



Application D'un Biocapteur Micro-Ondes À La Prédiction De Plaques Carotidiennes Athéromateuses

R. Shahbaz^{*1}, F. Deshours¹, G. Alquie¹, H. Kokabi¹, O. Meyer¹, F. Koskas², et J-M. Davaine²

¹Sorbonne Université, Laboratoire d'Électronique et Électromagnétisme, L2E, F-75005 Paris, France

²Sorbonne Université, Service de chirurgie vasculaire, Pitié Salpêtrière, F-75013 Paris, France

Abstract

L'objectif de cette étude est de réaliser un biocapteur micro-onde miniaturisé afin d'effectuer des caractérisations diélectriques de tissus biologiques, et plus particulièrement de plaques athéromateuses présentes dans les tissus artériels. Le principe de ce capteur est basé sur un circuit résonnant de type CSRR fonctionnant à la fréquence de 2.3 GHz. Une modélisation électromagnétique et une caractérisation expérimentale ont permis de valider le modèle électrique équivalent développé avec une très bonne précision. Un étalonnage de ce capteur sera aussi effectué à l'aide de matériaux connus et les résultats obtenus comparés à ceux donnés par d'autres techniques de caractérisation.

Keywords: Culture initiation, Mass-production, Root induction, Shoot regeneration

Corresponding author: R. Shahbaz

Sorbonne Université, Laboratoire d'Électronique et Électromagnétisme, L2E, F-75005 Paris, France.

E-mail: rania.shahbaz@upmc.fr

Citation: R. Shahbaz et al. (2020), Application D'un Biocapteur Micro-Ondes À La Prédiction De Plaques Carotidiennes Athéromateuses. Int J Biotech & Bioeng. 6:2, 50-52

Copyright: ©2020 R. Shahbaz et al. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited

Received: February 02, 2020

Accepted: February 17, 2020

Published: February 29, 2020

Introduction

Environ 30% d'accidents vasculaires cérébraux AVC sont dus à des lésions carotides athéromateuses. Actuellement, aucun marqueur biologique ni aucun système d'imagerie n'est susceptible d'aider les cliniciens pour différencier les plaques carotidiennes stables des instables qui devraient être opérées à court terme^[1]. D'un point de vue clinique, le développement de techniques non-invasives (ou peu invasives) semble prometteur par comparaison aux autres techniques disponibles pour préciser l'état de calcification d'une artère. A cet effet, les micro-ondes offrent la possibilité de détecter, par contraste diélectrique, des plaques calcifiées de celles qui ne sont pas atteintes. Ainsi, un biocapteur miniaturisé serait à même de différencier les lésions des artères symptomatiques de celles des artères asymptomatiques. L'objectif de cette étude est d'explorer cette potentialité des micro-ondes en développant un biocapteur qui permettrait une exploration des lésions athéromateuses des patients dans la phase pré-opératoire.

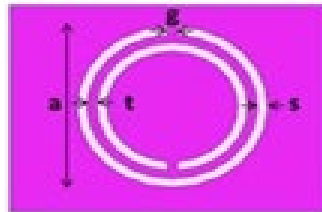
Modélisation Du Capteur

Afin de caractériser ces tissus biologiques, nous avons opté pour une technique résonante qui permet d'avoir une bonne sensibilité même lorsque les matériaux étudiés présentent de fortes pertes diélectriques. Cette méthode consiste à perturber la capacité d'un circuit résonnant chargé par le matériau diélectrique à étudier. Le résonateur considéré est ici de type planaire afin d'être appliqué directement sur les tissus à caractériser. Sa fréquence de résonance et son facteur de qualité dépendent alors de la permittivité diélectrique complexe de ce matériau (appelé ici superstrat) qui reflète l'état de sa composition.

