et de ses interactions avec les autres. En Algérie, la formation du personnel de santé était toujours négligée, ce qui empêche d'exploiter le potentiel de ces nouvelles technologies.

Regroupe les équipements permettant de transmettre et de recevoir des données numérisées (ligne filaire métallique ou fibre optique, téléphone, radio, modem, satellite...). En particulier dans les zones rurales et isolées, on a recours à des techniques relativement simples telles que les lignes en fil métallique ou la transmission en ondes décimétriques ; en conséquence, ces moyens sont souvent le facteur qui détermine le degré de perfectionnement des services de télémédecine susceptibles d'être fournis dans ces pays.

Des techniques relativement bon marché, comme les systèmes de téléphonie par satellite et les liaisons hyperfréquences point à multipoint autorisent la transmission de services RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Services) est un réseau de télécommunications constitué de liaisons numériques permettant, par rapport au réseau téléphonique analogique, une meilleure qualité et des débits assez bons [15].

1.7. Types de services de télémédecine

La télémédecine recouvre tout un ensemble de pratiques visant à améliorer le bien-être et fait intervenir des technologies et des applications diverses. Elle peut se caractériser par le type d'informations émises (radiographies ou observations cliniques) et par les moyens utilisés pour les transmettre. De nombreux secteurs de la médecine ont des applications de télémédecine potentielles [16].

1.7.1 Données

Les informations relativement statiques, par exemple les données du dossier médical d'un patient ou d'informations dynamiques telles que les signes vitaux (par exemple rythme cardiaque ou tension artérielle,).

1.7.2 Services audio

La notion de service de télémédecine trouve son expression la plus simple lorsqu'un professionnel des soins de santé consulte un collègue par téléphone.

1.7.3 Transferts d'images

Les images médicales peuvent être des images fixes, par exemple des radiographies, ou des images animées, c'est-à-dire des images vidéo. La transmission d'image par un service de télémédecine est réalisée généralement pour les besoins de la téléradiologie, qui est sans doute à présent le service de télémédecine le plus utilisé.

1.7.4. Services d'information

Beaucoup d'hôpitaux et médecins praticiens échangent des informations notamment des résultats de traitements ; font appel au courrier électronique à des fins administratives, emploient des tableaux d'affichage pour mettre à jour des informations cliniques et acheminent dossiers de patients, lettres de présentation et résultats d'essai entre les médecins et les hôpitaux.

1.8. Les avantages et les inconvénients de la télémédecine

La télémédecine est en train de devenir un élément clé de la pratique médicale. Elle offre de nombreux avantages pour les patients, les professionnels de la santé et la société dans son ensemble, mais aussi elle possède certains inconvénients.

I.8.1. Les avantages de la télémédecine :

a. Meilleure accessibilité aux soins de santé

Pour diverses raisons, il n'est pas toujours facile de se déplacer pour un rendez-vous chez le médecin, à la clinique ou à l'urgence d'un hôpital. Grâce à la télémédecine, il est possible d'obtenir une consultation en ligne ou par téléphone pour joindre un médecin ou tout autre professionnel en santé.

Lorsque le système de santé est saturé, lorsque la sécurité ou la santé est menacée lors d'un déplacement, dans les cas de mobilité réduite ou en cas de pandémie. Elle est également utile lorsque les soins médicaux sont difficiles d'accès, la télémédecine sera utile et prendre une place plus importante

L'obtention d'une consultation en ligne ou par téléphone d'un médecin ou d'un professionnel en santé lorsqu'il est difficile ou impossible de se déplacer pour un rendez-vous. Aide à améliorer l'accessibilité des soins et des conseils de santé de santé pour les personnes dans le besoin (personnes handicapées, personnes vivant dans des régions éloignées avec moins de médecins et les personnes qui souffrent d'une maladie chronique qui nécessite une surveillance régulière,) sans avoir à se déplacer.

b. Amélioration de la qualité des soins reçus

Les professionnels de santé peuvent utiliser des outils comme les dossiers médicaux électroniques pour accéder à des informations sur les patients à distance et améliorer ainsi la qualité des soins.

c. Collaboration entre les professionnels de la santé

La télémédecine améliore la collaboration entre les médecins et les différents professionnels de la santé du réseau en facilitant le partage d'informations sur les patients et les diagnostics, ce qui aide à fournir une prise en charge plus coordonnée et plus efficace et à prévenir les erreurs médicales.[17]

d. La rapidité

Que ce soit pour les patients, les médecins ou les professionnels de santé, la télémédecine permet un gain de temps précieux.

En effet, cela permet de désengorger les cabinets ou établissements médicaux pour des maladies ou pathologies bénignes. Cela permet donc de traiter les cas les plus complexes sur place et les moins complexes à distance (quand c'est possible bien sûr) de manière plus efficace est rapide. De plus, le temps passé en salle d'attente, où les virus peuvent circuler, est supprimé. Les téléconsultations permettent au patient de rester dans son confort personnel chez lui.

Une consultation en télémédecine peut se faire par téléphone ou par appel vidéo. De plus, à l'aide de certains logiciels, un patient peut faire parvenir rapidement des photos afin de permettre au médecin d'établir un diagnostic plus aisément.

e. Mobilité

Pour les personnes âgées ou à mobilité réduite, pour des raisons environnementales, la volonté de réduire les déplacements etc., la télémédecine est la solution. En effet, certaines personnes peuvent avoir renoncé aux soins du fait de problème physique ou encore d'absence de transport. Ainsi, la télémédecine permet à tout patient d'accéder aux soins, à des conseils médicaux et à l'expertise médicale.

f. Facilité d'accès aux soins et même à l'étranger

La téléconsultation s'adresse en premier lieu aux patients situés dans des déserts médicaux et qui ont besoin de se déplacer loin de leur domicile pour un rendez-vous chez leur généraliste ou chez un spécialiste. Une fois sur place, dans un cabinet, ces personnes doivent encore attendre que le médecin soit disponible. La téléconsultation permet à ces personnes d'accéder à des soins sans se déplacer et sans avoir à attendre.

La téléconsultation est aussi un avantage pour les personnes, expatriées ou en vacances dans leurs pays ou dans un pays étranger, qui seraient réticentes à consulter dans lieu de résidence à cause de la barrière de la langue ou d'un système de santé trop différent. Il suffit d'une connexion Internet pour consulter un médecin.

g. Disponibilité des médecins

Les patients ne sont pas toujours dans l'obligation de se déplacer dans les grands centres afin de rencontrer un médecin spécialiste ou consulter un médecin remplaçant le médecin de famille. De plus, comme les rendez-vous virtuels ou téléphoniques prennent généralement moins de temps, la télémédecine augmente l'accès aux spécialistes en diminuant les temps d'attente.

h. Meilleur suivi médical

La télémédecine permet, aux professionnels de santé, une meilleure coordination dans le suivi des patients, et ce grâce au Dossier Médical Partagé (DMP). Le DMP est un carnet de

santé numérique permettant de conserver et sécuriser toutes les informations et données de santé des patients. Le patient peut donc partager ces examens médicaux, ses traitements, ses scanners etc., avec les médecins et professionnels de santé de son choix.

Finalement, grâce à ses différents avantages, nous pouvons voir que la télémédecine permet et offre de nouvelles façons d'être conseillé ou soigné. Ces nouvelles façons sont beaucoup plus adaptées aux besoins actuels des patients et aux évolutions digitales.

Bien sûr cela n'enlève en rien les consultations traditionnelles. Si un rendez-vous en physique est nécessaire, il est préférable de le demander à votre médecin.[11]

I.8.2. Les inconvénients de la télémédecine

Bien qu'il y ait plusieurs avantages à la télémédecine, il y a aussi certaines limites à considérer. En effet, il est bien sûr impossible pour le médecin de faire un examen physique complet par moyen de télécommunications. Dans ce cas le médecin demande au patient de venir en personne. De plus, certains patients préfèrent rencontrer leur médecin et se sentent rassurés de pouvoir avoir une conversation en personne.

Les consultations en personne sont également nécessaires pour certains patients qui sont inaptes à recourir à la télémédecine (handicap physique, technologies inadéquates, etc.) ou lorsqu'il y a un inconfort de le faire virtuellement.

Il faut aussi souligner que sur le plan humain, une consultation en télémédecine est largement différente d'une rencontre en personne. Certaines situations peuvent être délicates et nécessiter une attention particulière ou une présence humaine [19].

Fracture numérique :

L'un des principaux inconvénients de la télémédecine est la fracture numérique qu'elle crée. Même si la téléconsultation devient de plus en plus une pratique au sein des foyers français, elle reste pour certains d'entre eux difficile d'accès. En effet, il existe bel et bien une inégalité vis à vis de l'accès aux technologies numériques, soit pour des raisons matérielles, soit par manque de compétences sur le sujet. En plus d'être discriminante au niveau de la population, elle l'est aussi au sein du milieu professionnel [15].

La télémédecine est difficile, notamment, pour certaines personnes âgées isolées, ne disposant pas d'un équipement (smartphone, tablette ou ordinateur) et non prises en charge

par le corps médical. Elles doivent donc faire appel à une tierce personne, parfois difficile à trouver. Aussi, certaines populations vivant dans des zones rurales avec un faible réseau internet, ont souvent toutes les peines du monde à consulter en ligne. Finalement, ce n'est pas tout le monde maitrisent l'utiliser la technologie pour pratiquer la télémédecine

I.9. Perspectives et avenir de la télémédecine

I.9.1. L'avenir de la télémédecine après le COVID-19

La pandémie mondiale de Covid-19 est venue perturber les modes de vie de la plupart des habitants de la planète durant l'année 2020. Ceux-ci ont alors dû s'adapter afin de limiter le pouvoir de contamination du nouveau Coronavirus. Les hôpitaux et les services de santé ont également dû s'adapter à cette situation. Dans l'optique d'éviter les rassemblements humains qui pourraient créer de nouveaux nœuds de contamination, des solutions ont dû être mises en place. Les gouvernements quant à eux se sont également adaptés en instaurant des lois et des décrets pour assouplir la réalisation des actes de télémédecine afin de protéger patients et médecins des risques de contamination [20].

La téléconsultation par sa capacité à atténuer la nécessité d'être au même endroit pour les patients et le personnel de santé a été largement utilisée pour contrer cette pandémie et permis de : [21]

- ✓ Réduire le temps requis pour obtenir un diagnostic, commencer un traitement, une quarantaine ou stabiliser un patient.
- ✓ Suivre de près les patients à domicile ce qui évite des mouvements de personnes et réduit le risque d'infection au sein de l'hôpital.
- ✓ Coordonner les ressources médicales à distance
- ✓ Diminuer les risques de contagion, notamment par les professionnels de la santé
- ✓ Informer les patients
- ✓ Économiser des coûts de matériel de protection
- ✓ Former des professionnels de la santé

I.9.2. La télémédecine en Algérie

Au regard de l'immensité de territoire Algérien, la télémédecine devient une solution et une nécessité pour offrir des soins de qualité, même dans les zones enclavées, c'est dans ce but que la Société algérienne de télémédecine et e-santé SATeS qui réunit l'ensemble des

médecins, chercheurs et autres intervenants dans le domaine de la santé est créée en 2015. Cette société a pour objectif d'aller vers un cadre légal et obliger les entités médicales à aller vers cette pratique, pour une plus grande équité dans la disponibilité des spécialistes à travers tout le territoire national, en mettant l'accent sur la formation, il expliquera qu'il est devenu nécessaire d'aller vers une « approche systémique » dans l'usage de la télémédecine.

Le gouvernement approuve de la télémédecine. L'Agence Nationale de Documentation de la Santé (ANDS) qui est une agence de Télémédecine pour favoriser les téléconférences entre les hôpitaux et CHU. D'autres structures sont concernées par la télésanté comme l'Université de Tlemcen, le centre de développement technologique (CDTA), le Centre de recherche sur l'Information et la Technologie (CERIST) [22].

Un réseau de télécommunications facilite cette politique : Un satellite "SATeS", La 3G couvre 80% du territoire. 10 millions d'abonnés Internet, 78000km fibre optique, intranet entre les universités, les mairies, les ministères, les écoles,... le problème étant un niveau faible d'efficacité et d'accès à l'expertise médicale.

Le SATeS aura pour rôle d'appuyer le généraliste comme acteur principal de santé de base, promouvoir la formation continue, la création d'un réseau de panels d'experts à travers le pays

La télémédecine pourrait être un moyen effectif pour améliorer la santé dans les régions éloignées avec leurs différentes insuffisances, moyennant davantage de créativité et d'innovation dans les méthodes de travail.

Le déploiement de la télémédecine se poursuit en Algérie par le biais du Centre de Développement des Technologies Avancées.

Une nouvelle version de la plateforme pilote de Télémédecine du CDTA a été déployée en 2016 avec succès ce mois-ci. Elle est fonctionnelle entre l'Hôpital Militaires Régional de Ouargla (HMRO) et l'Hôpital Central de l'Armée (HCA), sis à Alger.

Les recommandations issues au terme des HDD vont dans ce sens. Elles se résument en [22] :

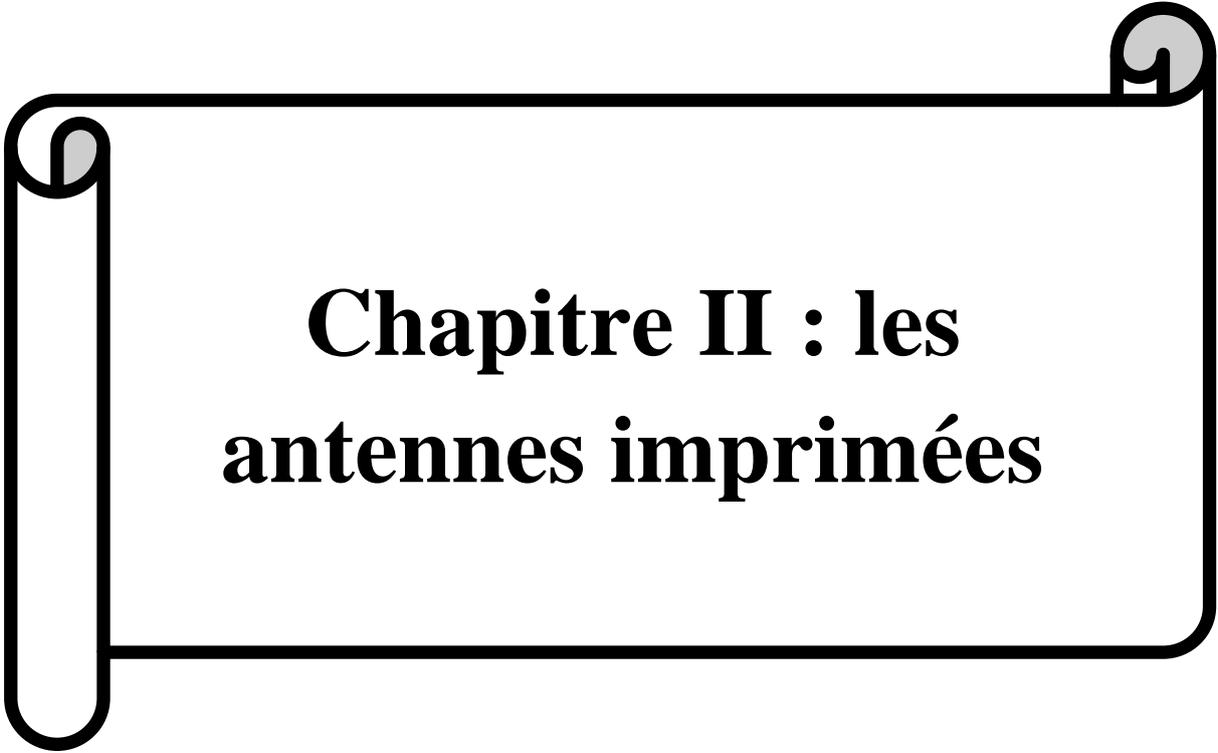
- Définition d'un cadre éthique et réglementaire pour promouvoir et institutionnaliser la télémédecine.

