

SUJET DE THESE

Laboratoire de rattachement principal : Institut Fresnel

Directeur de thèse : Pierre Sabouroux (MCF, HDR, Institut Fresnel)

Contact : pierre.sabouroux@fresnel.fr, 04 91 28 83 53 / 06 95 18 40 74
Institut Fresnel, Domaine Universitaire de Saint Jérôme, 13397 Marseille

Titre de la thèse : *Concept d'un capteur multi-antennes radiofréquence pour des applications de Sondage Micro-onde Tomographique sous Contraintes. Projet SMTC*

Sujet :

La caractérisation électromagnétique des matériaux redevient aujourd'hui une thématique de recherches très active dans de très nombreux domaines pour lesquels sont présentes des interactions entre des ondes électromagnétiques et des matériaux quelconques en soit la nature. En effet, elle répond notamment, aux problématiques de toute industrie produisant un matériau, qu'il soit liquide, visqueux, solide, voire granulaire pour des applications utilisant des radiofréquences. En témoignent les enjeux liés à la détection qualitative et quantitative de la teneur en eau tout dans des matériaux à hautes valeurs ajoutées comme, à titre d'exemples, des biocarburants et dans des matériaux agroalimentaires comme le miel. Le sondage micro-ondes, non-invasif est une réponse potentielle à cette demande. En effet, les rayonnements micro-ondes étant non ionisant et non destructif, préservent le matériau sous test tout en présentant un pouvoir de pénétration suffisant pour le caractériser en profondeur. Le domaine spectral typique des ondes électromagnétiques d'intérêt est compris entre quelques MHz et quelques GHz.

Dans le cadre du projet européen *BiofMet*¹ et en collaboration avec le CETIAT², pour l'étude de paramètres physiques de biocarburants, nos travaux ont permis d'entrevoir le potentiel expérimental d'une nouvelle approche exploitant un capteur multi-antennes radiofréquence. Les résultats de ces premiers travaux technologiques font l'objet de la rédaction d'un article dont la soumission dans la revue *PIERS Letters* est imminente. En outre, et en parallèle, dans le cadre d'un projet Ressourcement CARNOT (2020-2021), les premiers signaux obtenus avec cette approche ont pu être traités selon une méthode baptisée « tomographie contrainte » et qui a fait l'objet d'une déclaration d'invention et dépôt de demande de brevet³. A ce jour, notre équipe possède ainsi les outils technologiques et de calculs préliminaires nécessaires pour aborder le sujet proposé relatif au Projet SMTC.

Description, déroulement du projet :

Le programme de ce travail de thèse s'articulera suivant deux axes principaux :

Axe 1 : étude et développement technologique des capteurs multi antennes micro-ondes

Ce **concept de capteur multi-éléments** est basé sur la répartition de plusieurs antennes unitaires sur la périphérie d'un tube ou d'une canalisation, dans lesquels sera, ou circulera, selon sa nature liquide ou solide, l'échantillon à caractériser. Ainsi, il n'y a pas de contact entre le matériau sous test et le capteur. Aujourd'hui, les essais préliminaires menés ont été effectués avec des antennes classiques du type dipôles ou antennes patchs rectangulaires. Elles ont rapidement montré leurs limites, non seulement en fréquence (largeur de bande réduites à quelques MHz) et d'un point de vue dimensionnel avec une compacité pas suffisamment optimisée (actuellement les antennes présentent des dimensions de l'ordre d'une dizaine de centimètres). Le design de l'élément rayonnant, qui sera par la suite intégré dans le capteur multi-antennes, ainsi que la répartition desdits éléments, est donc une étape fondamentale de ce travail de thèse. Pour cela,

¹ <https://www.univ-amu.fr/fr/public/programme-h2020-horizon-europe>

RP-g15 - 19ENG09 - BIOFMET, https://msu.euramet.org/previous_calls/index.html

² Mohamed Ben Ayoub, Phd- 2015-2018, <http://www.theses.fr/2018AIXM0228>

³ Dépôt du 14/10/2020, numéro d'enregistrement FR2010489

Laboratoire de rattachement principal : Institut Fresnel

Directeur de thèse : Pierre Sabouroux (MCF, HDR, Institut Fresnel)

Titre de la thèse : *Concept d'un capteur radiofréquence pour des applications de sondage micro-onde tomographique : Projet SMT*

l'étudiant(e) devra faire appel à ses compétences conceptuelles en électromagnétisme et systèmes rayonnants, ainsi qu'à ses connaissances pratiques en instrumentation générale et micro-onde.