Afin d'effectuer des mesures relativement localisées dans le domaine microonde (la fréquence de résonance à vide est fixée à 2.4 GHz en raison de la profondeur de pénétration dans les tissus biologiques), les résonateurs plans considérés sont de dimensions plus faibles que les résonateurs conventionnels (de l'ordre de $\lambda/10$). La structure

est constituée de deux fentes annulaires concentriques interrompues gravées dans le plan de masse d'un substrat diélectrique et dont l'excitation est assurée par une ligne microruban gravée sur l'autre face du substrat ; ces résonateurs, appelés CSRRs (Complementary

Split Ring Resonator),^[2] ont un coefficient de qualité relativement élevé à vide (~ 50). Plusieurs formes ont été étudiées^[3], mais les résultats présentés ici concernent des résonateurs de forme circulaire dont les dimensions ont été déterminées par simulation HFSS et données dans le tableau 1.



Dimensions	
a (mm)	9.08
g (mm)	0.5
s (mm)	0.5
t (mm)	0.5

TABLEAU I. Paramètres géométriques du CSRR

Plusieurs résonateurs ont été réalisés et caractérisés (Fig. 4a) ; l'imprécision des gravures a entraîné une dispersion des fréquences de résonance d'environ 50 MHz. Par ailleurs, les tissus biologiques ayant une surface partiellement humide, une plaque de verre ($\epsilon_r=5.5$) de 120 μm d'épaisseur a été collée sur la surface du résonateur afin d'éviter de court-circuiter les fentes. Ce déplacement supplémentaire d'environ 130 MHz de la résonance vers les basses fréquences a aussi été pris en compte dans les mesures. La fréquence de résonance du capteur est ainsi de

6 GHz au lieu de la valeur théorique de 2.4 GHz.

Modèle électrique

Les dimensions géométriques du résonateur étant faibles devant la longueur d'onde, la valeur des éléments du schéma équivalent électrique ont été déterminées à l'aide des modèles quasi-statiques pour les éléments constitutifs ainsi que par des simulations circuits avec ADS. Les valeurs réelles de ces éléments du résonateur réalisé ont été obtenues à partir des mesures des paramètres S de la structure après de-embedding des lignes d'accès. Le modèle électrique RLC équivalent de la figure 1 peut en être dérivé permettant de préciser la fréquence de résonance.

En l'absence de superstrat, la fréquence de résonance est donnée par la relation (1) :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_R (C_R + C_C)}} \quad (1)$$

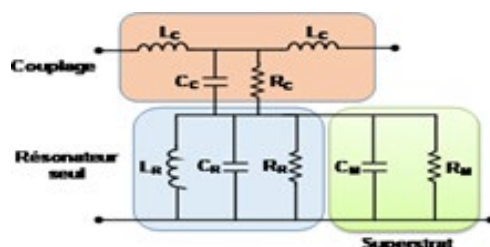


Fig. 1: Schéma équivalent électrique du résonateur avec superstrat

Influence du superstrat

En présence du superstrat, la capacité CM s'ajoute à CR ce qui a pour effet d'abaisser cette fréquence de résonance ; la valeur de $|S_{21}|$ à la résonance est approximativement inversement proportionnelle à f_0^2 . Des modélisations électromagnétiques avec HFSS ont permis de vérifier cette dépendance et de relier le déplacement de fréquence avec la constante diélectrique du superstrat pour une épaisseur de matériau $d = 2 \text{ mm}$ (Fig. 2).

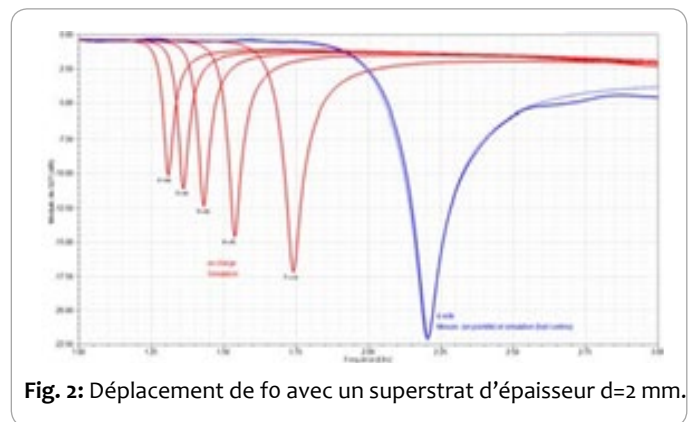


Fig. 2: Déplacement de f_0 avec un superstrat d'épaisseur $d=2 \text{ mm}$.

