

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

*Faculté des Sciences et de la technologie*

Département d'Electronique

# *Mémoire*

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLOME DE MASTER**

FILIERE : Télécommunication

Spécialité : Systèmes des télécommunications

Par

- **MADOUI Nada**
- **NOUIOUA Karima**

*Intitulé*

***Conception d'une antenne microruban bi-bande pour les communications  
sans fils on body***

***Soutenu le :04/07/2023***

***Devant le Jury composé de :***

<b><i>Nom &amp; Prénom</i></b>	<b><i>Grade</i></b>	<b><i>Qualité</i></b>	<b><i>Etablissement</i></b>
<b><i>M. MESSAOUDENE Idris</i></b>	<b><i>MCA</i></b>	<b><i>Président</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>
<b><i>Mme. LAKHLEF Nora</i></b>	<b><i>MCB</i></b>	<b><i>Encadreur</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>
<b><i>Mme. BENDIB Sara</i></b>	<b><i>MCB</i></b>	<b><i>Examineur</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>

***Année Universitaire 2022/2023***

## **Dédicace**

*Après chaque effort il y'a un résultat obtenu, et après tout ça il y'a aussi une dédicace, pour cela Du profond de mon cœur, Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de me longues études à tous ceux qui me sont chers :*

*Spécialement à celle qui m'a donné la vie, à la plus chère personne au monde à ma très chère mère Noura qui a souffert et attendu ce jour avec impatience, à l'homme qui a sacrifié pour ses enfants, mon père ABDELGHANI. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse ALLAH, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé et longue vie. A ma sœurs youssra et son mari bilel Merci énormément pour votre soutien plus que précieux.*

*Celui qui a participé avec moi à ce mémoire Ma chère amie :Nouioua Karima.*

*A tous ceux et celles qui me sont chers ...*

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.*

*A tous mes amis : Raniya, Rayane, Marwa, ymen ,Dhikra,kaouther*

*Un spécial dédicace à : Rania Bouaouina et sur tout Dr BELLAZOUGE*

*A toute la promo Master II - Système de Télécommunication 2023*

*Merci pour les bons moments passés ensemble.*

**NADA**

## Dédicace

*Dédié ce travail*

*A mes grand-père, ma grand-mère «**nouioua mesoud; maaref sadia et ben zaaza noiari**», que ALLAH ait pitié d'eux, et à ma grand-mère «**ben zaaza thelja**», que ALLAH prolonge sa vie*

*A mes très chers parents*

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

*Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*À mes frères et sœurs*

***Nouioua walid***

***Nouioua noiari***

***Nouioua abd el samed***

***Nouioua siham***

*A ma famille(**nouioua ; ben zaaza**)*

*A celui qui a participé avec moi à ce mémoire*

***Madoui nada***

***Karima***

## Remerciements

*Il nous est agréable et important de réserver cette page comme un témoin de reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont soutenus et encadrés pour la réalisation de ce travail.*

*Tous d'abord, nous remercions Allah le tout puissant de nous ouvrir les portes du savoir, de nous avoir aidé dans les moments difficiles, et de nous avoir permis d'être ce que nous sommes devenues.*

*Nos remerciements particuliers vont à notre encadreur, le **Dr.LaKhlef Nora**, pour son rôle majeur dans l'élaboration de ce travail grâce à ses remarques constructives, ses suggestions pertinentes et ses conseils dans la préparation de ce mémoire.*

*Un grand remerciement à **Dr. Belazzoug Massinissa, Dr. MESSAOUDENE Idris** .qui tout au long de ce travail et des difficultés rencontrées, s'est montré très disponible et serviable.*

*Nous remercions aussi tous nos camarades de la faculté de la science et de la technologie en particulier nos amis de la promotion "M2 télécom 2023". On leur exprime notre profonde sympathie et leur souhaite beaucoup de bien.*

*Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, sans oublier tous ceux qui nous ont encouragés le long de notre parcours universitaire, A tous ceux qui nous aimons.*

**Merci**

## ملخص

يهدف هذا العمل الى دراسة و محاكاة هوائي بوضع على الجسم ( antenna portable on-body ) ثنائي النطاق والذي يعمل بترددات (3جيجا هرتز و5.4جيجا هرتز)،تصميم الهوائي عبارة عن مزيج من اشكال F المستطيلة و بما ان الهوائي يستخدم اساسا للاتصال اللاسلكي على جسم الانسان تم استخدام نمط لشبح جسم الانسان لملاحظة تأثير الجسم على خصائص الهوائي ( antenna portable on-body )

**الكلمات المفتاحية:** هوائي (antenna portable on-body) ثنائي النطاق , الاتصال اللاسلكي , اشكال F المستطيلة , شبح جسم الانسان.

## Abstract

This work contributes to the study and simulation of a dual-band (3 GHz and 5.4 GHz) portable on-body and off body antenna. The simulated design is a combination of rectangular F-shape configurations. Because the on-body portable antenna is primarily intended for wireless communication on the human body, we used a human body phantom model to see the effects of body on antenna characteristics.

**Keywords:** portable on-body coil, dual band antenna, wireless communication, human body phantom model, F Shape.

## Résumé

Ce travail contribue à l'étude de la simulation d'une antenne portable on-body à double bande (3 GHz et 5,4 GHz.) la conception simulée est une combinaison de configurations rectangulaires en F shapeds. Parce que l'antenne portable on-body est principalement destinée à la communication sans fil sur le corps humain (on body et off body), nous avons utilisé un modèle du fantôme de corps humain pour voir les effets de corps sur les caractéristiques de l'antenne.

**Mots clés :** antenne portable on-body, antenne double bande, communication sans fil, Modèle du fantôme de corps humain, F Shape.

# Sommaire

Remerciement.....	iii
ملخص.....	iv
Abstract.....	iv
Résumé .....	iv
Sommaire .....	v
Liste des Figures.....	vii
Liste des Tableaux.....	ix
Liste des abréviations.....	x
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées .....</b>	<b>2</b>
I.1.Introduction.....	2
I.2.Structure d'une antenne imprimée .....	2
I.3.Les caractéristiques des antennes imprimées.....	3
I.3.1.La directivité .....	3
I.3.2.coefficient de réflexion .....	4
I.3.3.L'impédance d'entrée de l'antenne.....	4
I.3.4.Le rendement .....	5
I.3.5.Le gain .....	5
I.4.Les domaines d'applications des antennes imprimées.....	5
I.5.Technique d'alimentation .....	6
I.5 .1.Alimentation par sonde coaxiale.....	6
I.5 .2. Alimentation par ligne microruban.....	6
I.5 .3.Alimentation couplée par proximité .....	7
I.5 .4.Alimentation couplée par ouverture.....	7
I.6.Les avantages et Les inconvénients des antennes imprimées .....	8
I.6.1.Les avantages .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.6.2.Les inconvénients .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.7. Conclusion .....	8
<b>Chapitre II : Antennes dans les applications biomédicales .....</b>	<b>9</b>
II.1. Introduction .....	9
II.2. Communications sans fil à travers le corps humain dans le domaine médical.....	9

II.3 La communication sans fil centrée sur le corps humain.....	10
II .4 Caractéristiques diélectriques du corps humain .....	11
II .5 Interaction entre Antennes Portables Off-Body et corps humain .....	11
II.5.1 Effets de l’antenne sur le corps humain.....	12
II.5.2 Effets de l’antenne sur le corps humain.....	12
II.5.3 Gain induit par le corps humain.....	12
II.5.4.Efficacité du corps humain .....	13
II.6. Conclusion.....	13
<b>Chapitre III: Simulation d’une antenne micro-ruban microstripe on body.....</b>	<b>15</b>
III.1.Introduction.....	15
III.2.Description de la conception .....	15
III.3.Simulation de l’antenne patch sous HFSS .....	16
III.4.Résultats et discussion.....	18
III.4.1.Géométrie de l’antenne sous HFSS.....	18
III.4.2.Coefficient de réflexion S11 et Rapport d’onde stationnaire (ROS) (VSWR).....	19
III.5.Étude paramétrique .....	20
III.5.1. L’effet de la largeur du substrat w.....	20
III.5.2.L’effet de la longueur du substrat L .....	21
III.6.Optimisation de l’antenne .....	23
III.7.Modèle du fantôme humain.....	25
III.7.1.Géométrie de l'antenne placée sur un modèle de fantôme humain avec un substrat flexible .....	26
III.7.2. L'antenne placée sur un modèle de fantôme humain avec un substrat flexible.....	27
III.7.3. Comparaison entre le modèle de fantôme humain avec un substrat flexible Et le modèle de fantôme humain avec un substrat nom flexible .....	28
III.9.conclusion .....	29
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>31</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>32</b>

# Liste des Figures

## Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées

Figure I.1:La structure de base de l'antenne patch microruban [2].	2
Figure I.2 : Quelques formes d'éléments rayonnants [2].	3
Figure I. 3 : Schéma équivalent du dispositif à l'émission [5].	4
Figure I.4 : Excitation par sonde coaxiale [2].	6
Figure I.5 : Alimentation par ligne microruban : a. Axiale, b. Décalée et c. Axiale avec encoche [2].	6
Figure I.6 : Alimentation couplée par proximité [2].	7
Figure I.7 : Alimentation couplée à ouverture [2].	7

## Chapitre II : Antennes dans les applications biomédicales

Figure II.1: Un schéma des communications sans fil centrées sur le corps [16].	10
--	----

## Chapitre III : Simulation d'une antenne micro-ruban microstripe on body

Figure III.1 : Schéma de l'antenne bi-bande simulée [21].	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure III.2: Géométrie de l'antenne sous HFSS.	18
Figure III.3. : Coefficient de réflexion en utilisant les dimensions (le tableau III.1).	19
Figure III.4 : Rapport d'onde stationnaire en utilisant les dimensions (le tableau III.1).	19
Figure III.5 : Effet de la largeur du substrat (W) sur le coefficient de réflexion.	20
Figure III.6 : Effet de la largeur du substrat (W) sur le rapport d'onde stationnaire.	21
Figure III.7 : Effet de la longueur du substrat (L) sur le coefficient de réflexion.	22
Figure III.8 : Effet de la longueur du substrat (L) sur le rapport d'onde stationnaire.	22
Figure III.10 : Effet de la longueur (L) et la largeur du substrat (w) sur le rapport d'onde stationnaire.	25
Figure III 12. Coefficient de réflexion de l'antenne sur un fantôme avec un substrat flexible.	27
Figure III 14. Coefficient de réflexion de l'antenne sur un fantôme avec un substrat non flexible.	28
Figure III.15 : Coefficient de réflexion S11 de l'article off-body [21]	29

# Liste des Tableaux

## Chapitre III : Simulation d'une antenne micro-ruban microstripe on body

Tableau III.1: Dimension de l'antenne [21] .....	17
Tableau III.2: Propriétés des tissus humains .....	25

## Liste des abréviations

**PRI** : Produits A Base Polymères  
**MIC** : Monolithic Integrated Circuit  
**MàM**: Machine A Machine  
**RCSF**: Réseau Corporel Sans Fil  
**WBAN**: Wireless Body Area Networks  
**TAS** : Taux D'absorption Spécifique  
**FCC** : Commission Fédérale De Communication  
**HFSS** : High Frequency Structure Simulation  
**ROS** : Rapport D'ondes Stationnaires  
**S11** : Coefficient De Réfexion  
**VSWR**: Voltage Standing Wave Ratio  
**ABW**: Absolute Band width  
**RF**: Radio Fréquence  
**FDTD**: Finit Difference Time Domain  
**CST**: Computer Simulation Technology  
**FEKO**: Filed Effect Knowledge Organizer  
**COMSOL**: COMputational SOLution  
**WLAN**: Wireless Local Area Network  
**WIMAX**: Worldwide Interoperability for Microwave Access  
**FR4**: Flame Retardant 4  
**WIFI**: Wireless Fidelity  
**LTE** : Longe Terme Evolution  
**RCSF** : Réseaux de Capteurs sans Fil  
**D** : La Directivité  
**( $\theta, \varphi$ )** : Angles Des Coordonnées Sphériques  
**P** : La Puissance De L'antenne Dans La Direction ( $\theta, \varphi$ )  
**Pr** : La Puissance Totale Rayonnée  
**Ze** : L'impédance D'entrée  
**Zc** : L'impédance Caractéristique  
**Za** : L'impédance D'entrée De L'antenne  
 **$\eta$**  : Le Rendement  
**G** : Le Gain  
**Q** : Facteur De Qualité

# Introduction générale

Les antennes microrubans bi-bande sont des antennes largement utilisées dans les communications sans fil. Elles sont particulièrement adaptées aux applications de communication "on body", c'est-à-dire les antennes se placent directement sur le corps humain ou sur des objets portés par une personne. Les antennes microrubans offrent plusieurs avantages pour les applications "on body", notamment leur petite taille, leur légèreté et leur flexibilité. De plus, Elles peuvent être facilement intégrées dans des vêtements ou des accessoires portables tels que des montres intelligentes, des bracelets de fitness et des casques de réalité virtuelle. Les antennes microrubans double bandes sont capables de fonctionner à deux fréquences différentes, ce qui les rend idéales pour les applications multimodes qui nécessitent plusieurs bandes de fréquences pour la communication sans fil. Le présent manuscrit comporte trois chapitres:

Le premier chapitre traite les antennes imprimées ; en commençant en premier lieu par leur description générale, en donnant leurs propriétés et caractéristiques de ces dernières ainsi que les domaines d'application, puis on mentionne les différentes techniques d'alimentation et en fin, on termine par quelques avantages et inconvénients.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé la communication sans fil à travers le corps humain dans le contexte médical. Ensuite, la communication sans fil centrée sur le corps humain, les informations sur les caractéristiques diélectriques du corps humain et, l'interaction entre l'antenne portable off-body et le corps humain.

