

REMERCIEMENTS

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Ces quelques lignes ne pourront jamais exprimer la reconnaissance que nous éprouvons envers tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils et leurs encouragements à l'aboutissement de ce travail.

Nous remercions notre encadreur de mémoire, Dr. BEHJIH Mohamed, de nous avoir accompagnés dans la réalisation de ce modeste travail. Il a toujours su être de bons conseils pour la création de l'application, la rédaction du mémoire et sa présentation.

Également, nous remercions tous nos professeurs qui ont souvent cru en nous et qui nous ont guidés et encouragés à persévérer dans nos travaux de recherches toujours au bon moment.

Nous remercions chaleureusement les membres de jury qui nous ont honorés de leurs présences et d'avoir accepté d'évaluer ce mémoire à sa juste valeur. Nous ne saurions oublier de remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Pour fi nos derniers mots de remerciements vont tout naturellement à nos familles pour leurs soutiens, à nos amis.

merci

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à : A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

Dédicaces A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon fiancé MABROUK, et bien sûr A mes frère, sans oublié ma grand-mère et ma grand -père que j'aime. A toute ma famille, et mes amis.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères et mes sœurs, YOUNES, IYNESSE, KHALED, MALOKA, CHAHRA, et YOSRA.

Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur BOCHRA, ASMA, MERIEM, HOUDA et LAMIA.

NASRI MARWA

Dédicace

*Je tiens sincère- rement à dédier
ce modeste travail à la personne la plus
chère à mon cœur, ma maman. Elle qui a tant
fait pour nous et à qui je dois tous mes succès. A
mon papa, mon modèle de courage et de sacrifices.
Tout au long de sa vie, il n'a su ménager ses effor-
ts pour notre bien. A ma sœurs Amel, et mon
frère Mohamed, pour leurs encouragements.
A l'homme que j'aime et qui m'a soutenu
tout au long de ce travail, mon cher
mari SALEH. A mes chères amies
WIDAD, MARWA, HOUDA.
A tous mes collègues
Et mes amies*

ZITOUNI LAMIA

Résumé

Ce travail a pour but d'étudier l'effet de changement des propriétés diélectriques des tissus biologiques sur le comportement d'une antenne PIFA 2.45GHz implantable utilisée pour les dispositifs médicaux implantables dans les réseaux corporels sans fil WBAN tel que le pacemaker. L'antenne étudiée a été implantée dans une structure biologique constituée de quatre couches : muscle, graisse, peau et sang. Les propriétés diélectriques de ces tissus simulent l'effet de changement du niveau du glucose dans le sang.

Les paramètres de l'antenne (coefficient de réflexion, diagramme de gain, le VSWR et la bande passante) calculés en utilisant le logiciel HFSS ont été discutés et interprétés. Une étude expérimentale complémentaire a été faite pour réaliser l'antenne simulée ainsi que le milieu d'implantation.

Les résultats obtenus montrent clairement que les paramètres diélectriques des tissus biologiques affectent considérablement le rendement des antennes implantées.

Mots clés : WBAN, PIFA, implantation, antenne, pacemaker.

ABSTRACT

This work aims to investigate the effect of changing the dielectric properties of biological tissues on the behavior of an implantable PIFA 2.45GHz antenna used for implantable medical devices in WBAN wireless body networks such as the pacemaker. The antenna studied was implanted in a biological structure consisting of four layers: muscle, fat, skin and blood. The dielectric properties of these tissues simulate the effect of changing the level of glucose in the blood. The antenna parameters (reflection coefficient, gain pattern, VSWR, and bandwidth) calculated using the HFSS software were discussed and interpreted. A complementary experimental study was done to realize the simulated antenna as well as the implantation medium. The results obtained clearly show that the dielectric parameters of biological tissues considerably affect the performance of implanted antennas.

