Université Gustave Eiffel

Laboratoire ESYCOM

Projet du Graduate Program CODS – Année 2026-2027

Caractérisation de maladies de peau par spectroscopie diélectrique radiofréquence : amélioration de la facilité d'utilisation et de la robustesse d'une sonde hyperfréquence

Encadrement : Patrick Poulichet, Elodie Richalot
Laboratoire ESYCOM

1. Contexte

1.1 Problématique et enjeux

La détection et le diagnostic précoces des maladies de la peau représentent un enjeu majeur en dermatologie. Les méthodes traditionnelles de diagnostic, bien qu'efficaces, sont souvent invasives et coûteuses. La spectroscopie diélectrique aux fréquences RF et micro-ondes émerge comme une technique innovante pour l'analyse des tissus cutanés et offre une alternative non invasive, permettant d'analyser les propriétés des tissus cutanés, mais aussi tous types de matériaux diélectriques. Cette approche repose sur l'interaction des ondes électromagnétiques avec les tissus biologiques, permettant d'obtenir des informations détaillées sur leurs propriétés électriques (ou conductivité σ) et diélectriques (ou permittivité complexe ε), et, par extension, sur leur composition et leur structure. Les sondes RF et/ou micro-ondes à développer doivent être spécifiquement adaptés aux caractéristiques des pathologies ciblées, afin d'assurer une mesure précise et fiable. Elles doivent également être conçues et optimisées pour fournir des résultats reproductibles, garantissant ainsi la fiabilité des diagnostics. De plus, ces sondes doivent être facilement intégrables dans des dispositifs portables pour les rendre facilement utilisables par des professionnels de santé. Dans le cadre du

suivi de l'évolution de maladies cutanées, cela doit permettre d'offrir une solution pratique pour un usage par les professionnels de santé à la fois en contexte hospitalier et en cabinet médical.

1.2 Activités d'ESYCOM en lien avec le sujet

Le sujet présenté ici s'inscrit dans la continuité du **travail de thèse de Zied Fritiss** mené au sein du laboratoire ESYCOM avec l'équipe encadrante. Ce travail a porté sur la conception, la simulation et la réalisation d'une sonde destinée à détecter de façon précoce le cancer de la peau. Pour cela, nous avons conçu une sonde transmettant le plus efficacement possible le champ électromagnétique du VNA (Vector Network Analyser) vers la peau ou le tissu que l'on souhaite analyser. Il s'agit d'une sonde large bande dans une bande de fréquence de 1GHz à 5GHz. On peut voir sur la figure 1 la structure d'assemblage pour délivrer le plus efficacement possible le signal radio fréquence sur la peau [1][2].

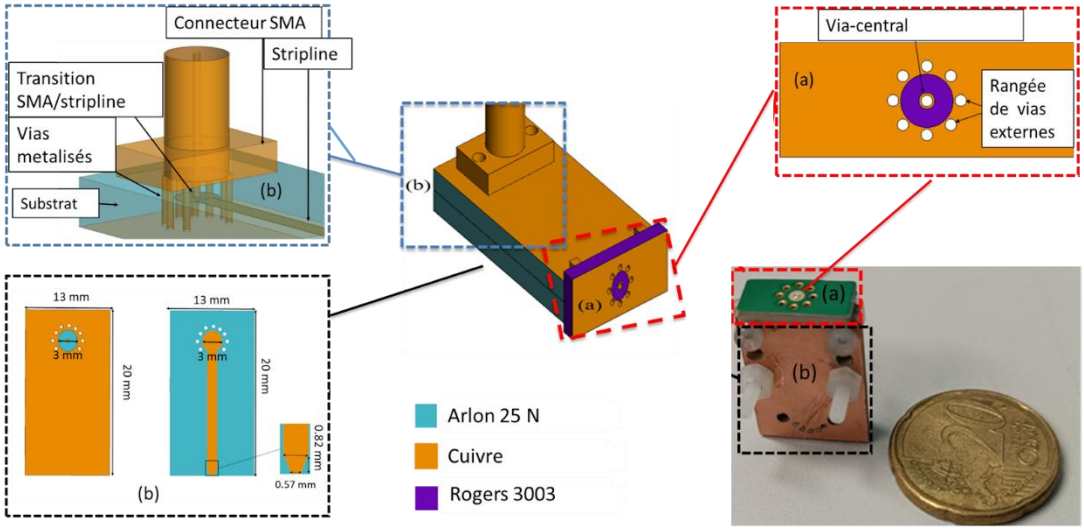

Figure 1 : Sonde d'analyse du cancer de la peau.

