



Biocapteur résonnant microondes pour la caractérisation non invasive de tissus biologiques

Frédérique Deshours, Georges Alquié, Malika Tlili, Kammel Rachedi, Hamid Kokabi, Fabien Koskas

► To cite this version:

Frédérique Deshours, Georges Alquié, Malika Tlili, Kammel Rachedi, Hamid Kokabi, et al.. Biocapteur résonnant microondes pour la caractérisation non invasive de tissus biologiques. Journées d'Etude sur la TélÉSANTé, 6ème edition, Pôle Capteurs, Université d'Orléans, May 2017, Bourges, France. hal-01565000

HAL Id: hal-01565000

<https://hal.science/hal-01565000>

Submitted on 19 Jul 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Biocapteur résonnant microondes pour la caractérisation non invasive de tissus biologiques

F. Deshours¹, G. Alquié¹, M. Tlili¹, K. Rachedi¹, H. Kokabi¹ et F. Koskas²

¹UPMC, Sorbonne Universités, L2E, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

²Faculté de Médecine P. et M. Curie, Site Pitié-Salpêtrière, 47 Boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris
frederique.deshours@upmc.fr

Résumé – Les problématiques adressées dans le cadre de l'e-santé couvrent un large champ de recherche. Elles essaient de répondre aux attentes des professionnels s'orientant de plus en plus vers des actes chirurgicaux et des traitements moins invasifs, mais aussi au développement de capteurs pour le suivi de paramètres vitaux (sueur, eau dans les poumons,...) ou l'évolution de certaines pathologies (cellules cancéreuses). De nouvelles techniques basées sur l'utilisation d'ondes électromagnétiques (RF, microondes) permettant d'effectuer des mesures plus locales pourraient remplacer les rayons X qui présentent de nombreuses contraintes. Des dispositifs RF ou microondes pourraient être une alternative pour déterminer les caractéristiques diélectriques de tissus biologiques, ces propriétés diélectriques étant représentatives de leur état pathologique. Des mesures de contraste diélectrique permettraient de suivre l'évolution d'une pathologie ainsi que certains paramètres vitaux d'un patient. Cet article décrit un prototype de capteur microondes résonnant à la fréquence fondamentale de 1 GHz utilisé pour déterminer les propriétés diélectriques de tissus biologiques d'origine animale.

Mots-clés : *Biocapteur, micro-ondes, caractérisation non invasive, tissus biologiques*

I. INTRODUCTION

Différentes méthodes de caractérisation de matériaux ont été développées pour étudier les phénomènes d'interaction ondes-matières [1]. Le choix de la méthode de caractérisation dépend de la bande de fréquences que l'on désire couvrir ainsi que des propriétés physiques du matériau. Ces techniques peuvent être à bande étroite, donc résonnantes ou au contraire large bande ; les méthodes résonnantes présentent l'avantage d'être plus sensibles, surtout pour la mesure de matériaux à faibles pertes. Dans cet article, nous présentons l'étude d'un capteur planaire constitué d'un résonateur en anneau pour caractériser entre 1 et 10 GHz des matériaux complexes, tels les tissus biologiques. Ce biocapteur a été optimisé à l'aide de logiciels de simulation électromagnétique commerciaux 3D (HFSS et CST) puis réalisé, dans un premier temps, sur un substrat bas coût pour valider son principe de fonctionnement par la mesure de divers matériaux (liquides et solides de référence, tissus biologiques d'origine animale). Pour améliorer la précision de la méthode de caractérisation, ce biocapteur a été ensuite fabriqué sur un substrat à très faibles pertes ; les résultats obtenus ont été comparés avec succès à ceux obtenus par une technique de mesure mettant en œuvre une sonde coaxiale, précédemment développée au laboratoire [2].

