



**HAL**  
open science

## Capteur passif multi-résonant pour la caractérisation radiofréquence et sans contact de solutions diélectriques représentatives de milieux organiques

Hana Boukharouba, Alexiane Pasquier, Stephane Serfaty, Pierre-Yves Joubert

### ► To cite this version:

Hana Boukharouba, Alexiane Pasquier, Stephane Serfaty, Pierre-Yves Joubert. Capteur passif multi-résonant pour la caractérisation radiofréquence et sans contact de solutions diélectriques représentatives de milieux organiques. 9ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation, Jan 2023, Grenoble, France. hal-04318250

**HAL Id: hal-04318250**

**<https://hal.science/hal-04318250v1>**

Submitted on 18 Jan 2024

**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.

# (27) Capteur passif multi-résonant pour la caractérisation radiofréquence et sans contact de solutions diélectriques représentatives de milieux organiques

*Hana BOUKHAROUBA<sup>(1,2)</sup>, Alexiane PASQUIER<sup>(1,2)</sup>,  
Stéphane SERFATY<sup>(2)</sup>, Pierre Yves JOUBERT<sup>(1)</sup>*

(1) Centre de Nanosciences et Nanotechnologies, Université Paris Saclay  
10 Boulevard Thomas Gobert, Palaiseau, France.

(2) SATIE, Université de Cergy Pontoise  
5 mail Gay-Lussac, Neuville-sur-Oise, Cergy-Pontoise, France

## 1. Introduction

Les propriétés diélectriques des milieux organiques sont indicatrices de leur composition, de leur structure et de leur évolution au cours du temps. Celles-ci sont modélisées par la permittivité complexe  $\varepsilon^*$  décrivant l'interaction de la matière avec un champs électromagnétique externe, selon [1] :

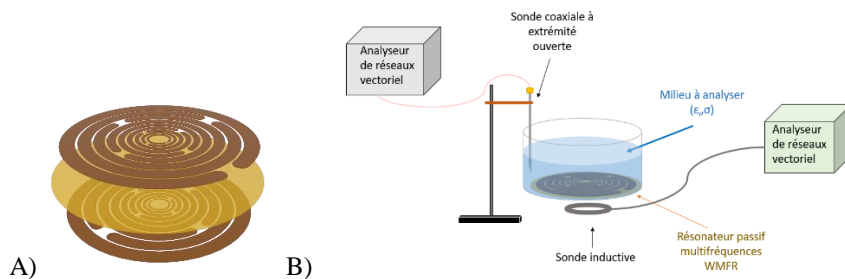
$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \varepsilon_0 \varepsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega}$$

où la partie réelle  $\varepsilon'$  exprime la capacité du milieu à stocker l'énergie transmise par le champ électromagnétique rayonné (liée à sa constante diélectrique  $\varepsilon_r$ ), où  $\varepsilon''$  correspond à la nature dissipative du milieu (liée à sa conductivité électrique  $\sigma$ ) et où  $\omega$  est la pulsation. Les techniques de caractérisation diélectrique conventionnelles utilisent le plus souvent des sondes mises en contact avec le milieu, comme des électrodes, des sondes coaxiales ouvertes, ou encore des antennes « patches » dont l'usage et les performances sont parfois limités en raison du contact avec le milieu. Dans cet article, nous explorons les performances d'un capteur passif sans contact original récemment breveté [2] pour suivre les propriétés diélectriques de milieux organiques de manière non invasive. Ce capteur est un résonateur multifréquence à base de lignes de transmission circulaires, couplé de manière inductive d'un part au milieu à analyser, et d'autre part à une sonde de contrôle distante. Ce résonateur opère comme une antenne en émission/réception à haute sensibilité dans la gamme radiofréquences (RF) 20-400 MHz. Dans cette étude, nous évaluons la capacité de ce capteur à distinguer et suivre les propriétés diélectriques de solutions de référence mimant les caractéristiques diélectriques de tissus biologiques. Nous comparons également les performances du capteur à celles d'une sonde coaxiale conventionnelle de référence utilisées dans les mêmes solutions, et concluons sur l'utilisation du capteur proposé.

## 2. Moyens mis en œuvre et méthodes de mesure

Nous préparons des solutions diélectriques tabulées à l'aide de mélanges calibrés d'éthanol et de solutions salines (NaCl), afin de disposer de 25 solutions calibrées présentant des valeurs de conductivité variant de 0 S/m à 2 S/m, et des constantes diélectriques variant de 40 à 80.