Tandis que la troisième partie est consacrée à la conception et la simulation d'une antenne microruban BI-bande (3GHZ 5,4GHZ) ainsi que la discussion de différents résultats obtenus.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale sur les travaux présentés.

# Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées

## I.1.Introduction

Dans les systèmes de communication, l'antenne est un composant clé, qui est utilisé pour transmettre les ondes électromagnétiques par rayonnement. Elle est utilisée dans les équipements personnels, les automobiles, les systèmes satellites, les communications, les systèmes spatiaux, les avions, les applications militaires et les applications médicales. Elle est disponible dans de nombreux types, formes, tailles et applications.

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter les antennes imprimées, en décrivant d'abord leurs structures différentes caractéristiques et domaines d'application; et en finalisant ce chapitre par les avantages et les inconvénients des antennes imprimées.

## I.2.Structure d'une antenne imprimée

Les antennes imprimées sont utilisées dans le domaine des micro-ondes. Une antenne imprimée est constituée d'une couche en métal de forme arbitraire appelée élément rayonnant déposée sur un support diélectrique, dont la face inférieure est entièrement métallisée pour constituer un plan de masse [1]. La structure de base d'une antenne patch est illustrée dans la figure I.1 [2]. Dans la pratique le patch peut avoir toutes les formes possibles (dipôle, rectangle, carré, triangle...). Certaines formes sont illustrées dans a figure I.1 [2].

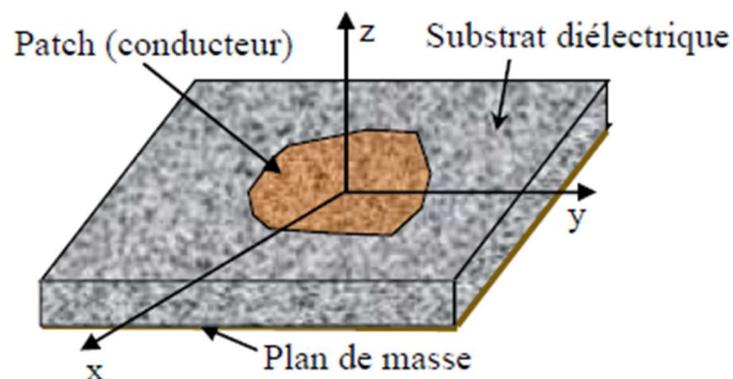


Figure I.2: La structure de base de l'antenne patch microruban [2].

La conception d'une antenne patch dépend de [2].

- ❖ Type de substrat,
- ❖ Forme du patch,

- ❖ Dimension du patch,
- ❖ Technique d'alimentation,
- ❖ Fréquence de résonance,
- ❖ Épaisseur du substrat.

Les propriétés des substrats sont caractérisées essentiellement par trois grandeurs physiques : conductivité, constante diélectrique relative, angle de perte. Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux. Leurs permittivités relatives varient de 2.2 à 12 [2].

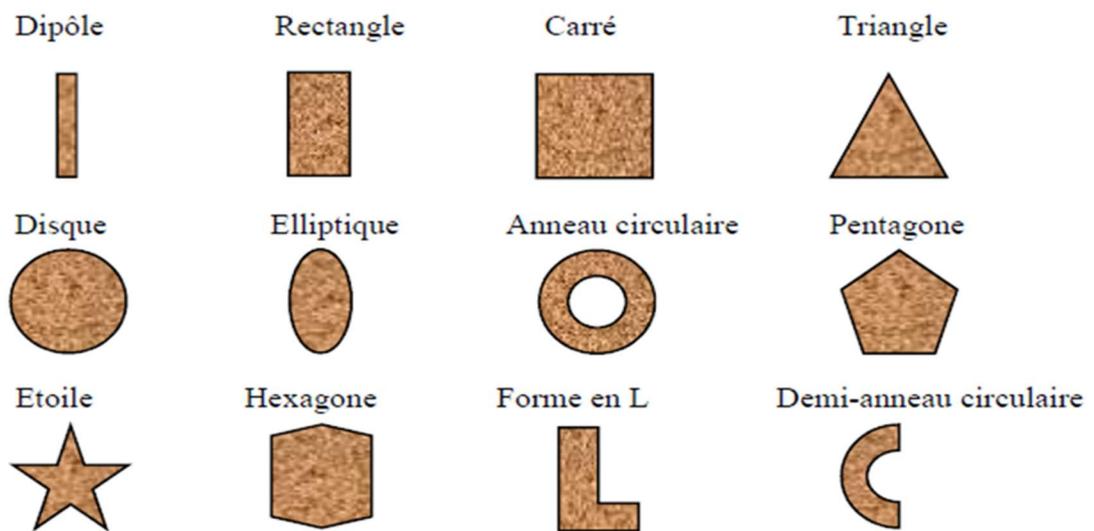


Figure I.3 : Quelques formes d'éléments rayonnants [2].

### I.3. Caractéristiques des antennes imprimées

Les cinq facteurs clés distinguant les antennes imprimées sont la directivité, le coefficient de réflexion, l'impédance d'entrée de l'antenne et le rendement. Lors du choix d'une antenne imprimée pour une application particulière, ces facteurs doivent être pris en compte. Dans cette section, ces facteurs et d'autres qui influent le choix de l'antenne imprimée sont abordés.

#### I.3.1. Directivité

La directivité  $D(\theta, \varphi)$  d'une antenne dans une direction  $(\theta, \varphi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée  $(\theta, \varphi)$  et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope [3].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r/4\pi} = 4\pi \cdot \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} \quad (I.1)$$

Avec :

$P(\theta, \varphi)$  : La puissance de l'antenne dans la direction  $(\theta, \varphi)$

$P_r$  : est la puissance totale rayonnée.

### I.3.2. Coefficient De Réflexion

Habituellement, lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation, une partie de l'onde est réfléchiée et une autre partie se propage dans un autre milieu. Le coefficient de réflexion d'une antenne est défini comme le rapport de l'amplitude de l'onde réfléchiée à l'amplitude de l'onde incidente [4].

Généralement, la relation entre ce coefficient  $\Gamma$  et l'impédance d'entrée  $Z_e$  et l'impédance caractéristique  $Z_c$  de l'antenne est la suivante [4].

$$\Gamma = \frac{z_e - z_c}{z_e + z_c} \quad (I.2)$$

A noter que  $\Gamma$  peut être exprimé comme le paramètre S en dB tel que :

$$S_{11} \text{ (dB)} = 20 \log (\Gamma) \quad (I.3)$$

Le paramètre S11 est le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne et représente le transfert d'énergie de cette antenne. La valeur de ce paramètre varie en fonction de la fréquence. Pour assurer une bonne adaptation dans la bande de fréquence souhaitée, on impose le critère suivant  $|S_{11}| \leq -10 \text{ dB}$  [3].

### I.3.3. Impédance d'entrée de l'antenne

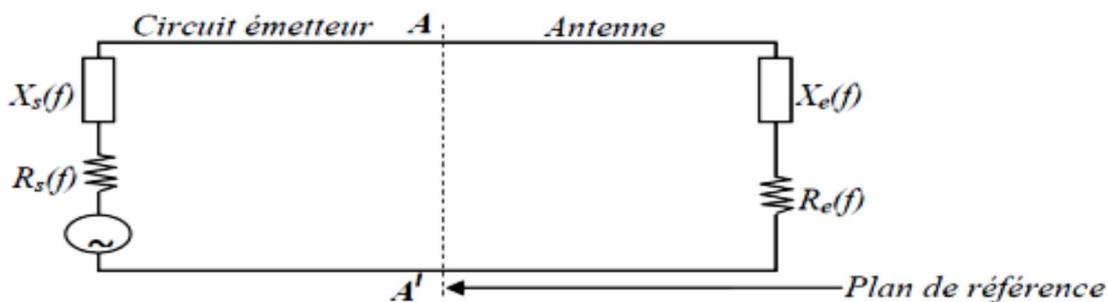


Figure I. 4 : Schéma équivalent du dispositif à l'émission [5]

L'impédance d'entrée de l'antenne dépend bien évidemment de la géométrie de l'antenne et aussi du couplage entre la ligne et l'antenne. L'impédance d'entrée de l'antenne

doit être la plus proche possible de  $50\Omega$  (impédance de la ligne de transmission) dans sa partie réelle, et nulle dans sa partie imaginaire. Elle dépend du type d'alimentation [5]. Elle est donnée par cette formule :

$$Z_a = \frac{v_e}{i_e} = R + jX \quad [4] \quad (I.4)$$

### I.3.4. Rendement

Le rendement d'une antenne s'exprime comme suit :

$$\eta = \frac{Pr}{Pf} \quad (I.5)$$

$$Pr = \iint r^2(\theta, \varphi) d\varphi \quad Et \quad Pt = 4\pi \cdot S_{ri} \quad (I.6)$$

Avec :

Pr : puissance rayonnée.

Pf : La puissance fournie.

$S_{ri}$  : La surface effective.

$\eta$  : Rendement de surface en fonction de la répartition de champ.

### I.3.5. Gain

Le gain est donné par la formule suivante :

$$G(\theta, \varphi) = \eta \cdot D(\theta, \varphi) \quad (I.7)$$

Avec :

$D(\theta, \varphi)$  : La directivité dans la direction  $(\theta, \varphi)$ .

$\eta$  : le rendement.

## I.4. Domaines d'applications des antennes imprimées

Les domaines d'applications des antennes imprimées sont de plus en plus variés [3]. On peut citer quelques applications : [3] [5]

- Les télécommunications par satellites,
- La télémétrie des missiles et la télésurveillance,
- Guidage des missiles,
- Les équipements portatifs,
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes,
- Les antennes d'émission utilisées en médecine ....etc.

## I.5. Technique d'alimentation

Les antennes patchs peuvent être alimentées avec quatre techniques d'alimentation. Les différentes techniques d'alimentation sont les suivantes :

### I.5.1. Alimentation par sonde coaxiale

L'utilisation de câble coaxiale pour alimenter le patch a été utilisée pour la première fois en 1970 [6]. L'alimentation avec câble coaxiale ou alimentation par sonde [5], c'est une technique courante, utilisée pour alimenter les antennes micro-ruban. Le conducteur intérieur du câble coaxial est connecté à la pastille rayonnante d'une antenne et l'extérieur est directement connecté au plan de masse comme est illustré dans figure 1.4. En général, son impédance caractéristique est de 50 ohms [7]. Ce type d'alimentation est largement utilisé pour les pavés monocouche.

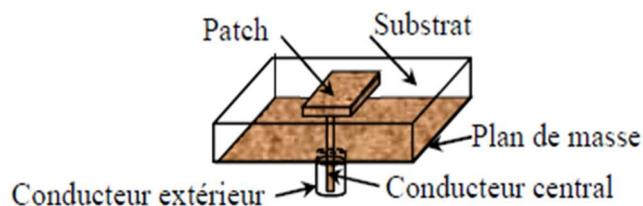


Figure I.5 : Excitation par sonde coaxiale [2].

### I.5.2. Alimentation par ligne microruban

Cette alimentation est introduite pour la première fois en 1970 [2]. Dans ce type, une bande conductrice est connectée directement au bord du patch Microstrip [8]. Elle est fabriquée par contact direct en utilisant une ligne microruban qui facilite sa fabrication, en imprimant la ligne sur la même surface du substrat que l'élément rayonnant [9]. L'impédance dépasse généralement largement 50 ohms [10]. Cette structure génère une modélisation simple et a l'inconvénient de générer un rayonnement parasite [9]. Elle est illustrée dans la figure I.5:

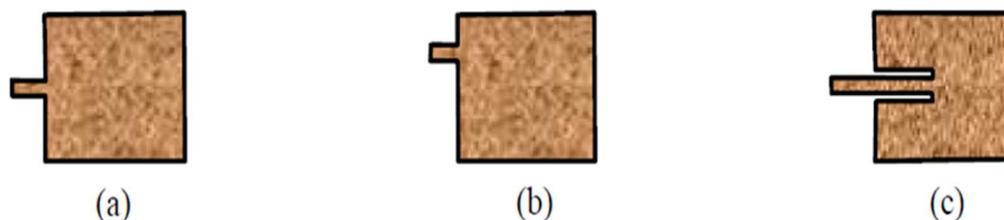


Figure I.6 : Alimentation par ligne microruban : a. Axiale, b. Décalée et c. Axiale avec encoche [2].