Key words: WBAN, PIFA, implantation, antenna, pacemaker.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى استكشاف تأثير تغيير الخواص العازلة للأنسجة البيولوجية على سلوك هوائي PIFA 2.45 جيجا هرتز المزروع المستخدم في الأجهزة الطبية القابلة للزرع في شبكات الجسم اللاسلكية WBAN مثل منظم ضربات القلب. تم زرع الهوائي الذي تمت دراسته في بنية بيولوجية تتكون من أربع طبقات: العضلات والدهون والجلد والدم. تحاكي الخواص العازلة لهذه الأنسجة تأثير تغيير مستوى الجلوكوز في الدم. تمت مناقشة وتفسير معاملات الهوائي (معامل الانعكاس، مخطط الكسب، VSWR، وعرض النطاق الترددي) المحسوبة باستخدام برنامج HFSS. تم إجراء دراسة تجريبية تكميلية لتحقيق الهوائي المحاكاة وكذلك وسط الغرس. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح أن المعلمات العازلة للأنسجة البيولوجية تؤثر بشكل كبير على أداء الهوائيات المزروعة.

الكلمات المفتاحية: WBAN، PIFA، الغرس، الهوائي، جهاز تنظيم ضربات القلب.

Table des matières

Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Résumé.....	iii
Abstract.....	iv
ملخص.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	x
Table des abréviations.....	xi
Notation	xii

<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
------------------------------------	----------

Chapitre I. Les antennes imprimées et la Miniaturisation

I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition.....	3
I.3. Les paramètres fondamentaux d'une antenne.....	4
I.3.1. Le diagramme de rayonnement	4
I.3.1.1. Lobes d'un diagramme de rayonnement	5
I.3.1.2. Diagramme isotrope, directionnel et omnidirectionnel.....	7
I.3.1.3. Diagrammes principaux	8
I.3.1.4. Zones de rayonnement	8
I.3.2. densité de puissance de rayonnement.....	9
I.3.3. Intensité de rayonnement.....	10
I.3.4. Largeur de faisceau (ouverture angulaire).....	11
I.3.5. Directivité.....	11
I.3.6. Efficacité d'une antenne.....	12
I.3.7. Gain.....	13
I.3.8. Efficacité d'angle.....	13
I.3.9. Bande passante.....	14
I.4. Les antennes imprimées.....	14
I.4.1. Caractéristiques physiques des antennes imprimées.....	14
I.4.2. Propriétés des antennes imprimées.....	15
I.4.3. Alimentation d'une antenne imprimée.....	15
I.4.3.1. Alimentation par une sonde coaxiale.....	16
I.4.3.2. Alimentation par couplage de proximité.....	16
I.4.3.3. Alimentation par couplage à travers une fente.....	17
I.5. Les antennes planes en <i>f inversé</i> PIFA.....	18
I.5.1. Effets des paramètres géométriques.....	19

I.5.2. Effets du plan de masse.....	20
I.6. conclusion.....	20

Chapitre II. Réseaux corporels sans fil et dispositifs médicaux implantés

II.1. introduction.....	21
II.2. Les réseaux sans fils.....	21
II.2.1. définition.....	21
II.2.2. Les réseaux personnels et les réseaux corporels BAN.....	21
II.3. Les réseaux de capteurs sans fil.....	22
II.3.1. Les réseaux de capteurs médicaux sans fil.....	23
II.4. Réseaux corporels sans fil WBAN.....	24
II.4.1. Définition.....	24
II.4.2. Architecture des réseaux WBAN.....	25
II.4.3. Topologies des réseaux WBAN.....	26
II.4.4. Contraintes des réseaux WBANs.....	27
II.4.5. Le standard IEEE 802.15.6.....	28
II.5. Dispositifs médicaux implantés.....	29
II.5.1. Stimulateur cardiaque.....	29
II.5.2. Stimulateur cardiaque moderne.....	29
II.5.3. Le capteurs de glucose.....	31
II.6. Conclusion.....	32

Chapitre III. Interaction tissus biologiques-champs électromagnétique

III.1. Introduction.....	33
III.2. Calcul des propriétés diélectriques des tissus biologiques.....	34
III.2.1. Permittivité complexe $\bar{\epsilon}$	35
III.2.2. Perméabilité complexe $\bar{\mu}$	35
III.2.3. L'impédance et l'atténuation dans les milieux à pertes.....	36
III.2.4. Pénétration des champs dans les tissus biologiques.....	37
III.2.5. Débit d'absorption spécifique DAS.....	39
III.3. Effet des propriétés diélectrique du corps humain sur les antennes.....	40
III.4. modélisation des tissus biologique.....	41
III.5. La Méthode des éléments finis.....	42
III.6. conclusion.....	43