- Création d'un organe national de normalisation de la e-santé.
 - ✓ Elaboration d'un plan stratégique à long terme et développer les TIC au service de la santé selon les besoins des infrastructures.
 - ✓ Mise en place d'un système d'information de la santé.
 - ✓ Promouvoir la collaboration multisectorielle.
 - ✓ Développer les TIC au service de la santé selon les besoins des infrastructures.
 - ✓ Développer une collaboration entre le secteur privé et les associations dans les TIC pour promouvoir les services publics de santé et recourir à l'e-santé.
 - ✓ Lancement du dossier médical informatisé, un point considéré comme l'une des clés de la réussite de ce type d'actions.
 - ✓ Création de projets pilotes à l'exemple de la téléradiologie et la télédermatologie plus précisément dans les spécialités qui enregistrent un déficit en ressources humaines (spécialistes).
 - ✓ Lancement d'un centre d'appel d'aide au management des urgences à mettre à la disposition des généralistes à travers le territoire national.
 - ✓ Soutenir et développer les programmes de recherche dans la télémédecine.
 - ✓ Redéfinir la hiérarchie des soins et mettre en exergue le rôle du médecin généraliste.
 - ✓ Inscription de la formation en ligne dans le cursus de spécialisation.
 - ✓ Réglementation et certification des outils de santé électroniques.

I.10 Conclusion

En conclue que la télésanté peut être définie comme les soins et services de santé, services sociaux, préventifs ou curatifs, rendus à distance par télécommunication, y compris les échanges audiovisuels à des fins d'information, d'éducation et de recherche ainsi que le traitement de données cliniques et administratives. Par contre que la télémédecine est une pratique médicale à distance mobilisant des nouvelles technologies de l'information et de la communication. Elle regroupe l'ensemble des pratiques médicales (télé-expertise, téléconsultation, télésurveillance médicale...) qui permettent aux patients d'être pris en charge à distance, de répondre aux difficultés démographiques, épidémiologiques et organisationnelles. La télémédecine met en rapport, soit entre le patient et un ou plusieurs professionnels de santé ; soit plusieurs professionnels de santé entre eux. Les bénéfices de la télémédecine sont nombreux soit pour le patient, soit pour les professionnels de santé, soit

pour le système de santé, mais relèvent tous d'une meilleure qualité de prise en charge. La télémédecine s'est installée auprès des professionnels de santé comme une modalité complémentaire de la prise en charge des patients. Ses conditions et ses applications continueront d'évoluer, dans le respect des pratiques médicales. La mise en place de la télémédecine nécessite un encadrement légal très strict. La définition et le cadre juridique de la télémédecine doivent être précisés au fil du temps par l'intermédiaire de plusieurs lois. La télémédecine est un atout majeur pour les soins de santé. Cette technologie aide à améliorer l'accessibilité et la qualité des soins de santé pour les patients et les professionnels de la santé. Les gouvernements, les professionnels de la santé et les entreprises du secteur de la santé continuent de travailler pour développer des solutions pour améliorer la télémédecine et les soins de santé. La télémédecine et ses applications offre plusieurs avantages aux usagers et aux professionnels de la santé dont un meilleur accès aux services médicaux, une diminution des coûts liés aux services de santé ainsi qu'une diminution de la propagation des pathogènes. L'expérience télémédecine en Algérie est considérée comme une chance pour réaliser un nombre très important des investissements à moyen et à long terme, soit pour Algérie-Télécom qui le permet de réaliser des gains et des bénéfices, où pour les hôpitaux qui les permettront d'effectuer des soins de santé de qualité à long terme (à toute la population patiente).



Chapitre II : les antennes imprimées

II.1 Introduction

Dans tous les systèmes de communication permettant le transfert des informations à travers la propagation d'ondes dans l'espace libre (radiodiffusion, radar, télévision, r, téléphone mobile ...), évitant ainsi toute contrainte de câblage, il est nécessaire de disposer d'éléments permettant la transition entre une onde guidée (ligne de transmission ou guide d'onde) et une onde rayonnée et vice-versa ; Ces éléments de transition sont les antennes. D'une part leur structure géométrique spécialement mise au point dans ce but, elles permettent le détachement des champs électromagnétiques de leur support métallique. De plus une antenne peut servir à diriger le signal dans une direction désirée et produit pour cela une concentration des champs dans une région particulière de l'espace.

Les antennes, piliers des télécommunications et du sans fil, permettent la communication entre appareils électroniques. Parmi les types existants, les antennes imprimées se démarquent par leur flexibilité, leur performance et leur intégration facile dans des applications variées : communication mobile, IoT, radar, appareils portables, etc.

Ce deuxième chapitre a pour objectif de définir ce qu'est une antenne, cet élément passif qui est indispensable pour un système de communication sans fil ensuite il explorera en profondeur les antennes imprimées, en détaillant leur conception, leur fonctionnement, leurs atouts et leurs défis, et leur importance dans l'environnement des technologies sans fil actuelles.

II.2. Principe de propagation des ondes électromagnétiques

On doit d'abord souligner la nuance très importante entre la propagation et le rayonnement d'ondes électromagnétiques. Le mot propagation est généralement réservé au cas où l'onde est guidée par une structure matérielle (câble, guide d'onde, fibre optique, et même couche troposphérique). Par contre, le mot rayonnement désigne le cas d'une émission et d'une propagation libre dans un espace, théoriquement illimité. Cependant, la différence entre la propagation et le rayonnement, n'est pas si nette du moment que des situations hybrides existent [23].

Les antennes rayonnent des signaux en espace libre sous forme d'onde électromagnétique lorsqu'elles sont excitées par un signal électrique (tension/courant), fourni par un générateur (émetteur), on parle alors d'une antenne en émission (figure. (II.1)). D'autre

part, lorsqu'elles captent des ondes électromagnétiques, elles fournissent à la charge (récepteur) une puissance sous forme d'un signal électrique "antenne en réception".

Cet aspect dual, permet en vertu du principe de réciprocité (de classer les antennes parmi les dispositifs réciproques, c.-à-d., une antenne peut être utilisée à la fois en émission et en réception. Ainsi, les propriétés que l'on définira pour une antenne le sont pour les deux modes de fonctionnement.

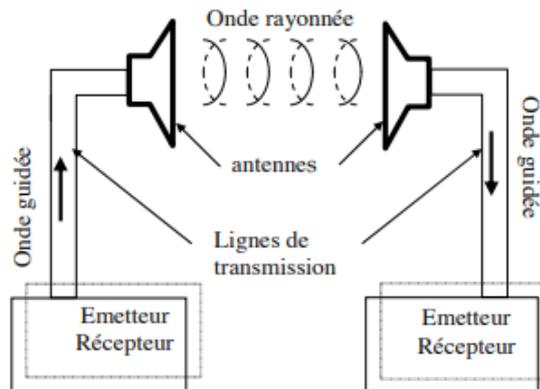


Figure. II. 1:Principe d'une liaison radioélectrique.[23]

II.3. Concept d'Antenne

Les antennes jouent un rôle important dans le fonctionnement de tous les équipements radio. Ils sont utilisés dans les réseaux locaux sans fil, la téléphonie mobile et les communications par satellite.

II.3.1. Définition d'une antenne

Le dispositif générant une onde rayonnée est appelé antenne. Compte tenu de son rôle dans une liaison radioélectrique, on peut donner un certain nombre de définitions d'une antenne. D'un point de vue technique, "une antenne est un transducteur servant à transformer une énergie électromagnétique guidée en énergie électromagnétique rayonnée et réciproquement" [4]. Dispositif permettant de rayonner ou de capter à distance les ondes électromagnétiques dans un appareil ou une station d'émission ou de réception [24].

Une antenne reliée à une ligne de transmission et rayonnant en espace libre peut être considérée comme un dispositif de couplage entre une onde guidée le long de la ligne et une onde rayonnée dans l'espace. Par conséquent, une antenne est un dispositif qui permet de

recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques. Elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée et vice versa [4].

II.3.2. Propriétés fondamentales

a. Réciprocité

Les antennes sont des éléments réciproques. Une antenne peut être utilisée en émission ou en réception.

b. Linéarité

Les antennes sont des éléments linéaires c'est-à-dire qu'on peut additionner en zone lointaine les diagrammes de rayonnement obtenus par des distributions de tensions appliquées soit à la même antenne soit sur des antennes différentes tout en tenant compte des déphasages.

D'une façon générale les antennes servent pour communiquer sur des grandes distances. Ce sont des dispositifs qui ont pour fonction de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique se propageant dans l'espace libre « antenne d'émission » et réciproquement, de capter les ondes de l'espace pour les conduire vers les circuits de récepteur « antenne de réception ». Une définition traditionnelle est la suivante : « antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager.

Donc :

- En émission, l'antenne reçoit un courant et une tension, elle génère un champ électrique et un champ magnétique.
- En réception, l'antenne reçoit un champ électrique et un champ magnétique, elle génère une tension et un courant.

L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :[4]

- ✓ Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation,
- ✓ Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées.
- ✓ Transmettre le plus fidèlement possible une information.

II.3.3. Définition des différentes zones de rayonnement

Définition des différentes zones de rayonnement À la réception, les ondes reçues n'arrivent pas en phase, le plus grand déphasage correspond aux ondes extrêmes c'est-à-dire : l'onde reçue par le centre de l'antenne d'émission et celle reçue par le point plus éloigné. La différence de distance parcourue par les deux ondes extrêmes peut être toujours être ramenée à une fraction de longueur d'onde. En fonction de la valeur maximum de la différence de distance, on distingue trois zones de rayonnement :

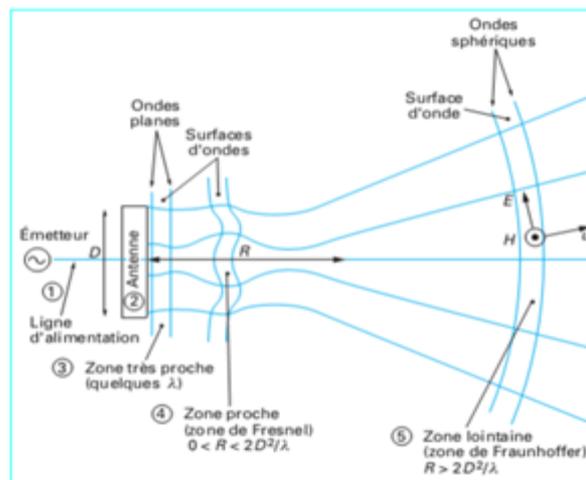


Figure.II.2:Différentes zones de rayonnement.[4]

a) La zone de Rayleigh (la zone proche)

Les termes inductifs et électrostatiques sont perpendiculaires au voisinage immédiat de l'antenne. Il y a accumulation d'énergie électrique et magnétique, les champs vectoriels varient peu en fonction de la distance mais ils sont très complexes à analyser.

b) La zone de Fresnel

Cette zone est située au-delà de la zone proche, l'expression du champ dans cette zone est très complexe et le calcul est difficile ; c'est une zone qu'on essaie d'éviter au maximum. La limite supérieure R de la zone de Fresnel est donnée :

$$R = 2D^2/\lambda \quad (\text{II.1})$$

D est la longueur de l'antenne et λ est la longueur d'onde.

c) La zone de Fraunhofer (zone au champ lointain)

Cette zone apparaît après la zone de Fresnel $R > \lambda$, qui s'étend jusqu'à l'infini, dans cette zone, on peut considérer que les ondes sont planes, les champs sont perpendiculaires entre eux et perpendiculaires à la direction de propagation, et ils décroissent en $1/R$.

Où R : est la distance entre l'antenne et le point d'observation.

Dans cette zone, l'amplitude complexe associée au champ électrique s'écrit :

$$\vec{E} \rightarrow (M) = E \rightarrow (\theta, \phi) \quad (\text{II.2})$$

Et le champ magnétique se déduit :

$$\vec{H} \rightarrow = \frac{\vec{u} \wedge \vec{E} \rightarrow (M)}{\eta} \quad (\text{II.3})$$

Avec : η est l'impédance caractéristique du milieu

II.4. Les caractéristiques d'antenne

Les caractéristiques et les performances des antennes sont classés en deux groupes.

- ✓ Le premier groupe caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique ;
- ✓ Le second groupe caractérise les propriétés de rayonnement, tel que le diagramme de rayonnement, la directivité et le gain.

II.4.1. Caractéristiques électriques

Les antennes se caractérisent généralement par quelques paramètres importants. Ils permettent de comparer les structures entre elles et définissent l'antenne comme élément du circuit dans lequel elle est connectée. Parmi ces caractères en va citer :

a). L'impédance d'entrée

L'impédance d'entrée est définie comme étant l'impédance présentée par une antenne à ses bornes ; elle est égale au rapport de la tension V_e sur le courant I_e présentés à l'entrée (figure II.4) :

$$Z = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (\text{II.4})$$

Où :

Z = impédance d'entrée aux bornes a et b.

R = résistance de l'antenne aux bornes a et b.

X = réactance de l'antenne aux bornes a et b.

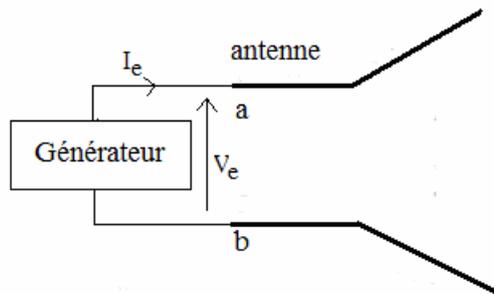


Figure.II.3: Antenne en mode émetteur.

Généralement pour qu'une antenne ait un bon rendement, il est nécessaire que l'émetteur, la ligne de transmission, et l'antenne aient presque la même impédance.[27]

b) Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet de quantifier la quantité du signal réfléchi par rapport au signal incident.

Généralement ce coefficient Γ est lié à l'impédance d'entrée de l'antenne et l'impédance caractéristique Z_c par la relation figure :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \quad (\text{II.5})$$

D'une manière générale, lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation ou rencontre une nouvelle interface, une partie de cette onde incidente est réfléchi et l'autre partie est transmise dans le nouveau milieu. Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies [28]. Pour une antenne d'impédance Z , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_s (souvent égale à 50Ω), le coefficient de réflexion peut être défini comme suit (figure II.6) :

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (\text{II.6})$$

Z_c : Impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

Donc le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet d'évaluer la relation entre la quantité réfléchie d'un signal et la quantité incidente. Elle est liée à l'impédance d'entrée de l'antenne et à l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté $|S_{11}|$ et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}| \quad (\text{II.7})$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal.

c) Le rendement

Le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle qui lui fournit l'alimentation. Il est exprimé par :

$$\eta = R_r / (R_r + R_p) \quad (\text{II.8})$$

Il est aussi exprimé par :

$$\eta = P_r / P_a \quad (\text{II.9})$$

d) Bande passante

La bande passante d'une antenne est la bande de fréquence pour laquelle une ou plusieurs caractéristiques restent pratiquement constantes en fonction de la fréquence.

Elle dépend de l'impédance de rayonnement, de la directivité, de la polarisation de l'onde et enfin des dimensions de l'antenne, on définit la largeur de bande comme suit :

$$BW = \frac{f^+ - f^-}{f_c} \quad (\text{II.10})$$

Avec f^+ et f^- la fréquence minimale et la fréquence maximale entre lesquelles le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB et f_c la fréquence centrale.

On distingue deux types de bande passante, celle relative à l'adaptation et celle relative au diagramme de rayonnement

Lors d'une utilisation quelconque, la forme de diagramme de rayonnement peut ne pas être très importante, dans ces conditions on s'impose un taux d'onde stationnaire (TOS) maximum.

e). Gain d'antenne

Le gain d'une antenne dans une direction donnée est la quantité descriptive de la performance de l'antenne, c'est la quantité d'énergie rayonnée dans cette direction comparée à l'énergie qu'une antenne isotrope rayonnerait dans la même direction avec la même puissance d'entrée. Le rapport de gain est donné par :

$$G(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r/4\pi} \quad (\text{II. 11})$$

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

P_r : est la puissance totale rayonnée.

