

Projet du Graduate Program CODS – Année 2025-2026

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 que 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. Ils doivent également être conçus et optimisés 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].

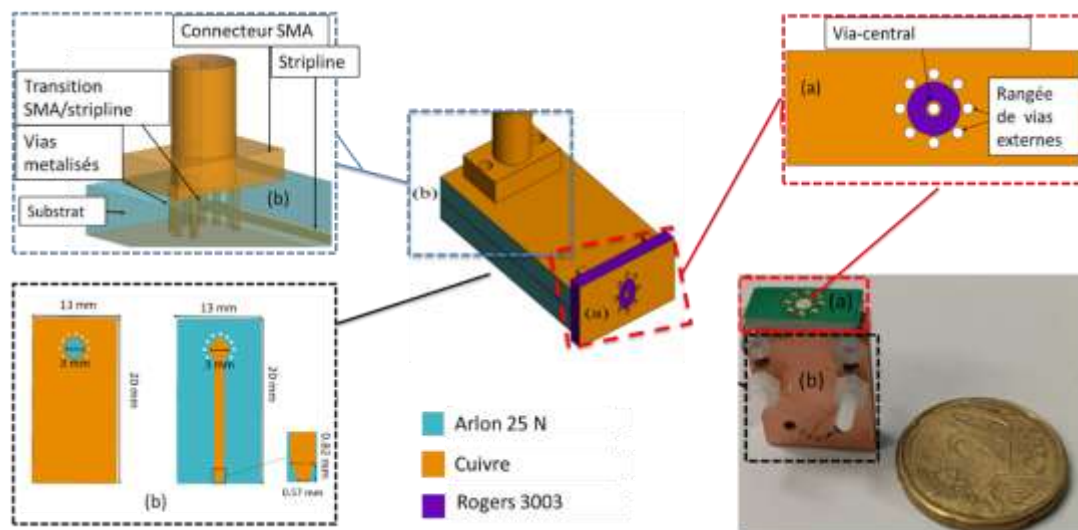


Figure 1 : Sonde d'analyse du cancer de la peau.

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.

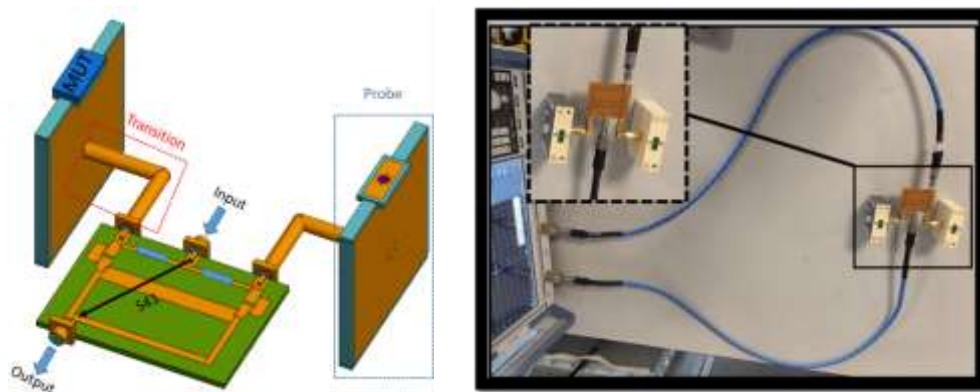


Figure 2 : Structure différentielle pour la détection du cancer de la peau. A gauche, principe de fonctionnement et accès de mesure, à droite banc de mesure.

1.3 Tests en milieu hospitalier et évolution du sujet

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.

2. Sujet du projet

Le travail proposé porte dans un premier temps sur l'optimisation du dispositif conçu pour l'analyse de la peau dans le cadre de la thèse de Zied Fritiss. Les mesures ont ainsi montré l'apparition d'oscillations parasites nuisant à sa sensibilité. Un travail d'optimisation de la connectique est donc nécessaire pour réduire les sources de réflexions parasites et de pertes. Par ailleurs, pour que la mesure puisse s'adapter au relief du corps, il serait nécessaire de rendre la structure flexible. Enfin, nous aimerions rendre le système plus compact pour rendre sa manipulation plus aisée.

Par la suite, d'autres pistes pourront être explorées pour permettre l'acquisition d'informations complémentaires sur l'état de la zone inspectée. Ainsi, le dispositif de test repose sur l'utilisation d'un coupleur qui est un dispositif fonctionnant sur une bande fréquentielle étroite. Une piste pour explorer une bande fréquentielle plus large consisterait à rendre ce coupleur électriquement ajustable. Des travaux sur l'accordabilité électrique d'un dispositif à l'aide d'une diode varactor sont actuellement en cours au laboratoire ESYCOM dans le cadre de la thèse d'Houssem Rouached [4] et pourraient servir de base pour l'accordabilité du coupleur.

Par ailleurs, la possibilité d'augmenter le nombre de points de mesure, pour imager une zone de la peau, fait partie des évolutions intéressantes de ce dispositif. Cette possibilité pourrait être explorée dans l'optique d'une poursuite en doctorat.

3. Travail demandé

Après la prise en main du sujet (lecture d'une thèse 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, puis en modifiant certaines parties de celui-ci avec pour objectif de

limiter les oscillations parasites. D'autre part, l'intégration du dispositif nécessitera une phase de conception qui nécessitera à la fois des développements théoriques et l'utilisation d'outils de simulation électromagnétique.

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@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](https://doi.org/10.1088/1361-6501/ace9f1). [hal-04427245](https://hal.archives-ouvertes.fr/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*.

[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.