Chapitre IV. Simulation et Résultats

IV.1. introduction.....	44
IV.2. procédure et organigramme de travail.....	44
IV.3. simulation et résultats.....	44
IV.3.1. présentation du logiciel HFSS	44
IV.3.2. éléments de travail et considération	45
➤ Type d'antenne.....	45
➤ Fréquence de travail.....	45

➤ Source d'alimentation et ligne de transmission	45
➤ Adaptation d'impédance	45
IV.3.3. description de l'antenne implantée simulée	46
A. Antenne	47
B. Le milieu biologique	49
C. Résultats et discussion	50
1. Le coefficient de réflexion	50
2. Diagramme de gain	51
3. La bande passante	51
4. VSWR	52
D. Effet des propriétés électriques des tissus biologique sur les paramètres de l'antenne (cas hypoglycémie).....	53
1. Le coefficient de réflexion	54
2. Diagramme de gain	54
3. La bande passante	55
4. VSWR	55
E. Effet des propriétés électriques des tissus biologique sur les paramètres de l'antenne (cas hyperglycémie)	56
1. Le coefficient de réflexion	57
2. Le diagramme de gain	57
3. La bande passante	58
4. VSWR	58
F. Discussion des résultats de la simulation	58
IV.4. Expérimentation et mesure	59
IV.4.1.	59
IV.4.2. réalisation de l'antenne	59
IV.4.3. Préparation du milieu biologique	63
IV.5. conclusion.....	65
 <i>Conclusion générale</i>	 <i>66</i>

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Antenne comme dispositif de transition.....	3
Figure I.2. Circuit équivalent d'une antenne en mode de transmission.....	4
Figure I.3. Analyse d'une antenne dans un système de coordonnées sphériques.....	5
Figure I.4. Lobes de rayonnement et largeurs de faisceau d'un diagramme d'amplitude d'antenne sous forme polaire.....	6
Figure I.5. Diagramme de rayonnement directif.....	7
Figure I.6. Diagramme de rayonnement omnidirectionnel.....	8
Figure I.7. Zones de rayonnement d'une antenne.....	9
Figure I.8. Terminaux de référence et pertes d'une antenne.....	12
Figure I.9. Structure générale d'une antenne imprimée.....	14
Figure I.10. Antenne PIFA pour un téléphone portable (Ericsson T65).....	15
Figure I.11. Alimentation d'une antenne imprimé par une sonde coaxial	16
Figure I.12. Alimentation d'une antenne imprimée par couplage de proximité	17
Figure I.13. Alimentation d'une antenne imprimée par couplage à travers une fente.....	17
Figure I.14. . Développement des antennes monopolaires, monopoles planaires et Microrubans a des antennes PIFA	18
Figure I.15. la géométrie d'une antenne PIFA pratique	19

Chapitre II

Figure. II .1. Les réseaux BAN et les différentes classes de réseaux.....	22
Figure. II .2. Exemple d'un réseau de capteurs sans fil.....	23
Figure. II .3. Exemples de capteurs médicaux.....	23
Figure. II .4. Architecture des réseaux WBAN.....	26
Figure. II .5. Les topologies du réseau WBAN.....	26
Figure. II .6. Bandes de fréquences WBAN attribuées dans différents pays.....	28
Figure. II .7. Pacemaker implanté dans le corps humain.....	29
Figure. II .8. les composants d'un stimulateur cardiaque	30
Figure. II .9. Télesurveillance via la télémétrie par les stimulateurs cardiaques.....	30
Figure. II .10. Stimulateur cardiaque incluant une antenne boucle.....	30
Figure. II .11. Capteur de glucose implanté.....	31
Figure. II .12. Niveau du glucose dans le sang.....	32

