

Sujet thèse / PhD subject 2026

Titre Thèse	Ingénierie de couches conductrices électrochimiquement modifiées pour des technologies de capteurs multifréquences intégrés sur puce unique	
PhD Title	Conductive Electrochemically-modified Layers for Enhanced Single-Chip Technology- Integrated multifrequency	
(Co)-Directeur	Dr. Bilel HAFSI	E-mail : bilel.hafsi@iemn.fr
(Co)-Directeur		E-mail :
(Co)-Encadrant (s)	Dr. Clément Dumont	E-mail : clément.dumont@univ-lille.fr
Laboratoire	IEMN	Web :
Groupe(s)	NCM	Web :
Projet phare principal	Health - Santé	
Financement acquis Oui ☐ Non ☐ Partiel ☒	Si acquis (total ou partiel), préciser : (contrat, organisme, Université étrangère...) : demi-financement ICAM	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille ☒ Centrale Lille ☐ JUNIA ☐
	Région ou Autre ☒ Préciser : Région Hauts-de-France	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, et si acquis ou pas) : Co-financement ICAM Lille, Acquis

Résumé (français) / Abstract (anglais)

Les stratégies actuelles de diagnostic et de suivi des pathologies chroniques s'appuient principalement sur des examens **invasifs** et **coûteux**, limitant leur déploiement pour un suivi régulier et à grande échelle des patients. L'analyse de l'haleine humaine apparaît comme une alternative clinique particulièrement pertinente. Cette contrainte constitue un frein majeur à la mise en œuvre d'une **médecine personnalisée** et **préventive**, en particulier pour les maladies chroniques nécessitant un **monitoring fréquent**. Dans ce contexte, l'analyse de l'haleine humaine apparaît comme une alternative clinique particulièrement prometteuse pour le **diagnostic non invasif** de nombreuses pathologies¹. Chez un individu sain, l'haleine se compose majoritairement d'azote (N₂), d'oxygène (O₂), de dioxyde de carbone (CO₂), de vapeur d'eau (H₂O), de gaz rares et d'un large spectre de **produits métaboliques endogènes**. Ces COVs sont présents à des concentrations allant du ppb au ppm et se distinguent par leurs propriétés physico-chimiques et leur capacité à diffuser à travers l'interface alvéolo-capillaire. Toute variation anormale de leur concentration ou l'émergence de **signatures multivariées spécifiques** peut ainsi constituer un biomarqueur non invasif de certaines pathologies.

Le sujet de thèse vise le développement d'un **outil de diagnostics** permettant la **discrimination simultanée de marqueurs biologiques**. Ces derniers constituent des indicateurs objectifs de l'état de santé des patients atteints de maladies chroniques. Une attention particulière sera portée sur l'**ammoniaque (NH₃)**, qui peut être associé à plusieurs pathologies, telles que l'insuffisance rénale, les troubles gastriques, et certaines maladies respiratoires². En effet, le NH₃ est produit lors du métabolisme des protéines, un processus responsable de la transformation des acides aminés. Son accumulation dans l'organisme peut être un signe de dysfonctionnement des organes impliqués dans son élimination, tels que les reins et le foie. En tant que **biomarqueur clé**, sa détection permet à la fois un diagnostic précoce et un suivi non invasif en temps réel de l'état de santé des patients. À travers le projet, nous proposons la **conception** et la réalisation d'un **outil de diagnostic non invasif**, à **fort potentiel de transfert clinique**. Reposant sur une **matrice de capteurs** à ondes acoustiques de surface (SAW) de type monoport. Ces capteurs seront fonctionnalisés à l'aide de méthodes de dépôt électrochimique hyper-contrôlées. L'objectif serait de capitaliser sur une méthode de dépôt originale dite "Bottom-up" et s'attachera à explorer de nouveaux matériaux prometteurs, tels que le **polypyrrole** et le **polyaniline**, deux polymères conducteurs, déjà reconnus pour leurs propriétés électrochimiques, et leur affinité vis-à-vis du NH₃. L'exploration de ces matériaux, combinée à des techniques de dopage maîtrisées dans notre équipe, permettra d'agir sur la sélectivité et la sensibilité des dispositifs capteurs. Une autre démarche consiste à étudier l'effet de l'utilisation d'un **matériau biosourcé**, **notamment la lignine**, développée par nos partenaires du laboratoire UCCS et qui sera utilisée comme une couche diélectrique (guide d'onde). Dans le but de tirer pleinement partie de la **miniaturisation** et de la capacité **d'intégration** de nos capteurs sur une même et seule puce, nous

¹ H. Xiong et al., « Recent advances in biosensors detecting biomarkers from exhaled breath and saliva for respiratory disease diagnosis », *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 267, p. 116820, janv. 2025.

² R. Gallego-Durán, et al., « Ammonia-induced stress response in liver disease progression and hepatic encephalopathy », *Nat Reviews Gastroenterology & Hepatology*, vol. 21, no 11, p. 774 791, nov. 2024,

proposons d'étudier de **nouvelles architectures** de capteurs basées sur des résonateurs monoport **multi-fréquentiels**³.

Cette thèse repose sur un sujet d'intérêt partagé entre des partenaires académiques et technologiques. Il s'appuie sur des dynamiques de coopération inter-établissements déjà engagées entre l'ICAM et l'IEMN avec un partenaire potentiel, l'Unité de Catalyse et de Chimie du Solide UCCS. Le projet s'appuie sur des plateformes technologiques de pointes, mutualisées entre les partenaires, offrant un environnement idéal pour la réalisation de ces travaux. L'IEMN dispose des ressources nécessaires de **micro- et nanofabrication** permettant la conception et la structuration des dispositifs (photolithographie, dépôt de couches minces, métallisation, etc.), ainsi que de moyens de **caractérisations morphologiques** avancées (MEB, AFM, profilométrie). De son côté, l'ICAM dispose des outils et équipements nécessaires à la **caractérisation radiofréquence** de dispositifs, ainsi que des moyens dédiés à la **fonctionnalisation de surface** et à la **caractérisation sous environnement contrôlé**. Ce maillage entre plateformes académiques offrira un **cadre interdisciplinaire** et favorisera également la formation d'ingénieurs et d'étudiants à des compétences transversales en microfabrication, chimie de surface, traitement du signal et apprentissage automatique, renforçant ainsi la cohérence scientifique et la portée innovante du projet.

La thèse bénéficiera d'un **financement solide**, à travers une collaboration d'envergure dans la **valorisation des co-produits végétaux**, via le projet CDP "Lillegnin", projet porté par les Professeurs (M. Sautier & R. Froideveaux). Dans ce cadre, **je porte la responsabilité du workpackage WP4** du projet : **Bio-Materials as sustainable polymers for bioelectronics devices**.

³ A. Westrelin et al., « Design and Fabrication Of Multiplexed One-Port SAW Resonators On A Single Chip » 2025 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.13788>