Cette simulation montre que la fréquence de résonance $f_R(\epsilon_r)$ avec le superstrat peut être reliée à la fréquence f_0 à vide par la relation (2) :

$$\Delta \left(\frac{1}{f_R(\epsilon_r)} \right) = \left(\frac{1}{f_R(\epsilon_r)} - \frac{1}{f_0} \right) = \alpha (\epsilon_r^N - 1), \quad \alpha = 0.5 \quad (2)$$

Une modélisation plus précise est en cours

Mesures De Tissus Athéromateux

Les expériences préliminaires sur des tissus athéromateux ont permis de vérifier ces déplacements de fréquence selon la nature et la composition du tissu. Toutefois, ces tissus étant mécaniquement plus ou moins élastiques, il est apparu nécessaire de mieux maîtriser leur contact avec le résonateur et par suite de contrôler la pression à exercer ainsi que leur épaisseur. Un dispositif incluant une jauge de pression à ce capteur micro-onde a été réalisé et les validations sont en cours (Fig. 3 b).

Des mesures préliminaires^[4] ont été effectuées sur des plaques athéromateuses d'artères fémorales, et d'artères carotidiennes

symptomatiques et asymptomatiques. Elles permettent qualitativement d'établir une corrélation avec l'état de calcification

de ces plaques d'athérome. En se référant aux simulations, l'extraction des paramètres diélectriques a montré la possibilité de distinguer ces tissus.



Fig. 3: a) CSRR circulaire sur substrat de FR4 .b) Dispositif de mesures microondes avec contrôle de pression sur les échantillons.

Type de plaque	ϵ_r	$\tan\delta$
Fémorale	8 - 15	0.2
Carotide asymptomatique	15 - 30	0.2
Carotide symptomatique	30 - 40	0.2

Toutefois, des études systématiques préopératoire (par des modalités d'imagerie : échographie, scanner et 4D IRM) sur des pathologies de patients opérés des carotides dans le service de chirurgie vasculaire à la Salpêtrière sont envisagées afin d'effectuer une étude statistique. Ces plaques carotidiennes seront aussi découpées afin d'être caractérisées par des mesures systématiques d'histologie (présence de macrophages, dépôts de fibrine, hémorragie intra-plaque, lymphocytes...) qui seront alors corrélées aux mesures micro-ondes ; associé aux données de l'état pathologique du patient, ceci devrait permettre une détermination plus précise de l'état de calcification et d'en déduire les plaques à risque. Par ailleurs, une caractérisation de ces plaques sera effectuée dans le même domaine fréquentiel à l'aide d'une autre technique du laboratoire basée sur un applicateur coaxial en contact avec l'échantillon.

Conclusion

Un capteur basé sur une structure de résonateur en anneaux fendus complémentaires (CSRRs) de forme circulaire a été modélisé et réalisé sur substrat de FR4 à la fréquence de 2.2 GHz pour la caractérisation diélectrique de tissus biologiques athéromateux. Le dispositif final a été inclus dans un ensemble permettant de déterminer la pression d'appui

sur l'échantillon pour en déduire son épaisseur. Les paramètres diélectriques ont été estimés à partir de comparaisons avec des simulations HFSS et CST. Des résultats plus détaillés sur la sensibilité de ce capteur et son aptitude à distinguer l'état de calcification de parois artérielles seront présentés dans la version finale

References

1. J-M. Davaine et al, "Osteoprotegerin, pericytes and bone-like vascular calcification are associated with carotid plaque stability", *PLoS One*. 2014 Sept 26; 9(9):e107642. doi: 10.1371/journal.pone.0107642.
2. J.D. Baena et al, "Equivalent-Circuit Models for Split-Ring Resonators and Complementary Split-Ring Resonators Coupled to Planar Transmission Lines", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 53, No. 4, pp. 1451-1461, 2005.
3. S. Hardinata et al, "Complementary Split-Ring Resonators for Non-Invasive Characterization of Biological Tissues", 18th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics, Waterloo, Canada, August 19–22, 2018.
4. F. Deshours et al, "Caractérisation microondes de plaques d'athéromes calcifiées" Journées d'Etude sur la TéléSanté, Sorbonne Université, May 2019, Paris, France. fhal-02161043f