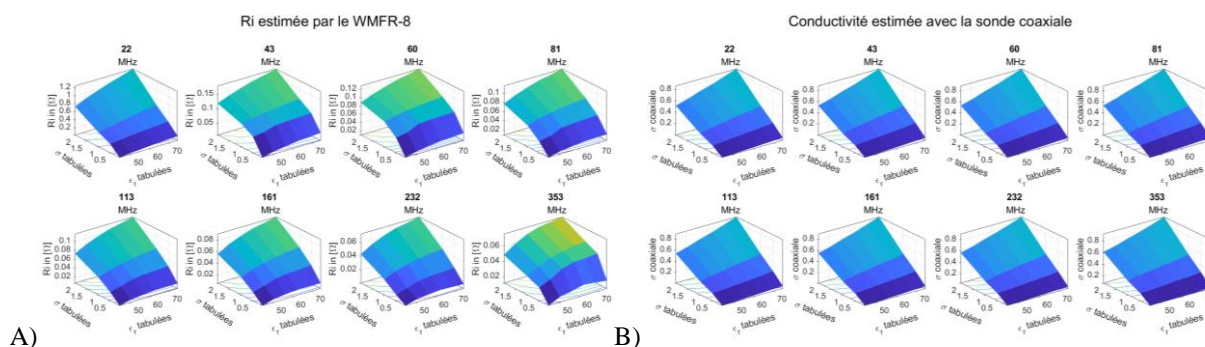
Nous exploitons un résonateur passif multifréquence, ou Wireless Multifrequency Resonator (WMFR), constitué d'un assemblage de 8 résonateurs à ligne de transmission circulaires concentriques, imbriquées les uns dans les autres sur un même substrat souple à faible perte [3]. Compte tenu de sa structure et de ses dimensions (8 cm de diamètre extérieur), ce résonateur présente 8 résonances comprises entre 22 MHz et 355 MHz, lorsqu'il est excité par la sonde de contrôle. Nous positionnons ce WMFR sous un cristalliseur rempli tour à tour avec 700 ml des différentes solutions à tester, et plaçons la sonde de contrôle à 1 cm sous le WMFR, comme présenté (Cf. Figure 1). La sonde est connectée à un analyseur de réseau vectoriel (VNA) de telle sorte à mesurer les variations de l'impédance complexe du résonateur. Celles-ci sont modélisées par une résistance  $R_i$  et une inductance  $L_i$ , induites par la conductivité et la constante diélectrique de la solution analysée. Parallèlement, nous exploitons une sonde coaxiale à terminaison ouverte constituée d'un câble coaxial rigide ouvert de 3 mm de diamètres et de 9 cm de longueur. Cette sonde est plongée dans la solution à analyser à une profondeur de 1,5 cm, et à distance du WMFR. La sonde coaxiale est reliée directement à un deuxième VNA (Cf. Figure 1). Les propriétés diélectriques de la solution mesurée sont estimées à partir du coefficient de réflexion  $S_{11}$  de la sonde mesurée par le VNA [4].



**Figure 1.** A) Structure du WMFR utilisé à 8 résonateurs. B) Schéma de l'expérience mettant en œuvre une sonde coaxiale plongée dans le liquide et un capteur sans contact WMFR placé sous le cristallin.

### 3. Résultat

Durant l'expérience, nous mesurons simultanément les propriétés diélectriques des solutions à l'aide des deux sondes, sur une gamme de fréquence de 20-400 MHz. La figure 2 montre l'évolution de la résistance  $R_i$  du WMFR, en fonction des propriétés des solutions calibrées, pour chacune des résonances du WMFR, et la conductivité estimée à l'aide de la sonde coaxiale aux mêmes fréquences. Nous remarquons une évolution de la résistance  $R_i$  similaires à celles de la conductivité estimée par la sonde coaxiale. Des résultats similaires sont obtenus pour les variations de l'inductance  $L_i$  du WMFR et de la constante diélectrique estimée par la sonde coaxiale, malgré quelques limitations inhérentes à la structure du WMFR choisi pour l'expérience.



**Figure 2.** A) Evolution de  $R_i$  estimée par le WMFR-8 et B) Evolution des valeurs de la conductivité estimée par la sonde coaxiale, en fonction de la conductivité et la permittivité tabulées des solutions de références.

### 4. Conclusion

Nous avons montré dans cette étude la pertinence de l'utilisation d'un résonateur passif multifréquence RF sans contact pour estimer et suivre les propriétés diélectriques de solutions de référence. Cette étude ouvre la voie au développement de capteurs passifs non-invasifs pour le suivi de milieux organiques pour des applications médicales, agronomiques ou agroalimentaires.

### 5. Références

1. Gabriel, S., Lau, R. W., & Gabriel, C, « The dielectric properties of biological tissues : II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz » In *Phys. Med. Biol* (Vol. 41). (1996)
2. A. Pasquier, Y. Le Diraison, S. Serfaty, P-Y. Joubert, « Dispositif et procédé de caractérisation électromagnétique d'un milieu par résonateur, sans contact, objet et résonateur associés » Demande de brevet FR2112292 (19 novembre 2021).
3. A. Pasquier, Y. Le Diraison, S. Serfaty, P-Y. Joubert, « Multifrequency RF sensor for the non-contact monitoring of tissues » *IEEE MTT-S International Microwave Biomedical Conference (IMBioC)*, pp. 277-279 (2022).
4. T. H. N. Dinh, T. Bore, S. Serfaty et P. Y. Joubert, « Non-Invasive Evaluation of Yogurt Formation Using a Contactless Radiofrequency Inductive Technique, » *Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics*, t. 42, p. 298-306 (2017).