La bande fréquentielle d'analyse a été choisie en fonction de la variation importante de la permittivité relative réelle de la peau saine (autour de 30) et du mélanome (environ 50-60) sur cette bande, induisant une modification de la réflexion du signal électromagnétique en bout de sonde, au niveau de la zone de contact entre la zone et la peau examinée. Cet effet a été mis à profit au sein d'une structure différentielle comportant deux sondes identiques reliées à un coupleur (Fig. 2), de manière à mesurer directement un indicateur caractéristique d'une différence des propriétés de la peau aux deux points sondés. La mesure différentielle s'appuie sur l'utilisation d'un coupleur permettant de calculer la différence des coefficients de réflexion [3]. **Cette approche originale** est particulièrement pertinente pour l'application visée car elle permet de s'affranchir de la difficulté inhérente aux mesures in-vivo liées à la variabilité des paramètres physiologiques des individus (épaisseur de la peau, humidité, âge du patient…) : ainsi, en choisissant pour milieu de référence une zone de peau saine du patient, on augmente la fiabilité du diagnostic posé en s'adaptant aux propriétés de sa peau dans la zone d'intérêt et pour son état physiologique au moment du test.

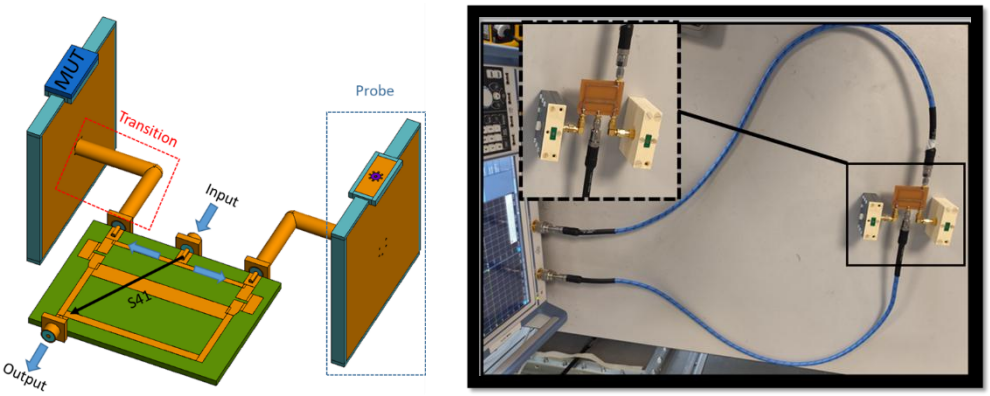

Figure 2 : Structure différentielle pour la détection du cancer de la peau. A gauche, principe de fonctionnement et accès de mesure, à droite banc de mesure.

1.3 Tests en milieu hospitalier

Un intérêt a été identifié pour le suivi du développement d'une maladie rare de peau, la neurofibromatose. Les tests expérimentaux ainsi que les discussions avec les médecins dermatologues ont permis de mettre en avant les évolutions souhaitables du capteur pour rendre son utilisation plus simple et pour que ce dispositif constitue une aide fiable au diagnostic médical.

1.4 Evolutions du capteur et perspectives

Les tests effectués en milieu hospitalier ont mis en lumière plusieurs évolutions nécessaires pour l'obtention d'un capteur adapté aux contraintes d'utilisation par des professionnels de santé.

Tout d'abord, il est apparu que la manipulation du dispositif de mesure était difficile. Une évolution du protocole de mesure est donc nécessaire pour éviter l'utilisation simultanée de deux capteurs.

Par ailleurs, la forme de la zone sensible du capteur rend son positionnement imprécis. Une géométrie sous la forme d'un stylet serait plus adaptée.

Afin, il est apparu que deux paramètres étaient nécessaires au diagnostic, à savoir la nature des cellules et la profondeur de la tumeur. Le recours à des mesures en réflexion, pour caractériser le milieu, ainsi qu'en transmission, pour déterminer sa profondeur (Fig. 3), apparaît comme une approche pertinente.

Figure 3 : Mesure sur une tumeur cutanée à l'aide d'un capteur en réflexion (à gauche) ou en transmission (à droite).