### I.5 .3. Alimentation couplée par proximité

Elle est également appelé couplage électromagnétique [11]. Deux substrats diélectriques sont utilisés pour que la ligne électrique soit entre les deux substrats et que le patch soit placé sur le substrat supérieur [2]. Les principaux avantages éliminent les faux rayonnements alimentaires et fournissent une bande passante très élevée [11]. Il illustré dans la figure :

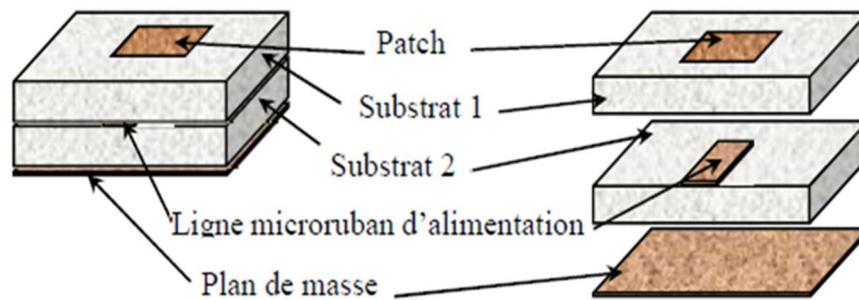


Figure I.7 : Alimentation couplée par proximité [2].

### I.5 .4. Alimentation couplée par ouverture

Dans le couplage d'ouverture, l'élément de patch microruban rayonnant est gravé sur le dessus du substrat d'antenne, et la ligne d'alimentation microruban est gravée sur le bas du substrat d'alimentation afin d'obtenir un couplage d'ouverture [11] cela présente certains avantages, comme l'absence de contact physique entre les éléments Le radiateur, une bande passante plus large, une meilleure isolation entre les antennes et le réseau d'alimentation également L'alimentation couplée par ouverture permet une optimisation indépendante des antennes et des grilles d'alimentation à l'aide de substrats d'épaisseur ou de permittivité différentes [12]. Il illustré dans la figure :

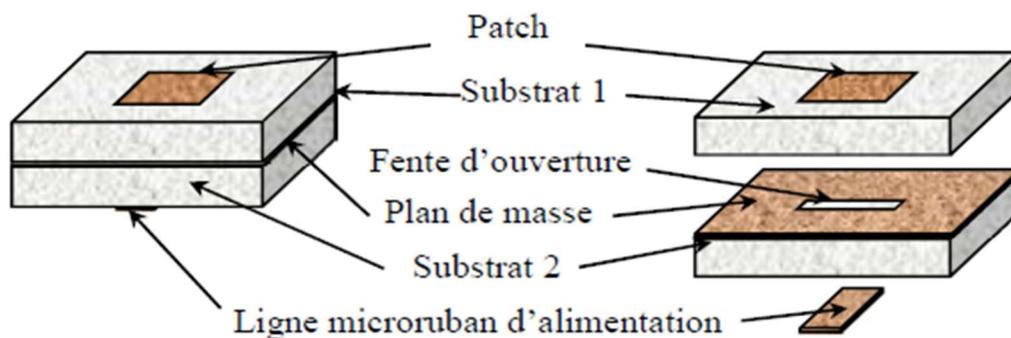


Figure I.8 : Alimentation couplée à ouverture [2].

## **I.6. Avantages et inconvénients des antennes imprimées**

Voici quelques avantages et inconvénients d'une antenne imprimée :

### **I.6.1. Avantages [13] [11]**

1. Légèreté et petite taille
2. Faible coût de fabrication
3. Prise en charge de la polarisation linéaire et circulaire
4. Fonctionnement bi-bande et triple bande

### **I.6.2. Inconvénients [13] [11]**

1. Bande passante étroite et faible efficacité
2. Faible gain et rayonnement étranger
3. Mauvaise radiation pour les antennes à radiation longitudinale
4. Complexité de la structure d'alimentation et perte ohmique élevée

## **I.7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur des différentes structures d'antennes imprimées, puis nous avons mentionné, leurs caractéristiques, domaines d'application les plus importants, également différentes techniques d'alimentation, et enfin les avantages et les inconvénients des antennes imprimées.

Nous concluons que les antennes imprimées sont largement utilisées dans les systèmes de communication modernes en raison de leur faible coût, de leur faible encombrement, de leur facilité de fabrication et de leur capacité à prendre en charge plusieurs bandes de fréquences. Bien qu'il présente de nombreux avantages, il présente également des inconvénients tels qu'une faible bande passante, une faible efficacité et un faible gain. Le choix d'une antenne imprimée dépend également des exigences spécifiques de l'application et des compromis entre les différentes fonctionnalités.

# **Chapitre II : Antennes dans les applications biomédicales**

## **II.1. Introduction**

Les communications sans fil à travers le corps humain ont gagné en importance dans le domaine médical, car elles permettent un suivi précis de la santé du patient et une transmission rapide des données médicales. [9] Cependant, la conception d'antennes portables pour les applications de communication sans fil dans le corps humain est un défi important en raison des interactions complexes entre l'antenne et le corps humain. Les propriétés diélectriques du corps humain sont un facteur clé à prendre en compte lors de la conception d'antennes portables, car elles affectent la propagation et la qualité des signaux sans fil à travers le corps humain. En particulier, l'interaction entre l'antenne portable et le corps humain peut entraîner des effets négatifs tels que des pertes de signal, des interférences et des résonances. Il est donc important de comprendre ces phénomènes pour concevoir des antennes portables efficaces et fiables pour les applications de communication sans fil dans le corps humain. . Tout cela et plus sont abordés dans ce chapitre en détail.

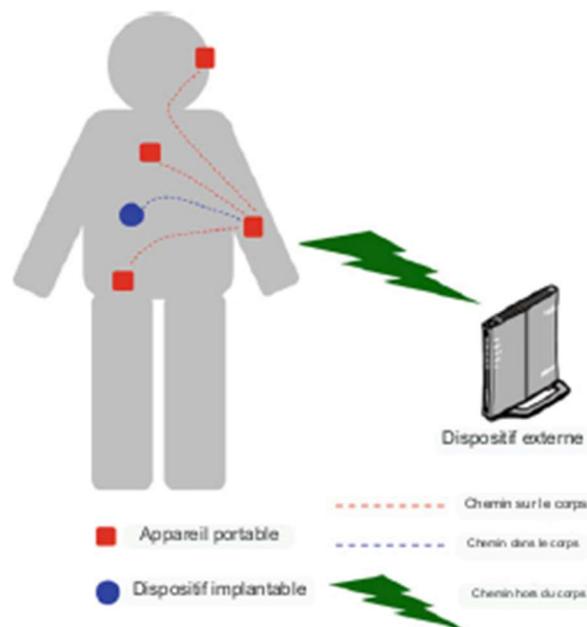
## **II.2. Communications sans fil à travers le corps humain dans le domaine médical**

La communication sans fil a apporté de nombreux avantages à notre société. La mise à niveau technologique a rendu cette communication possible grâce à des technologies telles que la 4G, LTE-A, 5G, etc. à partir 1990, la communication Machine à Machine (MàM) a été un domaine de recherche privilégié au cours des dernières décennies.

La communication entre machines et humains était la prochaine étape [14]. La gamme de dispositifs et de systèmes médicaux utilisés sur et dans le corps humain augmente rapidement. L'environnement à l'intérieur et autour du corps humain est souvent propice à la transmission de signaux sans fil. Par conséquent, en tant qu'interface entre l'émetteur-récepteur et la propagation environnement, les antennes doivent être soigneusement conçues dans les systèmes de soins de santé personnels. Cette connexion est complétée par la technologie sans fil, formant ainsi un réseau corporel sans fil (RCSF OU WBAN « Wireless Body Area Networks ») [14]. Comme pour tout autre réseau de radiocommunication, les fonctions de communication des réseaux corporels sans fil sont efficaces pour transmettre des données vocales ou des images.

### II.3 Communication sans fil centrée sur le corps humain

La communication sans fil centrée sur le corps consiste en des communications sur le corps, hors du corps, dans le corps. Les communications sur le corps : Il s'agit de la communication entre différents dispositifs électroniques implantés à l'intérieur du corps humain. Ces dispositifs peuvent communiquer entre eux pour échanger des données et des informations en temps réel. Par exemple, un capteur de glucose implanté dans le corps peut communiquer avec une pompe à insuline implantée pour surveiller et ajuster en temps réel les niveaux de glucose dans le sang, les stimulateurs cardiaques, comme la température corporelle,....etc [15]



**Figure II.1: Un schéma des communications sans fil centrées sur le corps [16]**

Les communications hors du corps : Il s'agit de la communication entre les dispositifs électroniques portables, les ordinateurs portables et les montres intelligentes. Ces dispositifs peuvent être utilisés pour collecter des données sur la santé et le bien-être, pour effectuer des tâches à distance, ou pour recevoir des notifications et des alertes. Plusieurs normes pour les connexions sans fil entre petits appareils rapprochés ont été développées, notamment Bluetooth, BodyLAN et Zigbee. Les dispositifs portés sur le corps sont souvent équipés d'antennes spécialement conçues pour fournir une portée de communication fiable et une qualité de signal élevée, même lorsque l'utilisateur est en mouvement [15].

Les communications dans le corps : Les communications avec des dispositifs implantés, également appelées communications intracorporelles, se réfèrent à la

communication sans fil entre des dispositifs qui sont implantés dans le corps humain, quelle que les, des prothèses auditives ou d'autres types de dispositifs médicaux implantables [15].

Il est important que les communications intracorporelles soient fiables et sécurisées, car des erreurs de communication peuvent avoir des conséquences graves pour la santé du patient. Par conséquent, les dispositifs médicaux implantables et les systèmes de communication associés doivent être soigneusement conçus et testés pour assurer leur sécurité et leur efficacité [15].

## **II .4 Caractéristiques diélectriques du corps humain**

Le corps humain peut être considéré comme un milieu isolant, qui peut être électriquement polarisé par l'application d'un champ électrique. Les propriétés isolantes du corps humain dépendent de la composition et de la structure des différents tissus qui composent le corps humain. Le corps humain est un environnement stratifié composé d'os, de muscles et de peau. Chaque couche a ses propres propriétés isolantes, qui dépendent également de la fréquence. Pour concevoir des circuits sans fil qui ne peuvent pas être contrôlés ou implantés,, il est essentiel d'étudier les propriétés électromagnétiques du corps humain. Le champ électromagnétique qui propage dans le corps varie en fonction de l'épaisseur des tissus biologiques ainsi que de leur composition. La fréquence de résonance de l'antenne conçue dans l'air est modifiée par l'augmentation de la perméabilité magnétique effective de la zone proche de l'antenne lorsqu'elle est placée sur le corps humain. Par conséquent, si une antenne est conçue pour une fréquence de résonance spécifique dans l'espace libre, la fréquence de résonance sera abaissée en plaçant l'antenne dans un tissu humain [17] .

## **II .5 Interaction entre Antennes Portables Off-Body et corps humain**

Les antennes portables off-body sont très proches du corps humain. La proximité du corps humain avec une antenne ayant un constant diélectrique et une perte élevée est connue par un effet néfaste sur l'impédance d'entrée et l'efficacité de l'antenne. Le corps affecte certaines des principales propriétés de l'antenne, comme la désadaptation qui est causée par l'impédance caractéristique des lignes de transmission, les changements de longueur électrique et l'augmentation continue des pertes, ce qui nuit à son fonctionnement original. L'interaction entre le corps et l'antenne portable off-body peut être classée en deux

catégories.. La première catégorie concerne l'influence de l'antenne sur le corps et la deuxième l'influence de corps sur les caractéristiques de l'antenne [18]

### **II.5.1 Effets de l'antenne sur le corps humain**

Les antennes génèrent des radiations non ionisantes qui peuvent se propager dans les cellules humaines et augmenter la température des tissus, causant ainsi un phénomène appelé chauffage diélectrique. Le taux d'absorption spécifique (TAS) est utilisé pour mesurer le taux d'absorption d'énergie par les tissus humains. Il est généralement mesuré en moyenne sur tout le corps ou sur un petit volume d'échantillon de tissu. La limite de TAS est fixée à 1,6 W/kg en moyenne sur 1 g de tissu réel par la Commission fédérale de communication (FCC), tandis que la limite est fixée à 2 W/kg en moyenne sur 10 g de tissu réel par le Conseil de l'Union européenne. Il y a des règles et des réglementations à suivre dans le monde entier concernant la limite TAS des dispositifs électromagnétiques, car des valeurs TAS élevées peuvent avoir de graves conséquences sur le corps humain. La limite d'augmentation de température dans les tissus de la tête est de 1K, au-delà de laquelle cela peut affecter le comportement, le fonctionnement et la mémoire des personnes, en plus de causer des blessures anatomiques. Il est donc important de suivre ces limites pour garantir la sécurité des utilisateurs d'antennes portables et de tout autre dispositif électromagnétique [18] [19].

### **II.5.2 Effets de l'antenne sur le corps humain**

Le corps humain a également un effet sur l'antenne car elle est très proche du corps humain, et avec les pertes détruira le lien de communication entre l'antenne et le monde extérieur. L'influence du corps humain sur l'antenne est de différentes natures [18].

### **II.5.3 Gain induit par le corps humain**

Le gain d'induction du corps est un indicateur important qui mesure la différence de gain (exprimé en décibels) entre une antenne portée par le corps et une antenne en espace libre. Le corps humain est composé de différents tissus ayant des propriétés diélectriques différentes, ce qui peut affecter la propagation des ondes électromagnétiques et, par conséquent, le gain de l'antenne. Les caractéristiques électriques des différents tissus corporels varient également en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique utilisée. Ainsi, le gain d'une antenne portée par le corps peut varier en fonction de la fréquence utilisée et des propriétés diélectriques des tissus corporels. En raison de ces variations, le gain d'une antenne portable peut différer de celui d'une antenne traditionnelle en espace libre. Pour

concevoir des antennes portables pour les applications biomédicales, il est donc important de prendre en compte les propriétés diélectriques des tissus corporels et les caractéristiques électromagnétiques des différentes fréquences. Des techniques de modélisation électromagnétique et de simulation peuvent être utilisées pour évaluer le gain d'induction du corps et optimiser la conception des antennes pour les applications biomédicales [18].