II. CONCEPTION DU CAPTEUR PLANAIRE

Le biocapteur a été réalisé en technologie microruban sur un substrat de FR4 ($\epsilon_r=4.3$, $h=1.6$ mm, $\tan\delta=0.02$) puis sur substrat de RT-Duroid 5880 ($\epsilon_r=2.2$, $h=787$ μ m, $\tan\delta=0.0009$). La cellule de base est formée par un anneau microruban gravé sur la face supérieure du substrat. Cet anneau est couplé par deux gaps aux lignes d'accès 50 Ω qui ont été conçues en guide d'ondes coplanaire et gravées dans le plan de masse, donc sur la face inférieure du substrat (Figure 1.a). Ce mode d'alimentation original du résonateur présente deux avantages. Tout d'abord, il améliore le couplage entre l'anneau et les lignes d'accès sans rajouter de pertes, même dans le cas de substrat d'épaisseur élevée ; cela conduit ainsi à une meilleure transmission (23 dB sur FR4 et 10 dB sur RT-Duroid 5880) (Figure 1.b). D'autre part, la présence du matériau à caractériser n'introduit qu'une faible interaction avec la propagation dans les lignes d'accès.

La résonance est obtenue lorsque la circonférence moyenne $2\pi r_{\text{moy}}$ de l'anneau est égale à des multiples de la longueur d'onde guidée λ_g [3] :

$$2\pi r_{\text{moy}} = n\lambda_g \quad \text{avec : } n=1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Les multiples fréquences de résonance f_{0n} de l'anneau permettent d'obtenir une caractérisation large bande du matériau [3] :

$$f_{0n} = \frac{nc}{2\pi r_{\text{moy}}\sqrt{\epsilon_{\text{re}0}}} \quad (2)$$

où n est l'ordre de la résonance et $\epsilon_{\text{re}0}$, la constante diélectrique effective du substrat à la fréquence considérée.

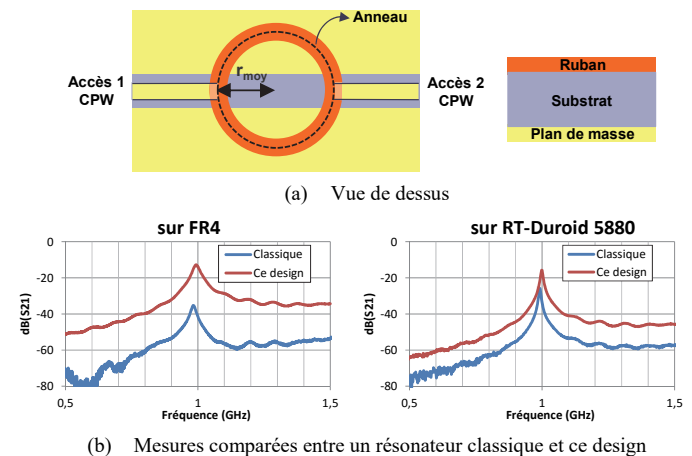


Figure 1. Schéma et réponse du biocapteur.

II. CARACTERISATION EX-VIVO

La méthode de caractérisation repose sur la modification des pics de résonance du biocapteur en présence d'un matériau biologique disposé sur sa surface, appelé superstrat. Elle consiste à mesurer l'écart en fréquence (Δf) entre les pics de résonance observés à vide (f_{0n}) et en charge (f_{1n}) ainsi que leur élargissement lié aux pertes diélectriques du superstrat. Les déplacements relatifs des résonances sont donnés par :

$$\frac{\Delta f}{f_{0n}} = \frac{f_{0n} - f_{1n}}{f_{0n}} = 1 - \frac{\sqrt{\epsilon_{rel0}}}{\sqrt{\epsilon_{rel}}} \quad (3)$$

où ϵ_{rel} est la constante diélectrique effective du résonateur chargé par le superstrat. Une calibration de ce dispositif avec des matériaux superstrats connus liquides (eau distillée, éthanol, méthanol, propanol) et solides (FR4, verre-époxy) a été réalisée; la comparaison avec les simulations électromagnétiques effectuées avec HFSS et CST sont en bon accord [4].

Lorsque l'on caractérise des matériaux biologiques à fortes pertes, le remplissage total du résonateur entraîne un amortissement très important des pics de résonances, ne permettant plus l'exploitation des modes supérieurs (Figure 2).

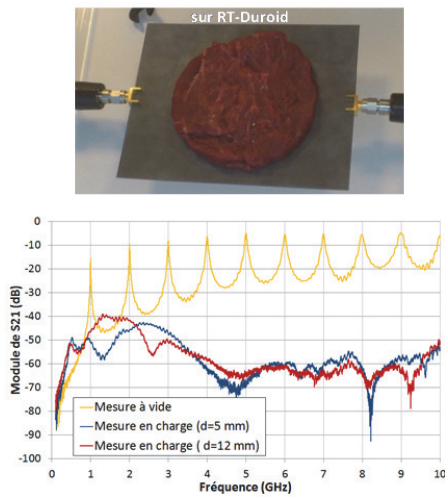


Figure 2. Remplissage total du résonateur par un échantillon de viande bovine d'épaisseur h (5 et 12 mm).

