

Titre : Capteurs électromagnétiques planaires pour la caractérisation des propriétés diélectriques d'échantillons biologiques en environnement micro-fluidique : vers des capteurs résonants ajustables en fréquence

Ce stage est proposé par le laboratoire ESYCOM (UMR 9007, CNRS) de l'Université Gustave Eiffel
Durée : 4 mois à 6 mois à partir d'avril 2023. Lieu : Champs-sur-Marne (77)

Encadrement : Elodie Richalot, Olivier Français, Hakim Takhedmit et Patrick Poulichet

Contexte, problématique et enjeux : L'imagerie diélectrique appliquée à la biologie permet de développer des outils innovants de caractérisation cellulaire dans une démarche de différenciation (dans le cadre du diagnostic de certaines pathologies). Cette technique de mesure présente l'avantage d'être non-invasive et de ne pas nécessiter de marquage spécifique des composés biologiques, elle est donc compatible avec la mise en œuvre de plusieurs tests successifs au sein d'un dispositif intégré, et elle permet une mesure des caractéristiques membranaires ainsi que du contenu intracellulaire en regard des gammes de fréquence mises en jeu (GHz). Ces techniques ont tout d'abord été appliquées à l'échelle des tissus biologiques (quelques mm) afin d'en suivre les propriétés diélectriques en vue de la détection de pathologies et de suivi dans le temps. Avec le développement des microtechnologies, il est désormais possible d'appliquer ces principes à l'échelle de la cellule unique (diamètre de l'ordre de quelques μm). Les enjeux concernent alors la détection de cellules cancéreuses, le suivi de la croissance cellulaire ou encore l'analyse du phénomène d'apoptose. La caractérisation des propriétés d'une cellule unique, au-delà des outils technologiques adéquats à mettre en place et qui constituent en soi une problématique, nécessite la mise en œuvre de techniques d'inversion afin d'extraire la permittivité complexe de la cellule dans son milieu à partir de la mesure, cette permittivité étant un biomarqueur spécifique du type cellulaire.

Sujet de stage : L'utilisation du champ électromagnétique comme moyen d'interroger des milieux biologiques est une thématique en pleine essor mêlant les domaines du Génie Électrique aux sciences du vivant. La mesure macroscopique de milieux diélectriques homogènes est désormais une technique de mesure classique, qui peut être effectuée à l'aide d'appareils commerciaux (disponibles au laboratoire ESYCOM) permettant d'effectuer l'extraction des paramètres diélectriques. Cependant, pour pouvoir interroger des volumes plus faibles, inférieurs au nL, la communauté scientifique se heurte à des défis d'une part d'ordre technologique pour fabriquer les micro-dispositifs de test, et d'autre part liés à la difficulté d'extraction des paramètres diélectriques à partir des résultats de mesure en raison d'une sensibilité réduite.

L'utilisation de structures résonantes [1] permet d'accroître la sensibilité des structures de test par rapport aux dispositifs large bande [2]. A titre illustratif, le cas d'un capteur en technologie microruban est présenté en Fig. 1 avec, en figure 2, l'évolution de son coefficient de transmission en fonction de la permittivité de la gouttelette déposée au niveau de l'ouverture de son résonateur. Le décalage de la fréquence de résonateur est ainsi un indicateur des propriétés du liquide sous test [3]. L'avantage de cette approche est sa bonne sensibilité, en raison de la détermination aisée de la fréquence de résonance. Elle présente toutefois plusieurs inconvénients : tout d'abord, elle ne permet la détermination des propriétés de l'échantillon qu'à la fréquence de résonance et non sur une bande

fréquentielle, ensuite, ces propriétés sont extraites à la fréquence obtenue après décalage fréquentiel et non à une fréquence fixe initialement choisie.

L'objectif de ce stage est de chercher à s'affranchir de ces deux limitations par le développement d'un capteur résonant accordable en fréquence via l'insertion d'une diode utilisée en capacitance électriquement accordable [4][5].

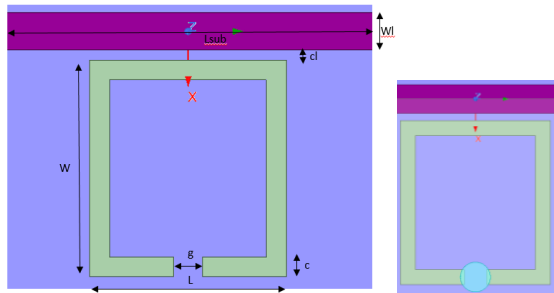


Figure 1 : Capteur résonant en technologie microruban composé d'une ligne d'accès microruban et d'un résonateur rectangulaire muni d'une ouverture. A gauche, résonateur à vide, à droite après insertion d'une gouttelette de permittivité variable.