Le gain est lié à la directivité, il définit l'augmentation de la puissance émise ou reçue dans le lobe principal, il est dû au fait que l'énergie est focalisée dans une seule direction, il est exprimé en dBi (décibels par rapport à l'antenne isotrope) [28].

Gain = ηD Pour avoir un gain important, l'antenne doit avoir un diagramme de rayonnement directif et réciproquement.

f) Polarisation

Une antenne rayonne une onde qui, en champ lointain, présente les caractéristiques d'une onde plane. La polarisation de cette onde dans une direction donnée est, par définition, caractérisée par la projection, dans le plan orthogonal à la direction de propagation, de la courbe décrite dans le temps par l'extrémité du vecteur champ électrique de l'onde rayonnée en champ lointain. Si le vecteur champ électrique décrit une ellipse, la polarisation est dite elliptique.

Lorsque le vecteur champ décrit une droite, la polarisation est dite linéaire. Celle-ci est alors dite soit verticale si la droite est perpendiculaire à la surface de la Terre, soit horizontale si la droite est parallèle à la surface de la Terre.

Enfin, si la projection du vecteur champ électrique est un cercle, la polarisation est circulaire. Le sens de rotation du vecteur champ électrique donnera le sens de rotation de la polarisation, elle sera circulaire droite ou circulaire gauche.

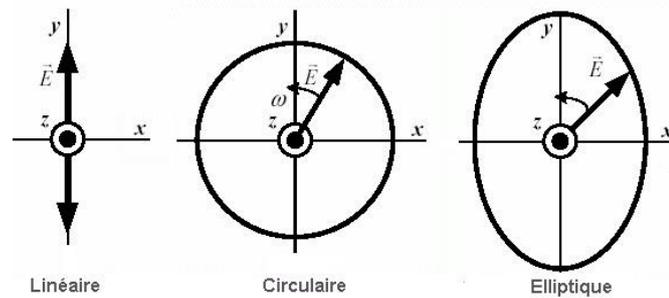


Figure.II.4: Polarisations d'une onde électromagnétique.

Plusieurs autres critères peuvent influencer le choix d'une antenne [8].

Autres critères

Autres critères entrant aussi en considération :

✓ L'encombrement : l'augmentation du gain d'une antenne entraîne aussi une plus grande ouverture rayonnante équivalente selon la (Formule (II.12)) et donc un accroissement de l'encombrement. Celui-ci est bien sûr très différent suivant la fréquence de travail. Ce paramètre est très important si l'on tient compte de l'impact esthétique des antennes sur l'environnement.

$$G = \frac{4.\pi}{(\lambda_0)^2} . Se \quad (\text{II.12})$$

Avec G = gain potentiel de l'antenne

λ_0 = longueur d'onde dans le vide

Se = surface effective de l'antenne

✓ La bande de fréquences du système va avoir une influence la bande de fréquences du système va avoir une influence très importante sur la taille de la cellule. Le facteur d'affaiblissement dans l'air, donné par la Formule suivante, montre qu'à 40 GHz la portée sera beaucoup plus faible qu'à 5 GHz. De plus, les réflexions multiples sur le sol ou sur les bâtiments n'auront pas la même influence selon la fréquence [30].

$$A = 10.\log\left(\frac{\lambda}{4.\pi.R}\right)^2 \quad (\text{II.13})$$

Avec A = affaiblissement en espace libre en dB

λ = longueur d'onde dans le vide

R = distance de propagation

II.5. Différents types d'antennes :

Il existe une multitude de types d'antennes, de tailles et de formes très diverses, aux modes de fonctionnement plus ou moins complexes. Elles sont utilisées dans des gammes de longueur d'onde très différentes pour un très grand nombre d'applications.

Cependant, le rayonnement de toutes les antennes est étudié et caractérisé au moyen de définitions et propriétés communes.

Il n'est impossible, dans ce chapitre, de présenter toutes les d'antennes, mais d'exposer brièvement les plus couramment utilisées.

Ainsi le choix d'une antenne se fait tout d'abord en fonction de la forme et de la taille de la cellule à couvrir afin d'en optimiser la couverture. Ces paramètres vont entraîner le choix de l'angle d'ouverture en azimut ainsi que du gain de l'antenne. Il est à noter que suivant la formule (II.13). Le gain de l'antenne augmentera de 3-dB environ pour une ouverture réduite de moitié [30].

Pour estimer le gain maximum d'une antenne directive en fonction de ses angles de faisceau en azimut (θ_{azimut}) et en site (θ_{site}).

$$G_{max} = \frac{K}{\theta_{site} \times \theta_{azimut}} \quad (II.13)$$

Avec : G_{max} , le gain maximum de l'antenne ;

K, une constante de proportionnalité qui dépend des caractéristiques spécifiques de l'antenne et de ses dimensions ;

(θ_{site}) et (θ_{azimut}) en degré représentant les angles d'ouverture dans les deux plans principaux.

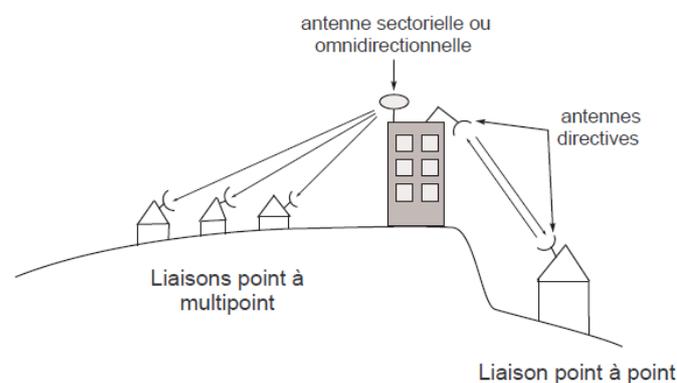


Figure.II.5:Différents types des liaisons [30]

Nous pouvons classer des antennes dans quatre différents groupes selon leur type d'utilisation et leur ouverture à -3 dB en azimut (Figure II.6).

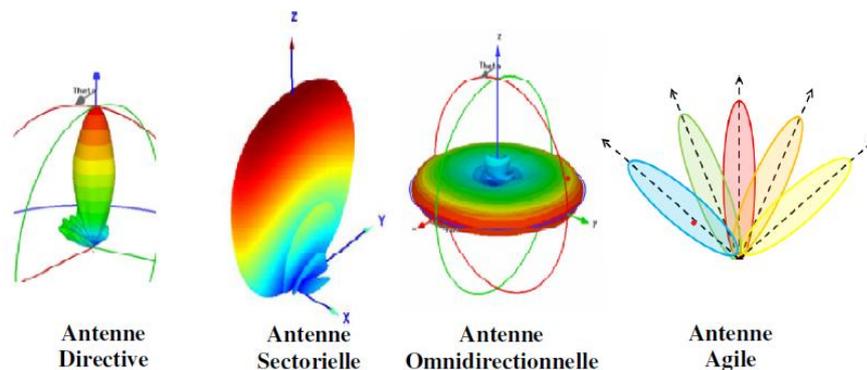


Figure.II.6:Couverture en fonction des diagrammes de rayonnement d'antennes dans le plan horizontal.

II.5.1. Les antennes filaires

Les antennes filaires sont les plus familières car elles sont utilisées dans beaucoup d'applications (Automobiles, installations, bateaux, avions, engins spatiaux...). Elles sont basées sur des conducteurs linéiques, de section généralement circulaire ou carrée. Cette section est considérée faible par rapport à la longueur du conducteur ce qui permet de supposer une distribution linéique des sources de courant lors de l'analyse de ces antennes. Une telle hypothèse permet de calculer aisément le rayonnement produit par de telles sources. Les antennes filaires sont généralement les plus familières car elles sont utilisées dans beaucoup d'applications : automobiles, immeubles, bateaux, avions, engins spatiaux ... Elles sont constituées de conducteurs ou de groupements de conducteurs et peuvent épouser plusieurs formes (fig. II.7) : rectilignes (monopoles, dipôles...), cadres (rectangulaire ou circulaire), hélice...[31]

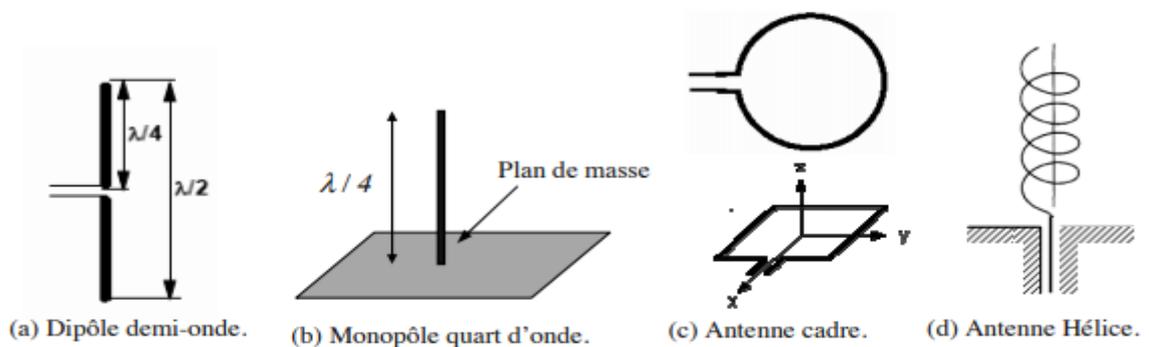


Figure. II.7 Représentation de quelques antennes filaires.

Parmi les antennes rectilignes les plus couramment utilisées, on peut citer le dipôle demi-onde et l'antenne fouet quart d'onde (monopôle).

a) Dipôle demi-onde

C'est l'antenne filaire rectiligne historiquement la plus ancienne mais toujours très utilisée. Elle est constituée de deux brins métalliques alignées sur le même axe et alimentée en son centre (figure. (II.7a)). Les deux autres extrémités libres des deux brins sont laissées ouvertes, ce qui permet d'imposer une valeur nulle du courant en ces points. On aboutit ainsi à une répartition de type onde stationnaire avec un maximum de courant à l'entrée du dipôle.

b) Antenne monopôle

L'utilisation du principe d'antenne monopole permet de réduire l'encombrement d'un dipôle en associant à l'antenne un plan de masse de grandes dimensions (figure (II.7b)). C'est le cas, par exemple, d'antennes utilisées sur le toit d'un véhicule. L'image virtuelle génère l'équivalent d'un dipôle à partir d'un seul brin. On parle alors de monopôle dont le mode fondamental correspond à une longueur de $\lambda/4$.

c) Boucle résonante

La boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même (figure (II.7c)). Elle peut être carrée, rectangulaire, circulaire ou en forme de losange. Selon les dimensions de la boucle, le rayonnement peut être longitudinal ou transversal. Ce dispositif est très utilisé pour la réception de la radiodiffusion sous la forme d'un cadre sur lequel sont enroulées plusieurs spires. Les systèmes RFID (identification radiofréquence) utilisent également ce dispositif comme antenne. Sensibles au champ magnétique, les boucles magnétiques, sont utilisées également pour la détection d'objets métalliques.

d) Antenne hélice

L'antenne hélice (figure (II.7d)) peut être assimilée à une association d'une série de doublets électriques et de boucles magnétiques. Son diagramme de rayonnement dépend du diamètre du cylindre sur lequel elle est généralement enroulée. Il peut être longitudinal (mode axial) ou transversal (mode normal). En ajustant judicieusement ce diamètre, on arrive à obtenir une polarisation circulaire.

II.5.2. Les antennes à ouverture rayonnante

Les antennes à ouvertures rayonnantes, sont utilisées dans le domaine des hyperfréquences, ces antennes sont constituées d'ouvertures pratiquées sur des structures métalliques. Au niveau de ces ouvertures, les sources d'excitation ne sont, évidemment, plus des courants mais des champs. Plusieurs types d'antennes peuvent être analysés en utilisant le formalisme établi pour calculer le champ rayonné par une ouverture plane de forme quelconque. Dans ce paragraphe, on se contentera de présenter le guide d'onde ouvert à l'une de ses extrémités et l'antenne cornet.

Elles se divisent en deux catégories : les antennes à cornet, où l'ouverture rayonnante est une section vide constituée par l'embouchure du cornet, et les antennes paraboloides, où l'ouverture est une surface pleine constituée par le réflecteur.

II.5.2.1. Antenne cornet

Pour faire rayonner une onde électromagnétique guidée par un guide d'onde rectangulaire ou conique, c'est de laisser l'extrémité du guide ouverte, pour permettre ainsi à l'énergie de se diffuser librement dans l'espace (Figure II.8).

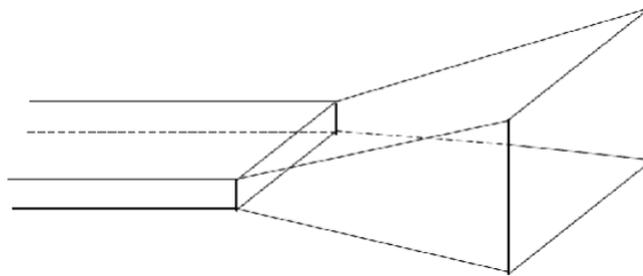


Figure II.8 : Antenne cornet[32].

Un cornet est un guide d'ondes à section progressive croissante se terminant par une ouverture rayonnante. Les cornets sont indispensables pour passer, sans désadaptation, de la propagation guidée à la propagation à l'espace vide et réciproquement[32].

II.5.2.2. Antenne parabolique

Les antennes à réflecteur parabolique sont privilégiées pour les transmissions longue distance notamment les communications satellites. Elles sont composées d'une source

(généralement un cornet) disposée à la focale d'un réflecteur qui est souvent métallique mais qui peut aussi être diélectrique.

Bien que ces antennes souffrent de plusieurs pertes, elles peuvent atteindre des gains de l'ordre de 50 dB, un diagramme de rayonnement très directif avec des niveaux de lobes secondaires très faibles (-20dB).

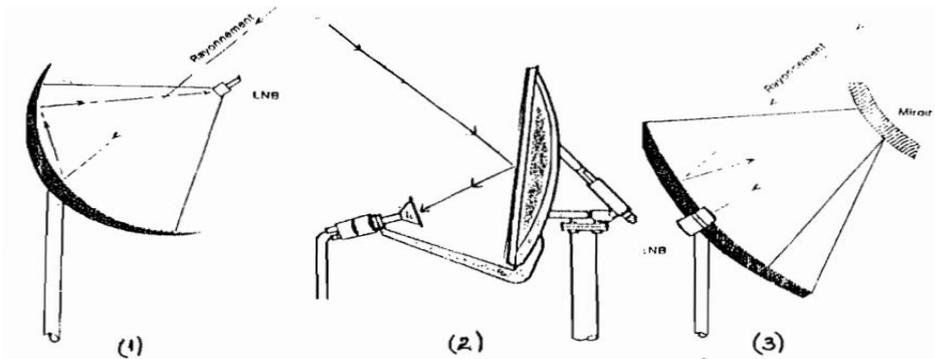


Figure II.9 : (1) Parabole classique ronde
(2) Parabole OFFSET
(3) Parabole Cassegrain[33]

Dans une antenne parabolique la source primaire est constituée par un cornet dont les propriétés doivent être les suivantes:

- il doit collecter les micro-ondes concentrées au foyer du réflecteur, il doit détecter un minimum de bruit et de signaux parasites,
- il ne doit pas ajouter au signal reçu de bruit propre, il doit permettre de détecter les signaux avec la bonne polarisation (linéaire ou circulaire) et éliminer les autres.[33]

II.5.2.3 Antennes diélectriques

Les lentilles diélectriques possèdent les mêmes propriétés que le réflecteur d'une antenne à réflecteur parabolique. A partir d'une forme géométrique et d'un matériau bien choisi, ces lentilles permettent de transformer différents faisceaux d'énergie en ondes planes (figure II.11)). Au-delà de la gamme SHF et plus, elles sont appelées à jouer un rôle plus efficace que les antennes à réflecteur.