#### **II.5.4.Efficacité du corps humain**

L'efficacité du corps humain est définie comme le rapport de la puissance rayonnée totale de l'antenne lorsqu'elle est portée sur le corps humain à la puissance rayonnée totale en l'absence de corps humain, à une distance suffisamment éloignée de l'antenne. La présence du corps humain peut entraîner une perte de puissance totale de l'antenne, qui dépend de facteurs tels que l'emplacement de l'antenne sur le corps et de l'humidité de la peau. En particulier, lorsque l'utilisateur se rapproche trop de l'antenne, cela peut provoquer une diminution de l'impédance d'entrée de l'antenne, ce qui peut affecter négativement la qualité du signal émis ou reçu. Par conséquent, il est important de prendre en compte l'effet du corps humain sur l'impédance lors de la conception et de l'utilisation d'antennes pour des dispositifs portables ou des téléphones mobiles [18].

#### **II.6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons parlé des communications sans fil à travers le corps humain dans le domaine médical, et nous avons mentionné caractéristiques diélectriques du corps humain nous avons également séparé dans l'interaction entre l'antenne portable et le corps humain; Et nous en concluons que les communications sans fil à travers le corps humain ont des applications importantes dans le domaine médical, mais la conception d'antennes portables pour ces applications est un défi en raison des interactions complexes entre l'antenne et le corps humain. Les propriétés diélectriques du corps humain doivent être prises en compte lors de la conception d'antennes portables pour les applications de communication sans fil dans le corps humain. Les interactions entre l'antenne et le corps humain peuvent entraîner des effets négatifs tels que des pertes de signal, des interférences et des résonances, et il est important de comprendre ces phénomènes pour concevoir des antennes portables efficaces et fiables. En particulier, les effets de l'antenne sur le corps humain, le gain induit par le corps humain, l'efficacité du corps humain et les caractéristiques diélectriques du corps humain sont des facteurs clés à prendre en compte lors de la

conception d'antennes portables pour les applications de communication sans fil dans le corps humain.

# Chapitre III: Simulation d'une antenne micro-ruban on body

## III.1.Introduction

Dans ce chapitre, la simulation d'une antenne patch à double bande (3 GHz et 5,4 GHz) pour les communications sans fil sur le corps humain (antenne seule, antenne on-body et antenne off-body) a été présentée. La structure de l'antenne étudiée est prise de la référence [21].

L'antenne simulée est une combinaison de configurations rectangulaires en forme de F. On a utilisé un modèle fantôme de corps humain pour vérifier le fonctionnement de l'antenne on-body et off-body.

La première partie est consacrée à la validation de l'article [21] à l'aide du simulateur électromagnétique HFSS, en vérifiant les caractéristiques de l'antenne (S11, VSWR,...).

Deuxièmement, des études paramétriques ont été menées pour déterminer les effets de certains paramètres (dimensions : largeur  $w$ , longueur  $L$ ) afin d'améliorer les propriétés de l'antenne (fréquence de fonctionnement, diagramme de rayonnement, bande passante...,etc).

Enfin, nous plaçons l'antenne sur un fantôme humain (, antenne on-body et antenne off-body) en utilisant le simulateur HFSS pour voir les effets de corps humain (fantôme) sur les caractéristiques de l'antenne (coefficient de réflexion S11, Rapport d'onde stationnaire (ROS,...)).

## III.2.Description de la conception

L'antenne simulée est destinée aux systèmes de communication sans fil. Elle peut prendre en charge la bande double de fréquences : la bande WLAN (Wireless Local Area Network) et la bande WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [21]. Les réseaux WLAN sont utilisés pour la connectivité sans fil à courte portée, principalement à l'intérieur des bâtiments, tandis que les réseaux WiMAX sont utilisés pour la connectivité sans fil à longue portée, principalement à l'extérieur.

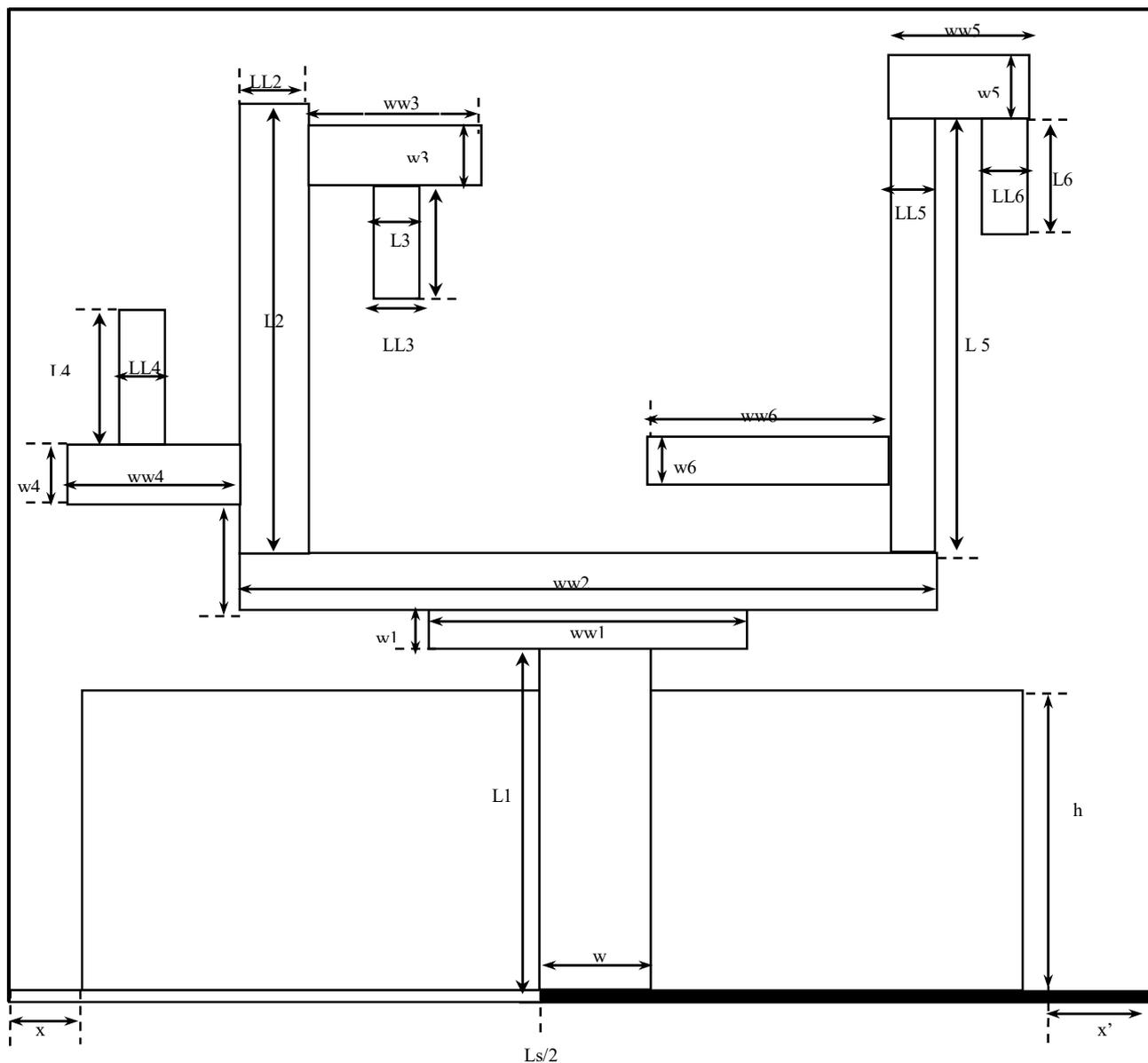


Figure III. 1 : Schéma de l'antenne bi-bande simulée [21]

### III.3.Simulation de l'antenne patch sous HFSS

Pour avoir une bande multiple, la conception simulée consiste en deux fentes sculptées sur une pièce rectangulaire et de l'autre côté du substrat diélectrique déposée sur un plan de masse rectangulaire. Les fentes en forme de F sont gravées sur les côtés gauche et droit du substrat.

La configuration de l'antenne a une taille compacte de (27,7 mm× 19,4 mm) [21]. L'antenne est de taille très compacte avec une structure simple. Les simulations sont réalisées en utilisant le simulateur HFSS.

Tableau III.1: Dimension de l'antenne [21]

Elément	structure	Dimension (Y × X)
<b>Patch</b>	L1	10.1mm×2.6mm
	w 1	0.9mm×4.5mm
	w 2	2.5mm×9.8mm
	L2	15.5mm×1.3mm
	w 3	1.5mm×5mm
	L3	4mm×1mm
	w 4	2.4mm×6.6mm
	L4	8mm×1.3mm
	w 5	15mm×1mm
	L5	2.3mm×3mm
	w 6	6mm×1mm
	L6	1.3mm×5.3mm
<b>Plan de masse</b>	2D	8.5mm×25mm
<b>Substrat</b>	3D	40mm×40mm×1.6mm

La structure de l'antenne simulée destinée aux communications sans fil dans le domaine biomédicale centrée sur le corps humain (antenne seule, antenne on-body et antenne off-body) recommandée au fonctionnement bi-bande en WLAN et WIMAX est illustrée à la figure III.1 [21].

Les dimensions de l'antenne simulée sont données dans le tableau III.1 [21]. Le substrat diélectrique utilisé est le FR4 époxy (c'est un diélectrique non flexible pour comparer avec les résultats de l'article [21]), avec une épaisseur de 1,6 mm, une permittivité relative de 4,4 et une tangente de perte diélectrique de 0,02 [21].

### III.4.Résultats et discussion

#### III.4.1.Géométrie de l'antenne sous HFSS

La géométrie de l'antenne patch simulée sous HFSS, est illustrée dans la figure III.2. L'antenne est placée dans le plan (X, Y) avec une épaisseur de substrat dans la direction Z. L'antenne est alimentée par une ligne microruban, qui est une technique courante d'alimentation pour les antennes patches.

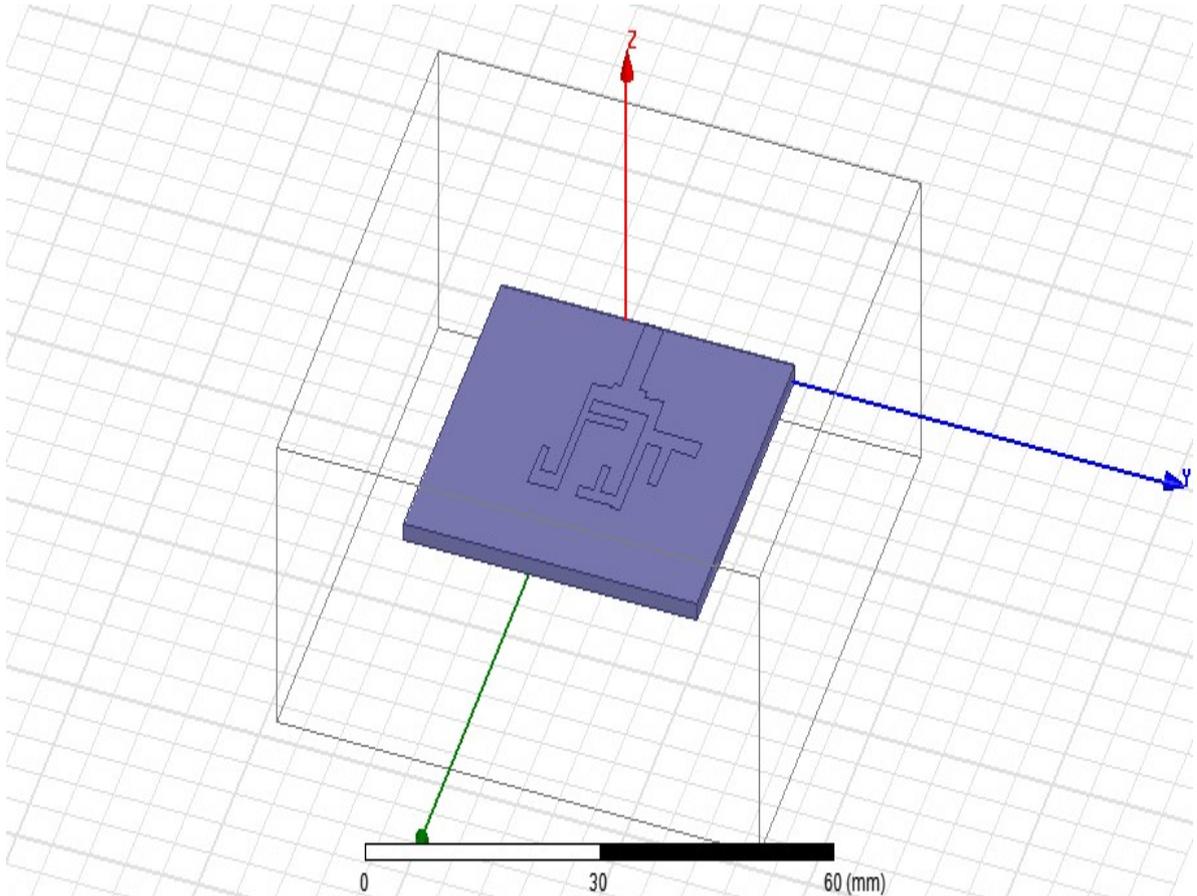


Figure III.1: Géométrie de l'antenne sous HFSS.