Chapitre III

Figure III.1. La variation de la permittivité en fonction de la fréquence.....	35
Figure III.2. La variation de la conductivité en fonction de la fréquence.....	35
Figure III.3. Impédance du muscle, de la graisse et de la peau en fonction de la fréquence..	36
Figure III.4. Variation de l'atténuation dans le muscle, la graisse, et la peau en fonction de la fréquence.....	37
Figure III.5. Variation de la constante de phase dans le muscle, la graisse, et la peau en fonction de la fréquence.....	37
Figure III.6. Propagation des ondes électromagnétique dans les tissus biologiques	38
Figure III.7. La variation de profondeur de pénétration en fonction de la fréquence	38
Figure III.8. Modèle humain homogène utilisé pour l'implantation d'un pacemaker.....	41
Figure III.9. Quelques types d'éléments de la méthode des éléments finis.....	42

Chapitre IV

Figure IV.1. Organigramme du travail personnel effectué.....	44
Figure IV.2. l'interface d'utilisation de l'application AppCad.....	46
Figure IV.3. Implantation réelle d'un pacemaker	46
Figure IV.4. La géométrie de la structure de l'antenne PIFA.....	47
Figure IV.5. l'excitation de l'antenne	48
Figure IV.6. la représentation de l'antenne implantée dans les tissus biologique	49
Figure IV.7. le coefficient de réflexion de l'antenne implanté pour un corps bien santé.....	50
Figure IV.8. Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne implanté pour un corps bien santé	51
Figure IV.9. VSWR de l'antenne implantée	52
Figure IV.10. Illustration de calcul de la bande passante.....	52
Figure IV.11. le coefficient de réflexion dans le cas hypoglycémie.....	54
Figure IV.12. le diagramme de gain dans le cas hypoglycémie.....	54
Figure IV.13. Illustration de calcul de la bande passante.....	55
Figure IV.14. VSWR dans le cas hypoglycémie.....	55
Figure IV.15. Le coefficient de réflexion dans le cas hyperglycémie.....	57
Figure IV.16. Le diagramme de gain dans le cas hyperglycémie.....	57
Figure IV.17. Illustration de calcul de la bande passante.....	58
Figure IV.18. le VSWR dans le cas hyperglycémie.....	58
Figure IV.19. Circuit imprimé double face vierge (FR4 époxy).....	60
Figure IV.20. préparation du circuit imprimé vierge.....	60
Figure IV.21. Préparation du typon	60
Figure IV.22. Isolation.....	61
Figure IV.23. La révélation.....	61
Figure IV.24. La gravure.....	62
Figure IV.25. L'oxydation du circuit	62
Figure IV.26. perçage	63
Figure IV.27. Soudage.....	63
Figure IV.28. Milieu biologique (muscle, graisse, peau, sang) préparé pour faire les tests...	64
Figure IV.29. Milieu biologique (muscle, graisse, peau, sang) préparé pour faire les tests...	64
Figure IV.30. l'implantation de l'antenne dans la structure biologique	65

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau.II.1. récapitulatif sur les capteurs ainsi leurs fonctions.....	24
--	----

Chapitre III

Tableau III.1. Propriétés diélectriques du muscle, la graisse, la peau, et le sang.....	39
--	----

Chapitre IV

Tableau IV.1. Les valeurs de chaque paramètre.....	48
Tableau IV.2. les propriétés des tissus biologiques dans le cas normo glycémie.....	49
Tableau IV.3. les dimensions des couches du milieu biologique simulé.....	50
Tableau.IV.4. les propriétés des tissus biologiques dans le cas d'une hypoglycémie	53
Tableau.IV.5. les propriétés des tissus biologiques dans le cas hyperglycémie.....	56

Table des abréviations

WBAN	Wireless body Area Network
HPBW	Half Power Beam Width
FNBW	first null beamwidth
VSWR	Voltage standing wave ratio
RFID	<i>radio frequency identification</i>
PIFA	Planar Inverted F Antennas
WPAN	Wireless Personal Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WIFI	Wireless-Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WWAN	Wireless Wide-Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
BAN	Body Area Network
ECG	ElectroCardioGram
EEG	ElectroEncephaloGram
EMG	ElectroMyoGram
SpO2	Oxymètre de pouls
MAC	Media Access Control
Mbps	mégabits par seconde
ISM	Industrial, Scientific, & Medical radio frequency band
UWB	Ultra Wide-Band
WMTS	Wireless Medical Telemetry Service
MICS	Medical Implant Communications Service
HBC	Human body communication
CEA	Consumer Electronics Association
LETI	Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information
DAS	Débit d'absorption spécifique

Notation

Chapitre I

Z_g : impédance interne de générateur.