Une solution consiste alors à positionner le matériau à tester au niveau du gap de couplage entre la ligne d'accès et l'anneau. Dans ce cas de remplissage partiel, les résonances se déplacent vers des fréquences plus basses et leur amortissement est relativement modéré. Un exemple est donné à la figure 3 pour un échantillon de viande bovine d'épaisseur 10 mm pour lequel un déplacement fréquentiel de 192 MHz du pic fondamental a été observé. Des résultats similaires ont été obtenus expérimentalement et en simulation pour différents tissus biologiques (poulet, porc, veau, foie de porc, foie de veau).

Les simulations sous HFSS et CST confirment ces déplacements de fréquence ainsi que l'élargissement des pics de résonance. Par optimisation, il est alors possible d'estimer les valeurs des paramètres diélectriques du matériau caractérisé.

Les valeurs des paramètres diélectriques (ϵ_{rs} et $\tan\delta_s$) des superstrats sont résumées dans le tableau 1. Un bon accord entre les valeurs extraites et celles obtenues par la technique de mesure utilisant une sonde coaxiale développée au laboratoire [2] a été observé.

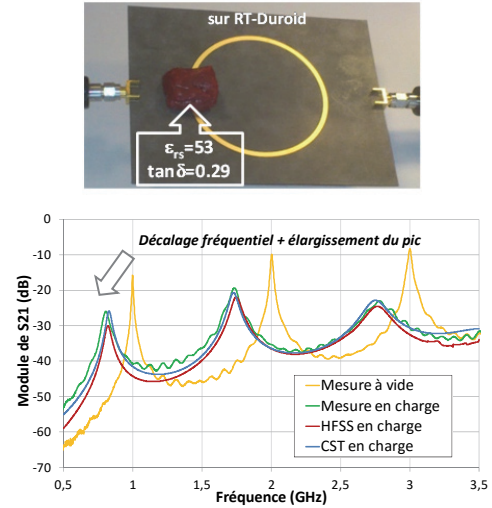


Figure 3. Mesure d'un échantillon de viande bovine.

Viande	Porc	Poulet	Foie de veau	Foie de porc
ϵ'_{rs}	54	55.7	47.7	45
ϵ''_{rs}	16.6	17.3	14.2	14.2
$\tan\delta_s$	0.31	0.31	0.3	0.32

Tableau 1. Extraction des paramètres diélectriques des tissus d'origine animale ($\epsilon_{rs} = \epsilon'_{rs} - j\epsilon''_{rs}$, $\tan\delta_s = \epsilon''_{rs}/\epsilon'_{rs}$).

III. CONCLUSION

Cette étude a permis de développer un capteur planaire résonnant original sur un substrat bas coût et sur un substrat à faibles pertes adapté à la caractérisation de tissus biologiques. La modélisation électrique sous ADS du dispositif et la méthode d'extraction des propriétés diélectriques des matériaux sont en cours d'étude. Dans le but d'accroître la compacité de ce capteur en vue d'effectuer des caractérisations plus locales des tissus, sa miniaturisation est envisagée.

REFERENCES

- [1] M.T. Jilani et al., « A brief review of measuring Techniques for characterization of dielectric materials », International Journal of Information Technology and Electrical Engineering, Vol. 1, Issue 1, Dec 2012.
- [2] G. Chen, J. Lo, N. Belhadj-Tahar and H. Kokabi, « Microwave Broad Band Measurement of Dielectric Permittivity of biological tissues as a function of temperature », International Symposium on Biomaterials and Smart Systems, Cergy-Pontoise, France, Oct. 2014.
- [3] K. Chang and L-H Hsieh, « Microwave ring circuits and related structures », Wiley-Interscience, Second Edition, 2004.
- [4] F.Deshours, G. Alquié, M. Tlili, K. Rachedi, H. Kokabi, F. Koskas, « Etude d'un capteur microondes résonnant pour la caractérisation non invasive en petit signal de tissus biologiques », XX^{èmes} Journées Nationales Microondes, Saint-Malo, France, Mai 2017.