III.4.2.Coefficient de réflexion S11 et Rapport d'onde stationnaire (ROS) (VSWR)

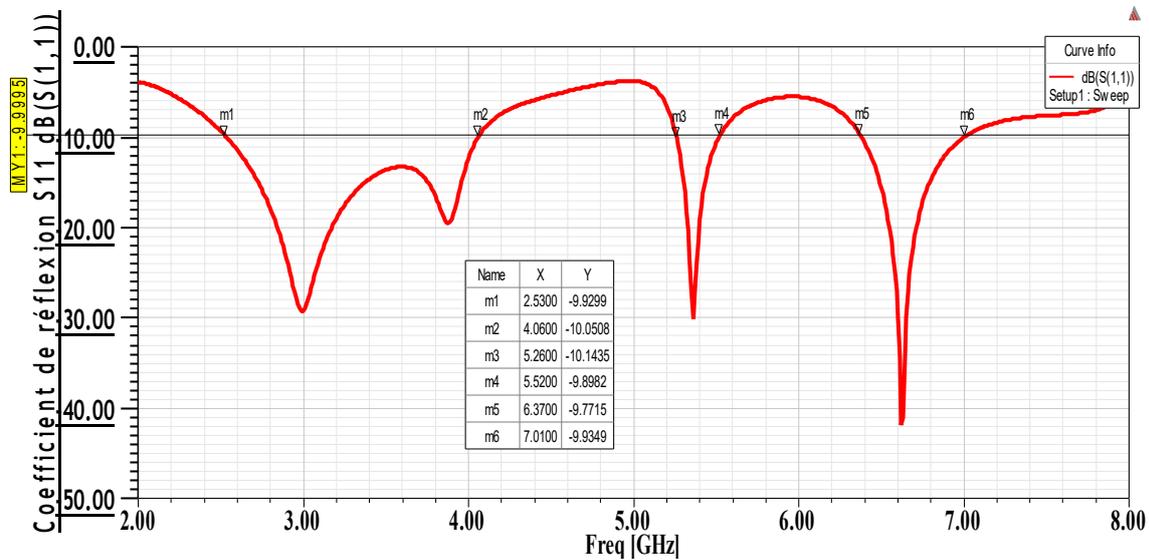


Figure III.2. : Coefficient de réflexion en utilisant les dimensions (le tableau III.1).

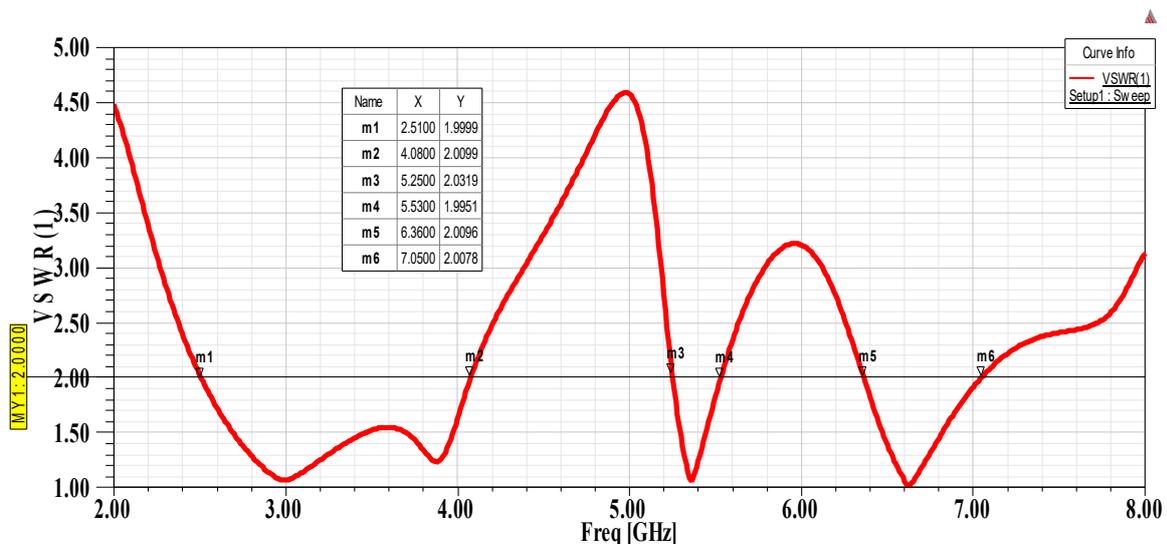


Figure III.3 : Rapport d'onde stationnaire en utilisant les dimensions (le tableau III.1)

D'après le coefficient de réflexion qui présente le rapport de transfert d'énergie entre la source d'alimentation et l'entrée de l'antenne (figure III.3), et le rapport d'onde stationnaire (figure III.4). On remarque qu'on a trois bandes :

- ❖ La première fréquence de résonance est 3 GHz (-29 dB) avec une bande passante s'étale entre (2.53 GHz et 4.06 GHz) ( $\Delta f = 1.53GHz$ ). C'est une large bande, donc elle convient aux WLAN.

- ❖ La deuxième fréquence de résonance est 5.4 GHz (-30) avec une bande passante s'étale entre (5.52 GHz et 6.37 GHz) ( $\Delta f = 0.85GHz$ ) cette fréquence peut être utilisée dans les applications WI-FI (5G).
- ❖ La troisième fréquence de résonance est 6.3 GHz (-42 dB) avec une bande passante s'étale (6.37 GHz et 7.01 GHz) ( $\Delta f = 0.64GHz$ ) cette fréquence peut être utilisée dans applications scientifiques (spectroscopie, la radiométrie, la télédétection).

### III.5. Etudes paramétriques

Dans cette partie, on présente l'effet de 2 paramètres du substrat: la largeur  $w$  et la longueur  $L$ . On joue sur les deux paramètres jusqu'à obtenir la fréquence de fonctionnement exactement 3 GHz et 5.4 GHz.

#### III.5.1. L'effet de la largeur du substrat $w$

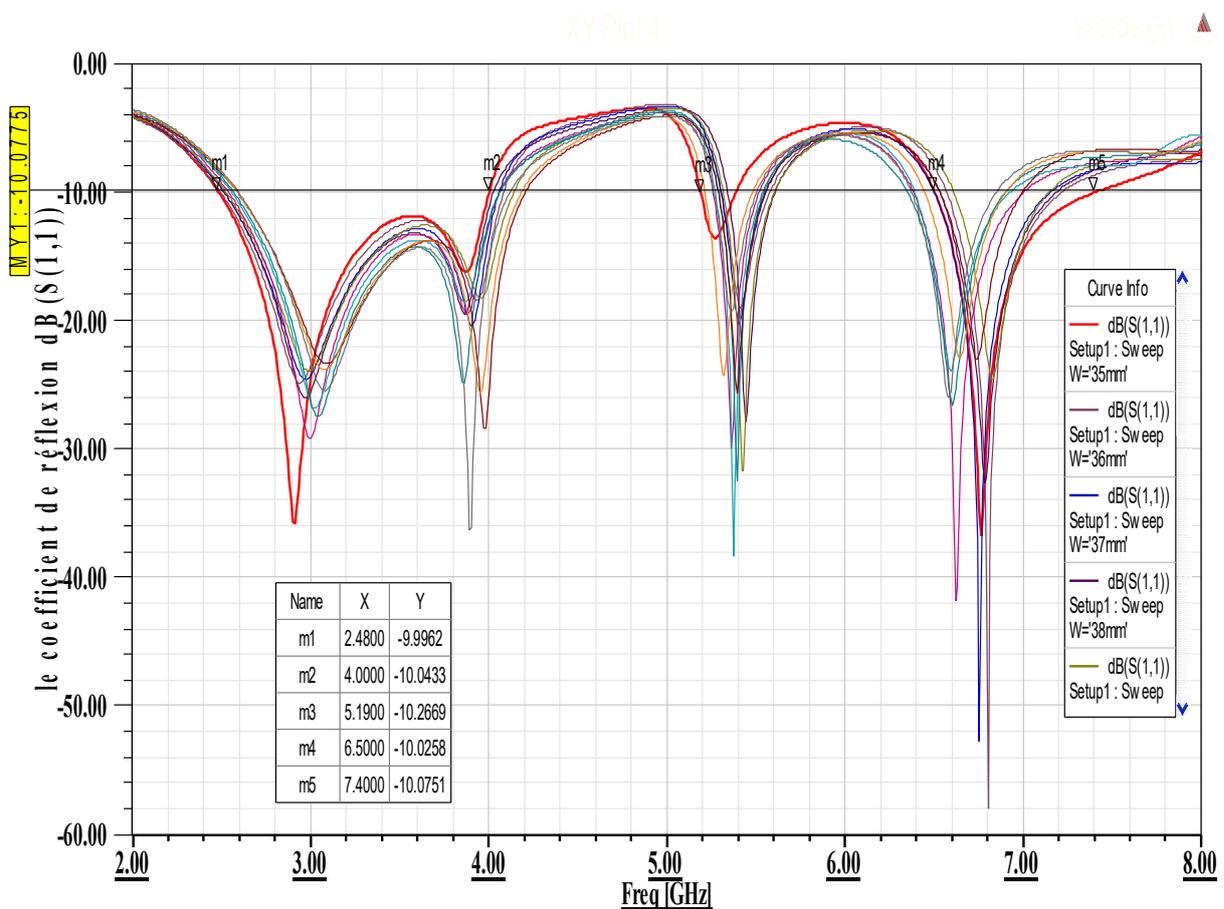


Figure III.4 : Effet de la largeur du substrat ( $W$ ) sur le coefficient de réflexion.

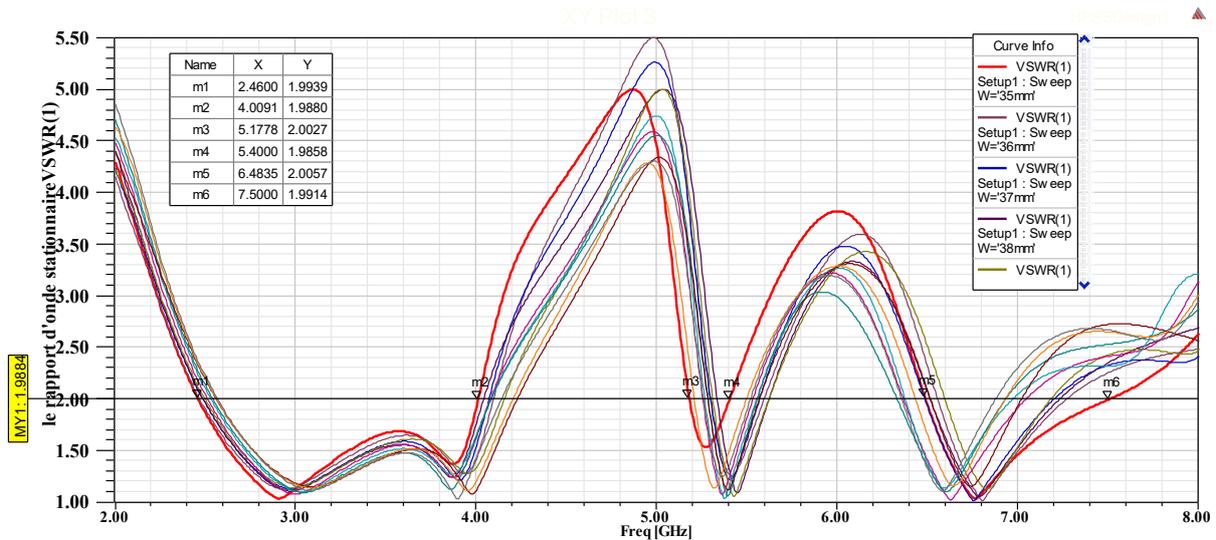


Figure III.5 : Effet de la largeur du substrat ( $W$ ) sur le rapport d'onde stationnaire.

Pour étudier l'impact de la largeur du substrat ( $w$ ) sur les caractéristiques de l'antenne, une plage allant de 35 mm à 45 mm a été considérée avec un pas de 1 mm ( $L$  40 mm). Les coefficients de réflexion et les rapports d'onde stationnaires correspondants en fonction de la fréquence sont représentés dans les figures III.5 et III.6. D'après la figure III.5, nous constatons que la courbe rouge ( $w=35$ mm) donne un coefficient de réflexion réduit pour les fréquences de résonances 3 GHz et 5.4 GHz. De même, en examinant la figure III.6, nous remarquons que la courbe rouge (35 mm), la valeur du rapport d'onde stationnaire est proche de 1 aux fréquences désirées 3 GHz et 5.4 GHz. Il est également important de noter qu'avec l'augmentation de la largeur ( $w$ ) (dans la plage de 35 mm à 45 mm), présente un décalage de la fréquence de résonance.