Z_c : l'impédance caractéristique de la ligne.

RL : la résistance de charge.

R_r : résistance de rayonnement.

XA : la réactance.

ZA : une charge.

||E|| : Le module du champ électrique.

f(Φ), θ=π/2 : le plan d'azimut.

(g(θ), Φ=constant) : le plan d'élévation.

$r_1 = 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$: Le rayon du sphère de la zone de champ proche réactive.

λ : la longueur d'onde.

D : la plus grande dimension de l'antenne.

$r_2 = \frac{2D^2}{\lambda}$: Le rayon du sphère de la zone de champ proche radiative (zone de Fresnel).

Wi : Vecteur de Poynting instantané [W/m²].

Ei : Intensité instantanée du champ électrique [V/m].

Hi : Intensité instantanée du champ magnétique [A/m].

Pi : Puissance totale instantanée [W].

\hat{n} : Vecteur unitaire normal à la surface.

da : zone infinitésimale de la surface fermée [m²].

W_{av}(x,y,z) : le vecteur de Poynting moyen dans le temps.

U : intensité de rayonnement [W / unité d'angle solide].

W_{rad} : Densité de rayonnement [W/m²].

D : directivité.

D₀ : Directivité maximale.

U : intensité de rayonnement [W / unité d'angle solide].

U_{max} : Intensité de rayonnement maximale [W / unité d'angle solide].

U₀ : Intensité de rayonnement de la source isotrope [W / unité d'angle solide].

P_{rad} : Puissance totale rayonnée [w].

e₀ = e_re_ce_d .

e₀ : efficacité totale

e_r : efficacité de la réflexion (Désadaptation) (= 1 - |Γ|²).

e_c : efficacité de conduction

e_d : efficacité de diélectrique

$\Gamma = \frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0}$: Le ROS.

Z_{in} : Impédance d'entrée de l'antenne.

Z₀ : Impédance caractéristique de la ligne.

BE : l'efficacité du faisceau.

ε_{eff} : Permittivité effective.

C : La vitesse de la lumière (3.10⁸m/s).

ε_r Est la permittivité relative du substrat.

L*W : dimensions de l'élément rayonnant .

H : hauteur de l'élément rayonnant.

Lg*Wg : dimensions du plan de masse.
w: Largeur du court-circuit .

CHAPITRE III

σ : la conductivité électrique.

ϵ_r : la permittivité relative.

$\tan \delta\epsilon$: le coefficient de perte diélectrique.

μ_r : la perméabilité relative.

$\tan \delta\mu$: le coefficient de perte magnétique.

α : l'atténuation.

β : la constante de phase.

$\underline{\epsilon}$: Permittivité complexe.

$\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$: est la permittivité du vide ou de l'air.

$w = 2\pi f$ [Hz]: Fréquence de travail.

$\underline{\mu}$: Perméabilité complexe.

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [\text{kg.m.A}^{-2}.\text{s}^{-2}]$ est la perméabilité du vide.

γ : La constante de propagation γ .

ρ_m : La masse volumique en Kg. m^{-3} .

W : L'énergie absorbée.

dW/dt : la quantité d'énergie par unité de temps.

C : capacité thermique des tissus d'unité $J.Kg^{-1}k^{-1}$.

$\frac{\Delta T}{\Delta t}$: La variation de la température.

Chapitre IV

Lg : La longueur de plan de masse (GND).

Wg : La largeur de plan de masse (GND).

L : La longueur de patch.

W : La largeur de patch.

ZSUBS : La hauteur de court-circuit et la distance entre GND et le patch.

Wc : La largeur de court-circuit.

HCUIV : L'épaisseur du cuivre.

X0SOND : la position de câble coaxial sur l'axe X.

Y0SOND : la position de câble coaxial sur l'axe y.

S11 : le coefficient de réflexion S11.