Des travaux ont été menés en ce sens dans le cadre de deux stages de M2 se terminant en septembre 2026 (stages de Lina Dellili et Hugo Simon). En s'appuyant sur des essais expérimentaux et des

simulations numériques, plusieurs pistes prometteuses ont été identifiées pour identifier des géométries de capteur permettant un positionnement mieux maîtrisé. Des propositions de capteurs fonctionnant en transmission ont par ailleurs été faites. Le sujet proposé s'appuiera sur ces résultats.

2. Sujet du projet

Le travail proposé s'appuiera sur les connaissances acquises avec la thèse de Zied Fritiss ainsi que sur les travaux menés dans le cadre des deux stages de M2.

Il s'agira tout d'abord concevoir un capteur possédant une zone sensible de faibles dimensions (pour pouvoir détecter des anomalies de faible diamètre), se présentant sous la forme d'un stylet pour permettre une bonne visibilité lors de son positionnement sur la zone à sonder, et avec une bonne sensibilité aux variations de permittivité par rapport à une peau saine. Un exemple de capteur sous la forme de stylet est présenté dans la publication [5]. Un capteur de pression sur la peau pourra être ajouté pour donner plus de précision à la mesure.

Par ailleurs, les travaux menés sur les sondes en transmission seront approfondis pour proposer un dispositif sensible aux variations d'épaisseur d'une tumeur. Ce travail pourra s'inspirer du travail de la publication [6] avec des sondes planaires.

3. Travail demandé

Après la prise en main du sujet (lecture d'une thèse, de deux rapports de stage et d'articles), ce travail s'appuiera d'une part sur un volet expérimental au cours duquel des mesures hyperfréquences seront réalisées à l'aide d'un VNA sur le dispositif existant ainsi que sur d'autres sondes envisagées. D'autre part, la proposition d'un nouveau dispositif nécessitera une phase de conception qui nécessitera à la fois des développements théoriques et l'utilisation d'outils de simulation électromagnétique (Ansys HFSS).

Il s'agit donc d'un sujet très complet permettant d'aborder à la fois la mesure hyperfréquence, la conception et la simulation de dispositifs RF complexes.

Contacts

Patrick Poulichet (patrick.poulichet@esiee.fr), Elodie Richalot (elodie.richalot-taisne@univ-eiffel.fr)

Références bibliographiques

[1] PICHEREAU, Josephine, FRITISS, Zied, TAKHEDMIT, Hakim, *et al.* Sensing biological materials with differential RF broadband and resonating microsensors. In : *2023 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA)*. IEEE, 2023. p. 65-70.

[2] Mohamed Zied Fritiss, Patrick Poulichet, Hakim Takhedmit, Laurent Lanquetin, Stephane Protat, et al. Design and characterization of a broadband PCB-based coaxial sensor for permittivity screening in skin cancer detection applications. *Measurement Science and Technology*, 2023, 34 (11), pp.115109. ⟨10.1088/1361-6501/ace9f1⟩. ⟨hal-04427245⟩

[3] D. Deslandes and K. Wu, “Integrated microstrip and rectangular waveguide in planar form,” in *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no. 2, pp. 68–70, Feb. 2001.

[4] H. E. ROUACHED, J. PICHEREAU, J. SWIFKA, Saber DAKHLI, Fethi CHOUBANI, Elodie RICHALOT, "Study and design of a dual-cavity differential resonant sensor for small liquid samples", *European Microwave Week EuMW2025.*

[5] S. A. R. Naqvi, A. T. Mobashsher, B. Mohammed, D. Foong, and A. Abbosh, “Handheld Microwave System for In Vivo Skin Cancer Detection: Development and Clinical Validation,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 73, Art. no. 6006816, pp. 1–16, 2024, doi: 10.1109/TIM.2024.3398123

[6] S. Shang, M. Mokhtari, and M. Popović, “Employing Surface Waves for Characterizing Skin: Experimental Validation,” *IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology*, vol. 9, no. 2, pp. 110–116, Jun. 2025, doi: 10.1109/JERM.2025.3555198

Le laboratoire ESYCOM *s’inscrit dans les domaines de l’ingénierie des systèmes de communication, des capteurs et des microsystèmes pour la ville, l’environnement et la personne.*

Les thèmes abordés sont plus spécifiquement :

- *les antennes et propagation en milieux complexes, les composants photoniques - micro-ondes;*
- *les microsystèmes pour l'analyse de l'environnement et la dépollution, pour la santé et l'interface avec le vivant ;*
- *les micro-dispositifs de récupération d'énergie ambiante mécanique, thermique ou électromagnétique.*