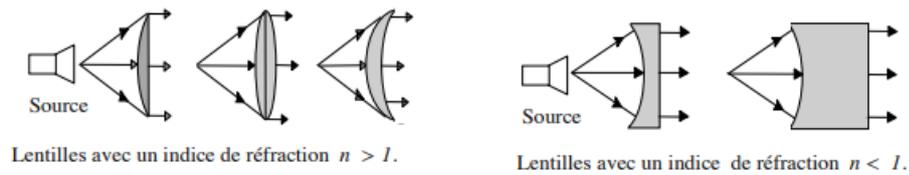


Figure.II.10:Lentilles diélectriques [23].

II.6 Les antennes planaires

L'antenne patch micro-ruban, une conception planaire à une seule couche, comprend généralement quatre éléments principaux : le patch (qui rayonne), le plan de masse, le substrat et la partie alimentation. Elle est souvent considérée comme un élément résonant. Une fois la fréquence déterminée, les paramètres tels que le diagramme de rayonnement et l'impédance d'entrée sont définis. Le patch, une fine bande métallique rayonnante, a des dimensions bien inférieures à la longueur d'onde de l'espace libre ($t \ll \lambda$).

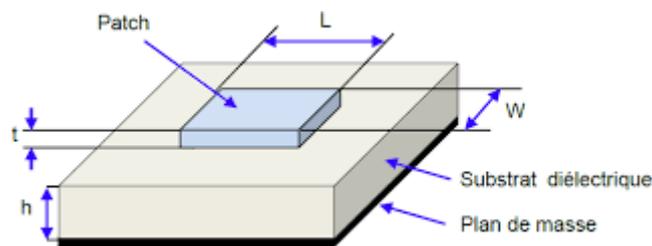


Figure.II.11: Géométrie d'une antenne patch [32]

II.6.1 Les différentes formes d'une antenne planaire

Il existe de nombreuses formes d'antennes patch, chacune conçue pour des caractéristiques spécifiques. Parmi les types les plus courants, particulièrement pour les fréquences d'ondes millimétriques, on trouve les patches rectangulaires, carrés et circulaires. Ces formes sont les plus simples à comprendre pour visualiser les mécanismes de rayonnement, comme le montre la figure ci-dessous. (II.2).

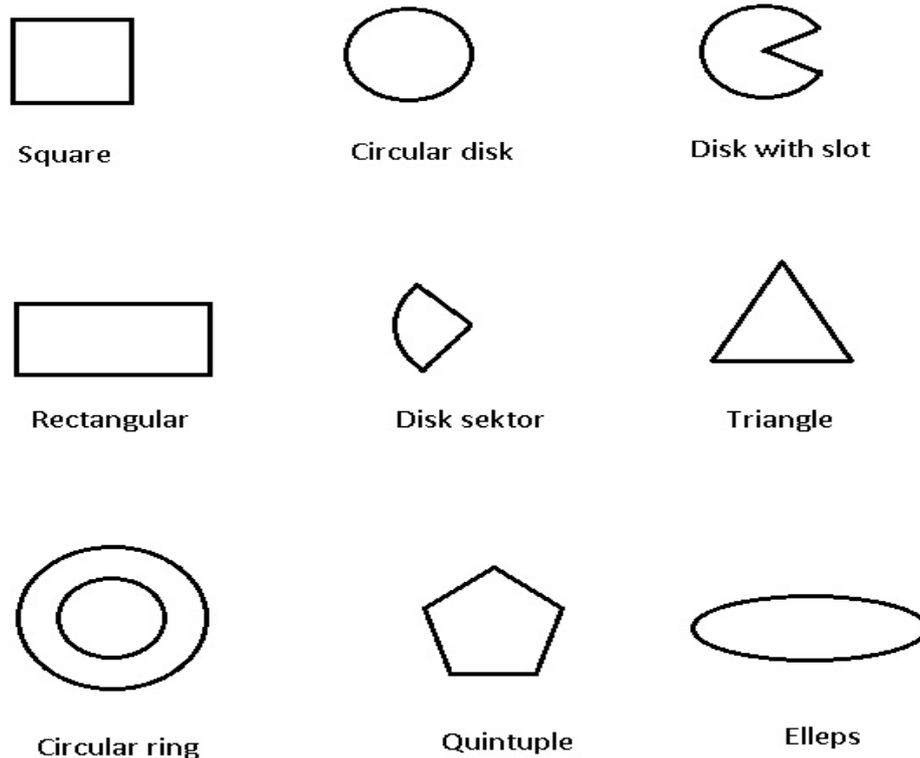


Figure.II.12: les formes les plus courantes d'antennes patch [32]

Le choix du substrat est crucial, prenant en compte des facteurs tels que la température, l'humidité et d'autres conditions environnementales. L'épaisseur du substrat, notée h , influe fortement sur la fréquence de résonance et la largeur de bande (BW) de l'antenne. La largeur de bande de l'antenne micro-ruban tend à augmenter avec l'augmentation de l'épaisseur du substrat h , mais cette augmentation est limitée ; au-delà d'un certain point, l'antenne cesse de résonner.[32]

II.6.2 Principe de fonctionnement

Pour comprendre le fonctionnement d'une antenne planaire et obtenir les formules analytiques de son rayonnement et de son impédance d'entrée, deux modèles sont utilisés. L'antenne patch peut être conceptualisée comme une ligne micro ruban ou une ligne de transmission avec deux extrémités ouvertes, formant deux discontinuités aux extrémités rayonnantes. Une autre approche la considère comme une cavité résonante constituée de patches, d'un plan de masse et de bords. Cette cavité agit comme un réservoir de charges électriques, générant un champ électrique basse fréquence entre le patch et le plan de masse, se propageant le long de l'axe Z. L'épaisseur du substrat doit être maintenue comme suit :

$$h \leq \frac{c}{4f\sqrt{(\epsilon_r-1)}} \quad (\text{II.10})$$

Où f est la fréquence de résonance, C la vitesse de l'onde électromagnétique dans le vide, et ϵ_r est la permittivité relative du substrat.

À mesure que la fréquence augmente, la répartition de la charge sur le patch devient non uniforme, ce qui entraîne une distribution non uniforme du courant et du champ électrique dans le plan xy . Un champ magnétique se forme également. La répartition du champ électrique dans la cavité rectangulaire est décrite par :

$$E_x = E_y = 0 \quad (\text{II.11})$$

$$E_z = E_0 = \cos\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{W}\right) \quad (\text{II.12})$$

Où L et W sont la longueur et la largeur du patch rectangulaire, Et n et m sont des entiers.

Pour la fréquence de résonance de la cavité, qui est spécifique à la taille de la cavité rectangulaire, l'optimisation du rayonnement est facilitée par la distribution du champ électrique.

$$F_{m,n} = \frac{C}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{L}\right)^2 + \left(\frac{n}{W}\right)^2} \quad (\text{II.13})$$

Avec C vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide. Le mode fondamental étant, $(m,n)=(0,1)$ si $W > L$ et $(m,n)=(1,0)$ si $L > W$. Et n et m sont des entiers.

À la fréquence de résonance de la cavité, qui dépend de la taille de la cavité rectangulaire, l'optimisation du rayonnement est effectuée en contrôlant la répartition du champ électrique. En considérant le cas où la longueur de la cavité (L) est supérieure à sa largeur (W), cette distribution est examinée. Lorsque la longueur de la cavité L est environ égale à $\lambda / 2$, l'antenne résonne comme un dipôle demi-onde. Aux deux extrémités séparées par L , le champ électrique est maximal et en phase opposée. Le long de l'axe Y (parallèle à W), le champ électrique est presque uniforme. Cependant, le long de l'axe X (parallèle à L), le champ électrique n'est pas uniforme. Il présente un minimum et un maximum, passant par des zéros le long des deux extrémités séparées par W . Cette distribution est due à l'accumulation de charges de signes opposés sur les bords séparés par L et au courant orienté selon l'axe X . [33]

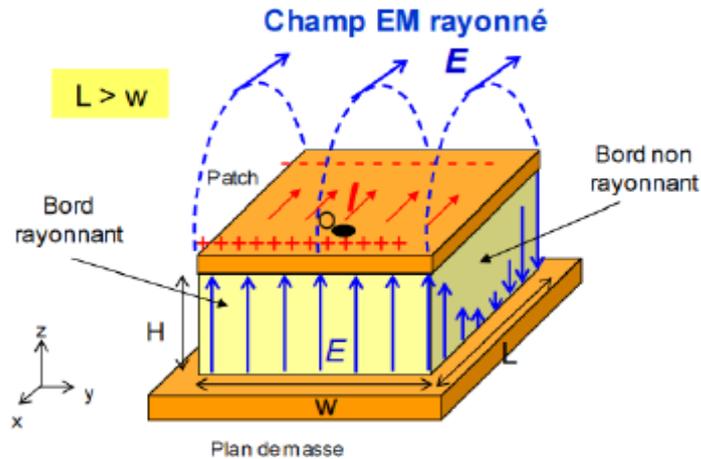


Figure II. 15: Rayonnement d'une antenne planaire [34]

Le champ électrique entre le bord du patch et le plan de masse déborde, contribuant à la génération de champs électromagnétiques rayonnés. Le champ électrique maximal du bord séparé par L , combiné au champ électrique de phase opposée, s'additionne de manière constructive pour engendrer un rayonnement gravé sur le plan YZ . Ainsi, ces arêtes sont appelées arêtes radiales. Cependant, les champs produits par les bords séparés par W semblent nuls et ne contribuent pas au rayonnement. Bien que le champ électrique déborde, la résonance n'est pas complète lorsque la longueur de patch est la moitié de la longueur d'onde, soit lorsque $L = 0,49\lambda$. Calculer les performances de l'antenne n'est pas simple et nécessite soit des analyses calculatoires avec des hypothèses simplifiées, soit l'utilisation de méthodes numériques précises. Les formes géométriques simples peuvent être analysées facilement, mais pour des géométries plus complexes, des méthodes numériques sont nécessaires.

II.6.3 Techniques d'alimentation des antennes planaires

Adapter l'alimentation de l'antenne est essentiel, car son efficacité dépend du transfert maximal d'énergie assuré par son circuit d'alimentation. L'intégration de l'antenne dans le dispositif influence son alimentation. Les antennes imprimées peuvent être alimentées de différentes manières, généralement regroupées en deux catégories principales : les méthodes d'alimentation avec contact et sans contact (par proximité). Dans la première méthode, le patch de l'antenne est directement alimenté en énergie RF, tandis que dans la deuxième méthode, le patch reçoit l'énergie RF de manière indirecte via un couplage électromagnétique.

II.6.3.1 Alimentation par ligne micro ruban

Dans ce mode d'alimentation, une ligne micro ruban est connectée directement au bord de l'élément rayonnant, le point de connexion étant placé soit sur l'axe de symétrie de l'élément, soit décalé par rapport à cet axe. La largeur de cette ligne est généralement plus étroite que celle du patch [35].

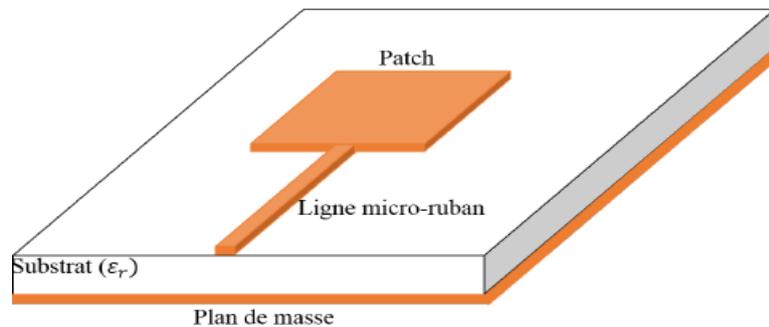


Figure.II.16: Alimentation par ligne micro-ruban [36]

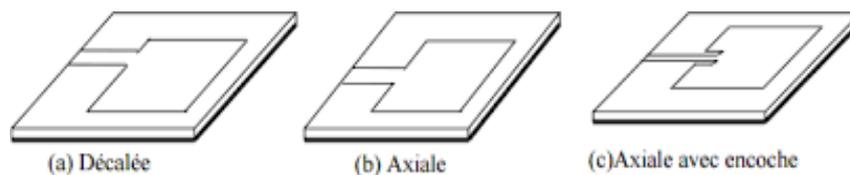


Figure.II.17: Type de la ligne microruban.

Tableau II. 1:Avantages et inconvénients de la ligne microruban

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Moins couteuse. - La plus simple à réaliser. - Gravée sur la même face que l'élément rayonnant. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le rayonnement parasite produit par la ligne. - Structure figée après gravure.

II.6.3.2. Alimentation par sonde coaxiale

Cette méthode est souvent utilisée pour alimenter les antennes imprimées. Dans cette approche, le conducteur central du câble coaxial est soudé au patch, tandis que le conducteur extérieur est connecté au plan de masse, comme montré dans la figure (III.6).

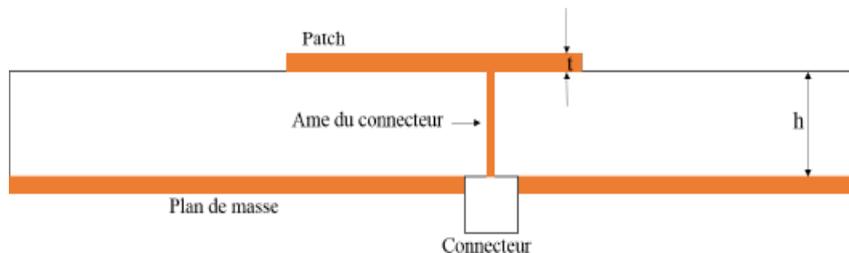


Figure.II.18: Alimentation par ligne coaxial [36]

Tableau II. 2:Avantages et inconvénients de la sonde coaxiale

Avantages	Inconvénients
-La possibilité d’appliquée la sonde coaxiale à n’importe quel emplacement à l’intérieur du patch.	-Technique de perçage et de soudure plus délicate en millimétrique.

II.6.3.3 Alimentation couplée par ligne microruban

Aussi appelée alimentation par couplage électromagnétique, cette méthode nécessite l'utilisation de deux substrats diélectriques distincts. La ligne micro-ruban est positionnée entre ces deux substrats, tandis que le patch rayonnant est situé sur la face supérieure du substrat supérieur, comme indiqué dans la figure (II.7). [37]

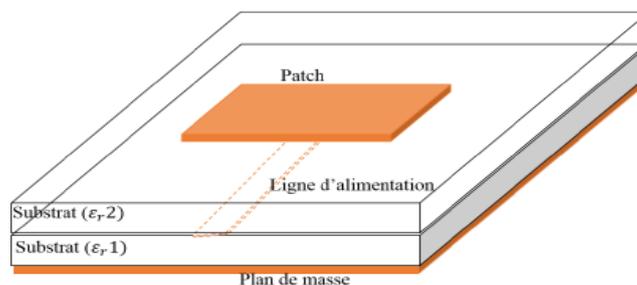


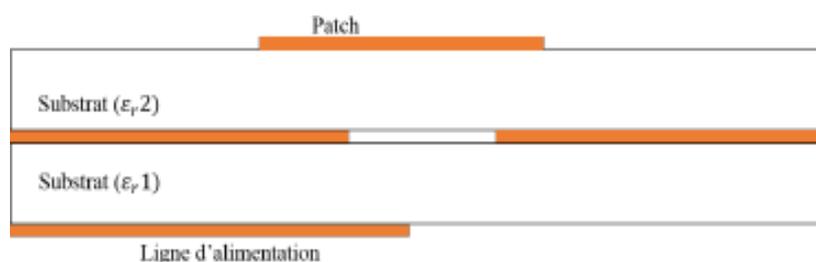
Figure.II.19: Alimentation couplée par ligne microruban[36].