### III.5.2.L'effet de la longueur du substrat $L$

Afin d'étudier l'influence de la longueur du substrat ( $L$ ), nous avons considéré une plage s'étendant de 35 mm à 45 mm avec un pas de 1 mm (la longueur du substrat étant fixée à 40 mm). Les coefficients de réflexion et les rapports d'onde stationnaires correspondants en fonction de la fréquence sont présentés dans les figures III.7 et III.8. En observant ces figures, nous constatons que la courbe bleue ( $L=42$  mm) présente des fréquences de résonances proches aux fréquences 3 GHz et 5.4 GHz.

De même, en examinant la figure III.3, nous remarquons que la courbe bleue (42 mm) présente un rapport d'onde stationnaire acceptable aux fréquences désirées 3 GHz et 5.4 GHz.

Il est également important de noter qu'avec l'augmentation de la longueur ( $L$ ) dans la plage de 35 mm à 45 mm, se montrent avec un décalage de la fréquence de résonance.

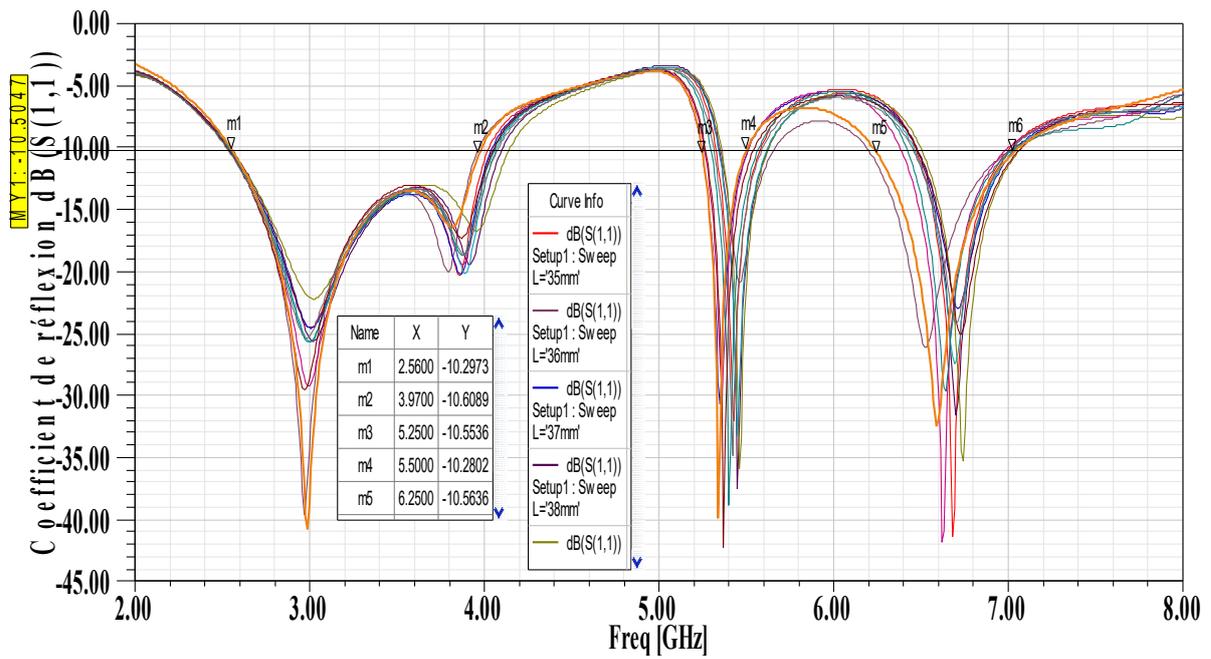


Figure III.6 : Effet de la longueur du substrat (L) sur le coefficient de réflexion.

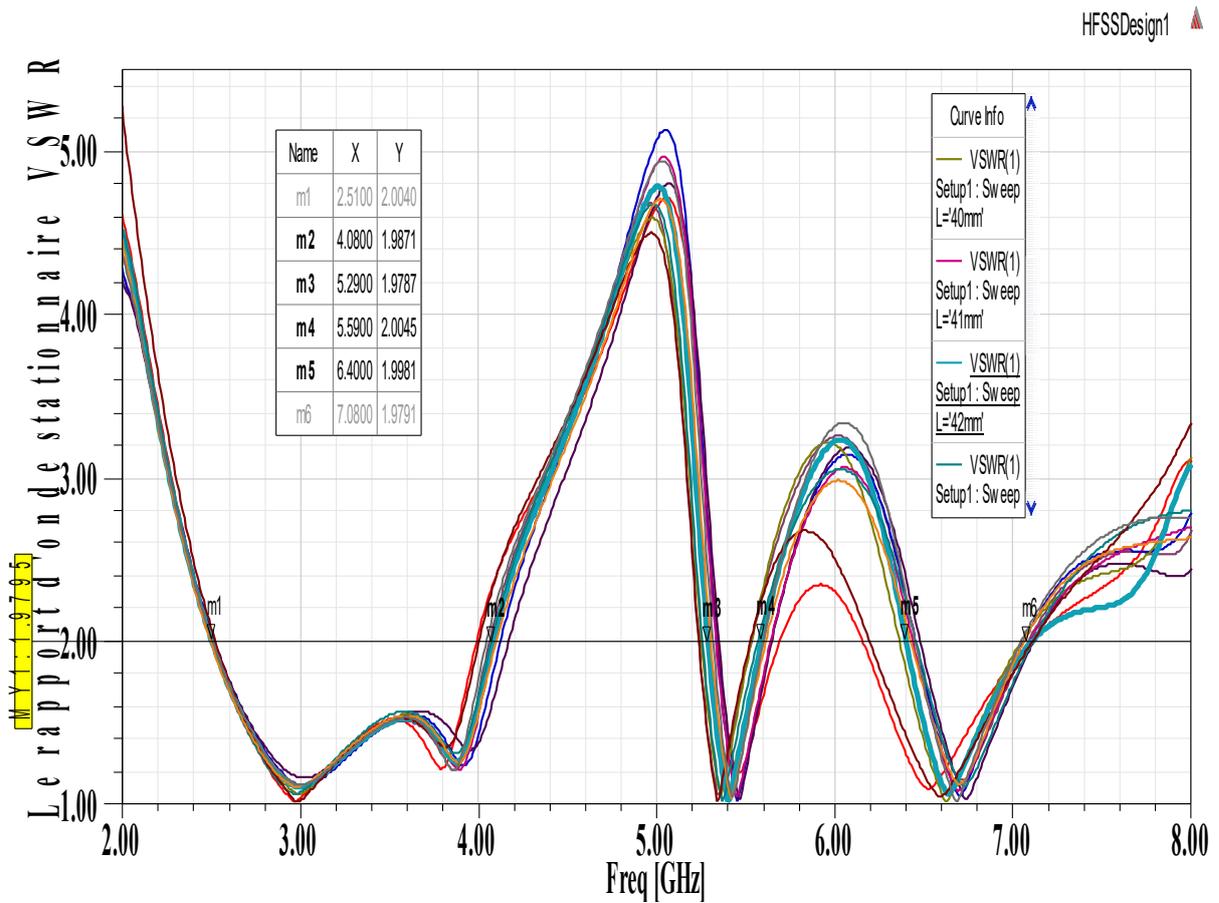


Figure III.7 : Effet de la longueur du substrat (L) sur le rapport d'onde stationnaire.

### III.6.Optimisation de l'antenne

L'optimisation de l'antenne vise à trouver les dimensions qui offrent les meilleures performances en termes de fréquence de résonance et de coefficient de réflexion. Dans ce cas, nous cherchons à déterminer le meilleur couple (L, w) longueur et largeur du substrat pour obtenir les fréquences de résonance 3 GHz et 5.4 GHz. La figure III.9 présente les coefficients de réflexion en fonction de la fréquence pour les différents couples (L, w) testés.

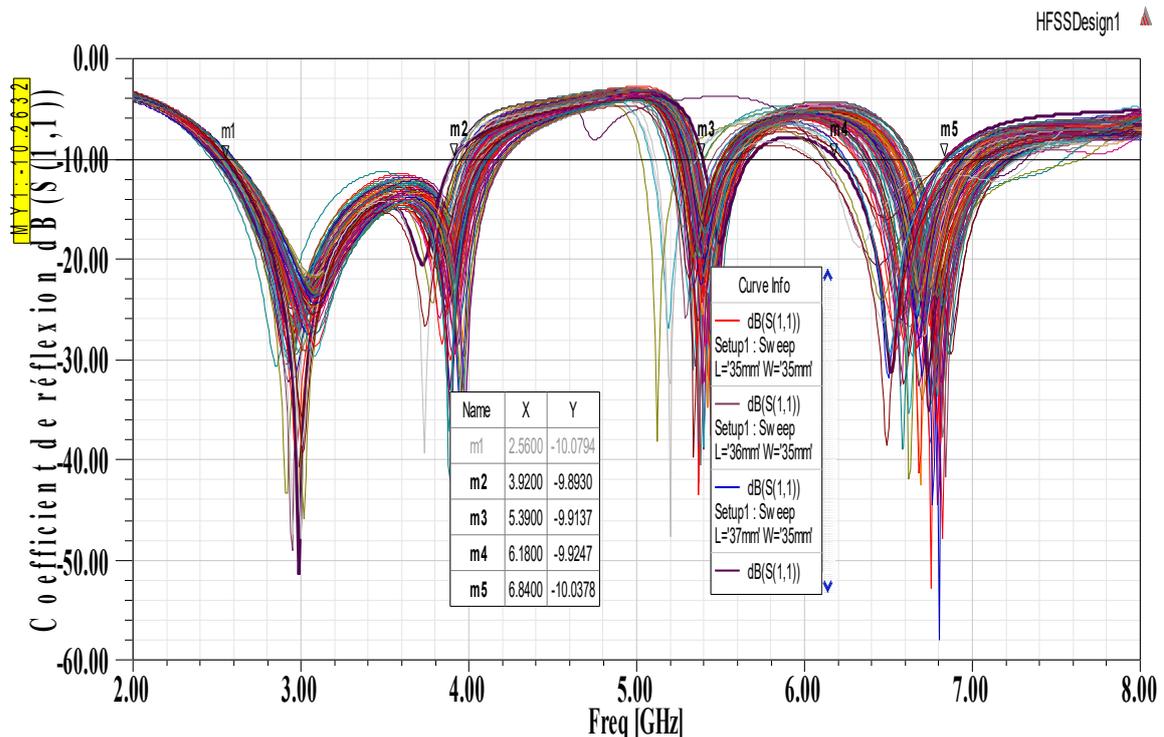


Figure III.9 : Effet de la longueur (L) et la largeur du substrat (w) sur le coefficient de réflexion.

D'après la figure III.9, nous pouvons observer que chaque combinaison de valeurs de (L, w) présente une fréquence de résonance spécifique, et que le coefficient de réflexion varie en fonction de ces paramètres. Et aussi on peut distinguer trois couples qui donnent des fréquences adéquates aux applications désignées. Les couples : (L=36 mm, w=37 mm) , (L=38 mm, w=44 mm) et (L=44 mm, w=39 mm).

#### **Le couple (L=36 mm, w=37 mm) :**

- ❖ La première fréquence de résonance est 2.99 GHz (-47.54 dB) avec une bande passante c'étale entre (2.52 GHz et 4 GHz) ( $\Delta f = 1.48 GHz$ ); C'est une large bande, donc elle convient aux WLAN.
- ❖ La deuxième fréquence de résonance est 5.48 GHz (-25.11) avec une bande passante c'étale entre (5.36 GHz et 5.64 GHz) ( $\Delta f = 0.27GHz$ ) cette bande est un

peu étroite para port à la première fréquence, elle peut être utilisée dans les applications WI-FI (5G).

- ❖ La troisième fréquence de résonance est 6.69 GHz (-42.52 dB) avec une bande passante c'étale (6.53 GHz et 7.22 GHz) ( $\Delta f = 0.69GHz$ ) cette fréquence peut être utilisée dans applications scientifiques (spectroscopie, la radiométrie, la télédétection).

**Le couple ( $L=38\text{ mm}$ ,  $w=44\text{ mm}$ ) :**

- ❖ La première fréquence de résonance est 3.02 GHz (-45.984 dB) avec une bande passante c'étale entre (2.56 GHz et 3.97 GHz) ( $\Delta f = 1.41\text{ GHz}$ ). C'est une bande qui convient aux WLAN.
- ❖ La deuxième fréquence de résonance est 5.12 GHz (-38.17) avec une bande passante c'étale entre (5.03 GHz et 5.3 GHz) ( $\Delta f = 0.27\text{ GHz}$ ) cette fréquence peut être utilisée dans les applications WI-FI (5G).
- ❖ La troisième fréquence de résonance est 6.45 GHz (-24.5 dB) avec une bande passante c'étale (6.11 GHz et 6.86 GHz) ( $\Delta f = 0.75GHz$ ) cette fréquence peut être utilisée dans applications scientifiques (spectroscopie, la radiométrie, la télédétection).