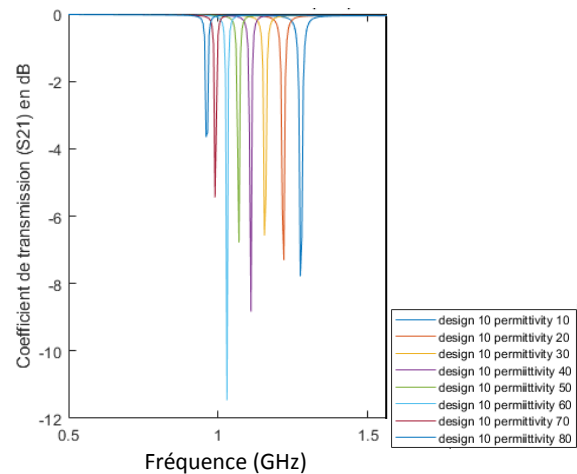


Figure 2 : Variation de la fréquence de résonance en fonction de la permittivité réelle de la gouttelette. Résultats issus des travaux de Joséphine Pichereau.

Travail demandé : Ce travail s'inscrit dans la continuité de la thèse de Houssein Mariam [6][7] soutenue au laboratoire en décembre 2020, portant sur la conception de micro-capteurs large bande, et vient en appui au travail de thèse en cours de Joséphine Pichereau qui s'intéresse aux capteurs biologiques résonants. Il pourra ainsi s'appuyer sur l'existence de capteurs résonants conçus dans le cadre de cette seconde thèse ainsi que sur les développements théoriques permettant l'extraction des propriétés diélectriques des échantillons sous test.

Des mesures à l'aide des capteurs existants, conçus et fabriqués au laboratoire, permettront tout d'abord de prendre en main les méthodes de mesure et d'analyse, et d'envisager les modifications possibles au regard des contraintes expérimentales.

Après une étude bibliographique sur l'utilisation de diodes pour ajuster les fréquences de résonance, l'effet de l'insertion d'une diode sur le résonateur sera analysé à l'aide de simulations électromagnétiques (logiciel HFSS) complétées par une analyse du circuit électrique équivalent (sous le logiciel ADS). Une solution sera proposée, après une étape d'optimisation, pour être fabriquée puis testée.

Par ailleurs, un travail sera mené sur la méthode d'exploitation des résultats de simulation puis de mesure obtenus afin d'extraire les paramètres d'intérêt, à savoir les parties réelle et imaginaire de la permittivité de l'échantillon liquide sous test.

Profil Recherché :

Disciplines : Electromagnétisme, Dispositifs RF et microondes, Résonateur RF, Ligne de propagation, Mesures hyperfréquences.

Profil : formation en “Interaction Ondes - Matière “, bonnes notions sur les méthodes de modélisation en électromagnétisme (logiciels HFSS et ADS utilisés pendant le stage), attirance pour la mesure hyperfréquence, l’instrumentation et la mise en œuvre de systèmes expérimentaux, intérêt pour les applications à la biologie.

Contacts : Elodie RICHALOT (elodie.richalot-taisne@univ-eiffel.fr), Hakim TAKHEDMIT (hakim.takhedmit@u-pem.fr)

Références bibliographiques :

1. JUAN, Carlos G., BRONCHALO, Enrique, POTELON, Benjamin, et al. Concentration Measurement of Microliter-Volume Water–Glucose Solutions Using Q Factor of Microwave Sensors. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2018, vol. 68, no 7, p. 2621-2634.
2. GONZALEZ, P. Jaque, DUBUC, David, GRENIER, Katia, et al. Millifluidic Sensor Dedicated to the Microwave Dielectric Spectroscopy of Liquids. *2019 49th European Microwave Conference (EuMC)*. *IEEE*, 2019. p. 204-207.
3. SU, Lijuan, MATA-CONTRERAS, Javier, VÉLEZ, Paris, et al. Analytical method to estimate the complex permittivity of oil samples. *Sensors*, 2018, vol. 18, no 4, p. 984.
4. VELEZ Adolfo, BONACHE Jordi, and MARTIN Ferran, Varactor-Loaded Complementary Split Ring Resonators (VLCSRR) and Their Application to Tunable Metamaterial Transmission Lines, *IEEE Microwave and wireless components letters*, Vol. 18, NO. 1, Jan. 2008.
5. PEJMAN Niloofar, HASHEMI Soheil, ABDOLALI Ali, TAYARANI Majid, and MOINZAD Sara, Complex Permittivity Retrieval of Dispersive Liquids Based on Varactor-Loaded Split-Ring Resonator, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 21, NO. 21, Nov. 2021.
6. Houssein Mariam, “Caractérisation par spectroscopie diélectrique de composés biologiques en environnement microfluidique”, Thèse de doctorat, Université Paris-Est, Dec. 2020.
7. MARIAM Houssein, POULICHET Patrick, TAKHEDMIT Hakim, DESHOURS Frédérique, RICHALOT Elodie, FRANCAIS Olivier, Accurate Characterization by Dielectric Spectroscopy up to 25 GHz of Nano-Liter Range Liquid Volume Within a Microfluidic Channel. *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no 4, 2021.