Tableau II. 3:Avantages et inconvénients du couplage par ligne microruban

Avantages	Inconvénients
-Permet d'améliorer la bande passante.	-Difficile à réaliser à cause de deux substrats.

II.6.3.4 Alimentation par couplage à travers une fente

Dans ce mode d'alimentation, le patch et la ligne d'alimentation microruban sont séparés par le plan de masse, comme le montre la figure (II.8). La connexion entre le patch et la ligne d'alimentation est établie via une fente ou une ouverture dans le plan de masse. Pour optimiser le rayonnement du patch, des matériaux à permittivité élevée sont généralement utilisés pour le substrat inférieur, tandis que des matériaux à faible constante diélectrique sont préférés pour le substrat supérieur.[36]

**Figure II.20:** Alimentation couplée par fente [36].**Tableau II. 4:**Avantages et inconvénients du couplage par fente.

Avantages	Inconvénients
- Elle offre une large bande passante. - Séparation électromagnétique des deux couches.	-Difficulté de fabrication à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur de l'antenne et son coût.

II.6.3.5 Alimentation par guides d’ondes coplanaires

La ligne coplanaire, aussi appelée CPW (Co-Planar Waveguide en anglais), a le plan de masse au même niveau que la ligne de transmission, comme le montre la figure (II.9). Cette disposition des conducteurs produit deux modes de propagation distincts : un mode quasi-TEM (appelé mode impair) et un mode quasi TE (appelé mode pair), comme illustré dans la figure (II.10). [36]

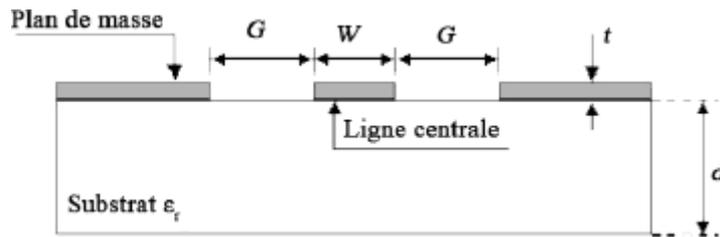


Figure.II.21: Vue en coupe d’une ligne coplanaire[37]

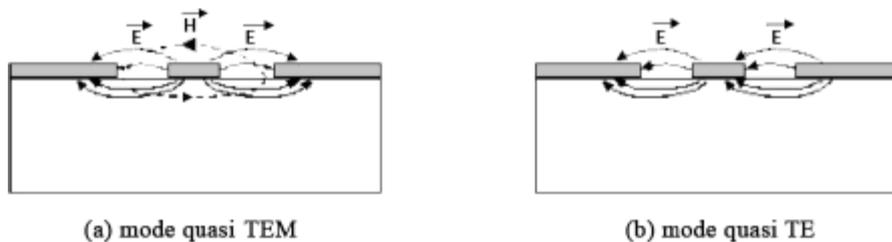


Figure II. 7:Représentation des modes de propagation d’une ligne coplanaire [37].

Tableau II. 5:Avantages et inconvénients de la ligne coplanaire.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Faible rayonnement arrière. - Transition simples pour l’intégration des dispositifs. 	<ul style="list-style-type: none"> -Génération de modes de propagation parasites sur les guides d’ondes coplanaires qui nécessite l’utilisation de Ponts à air en millimétrique.

II.6.4 Les avantages et les inconvénients des antennes planaires

II.6.4.1 Les avantages des antennes planaires

- Faible Coût et Facilité de Fabrication

Les antennes imprimées peuvent être produites en masse à faible coût en utilisant des techniques de fabrication standard de circuits imprimés (PCB), ce qui les rend économiquement avantageuses pour une large gamme d'applications commerciales.

- Compactes et Légères

Leur conception planaire et l'utilisation de matériaux diélectriques légers rendent les antennes imprimées particulièrement compactes et légères, ce qui est idéal pour des applications mobiles et portables.

- Intégration Facile avec d'Autres Composants Électroniques

Les antennes imprimées peuvent être facilement intégrées sur le même substrat que d'autres composants électroniques, ce qui permet de concevoir des systèmes compacts et intégrés, un atout majeur pour les dispositifs électroniques modernes.

- Versatilité de Conception

Elles offrent une grande flexibilité en termes de conception, permettant de nombreuses configurations pour ajuster la directivité, la polarisation, la bande passante et la fréquence de résonance.

- Performances Robustes dans Divers Environnements

Les antennes imprimées sont capables de maintenir des performances stables dans une variété de conditions environnementales, ce qui les rend adaptées à des applications dans des environnements difficiles.

- Compatibilité avec les Technologies Flexibles et Portables

La recherche récente a étendu l'application des antennes imprimées à des substrats flexibles, ouvrant la voie à des applications innovantes dans des dispositifs portables et pliables. [38]

II.6.4.2 Les inconvénients des antennes planaires

- Bande passante limitée

Les antennes imprimées ont généralement une bande passante plus étroite comparée à d'autres types d'antennes. Cela peut limiter leur utilisation dans des applications nécessitant une large bande passante ou le support de multiples fréquences.

- Pertes diélectriques

Les substrats diélectriques utilisés dans les antennes imprimées peuvent introduire des pertes diélectriques, affectant l'efficacité et le rendement de l'antenne. Les matériaux à faibles pertes sont souvent plus coûteux, posant un compromis entre coût et performance.

- Puissance d'émission limitée

La capacité de manipulation de puissance des antennes imprimées est souvent limitée par le risque de détérioration du substrat ou du conducteur en raison de l'échauffement. Cela les rend moins idéales pour des applications nécessitant de très hautes puissances.

- Sensibilité aux conditions environnementales

Les performances des antennes imprimées peuvent être affectées par les conditions environnementales, telles que l'humidité et la température, en raison de la nature des matériaux diélectriques utilisés. Cela peut nécessiter des conceptions spécifiques ou des matériaux pour garantir la stabilité des performances.

- Limitations en termes de directivité et de gain

Pour certaines applications nécessitant un gain élevé et une directivité pointue, les antennes imprimées peuvent nécessiter des configurations complexes, comme des réseaux d'antennes ou des techniques d'alimentation spécifiques, pour atteindre les performances souhaitées.

- Problèmes d'isolation entre les éléments d'antenne

Dans les réseaux d'antennes imprimées, l'isolation entre les éléments individuels peut être un défi, entraînant des interférences qui affectent les performances globales du réseau.

II.7 Les applications biomédicales des antennes imprimées

Les antennes imprimées, qui sont des structures conductrices imprimées sur des substrats, offrent de nombreuses possibilités dans le domaine biomédical en raison de leur petite taille, de leur faible coût et de leur flexibilité. Voici quelques-unes des applications biomédicales des antennes imprimées :

II.7.1 Imagerie médicale

Les antennes imprimées sont utilisées dans les systèmes d'imagerie médicale tels que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la tomographie par émission de positons (TEP). Elles peuvent être intégrées dans des appareils pour améliorer la qualité de l'image et la précision du positionnement.

II.7.2 Télémédecine

Les antennes imprimées sont utilisées dans les dispositifs de surveillance à distance des patients, ce qui permet aux médecins de surveiller les signes vitaux et d'autres paramètres médicaux à distance.

II.7.3 Dispositifs de surveillance médicale

Elles sont intégrées dans des dispositifs de surveillance médicale portables tels que les moniteurs de fréquence cardiaque, les tensiomètres et les dispositifs de surveillance de la glycémie pour permettre une transmission sans fil des données.

II.7.4 Capsules endoscopiques

Les antennes imprimées sont utilisées dans les capsules endoscopiques sans fil pour transmettre des images et des données à un récepteur externe pendant l'exploration du système digestif.

Implants médicaux : Les antennes imprimées peuvent être intégrées dans des implants médicaux tels que les stimulateurs cardiaques et les neurostimulateurs pour permettre la communication sans fil avec des dispositifs externes de contrôle et de surveillance.

II.7.5 Biocapteurs

Les antennes imprimées peuvent être associées à des biocapteurs pour la détection et le suivi des biomolécules spécifiques dans le cadre du diagnostic de maladies ou du suivi de l'état de santé.

II.7.6 Thérapie par hyperthermie

Les antennes imprimées peuvent être utilisées dans la thérapie par hyperthermie pour le traitement du cancer en chauffant sélectivement les tissus tumoraux à l'aide de champs électromagnétiques.

II.7.7 Étude du mouvement humain

Les antennes imprimées peuvent être intégrées dans des dispositifs de suivi du mouvement pour la rééducation physique et le suivi des performances sportives. [38]

II.8 Conclusion

En conclusion, les antennes imprimées représentent une technologie essentielle dans le paysage des communications sans fil moderne, offrant un compromis remarquable entre performance, coût et intégration. Leur évolution continue promet de répondre aux besoins croissants de connectivité dans un monde de plus en plus interconnecté.



Chapitre III
Simulation et
Résultats

III.1. Introduction

Les antennes sont des éléments essentiels dans de nombreux systèmes de communication modernes, y compris les télécommunications, la radiodiffusion, les applications de défense et les applications dans le domaine de la santé telles que l'imagerie médicale et la télémédecine. CST (Computer Simulation Technology) est un logiciel de simulation électromagnétique largement utilisé pour concevoir, analyser et optimiser les antennes. Il permet aux ingénieurs de modéliser des champs électromagnétiques complexes et de simuler le comportement des antennes dans divers environnements.

III.2. Définition du logiciel CST Micro ave studio

L'entreprise allemande CST (Computer Simulation Technology) a été créée en 1992. CST Microwave Studio est sorti pour la première fois en 1998. Notre logiciel utilise la méthode des intégrales finies (FIT, Finite intégration technique) créée par Tomas Weiland. CST Microwave Studio est un logiciel de simulation appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques 3D. Les équations intégrales de Maxwell sont reformulées sous une forme discrète pour être compatibles avec l'informatique et résoudre des problèmes à géométrie complexe. La FIT consiste à représenter des équations de Maxwell sur un espace de grille, tout en maintenant les caractéristiques de conservation de l'énergie, et en créant des équations différentielles spécifiques comme celle de Poisson ou l'équation d'onde[39]

La particularité de cet outil, comme tous les simulateurs 3D, réside dans sa capacité à traiter toutes sortes de structures homogènes et inhomogènes, peu importe la technologie employée.

III.3. Description générale de l'interface CST

Après avoir sélectionné le modèle de structure, on accède à l'interface d'utilisateur du CST.

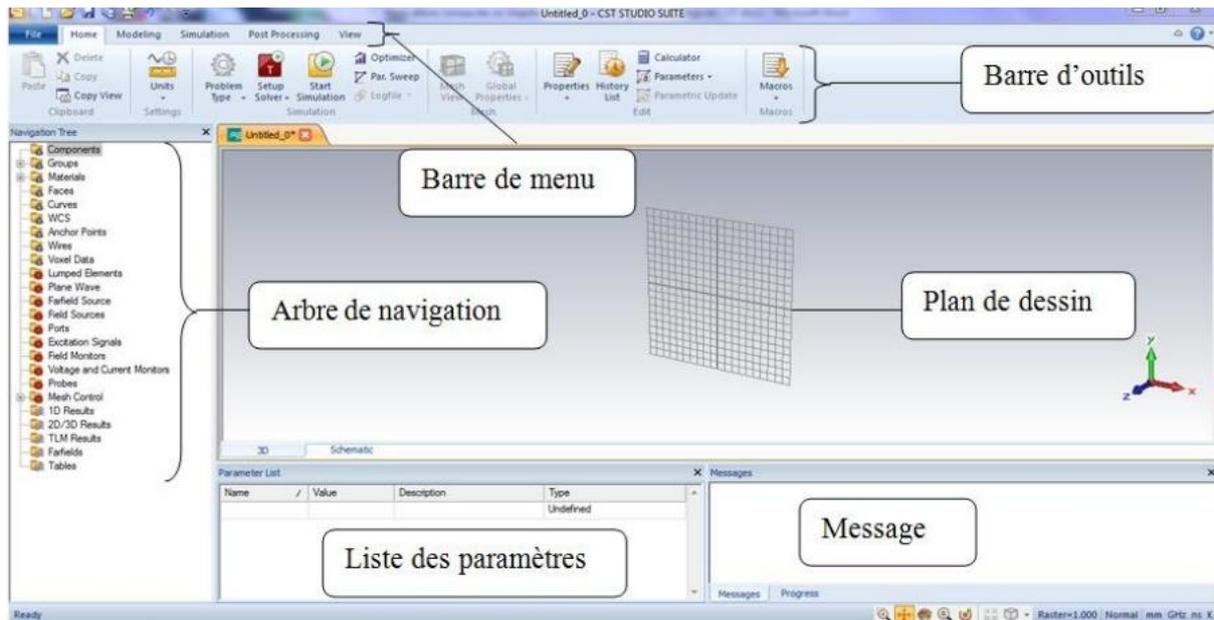


Figure III. 1: L'interface du logiciel CST studio.

Les avantages et fonctionnalités pertinentes pour la conception d'antennes sont :

- **Modélisation 3D Précise** : CST MWS permet la création de modèles 3D précis des antennes et de leur environnement, ce qui est crucial pour des analyses détaillées et exactes.
- **Large Gamme de Solvers** : Le logiciel offre une variété de solveurs pour différentes applications et fréquences, permettant de choisir l'outil le plus adapté pour chaque type d'antenne.
- **Analyse Fréquentielle et Temporelle** : CST MWS peut effectuer des analyses dans le domaine fréquentiel et temporel, offrant une vue complète des performances de l'antenne sur une large bande de fréquences.
- **Optimisation Paramétrique** : Les outils d'optimisation intégrés permettent d'ajuster automatiquement les paramètres de conception pour obtenir des performances optimales de l'antenne.
- **Interfaces avec Autres Outils** : CST MWS peut s'interfacer avec d'autres logiciels de conception électronique, facilitant l'intégration dans des flux de travail plus larges.
- **Simulation des Champs Proches et Lointains** : Le logiciel permet d'analyser les champs proches et lointains, ce qui est essentiel pour évaluer les performances de rayonnement de l'antenne.

- **Support pour Matériaux Complexes** : CST MWS permet la modélisation de matériaux complexes et anisotropes, ce qui est souvent nécessaire pour des conceptions d'antennes avancées.
- **Outils de Post-traitement** : Le logiciel offre des outils avancés de visualisation et de post-traitement, facilitant l'analyse des résultats de simulation.

Le choix de CST Microwave Studio pour cette étude de conception d'antennes est justifié par plusieurs facteurs clés :

- **Précision et Fiabilité** : CST MWS est réputé pour sa précision dans la modélisation des phénomènes électromagnétiques, ce qui est essentiel pour concevoir des antennes performantes.
- **Polyvalence des Solvers** : La disponibilité de multiples solveurs permet de traiter une large gamme de problèmes électromagnétiques, offrant une grande flexibilité dans la conception.
- **Rapidité de Simulation** : Grâce à ses algorithmes optimisés et à sa capacité à utiliser pleinement les ressources matérielles modernes, CST MWS permet des simulations rapides, réduisant ainsi le temps de développement.
- **Outils d'Optimisation** : Les fonctionnalités d'optimisation intégrées permettent de perfectionner rapidement les conceptions d'antennes pour atteindre les spécifications désirées.
- **Intégration Facile** : La capacité de CST MWS à s'intégrer avec d'autres outils de CAO et de simulation facilite un flux de travail harmonieux et efficace, essentiel pour des projets complexes.
- **Support et Documentation** : CST offre un excellent support technique et une documentation détaillée, aidant les utilisateurs à résoudre rapidement les problèmes et à tirer le meilleur parti du logiciel.

III.4. La géométrie de l'antenne de base

L'antenne proposée est déduite de la structure publiée en [40] où le patch a une forme rectangulaire avec des fentes et coupures. Cette antenne est alimentée par une ligne micro-ruban d'impédance $Z = 50 \Omega$ avec un substrat de type FR-4 (permittivité relative $\epsilon_r = 4.3$, épaisseur de 1.5 mm, et pertes de 0.0035). La forme et les dimensions de l'antenne sont données dans la figure (III.2).