**Le couple ( $L=44\text{ mm}$ ,  $w=39\text{ mm}$ ) :**

- ❖ La première fréquence de résonance est 2.95 GHz (-47.54 dB) avec une bande passante c'étale entre (2.51 GHz et 3.49 GHz) ( $\Delta f = 0.98GHz$ ). C'est une bande qui convient aux WLAN.
- ❖ La deuxième fréquence de résonance est 5.2 GHz (-47.72) avec une bande passante c'étale entre (5.2 GHz et 5.36 GHz) ( $\Delta f = 0.16\text{ GHz}$ ) cette fréquence peut être utilisée dans les applications WI-FI (5G).
- ❖ La troisième fréquence de résonance est 6.63 GHz (-24.5 dB) avec une bande passante c'étale (6.23 GHz et 7.1 GHz) ( $\Delta f = 0.77GHz$ ) cette fréquence peut être utilisée dans applications scientifiques (spectroscopie, la radiométrie, la télédétection).

Les couples cités juste avant donnent des proches caractéristiques, mais le couple ( $L=36\text{ mm}$ ,  $w=37\text{ mm}$ ) présente une réduction de taille de l'antenne (surface) d'ordre de  $268\text{ mm}^2$  (1600-1332).

Les rapports d'onde stationnaires sont illustrés dans la figure III.10.

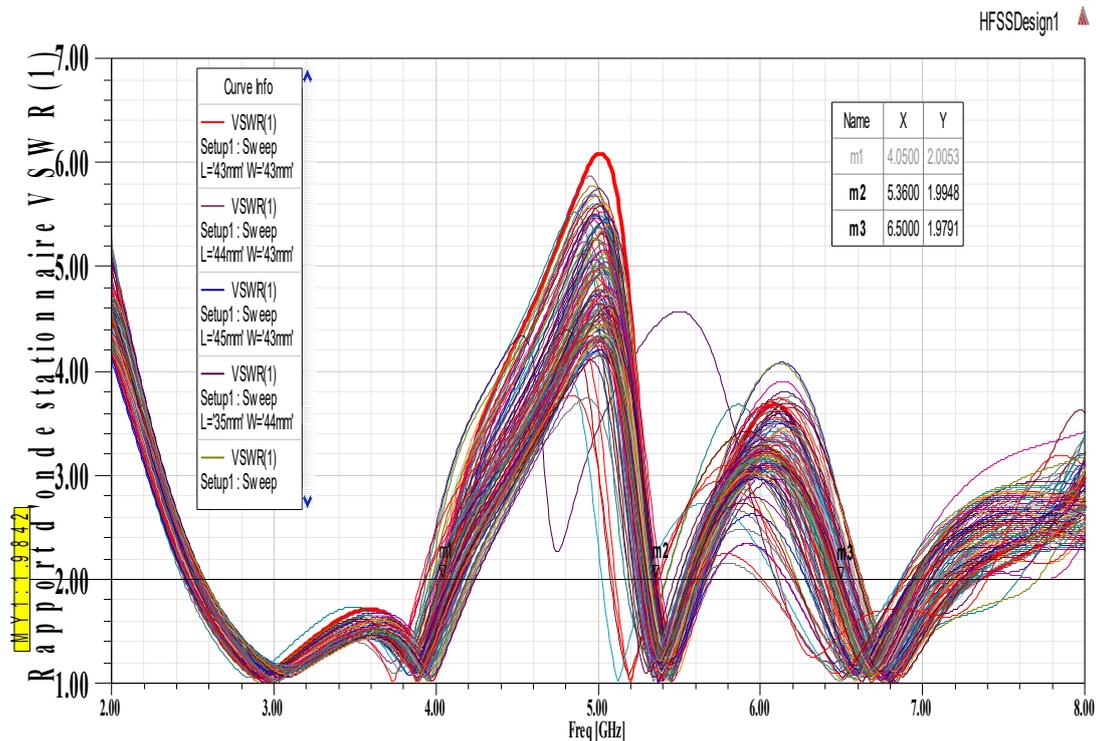


Figure III.10 : Effet de la longueur (L) et la largeur du substrat (w) sur le rapport d'onde stationnaire.

### III.7.Modèle du fantôme humain

Les fantômes humains sont des modèles numérique du corps humain utilisés pour l'analyse des antennes destinées centrées sur les corps humains [21].

Tableau III.2: Propriétés des tissus humains

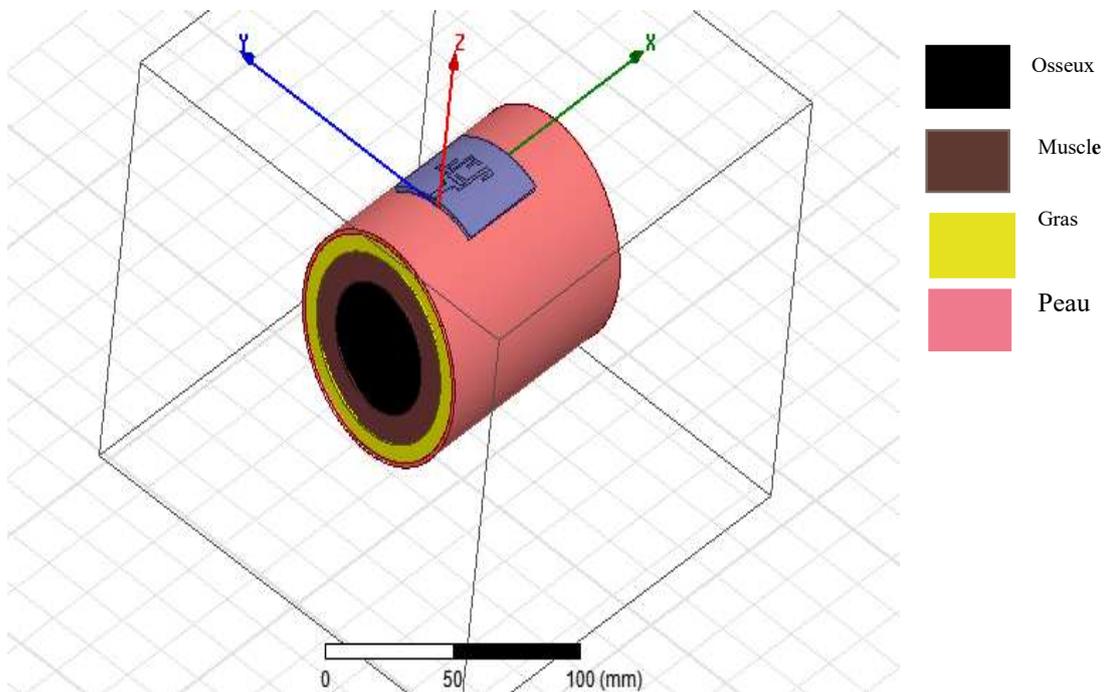
Tissu	$\epsilon_r/3\text{ GHz}$	Conductivité S/m	$\epsilon_r/5.4\text{ GHz}$	Conductivité S/m
osseux	11.41	0.384	9.946	1.010
Muscle	52.79	1.705	49.27	4.266
Graisse	5.28	0.102	5.010	0.254
peau	38.06	1.440	35.61	3.218

Afin d'étudier l'effet du corps humain sur les caractéristique de l'antenne portable On-body, on doit utiliser un modèle de fantôme humain (Le modèle fantôme humain utilisé est pris de l'article [21]) est montré dans la figure III.11, Ce modèle est composé de quatre couches différentes représentant respectivement l'os, le muscle, la graisse et la peau comme présenté dans la figure III.11. Chacune de ces couches possède des propriétés diélectriques

et de conductivité différentes aux différentes fréquences, comme indiqué dans le tableau III.2 [21].

La figure III.11. illustre l'antenne qui est placée sur un bras de 100 mm de diamètre composé de quatre couches. Les résultats de simulation sont donnés dans ce qui suit :

### III.7.1.Géométrie de l'antenne placée sur un modèle fantôme humain (avec un substrat flexible)



**Figure III.11 : Structure de l'antenne sur un fantôme avec un substrat flexible.**

Nous avons réalisé une nouvelle simulation en tenant compte de la présence d'un modèle d'une poignée humaine, et en utilisant un substrat flexible comme est illustré dans la figure III.11.

Le coefficient de réflexion correspondant est présenté dans la figure III.12. D'après cette dernière, on constate une légère modification de la bande de fréquence (On s'intéresse qu'à la bande destinée aux applications biomédicales). On remarque aussi que la fréquence de résonance est d'ordre de 3.6 (-18.1 dB) (augmentation de la fréquence) avec une bande passante s'étalant de 2 GHz jusqu'à 3.83 GHz (élargissement de la bande).

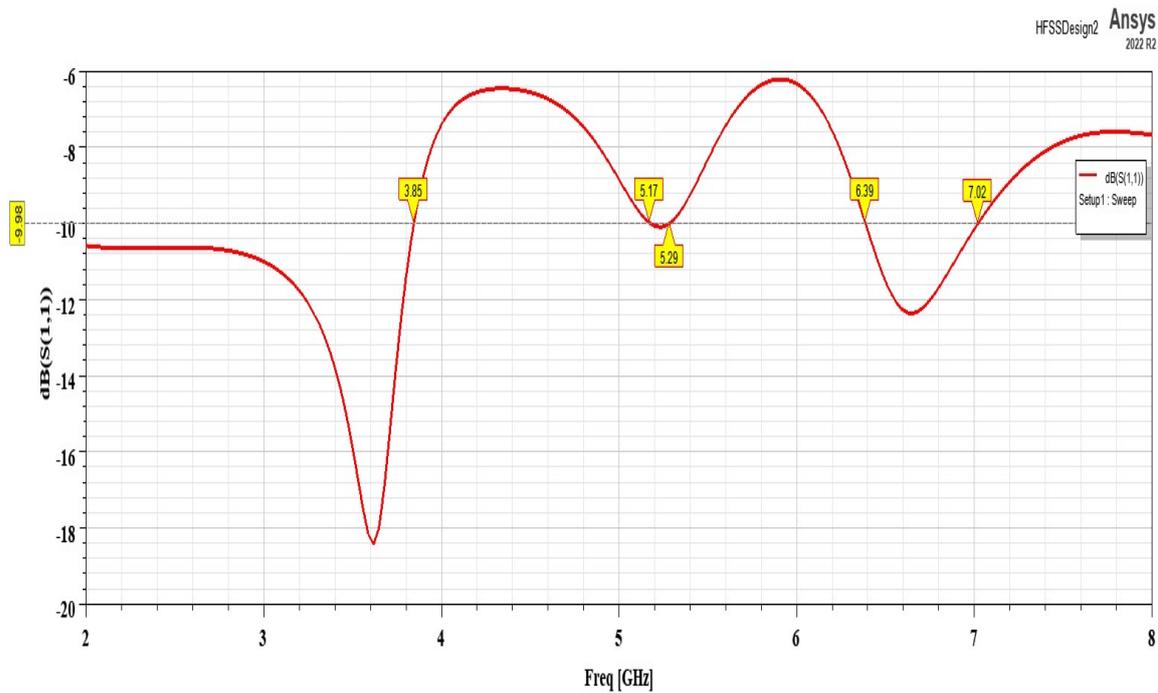


Figure III.12. Coefficient de réflexion de l'antenne sur un fantôme avec un substrat flexible.

### III.7.2. L'antenne placée sur un modèle de fantôme humain avec un substrat flexible

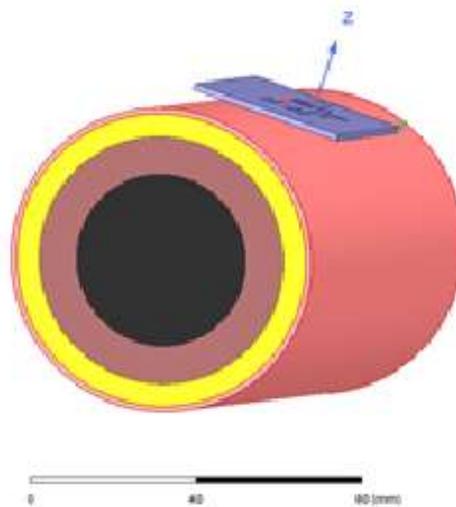


Figure III.13 : Structure de l'antenne sur un fantôme avec un substrat non flexible.

Cette fois, nous avons réalisé une nouvelle simulation en tenant compte de la présence d'une modalité d'une poignée humaine, tout en utilisant un substrat non flexible, comme est illustré dans la figure III.13. Les coefficients de réflexion sont présentés dans la Figure III.14. D'après cette dernière, nous avons observé un léger changement au niveau des bandes passantes. Les bandes précédemment utilisées pour les applications biomédicales et Wi-Fi (5G), se sont étendues. La première bande devient large de 4,04 GHz, allant de 1,62

GHz à 5,66 GHz. La deuxième bande WLAN s'est également élargie, couvrant désormais de 6,52 GHz à plus de 8 GHz.