La deuxième partie de cet axe se focalisera sur une des premières applications de ce nouveau capteur liée la caractérisation de la teneur en eau des biocarburants par sondage radiofréquence. Pour cela, dans un premier temps, nous testerons un matériau analogue de test mimant les caractéristiques électromagnétiques des biocarburants avec une teneur en eau variable. Et dans un deuxième temps, nous validerons la technique de ce capteur multi antennes avec des échantillons réels de biocarburants (nous devrions les recevoir dans les derniers mois du projet *BiofMet*).

Axe 2 : Traitement des données de la tomographie contrainte par micro-ondes

Dans cet axe, on approfondira le concept de tomographie contrainte afin de pouvoir généraliser la méthode à la quantification de la teneur en eau dans une vaste gamme de matériaux. Ainsi, ce deuxième axe sera lié au traitement des données avec notamment la poursuite du développement du concept de **Tomographie contrainte micro-onde** ainsi que le traitement des données devant aboutir au diagnostic des matériaux en termes de teneur en eau (paramètre de base dans quasiment tous les matériaux), en termes de diagnostics de mélanges (biocarburants), en termes d'homogénéité... Il est bien évident qu'avec les bandes spectrales que nous utiliserons, nous n'aurons pas une discrétisation importante de la zone sous test. Donc l'objectif de cette approche de résolutions de problèmes inverses ne vise pas à obtenir une image précise, mais plutôt des variations de grandeurs de mesures directes liées au sondage microonde à savoir des paramètres de réflexion et de transmissions avec les divers éléments rayonnants du capteur, et/ou indirecte (permittivité diélectrique). Cela permettra d'aboutir au diagnostic qui sera défini dans le cahier des charges final. En outre, pour certaines applications comme les tests en lignes de production pour notamment le monitoring de la teneur en eau des biocarburants, les traitements devront être rapides, voire en temps réel pour obtenir un rafraichissement suffisamment rapide des données monitorées. Toutes ces techniques calculs numériques et de calculs tomographiques seront développées en partenariat avec des collègues marseillais du CINaM (Victoria Tishkova) et du CPPM (Yannick Boursier).

Applications, débouchés et valorisation du travail de thèse :

En premier lieu, ce projet de thèse SMTC (2022-2025) aura pour but de poursuivre et d'approfondir entre autres, les travaux initiés durant le projet européen *BiofMet* qui doit se terminer en 2023.

En outre, sur la base des travaux actuels et des échanges avec certains de nos collaborateurs, nous constatons que les applications de ce **concept capteur multi antennes** sont de plus en plus vastes. Outre l'application initiale sur le diagnostic de matériaux liquide, il apparaît que ce concept de capteur multi antennes pourrait être appliqué à des matériaux solides de type glaces. En effet, la géométrie de ce capteur pourrait être implémentée directement dans un carotteur et ainsi caractériser des carottes de glaces *in situ*. C'est une application qui intéresse au plus au point des chercheurs de l'université de Californie du Sud avec qui nous collaborons depuis quelques mois (équipe de Essam HEGGY¹). Pour valoriser les premiers travaux de thèse, et du fait de l'aspect innovant de ce concept de capteur multi antennes, les solutions qui seront utilisées pour le carotteur instrumenté, devraient faire l'objet de procédures de protections intellectuelles dans les prochains mois. Ça sera la première valorisation de ce travail de thèse.

Comme ce capteur a pour but de diagnostiquer et de monitorer des mélanges liquides ou visqueux, ce qui est important, ce sont les données *a priori* à fournir en données d'entrée dans les calculs de traitement des informations il est alors possible de l'appliquer à la détection de produits polluants (miscible ou en suspension comme des hydrocarbures visqueux) dans l'eau.

Nous ne dresserons pas une liste exhaustive des applications que nous avons d'ores et déjà identifiées. Mais il semble donc les débouchés socio-économiques de ce travail de thèse pourraient aujourd'hui être particulièrement vastes.

¹ *The Planetary Science Journal*, 2:182 (13pp), 2021 October <https://doi.org/10.3847/PSJ/ac0b3e>