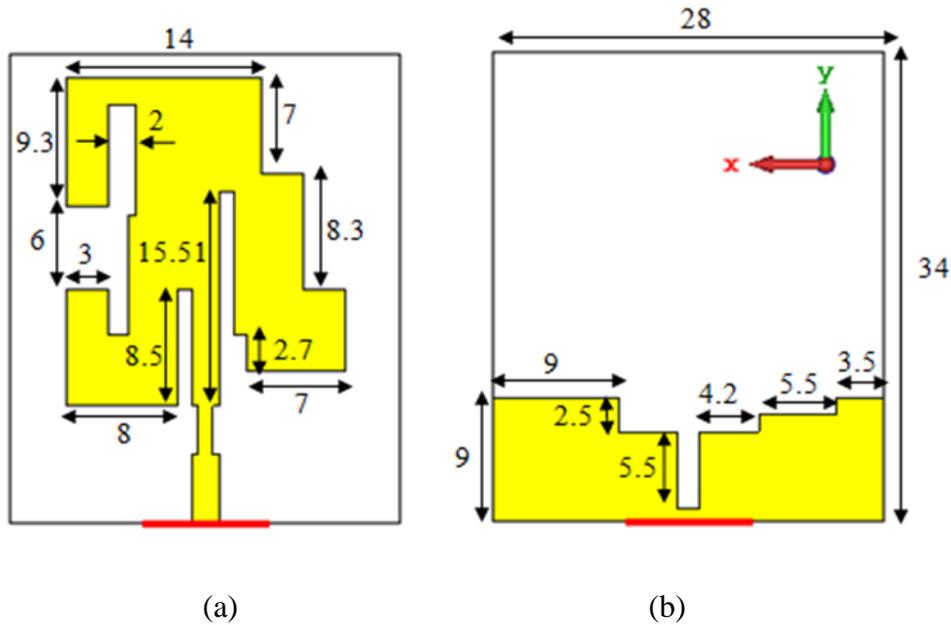


Figure III. 2: Structure et dimensions de l'antenne (a) vue avant, (b) vue arrière.

III.5. Résultats de simulation

III.5.1 Simulation de l'antenne proposée

Le résultat de simulation concernant le coefficient de réflexion du modèle proposé est montré dans la figure (III.3).

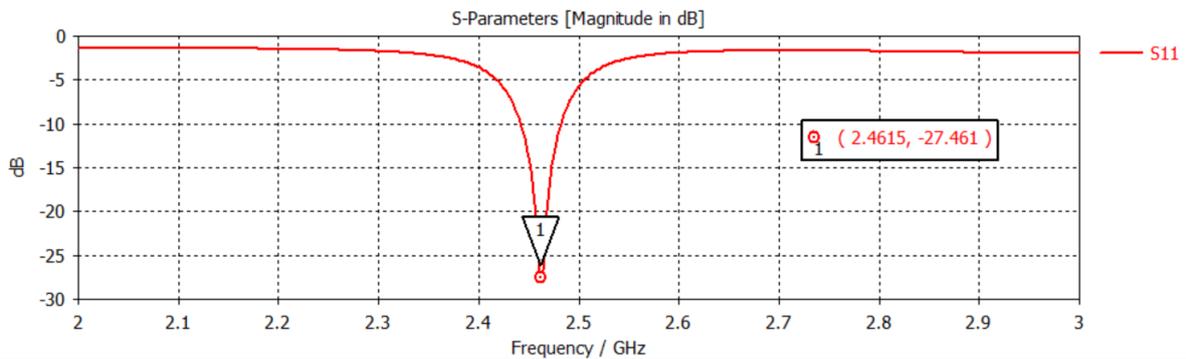


Figure III. 3: Coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne proposée.

Cette figure nous montre que le niveau du coefficient de réflexion S_{11} est égal à -27 dB, avec une fréquence de résonance de 2.46 GHz bien adaptée cette fréquence se situe dans la bande ISM, conformément à notre objectif.

Le gain de l'antenne en 3D de l'antenne proposée est donné dans la figure (IV.4).

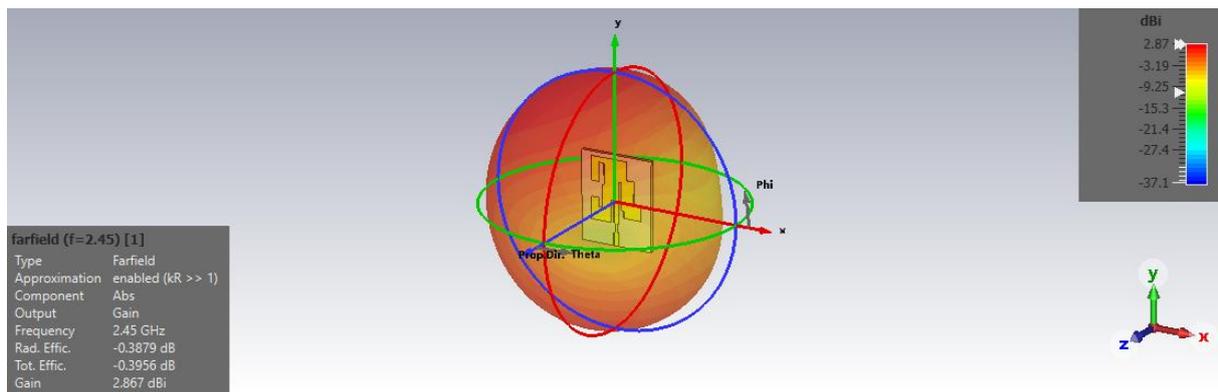


Figure III. 4: Le gain de l'antenne proposée.

D'après la figure (III.5), on constate que la partie réelle de l'impédance est de $54,59\Omega$ et que la partie imaginaire est 0Ω à la fréquence de résonance ce qui indique que l'antenne proposée est bien adaptée.

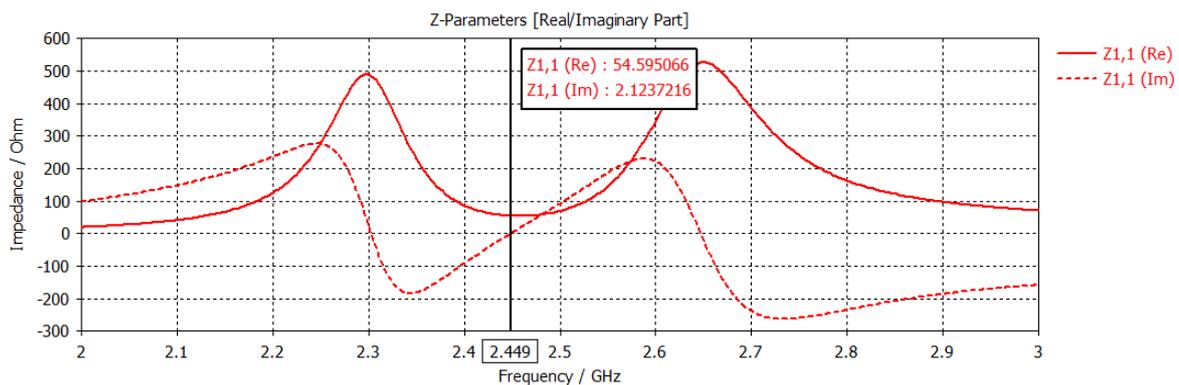


Figure III. 5: L'impédance Z_{11} d'antenne en fonction de fréquence.

III.5.2 Simulation de l'antenne proposée avec un bras d'un être humain

Pour modéliser l'antenne avec le bras humain et évaluer ses performances. On utilise l'outil de simulation électromagnétique CST Microwave Studio. Ce simulateur peut aider à comprendre les effets du bras humain sur les performances de l'antenne. La figure (III.7) montre le modèle préparé du bras humain avec l'antenne proposée.

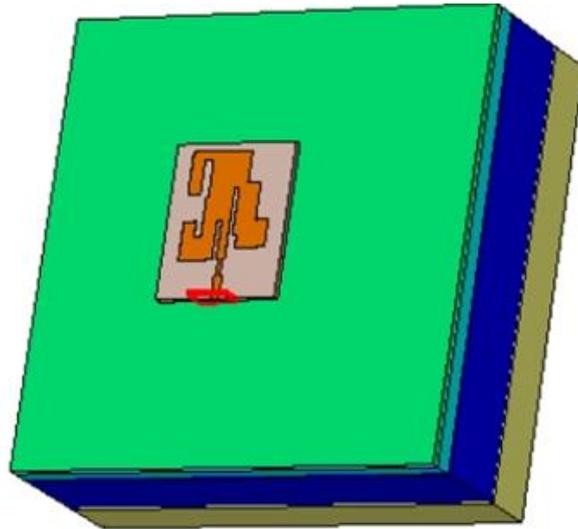


Figure III. 6:Antenne proposée posée sur un modèle équivalent de bras humain.

La simulation de l'antenne proposée avec un modèle équivalent de bras humain donne un niveau de coefficient de réflexion de -11 dB a la fréquence de résonance de 2,5GHz. Comme le montre la figure (IV.7), l'antenne libre et antenne posée sur un bras humain résonne presque sur la fréquence.

Le tableau (III.1) montre les différents paramètres du modèle fantôme du bras humain à 4couches à 2,45 GHz.

Tableau (III.1): Paramètres du modèle fantôme du bras humain à 4 couches à 2,45 GHz.

Tissus	Permittivité(F/m)	Conductivité(S/m)	Densité(Kg/m3)	Épaisseur (mm)
Peau	37.95	1.49	1001	2
Graisse	5.27	0.11	900	5
Muscle	52.67	1,77	1006	20
Os	18.49	0,82	1008	13

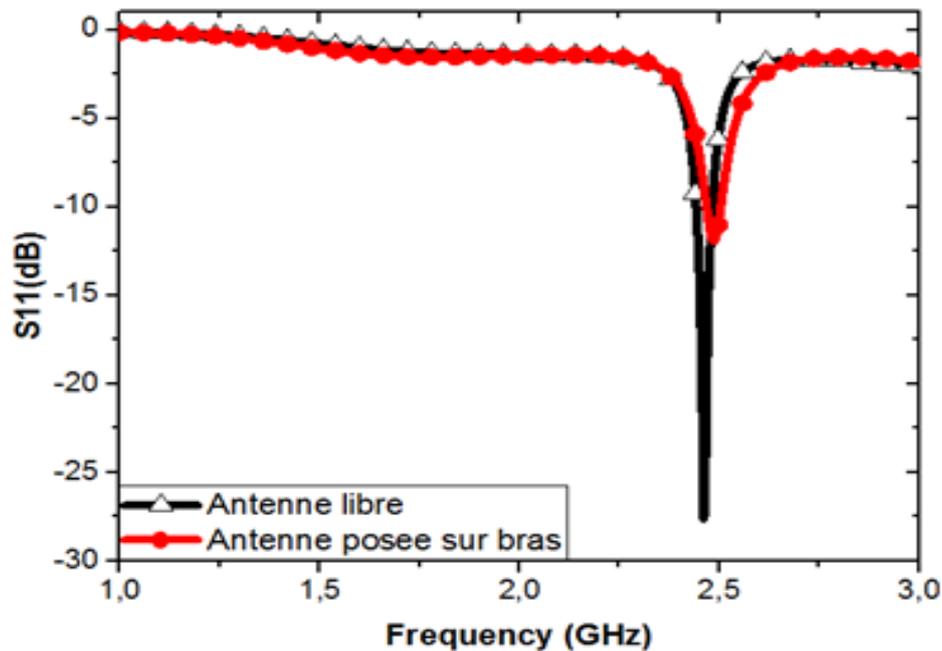


Figure III. 7: Coefficient de réflexion simulé pour différents cas.

III.6. Réalisation et validation

III.6.1 Equipements de fabrication et de mesure utilisés

La machine LPKF ProtoMat E44 est une fraiseuse de précision et un système de gravure conçu spécifiquement pour la production de prototypes de circuits imprimés (PCB) et de composants électroniques. Voici quelques caractéristiques et fonctionnalités clés de la LPKF ProtoMat E44 :

- **Précision et Fiabilité** : La ProtoMat E44 offre une précision élevée dans la gravure et la découpe des matériaux, permettant la création de PCB et de composants électroniques avec des tolérances serrées.
- **Polyvalence** : Elle est capable de travailler avec une variété de matériaux, y compris les substrats en FR4 standard, les matériaux flexibles et les circuits imprimés multicouches.
- **Convivialité** : Dotée d'une interface conviviale et intuitive, la machine est facile à utiliser même pour les utilisateurs moins expérimentés. Elle est également livrée avec un logiciel dédié qui simplifie le processus de conception et de production des PCB.
- **Haute Performance** : La ProtoMat E44 est équipée d'une broche haute vitesse et de haute précision, permettant un fraisage rapide et efficace des circuits imprimés et des matériaux électroniques.

- **Capacités Avancées :** Elle offre des fonctionnalités avancées telles que le perçage de précision, la gravure de surface, la découpe de contours et la création de tracés fins, ce qui en fait un outil polyvalent pour la production de prototypes électroniques.

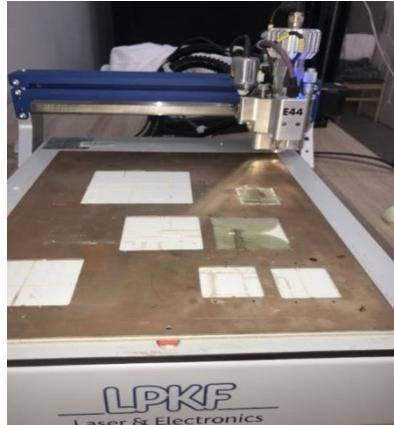


Figure III. 8:La machine LPKF ProtoMat E44.

Pour la fabrication du prototype de l'antenne proposée, nous utilisons la machine à gravure LPKE. Le processus de fabrication est résumé ci-dessous :

1. Exportation de la structure simulée en fichier Gerber à l'aide du logiciel CST, compatible avec le logiciel de la machine LPKE ProtoMap S103.
2. Fixation du substrat diélectrique dans la machine LPKE ProtoMap S103.
3. Élimination du cuivre indésirable en perçant la plaque de cuivre.
4. Découpage du substrat diélectrique par la machine.
5. Enfin, soudage du connecteur SMA (illustré dans la figure (IV.10)) au point d'alimentation.



Figure III.9:Connecteur SMA.

Le prototype de l'antenne proposée est présenté dans la figure (III.11).

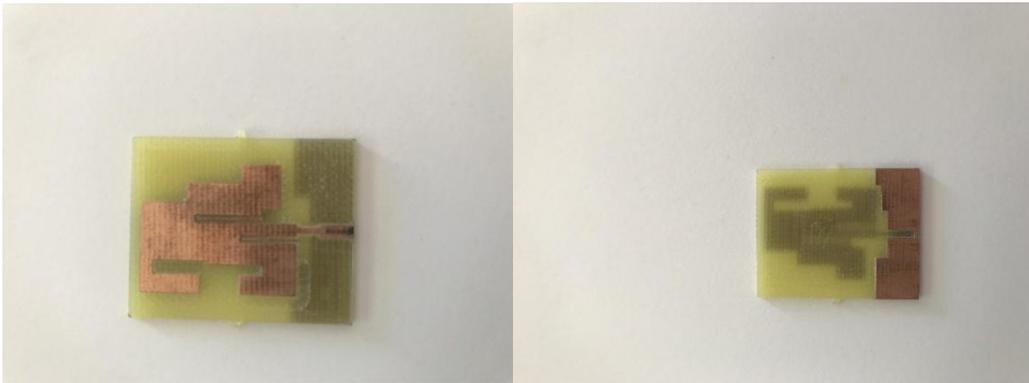


Figure III. 10:Prototype d'antenne réalisé.