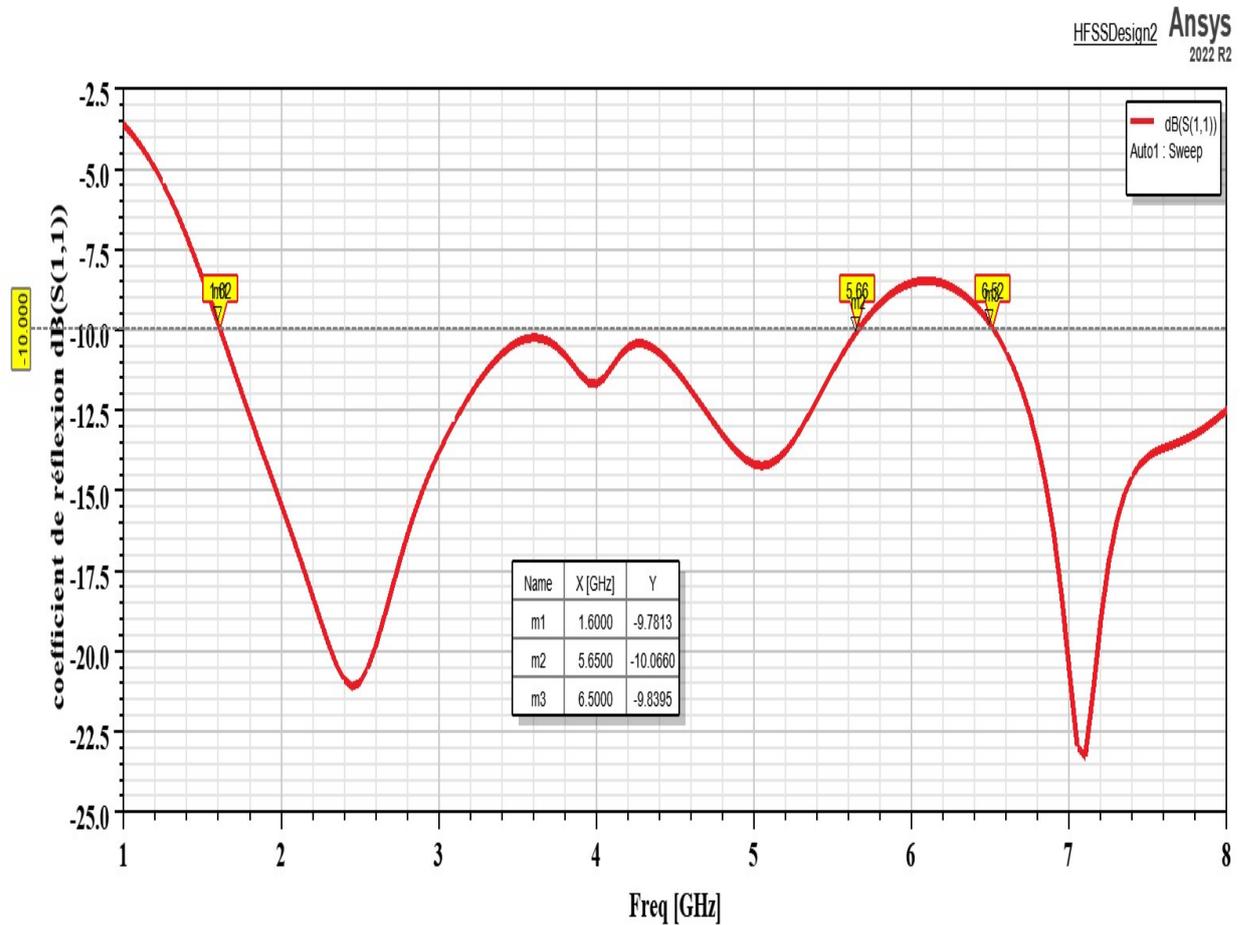


Figure III 13. Coefficient de réflexion de l'antenne sur un fantôme avec un substrat non flexible.

### III.7.3. Comparaison entre l'antenne avec un substrat flexible et l'antenne avec un substrat non flexible

D'après les figures III.13 et III.14, on remarque un petit décalage entre les fréquences de résonance de la validation et de l'article, dans les deux cas de substrat flexible ou non (on body et off body). Pour la comparaison au se limite qu'à la bande destinée aux applications biomédicales.

Pour le cas on body (substrat flexible), la fréquence de résonance de l'article est d'ordre de 3.2 GHz (-28 dB) (figure III.15) [21] qui un peu proche de notre résultat qui est d'ordre 3.6 GHz (-18 dB) (figure III.12).

Pour le cas off body (substrat non flexible), la fréquence de résonance de l'article est d'ordre de 3.6 (-29 dB) [21] qui proche de notre résultat qui d'ordre 3.42 GHz (-18 dB) (figure III.12).

En conclusion, on peut dire la validation est faite avec succès et les légères différences entre nos résultats et ceux de l'article peuvent être dus aux certains dimensions qui ne sont pas données dans l'article [21].

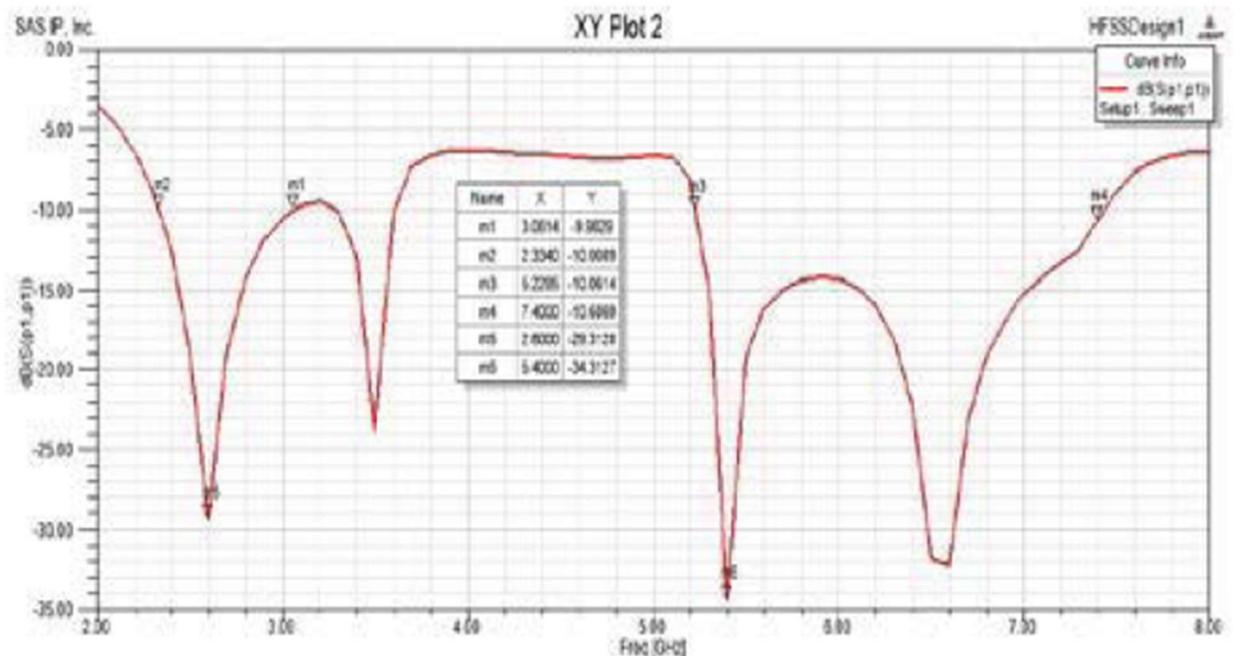


Figure III.14 : Coefficient de réflexion S11 de l'article off-body [21]

### III.9.conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la conception et la simulation d'une antenne patch à double bande (3 GHz et 5,4 GHz, 6.3 GHz.). L'antenne est destinée aux communications sans fil on- body.

Dans un premier lieu, la partie de simulation est consacré à la validation de l'article [21]. D'après les résultats correspondants, on remarque une légère différence entre nos résultats et ceux de l'article.

Les légères différences entre nos résultats et ceux d'article [21], exigent une étude paramétrique des paramètres géométrique (dimensions: largeur w, longueur L) suivies par une optimisation des deux paramètres longueur et largeur de substrat.

En fin, la troisième partie est consacrée à simulation de l'antenne montée, sur un fantôme avec un substrat flexible (on body) et puis sur un substrat non flexible (off body).

## Conclusion générale

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les généralités sur les antennes imprimées, en expliquant leur structure, leurs caractéristiques (directivité, coefficient de réflexion, impédance d'entrée, rendement et gain), ainsi que leurs avantages et inconvénients. Nous avons également abordé les différentes techniques d'alimentation des antennes imprimées.

Dans le deuxième chapitre, nous avons exploré les applications des antennes dans le domaine biomédical, en particulier la communication sans fil à travers le corps humain. Nous avons examiné les caractéristiques diélectriques du corps humain et l'interaction entre les antennes portables et le corps humain, y compris les effets sur le corps humain.

Dans le dernier chapitre on a présenté les résultats de simulations des paramètres d'une antenne micro-ruban microstripe body sous le logiciel HFSS.

En conclusion, la conception d'une antenne microruban bi-bande est une solution efficace pour les communications sans fil centrées sur le corps humain. Cette approche permet une communication à la fois fiable et stable, et peut être utilisée dans diverses applications médicales telles que la télémédecine, la surveillance de la santé et le suivi des patients. En outre, la conception d'antenne microruban bi-bande offre une meilleure efficacité de la transmission des signaux, ce qui améliore la qualité de la communication sans fil. Il est donc important de continuer à explorer et à développer des antennes microruban bi-bande pour les communications sans fil sur le corps humain afin de répondre aux besoins croissants de la médecine moderne.

## Bibliographie

- [1] Hemmas Mohamed Abdraouf, Ben Alia Mohamed Amin, Bey Aymen Baha Eddine, , *“Conception Et Simulation D’une Antenne Imprimée,”*, Bordj Bou Arreridj,: Université De Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi , 2021..
- [2] Lakhlef Nora, *“Etude et Optimisation des Réseaux d’Antennes”*, M’sila, Electronique: Université Mohamed Boudiaf , 2021.
- [3] Sidi Yakoub Wafa , Khatir BenMeheimda Bochra, *“Conception D’un Réseau D’antennes Patch Pour Les Applications Satellitaires En Bande C”*, Ain Temouchent, Réseau de Télécommunication: Université–Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib, 2020/2021.
- [4] Bouchelig Siham Et Chaker Amina, *Conception D’une Antenne Bi-Bande Pour Des Applications 5G*, M’SILA: UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF- M’SILA, 2021 /2022.
- [5] Soltane Samia, «Etud Et Carcterisation D’antennes Imprimées Pour Systeme ULTRA-LARGE BANDE,» Université Mohamed Khider – Biskra Du Signaux Et Communications, Biskra, 2015.
- [6] C. A. Balanis, Wiley- Inter , *Antenna Theory: Analysis And Design*, science,3rd Edition, 2005..
- [7] Anushi Arora , Aditya Khemchandani , Yash Rawat , Shashank Singhai , Gaurav Chaitanya , «Comparative study of different Feeding Techniques for Rectangular Microstrip Patch Antenna,» *Department of Electronics and Communication Engineering*.
- [8] K. R. Carver & J. W.Mink,, «Microstrip Antenna Technology,» *IEEE Transactions.Antennas Propagation, Vols. AP-29,*, January 1981..
- [9] T. Durga Prasad, K. V. Satya Kumar, MD Khwaja Muinuddin, Chisti B.Kanthamma, V.Santosh, «“Comparisons of Circular and Rectangular Microstrip Patch,”,» *International Journal of Communication Engineering Applications-IJCEA,*.
- [10] K. M. L., . H. W. L. Kai Fong Lee, *Microstrip Patch Antennas 2nd*, USA,China: The University Of Mississippi, USA,City University Of Hong Kong, China, 2017.
- [11] Ranjan Mishra,, «“An Overview Of Microstrip Antenna,”,» August 2016.
- [12] Amit Kumar , Jaspreet Kaur , Rajinder Singh, « Performance Analysis of Different Feeding Techniques,» *Article International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* , March 2013.
- [13] N. T. Markad, R. D. Kanphade & D. G Wakade,, «Design of Cavity Model Microstrip Patch Antennas”»,» *Computer Engineering and Intelligent Systems, vol. 6, 4 no* 2015.
- [14] Muhammad Asam1, Tauseef Jamal2,Muhammad Adeel3, Areeb Hassan4, Shariq Aziz Butt5Aleena Ajaz6,Maryam Gulzar7,IJACSA, «“Challenges in Wireless Body Area Network,”,» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications,*, 2019.

## ***Bibliographie***

---

- [15] Peter S.Hall ,Yang Hao, “*Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Second Edition*”, British, 2012.
- [16] Koichi Itoa, Chia-Heisn Lina, and Ho-Yu Linb., «“Evaluation of Wearable and Implantable Antennas with Human”», 2015.
- [17] B. M. Kennouche Nourelhouda, «“Etude et Conception des antennes PIFAs bi-bandes pour applications biomédicales”», Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, Bordj Bou Arreridj, 15/09/2021.
- [18] S. Karthikeyan<sup>1</sup>, Yedduri. Venu Gopal<sup>2</sup>, V. Giri Narendra Kumar<sup>3</sup>, T. Ravi<sup>4</sup>,, «“Design and Analysis of Wearable Antenna for Wireless Body Area Network”», 2019.
- [19] A. K. C. Ankita Priya,, «“A Review of Textile and Cloth Fabric Wearable”», *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, April 2015..
- [20] Satyabrata Maiti<sup>1</sup>, Sudip Kumar Rajak<sup>2</sup>, Amrit Mukherjee<sup>3</sup>, «Design of a Compact Ultra Wide Band Microstrip Patch Antenna», July 11-13, 2014,.
- [21] Omar A. Saraereh,, «Microstrip Wearable Dual-Band Antenna Design for ON Body Wireless», *International Conference on Computer and Communication Systems*, 2019.