Un analyseur de réseau vectoriel Rohde&Schwarz R&S ®ZNB20 (figure (III.10)), fonctionnant dans la bande de fréquences de 100 kHz à 20 GHz, disponible au sein du département d'Électronique et des Télécommunications de l'Université 8 Mai 1945 à Guelma, est utilisé pour mesurer les caractéristiques de l'antenne (les paramètres S et l'impédance d'entrée de l'antenne). L'antenne est connectée à cet analyseur via deux câbles coaxiaux d'impédance 50 ohms.



Figure III.11:Analyseur de réseau R&S®ZNB20.

III-6.2 Résultats de mesures

Les coefficients de réflexion mesurés pour différents cas sont représentés dans la figure (IV.13). Cette figure indique que, même lorsque l'antenne est posée sur la main ou le bras humain, le système résonne à la même fréquence, avec un changement minime du niveau du coefficient de réflexion. Cela démontre la stabilité et la robustesse du système face à des

variations dans l'environnement immédiat de l'antenne, ce qui est crucial pour garantir une performance fiable dans des conditions d'utilisation réelles.

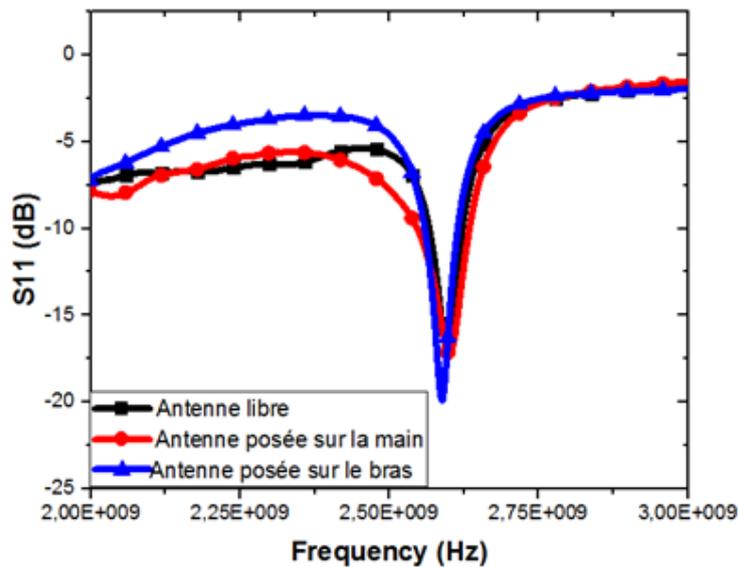


Figure III.12: Coefficient de réflexion mesuré pour différents cas.

III-7. Conclusion

En conclusion, la fabrication du prototype de l'antenne proposée a été réalisée avec succès grâce à l'utilisation de la machine à gravure LPKE ProtoMat S103 et les mesures effectuées à l'aide de l'analyseur de réseau vectoriel Rohde& Schwarz R&S® ZNB20. Les performances de l'antenne se sont avérées excellentes. Lorsque l'antenne est posée sur la main ou le bras humain, le système résonne à la même fréquence avec un changement minime du niveau du coefficient de réflexion. Cela témoigne de la stabilité et de la robustesse de l'antenne face aux variations de l'environnement immédiat, ce qui est essentiel pour assurer une performance fiable dans des conditions d'utilisation réelles. Ces résultats prometteurs ouvrent la voie à de futures applications pratiques où la fiabilité et la constance des performances de l'antenne sont primordiales.



Chapitre IV
Stratégies de
commercialisation

IV.1. Introduction

L'essor des technologies de la santé a conduit à des innovations significatives dans la manière dont nous surveillons notre bien-être. Parmi ces avancées, les antennes de surveillance de la santé à domicile se distinguent par leur potentiel à transformer la gestion quotidienne des soins médicaux. Cependant, la transition de l'innovation à l'adoption n'est pas un chemin aisé. Ce chapitre explore les stratégies de commercialisation essentielles pour introduire avec succès une antenne de surveillance de la santé à domicile sur le marché. En examinant les défis uniques, les opportunités et les meilleures pratiques, nous fournirons une feuille de route détaillée pour permettre de naviguer dans ce secteur dynamique qui est en pleine expansion. Nous aborderons les aspects cruciaux tels que l'analyse de marché, les partenariats stratégiques, les campagnes de sensibilisation et l'intégration technologique, tout en mettant l'accent sur l'importance de répondre aux besoins des consommateurs et des professionnels de la santé.

IV.2. Problème

Le problème principal auquel fait face de nombreuses personnes âgées ou celles souffrant de maladies chroniques est le manque de surveillance constante de leur santé à domicile. Cela peut entraîner des retards dans la détection des problèmes de santé, des complications évitables, voire des urgences médicales.

IV.3. Solution

La solution proposée est une antenne de surveillance de la santé à domicile. Ce dispositif permet de surveiller en continu les signes vitaux des patients, tels que la pression artérielle, la fréquence cardiaque, les niveaux de glucose, etc. Il peut également détecter les mouvements anormaux ou les chutes, et envoyer des alertes aux prestataires de soins en cas d'anomalies.

IV.4. Valeur ajoutée du business model

La valeur ajoutée de ce modèle d'entreprise réside dans la capacité à fournir une surveillance proactive et en temps réel des patients à domicile, réduisant ainsi les risques pour leur santé et améliorant leur qualité de vie. Cela peut également entraîner des économies pour les systèmes de santé en réduisant les admissions à l'hôpital et les visites aux urgences.

IV.5. Business Model

Le Business Mode pour ce modèle d'entreprise pourrait inclure des éléments tels que :

- Segments de clients : patients âgés, personnes souffrant de maladies chroniques, familles, prestataires de soins de santé.
- Proposition de valeur : surveillance en temps réel, détection précoce des problèmes de santé, tranquillité d'esprit pour les patients et leurs familles.
- Canaux de distribution : vente directe en ligne, partenariats avec les fournisseurs de soins de santé, distribution via les pharmacies.
- Relations avec les clients : programmes de formation pour les utilisateurs finaux, service client dédié pour le support technique et les questions.
- Sources de revenus : vente de l'antenne de surveillance, abonnements pour les services de surveillance et les mises à jour logicielles.
- Partenaires clés : fabricants de dispositifs médicaux, fournisseurs de services de santé, développeurs de logiciels.

IV.6. Concurrents

Les concurrents potentiels pourraient inclure d'autres entreprises développant des dispositifs de surveillance de la santé à domicile, des fabricants de dispositifs médicaux établis, des startups spécialisées dans la technologie médicale, ainsi que des entreprises offrant des services de télémédecine et de surveillance à distance. Il serait important d'analyser leurs offres actuelles, leurs forces et leurs faiblesses, ainsi que leur présence sur le marché pour élaborer une stratégie de différenciation efficace.

IV.7. Analyse du Marché

IV.7.1 Taille du marché

Le marché des dispositifs de surveillance de la santé à domicile est en pleine expansion, en raison du vieillissement de la population et de la préférence croissante pour les soins de santé à domicile. Il est estimé à plusieurs milliards de dollars et devrait continuer de croître dans les années à venir. La taille du marché mondial des soins de santé à domicile est estimée à 309,07 milliards USD en 2024 et devrait atteindre 500,39 milliards USD d'ici 2029, avec un

TCAC de 8,46 % au cours de la période de prévision (2024-2029). La pandémie de COVID-19 a eu un impact significatif sur le marché des soins à domicile

IV.7.2 Tendances du marché

Les tendances actuelles incluent l'adoption croissante de la technologie portable pour surveiller les signes vitaux, l'intégration de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique pour l'analyse des données de santé, ainsi que la demande croissante de solutions conviviales et faciles à utiliser pour les patients et les soignants.

IV.7.3 Segments de marché

Le marché peut être segmenté en fonction des types de patients, tels que les personnes âgées, les patients atteints de maladies chroniques, ou ceux nécessitant une surveillance postopératoire. Il peut également être segmenté par la gamme de fonctionnalités offertes par les dispositifs, allant de la surveillance basique à des fonctionnalités avancées telles que la détection des chutes ou la surveillance de l'activité physique.

IV.7.4 Croissance du marché

Avec le vieillissement de la population dans de nombreux pays, la demande de solutions de surveillance de la santé à domicile devrait continuer de croître. De plus, les progrès technologiques rapides dans ce domaine stimulent également la croissance du marché.

IV.8. Positionnement Concurrentiel

IV.8.1 Identification des concurrents

Les principaux concurrents sur ce marché incluent des entreprises telles que Philips Healthcare avec son dispositif Philips Lifeline, Bosch Healthcare Solutions avec son système de surveillance à domicile, ainsi que des startups innovantes telles que Care Predict et Lively.

IV.8.2 Forces et Faiblesses

Philips Healthcare bénéficie d'une solide réputation et d'une vaste expérience dans le domaine des dispositifs médicaux, mais peut être perçu comme plus traditionnel. Les startups telles que Care Predict offrent souvent des solutions plus innovantes mais peuvent manquer de la crédibilité et de la portée de marché des grandes entreprises.

IV.8.3 Différenciation

Notre antenne de surveillance de la santé à domicile se différencie par sa technologie avancée de détection, son interface conviviale et son intégration transparente avec les systèmes de santé existants. Nous mettons l'accent sur la fiabilité, la facilité d'utilisation et la connectivité pour offrir une solution complète aux patients et aux prestataires de soins.

IV.8.4 Stratégie de positionnement

Notre stratégie de positionnement sera à nous positionner comme un leader de l'innovation dans le domaine de la surveillance de la santé à domicile, en offrant une solution complète et fiable qui répond aux besoins des patients et des soignants.

IV.9. Stratégies de Prix

IV.9.1 Prix Basé sur la Valeur

Nous pourrions adopter une stratégie de tarification basée sur la valeur perçue par les clients. Cela signifie que le prix serait déterminé en fonction des avantages offerts par notre produit, tels que la fiabilité, la facilité d'utilisation, et la précision de la surveillance.

IV.9.2 Forfaits Tarifaires

Nous pourrions proposer des forfaits tarifaires comprenant à la fois le coût du dispositif et un abonnement mensuel pour les services de surveillance et de support. Ces forfaits pourraient être adaptés aux besoins spécifiques des patients, avec des options de surveillance de base ou des fonctionnalités avancées en fonction du niveau de service choisi.

IV.9.3 Tarification Différenciée

Nous pourrions également envisager une tarification différenciée en fonction des segments de marché, tels que les patients âgés, les personnes atteintes de maladies chroniques, ou ceux nécessitant une surveillance postopératoire. Cela nous permettrait de maximiser notre base de clients tout en offrant des solutions adaptées à différents besoins.

IV.10. Stratégies de Distribution

IV.10.1 Vente Directe en Ligne

Nous pourrions vendre directement notre antenne de surveillance de la santé à domicile via un site web, offrant ainsi un accès facile aux patients et aux soignants. Cela nous permettrait également de collecter des données sur les clients et de fournir un support client direct.

IV.10.2 Partenariats avec les Fournisseurs de Soins de Santé :

Nous pourrions établir des partenariats avec des fournisseurs de soins de santé, tels que les médecins généralistes, les cliniques spécialisées et les hôpitaux, pour recommander notre produit à leurs patients et faciliter sa distribution.

IV.10.3 Distribution en Pharmacie :

Nous pourrions également envisager de distribuer notre produit via des pharmacies, offrant ainsi aux patients un accès facile lorsqu'ils achètent d'autres produits de santé ou récupèrent des ordonnances médicales.

IV.10.4 Plateformes de Commerce Électronique

En plus, de la création de notre propre site web, nous pourrions vendre notre produit via des plateformes de commerce électronique telles qu'Amazon, ce qui nous permettrait d'atteindre un plus large public et de bénéficier de leur infrastructure de distribution existante. Pour atteindre efficacement nos utilisateurs cibles et promouvoir notre antenne de surveillance de la santé à domicile, nous devrions mettre en œuvre une stratégie de communication et de promotion complète. Voici quelques tactiques que nous pourrions utiliser :

IV.11. Marketing Digital

IV.11.1 Site Web

Création d'un site web convivial présentant notre produit, ses fonctionnalités, ses avantages et les témoignages de clients.

IV.11.2 Contenu de blog

Publication régulière d'articles informatifs sur les soins de santé à domicile, les tendances du marché, les conseils de santé, etc., pour attirer un trafic organique vers notre site.

IV.11.3 Réseaux Sociaux

Utilisation des plateformes sociales telles que Facebook, Twitter, LinkedIn, et Instagram pour partager du contenu engageant, des vidéos de démonstration, des témoignages de clients, et interagir avec notre audience.

IV.12. Campagnes Publicitaires

IV.12.1 Publicités en ligne

Lancement de campagnes publicitaires ciblées sur les moteurs de recherche, les réseaux sociaux, et d'autres sites web pertinents pour attirer l'attention des utilisateurs intéressés par les soins de santé à domicile.

IV.12.2 Publicités vidéo

Création de vidéos promotionnelles mettant en valeur les fonctionnalités de notre produit et son impact sur la vie des utilisateurs, et diffusion de ces vidéos sur YouTube et d'autres plateformes vidéo.

IV.12.3 Relations Publiques

IV.12.3.1 Communiqués de presse

Rédaction et distribution de communiqués de presse annonçant le lancement de notre produit, les partenariats stratégiques, les événements de l'entreprise, etc., pour obtenir une couverture médiatique dans les publications locales, régionales et nationales.

IV.12.3.2 Partenariats Média :

Collaboration avec des influenceurs de l'industrie, des blogueurs de santé, des experts médicaux et d'autres figures d'autorité pour promouvoir notre produit auprès de leurs publics respectifs.

IV.13. Événements et Démonstrations

IV.13.1 Salons et Foires :

Participation à des salons professionnels de la santé, des foires commerciales et des événements communautaires pour présenter notre produit, rencontrer des clients potentiels et établir des contacts avec des partenaires stratégiques.

IV.13.2 Démonstrations en magasin :

Organisation de démonstrations en magasin dans les pharmacies, les centres de soins de santé, et les grands magasins pour permettre aux clients d'essayer notre produit et poser des questions à nos représentants.

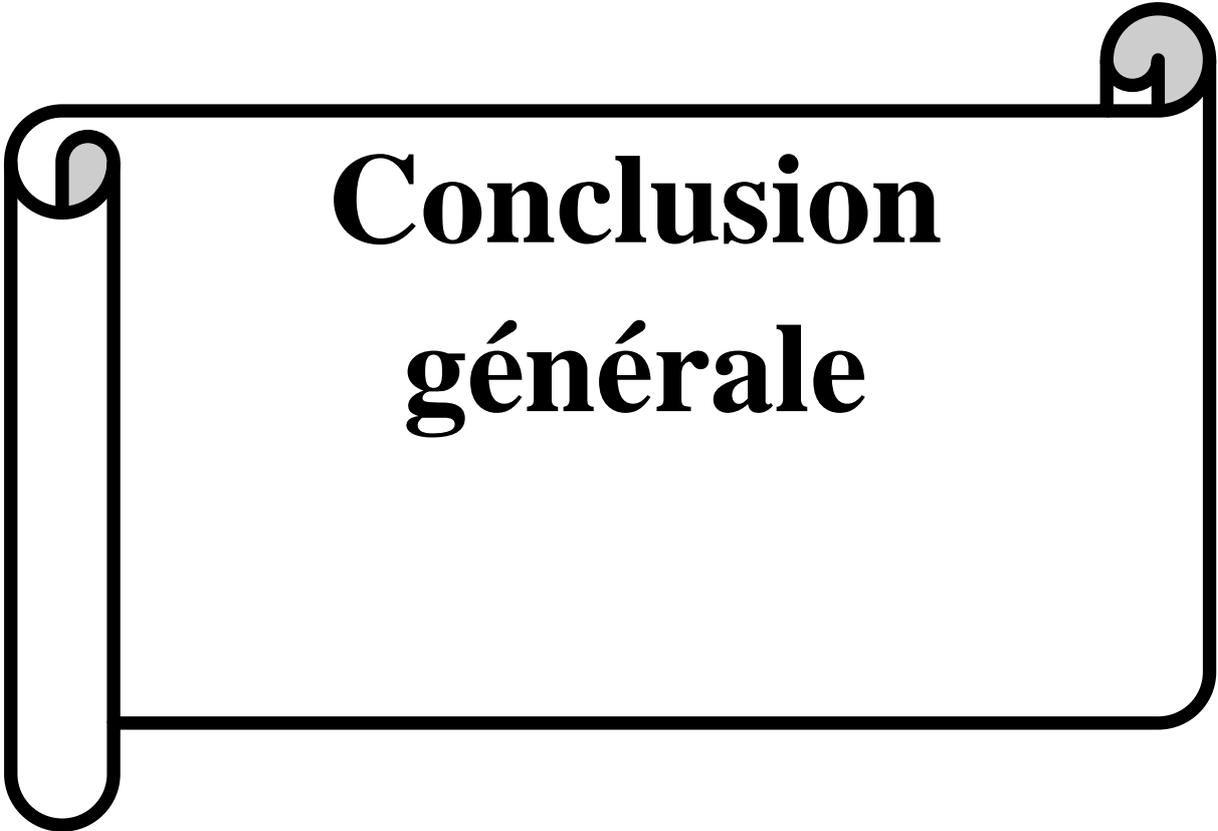
IV.14. Programmes de Parrainage et de Référencement

IV.14.1 Programme de Parrainage

Mise en place d'un programme de parrainage incitatif pour encourager nos clients satisfaits à recommander notre produit à leurs amis et leur famille.

IV.14.2 Récompenses pour les Références

Offrir des incitations aux professionnels de la santé, aux pharmacies et aux autres partenaires pour les références de clients qui achètent notre produit.



**Conclusion
générale**

Conclusion générale

En conclusion, les antennes innovantes pour la surveillance intelligente des paramètres de santé à domicile représentent une révolution dans le secteur de la santé. Elles offrent des solutions efficaces pour une prise en charge personnalisée et continue des patients, tout en optimisant l'utilisation des ressources médicales. Cependant, il est essentiel de relever les défis associés à la sécurité des données, à l'interopérabilité et à l'accessibilité pour exploiter pleinement le potentiel de ces technologies prometteuses.

Pour atteindre cet objectif, nous avons effectué une analyse approfondie des exigences spécifiques, en mettant l'accent sur les fréquences, les dimensions réduites. Nous avons réalisé des simulations et des modélisations pour optimiser les paramètres de l'antenne, tels que sa forme, sa taille, son matériau, en utilisant des outils de conception assistée par ordinateur études logiciels de simulation électromagnétique, tels que le logiciel CST Microwave studio. La conception finale de l'antenne a été réalisée en utilisant des matériaux biocompatibles et des techniques de miniaturisation avancées. Nous avons réalisé des tests pour évaluer les performances de l'antenne dans des conditions réelles. Les résultats obtenus ont démontré que notre antenne miniaturisée biocompatible répond bien aux objectifs visés, en offrant une performance satisfaisante et une bonne stabilité dans les domaines médical et scientifique.

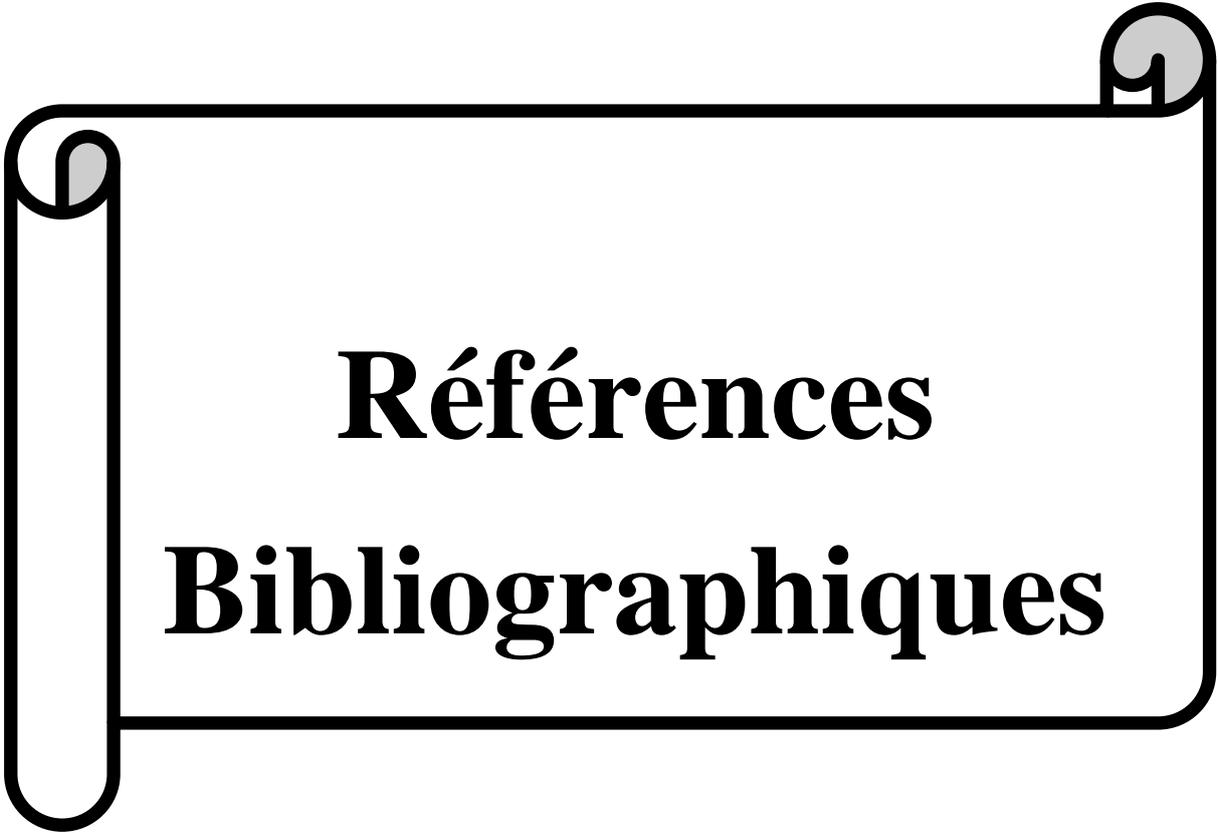
Ce travail de mémoire de fin d'étude a permis de développer une nouvelle antenne miniaturisée biocompatible répondant aux besoins. La mise en place d'antennes innovantes pour la surveillance intelligente des paramètres de santé à domicile représente une avancée majeure dans le domaine de la télémédecine et des soins de santé personnalisés. Ces dispositifs permettent une surveillance continue, précise et en temps réel de divers paramètres, offrant ainsi de nombreux avantages tant pour les patients que pour les professionnels de santé.

La fabrication du prototype de l'antenne proposée a été réalisée avec succès grâce à l'utilisation de la machine à gravure LPKE ProtoMat S103 et des mesures effectuées à l'aide de l'analyseur de réseau vectoriel Rohde& Schwarz R&S® ZNB20. Les performances de l'antenne se sont avérées excellentes. Lorsque l'antenne est posée sur la main ou le bras humain, le système résonne à la même fréquence avec un changement minime du niveau du coefficient de réflexion. Cela témoigne de la stabilité et de la robustesse de l'antenne face aux variations de l'environnement immédiat, ce qui est essentiel pour assurer une performance

Conclusion générale

fiable dans des conditions d'utilisation réelles. Ces résultats prometteurs ouvrent la voie à de futures applications pratiques où la fiabilité et la constance des performances de l'antenne sont primordiales.

Pour les futurs travaux, nous proposons de poursuivre l'optimisation de la conception de l'antenne pour améliorer encore la stabilité et l'efficacité, notamment en milieu complexe. Explorer des techniques de miniaturisation pour permettre l'intégration de l'antenne dans des dispositifs portables plus petits et plus discrets. Effectuer des tests supplémentaires dans des conditions d'utilisation réelles pour évaluer la performance de l'antenne dans divers environnements et scénarios. Investiguer l'utilisation de matériaux avancés pour améliorer les propriétés électromagnétiques et mécaniques de l'antenne. Explorer les applications biomédicales de l'antenne, telles que la surveillance des paramètres vitaux ou l'implantation sous-cutanée pour des diagnostics continus. Assurer l'interopérabilité de l'antenne avec d'autres dispositifs de communication et de réseau pour des applications IoT (Internet des objets) et des réseaux de capteurs sans fil. Mener des études de long terme pour évaluer la durabilité et la fiabilité de l'antenne sur des périodes prolongées d'utilisation. En développant ces axes de recherche, nous pourrions maximiser l'impact des performances de l'antenne et exploiter pleinement son potentiel dans des applications variées et innovantes.



**Références
Bibliographiques**

Références Bibliographiques

1. M. Mohamed DOUMBIA "Elaboration d'indicateurs d'évaluation d'outils de télémédecine", Thèse de Doctorat en Médecine, Université DE Bamako-Mali, 2010 – 2011.
2. Joseph Diab "Commande robotique hybride par télé opération et comanipulation : Application au positionnement d'une sonde échographique en milieu contraint", Thèse de Doctorat, Université d'Orléans-France, 2021.
3. Ludovic Schreider, "Antennes à très large bande passante et de très faible épaisseur - Application à l'intégration d'antennes dans des structures de porteurs dans la bande 100MHz-1GHz", Thèse doctorat, Paris-France, 2017.
4. Belmessaoud Djaouida, "Etude de nouvelles antennes planaires en tenant compte des surfaces sélectives en fréquence", Thèse de Doctorat, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2020.
5. Mickaël Chaleuil, "Télémédecine d'urgence et hospitalisation à domicile, Une solution au problème de la permanence de soins", Diplôme Inter Universitaire de télémédecine : Une approche globale de la télémédecine, 2017.
6. OMS : National eHealth Strategy Toolkit (Guide pratique sur les stratégies nationales en matière de cybersanté), 2012
7. Linda Cambon, "Les, domaines de l'E-santé, Revue Actualité et dossier en santé publique (adsp) n° 108, 2019.
8. JORF (journal officiel de la république française) n°0167 du 22 juillet 2009 LOI n° 2009-879 du 21 juillet 2009 portant réforme de l'hôpital et relative aux patients, à la santé et aux territoires.
9. Carl-Philippe Edmond, "Perception des professionnels de santé du CHUM sur l'utilisation de la téléconsultation en soins non médicaux et non infirmiers en période de crise sanitaire liée à la COVID-19, Université de Montréal (École de santé)-Canada, Mémoire de Maîtrise ès (M. Sc.), 2021.
10. Michael R. Wasserman "Utilisation de la télémédecine (Médecine numérique ; Santé électronique ; Santé mobile), MD, California Association of Long Term Care Medicine, 2023.
11. Quélenec Clément "plaies, brulures et cicatrices", diplôme universitaire, université de Nante-France, 2020-2021.
12. Yeghni Samia "L'utilisation de la technologie d'information médicale et les utilisateurs sur l'efficacité de l'établissement public hospitalier, cas Algérie", revue algérienne des finances publiques N°05, Décembre 2015.

Références Bibliographiques

13. Grebot Elisabeth "L'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication au service de la santé en Afrique dans le cadre au NEPAD « nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique »". Rapport de l'Académie des Sciences morales et politiques, du Sénégal, 2011
14. Stéfan Darmoni et al., "Télésanté, télémedecine, services supports de santé numérique", Faculté de Médecine de Rouen et de Nice, Normandie-France.
15. <https://www.msmanuals.com/fr/accueil/fondamentaux/comment-tirer-le-meilleur-parti-des-soins-de-santé/utilisation-de-la-télémedecine>
16. <https://www.indexsante.ca/chroniques/759/5-avantages-de-la-telemedecine.php>
17. <https://www.indexsante.ca/chroniques/761/avantages-et-limites-de-la-telemedecine/>
18. Michael R. Wasserman, "Utilisation de la télémedecine (Médecine numérique ; Santé électronique ; Santé mobile)", MD, California Association of Long Term Care Medicine, 2023
19. <https://www.matmut.fr/mutuelle/conseils/avantages-teleconsultation>
20. Lahchem Kasmia, D.Kaci Yacine, "Télémedecine et introduction des TIC Comme outil de développement du système sanitaire en Algérie", Maaraf, volume: 15 / N°: 02, Université Lounici Ali, Blida-Algérie, 2020.
21. Kahal Kamel, harichane Mustapha "Modulation des antennes patch", Mémoire de fin d'étude, institut de Télécommunications Abdelhafid Boussouf, Oran, 2016.
22. Guellil Nasser "Etude et conception d'un réseau d'antennes beamforming à base de la matrice de Butler en utilisant ADS Momentum", Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas –Sétif 1-Algérie 2018.
23. Nabli Lotfi, "Cours : les Antennes", Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie, Master Radiocommunication, 2018.
24. Ameziane Djamel "Etude et Optimisation d'Antennes Fractales, Plaquées", Mémoire de Magister de Télécommunications, université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen-Algérie, 2008-2009.
25. Zerrouk Sidi AliMebarek "Antennes filaires et antennes à surfaces rayonnantes", Office des Publications Universitaires, Alger-Algérie, 2008.
26. Rabia AKSAS "Antennes théories et applications, Ellipses Edition Marketing, Paris-France, 2013.
27. Odile Picom et coll. "Les Antennes Théorie, conception et pratique", France 2008

Références Bibliographiques

28. Mohamad Hajj, "Conception, réalisation et caractérisation de nouveaux types d'antennes sectorielles à base de matériaux BIE métalliques pour télécommunications terrestres", thèse de doctorat en télécommunications, université de Limoges-France, 2009.
29. Merrouche Lakhdar, "Étude comparative des structures d'antennes à base de structures périodiques pour les applications multifréquences", Thèse Télécommunications Université - Bordj Bou Arreridj, 2021.
30. Aberkane Djamilia, RouifedChahira, "Étude des antennes à ouvertures rayonnantes", mémoire d'Ingénieur d'État, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou-Algérie, 2010-2011.
31. Christian Jésus Bayodé Payomi : conception et réalisation d'une antenne parabolique pour station terrienne de réception par satellite", Mémoire d'ingénieur de conception, école polytechnique de Thies-Sénégal, 1993.
32. Tiab Narimene, Moumed Amira, "Conception d'une Nouvelle Antenne Multi-Bandes à Polarisation Circulaire", Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 – Guelma, 2021.
33. Ouallil Lamia, "Simulation des antennes sous HFSS (High Frequency Structure Simulator)", Université mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2013.
34. Benayad Khaoula, Khezazna Safa, "simulation des antennes imprimées par le logiciel CST", Université Badji Mokhtar - Annaba– Algérie, 2021.
35. M. F. Bendahmane et F. T. Bendimerad, «Étude du couplage entre antennes imprimées » éditions universitaires européennes, 2014, ISBN : 978-3-8417-3788-5
36. D. Ziani, « Réseaux d'antennes MIMO ultra large bande pour système radar microonde », Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, 2019.
37. A. Kumar, N, Gupta and P. C. Gautam, «Gain and Bandwidth Enhancement Techniques in Microstrip Patch Antenna- A review », International Journal of Computer Applications, 148(7), 9-14.2016.
38. H. Nachouane, « Contribution à la conception et à la réalisation d'antennes reconfigurables large bande à diversité pour les systèmes de communication radio cognitive de la quatrième génération » Thèse de doctorat, Institut National des Postes et des Télécommunications Maroc, 2017.
39. T.D.Nguyen, "conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive", thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2012.
40. Bilal Guetaf, Abdelhalim Chaabane, Abderrezak Khalfallaoui, Hussein Attia " Narrow-band Circularly Polarized Antenna for Medical Microwave Imaging and Health Monitoring Applications" ACES Journal, Vol. 38, No. 6, 424-438, June 2023.