

Proposition de thèse de Doctorat

Étude et réalisation de nouveaux capteurs dédiés à l'environnement à partir de substrats piézoélectriques innovants type POI (Piezoelectric-on-Insulator).

Dpt TF, équipe COSYMA

Figure 1 : Capteur SAW

La pollution de l'air représente un risque environnemental majeur pour la santé et l'on estime qu'à l'échelle mondiale, elle est à l'origine d'environ deux millions de décès prématurés par an. Le contrôle de l'environnement nécessite la mesure de différentes espèces de gaz et particules. Il ne peut donc pas être effectué par un seul capteur mais un ensemble de capteurs spécifiques et sélectifs.

Notre environnement est constitué de nombreuses particules micro et nanométriques en suspension dans l'air pouvant entraîner des conséquences plus ou moins importantes pour la santé. Cela peut se traduire par une intoxication dans le cas du monoxyde de carbone ou par des problèmes pulmonaires dans le cas du formaldéhyde, classé comme gaz cancérigène pour l'homme par l'Agence Internationale de Recherche sur le Cancer (IARC). D'autres gaz, comme l'hydrogène, ont pour effet d'entraîner des risques d'explosion, pourtant ils peuvent être intéressants comme source d'énergie dans de nombreuses applications. Le dioxyde de carbone est un gaz inoffensif pour l'homme à faible concentration mais peut être émis dans de très grandes quantités lors de combustions naturelles comme les éruptions volcaniques ou les incendies. Il est également issu du secteur des transports (combustion de carburants), de l'industrie (utilisation d'énergies fossiles) et de l'habitat (utilisation d'énergie pour le chauffage, l'éclairage, ...). Il serait responsable de 26 % de l'effet de serre à l'œuvre dans notre atmosphère, où l'augmentation de sa concentration serait en partie responsable du réchauffement climatique constaté à l'échelle de notre planète depuis les dernières décennies du XXe siècle. Enfin, les particules fines notées PM10 et PM2.5 pénètrent en profondeur dans les poumons et peuvent être à l'origine d'inflammations et de l'aggravation de l'état de santé des personnes atteintes de maladies cardiaques et pulmonaires. Tous ces gaz ou microparticules sont utilisés ou émis de façon relativement banale quotidiennement. Pourtant, ils peuvent présenter un réel danger pour la santé quand leur concentration atteint un seuil critique.

Les dispositifs à ondes élastiques de surface (SAW) sont actuellement à l'étude pour la détection de faibles concentrations de gaz ou particules. En effet, ils sont de haute sensibilité, de petite taille, peuvent être réalisés à faible coût et présentent une grande robustesse. Le principe de ceux-ci est basé sur les variations de propriétés de propagation des ondes de surface provenant de couches sensibles déposées sur les capteurs et ce, en fonction de la quantité de gaz présent dans l'environnement. Les phénomènes d'adsorption et de désorption peuvent ainsi être suivis de façon simple par ces capteurs. Des techniques de suivis in-situ associées sont alors nécessaires pour le développement des capteurs industrialisables.

Description du travail de thèse et intégration dans le projet général

Le sujet proposé consiste à étudier et développer des capteurs à ondes de surface (figure 1) sur substrats piézoélectriques aux propriétés acousto-électriques particulières de manière à détecter

précisément les espèces toxiques présentes dans l'environnement (gaz et particules fines). Ces substrats seront issus de la technologie Smart-Cut développée par la société SOTTEC.

- Dans le cas de la détection sélective de gaz toxiques, une fonctionnalisation par des couches organométalliques spécifiques est nécessaire. Celle-ci les rendra performants même en présence de gaz interférents et/ou d'humidité.

- Dans le cas de la mesure des particules fines, la nature de ces dernières n'a pas d'importance, le critère important est leur diamètre ; plus celui-ci est petit, plus les particules pénétreront profondément dans les poumons entraînant des pathologies respiratoires.

Actuellement, les capteurs fonctionnent dans la gamme de la centaine de hertz mais en fonction du besoin applicatif, dans les habitacles de véhicule notamment, ceux-ci pourront être conçus pour fonctionner dans différentes gammes de fréquence pouvant aller jusqu'à 2,4 GHz.

Ce travail sera principalement réalisé dans le département Temps-Fréquence de l'institut FEMTO-ST (direction principale Virginie Blondeau-Patissier) en collaboration avec l'équipe P2DA de l'ICMUB (Dijon), spécialisée dans les porphyrines et les corroles, sous la direction du Pr. Claude Gros et l'entreprise `frec | n | sys` dirigée par le Dr. Sylvain Ballandras.

Plus précisément, le travail à effectuer sera partagé entre théorie, expérimentations sur un banc de mesure calibré de gaz et de particules fines et simulations numériques. Le projet consiste à développer une nouvelle génération de capteurs CO/CO₂ et de particules fines pour une application automobile en s'appuyant sur la convergence des recherches fondamentales et des motivations industrielles.

En particulier, le programme de travail pourra comporter les éléments suivants :

- Étudier le comportement acoustique de différents substrats POI (coef. de qualité, couplage électromécanique, pertes...), les comparer aux dispositifs quartz actuellement utilisés dans l'équipe pour la mesure de gaz et particules.
- L'équipe possède un logiciel permettant de prédire le comportement des capteurs en fonction de leur design. Il s'agira d'étudier des capteurs de plus haute fréquence de fonctionnement afin de réduire leur taille et augmenter leur sensibilité vis-à-vis des espèces à détecter.
- La détection des particules fines dans l'air a nécessité la fabrication d'un impacteur développé dans l'équipe (cf figure 2 – Brevet 2017). Il s'agit maintenant de réduire sa taille et développer un système permettant le nettoyage des différents capteurs placés au niveau des étages via des ondes de surface.
- Il sera également envisagé d'ajouter un nouvel étage à l'impacteur afin de répondre aux normes actuelles sur la pollution de l'air (cf figure 2) et des tests en conditions extérieures seront effectués.
- Différentes méthodes de dépôts de couches de MOFs et COFs (molécules organométalliques sous forme de réseaux) préalablement synthétisées par des collègues chimistes de l'ICMUB (Dijon) seront étudiées et leur efficacité de détection sera alors comparées en fonction des conditions environnementales (T°, Pression) et présence de gaz interférents. Le travail de synthèse de ces molécules est réalisé en collaboration avec le Pr Karl Kadish de l'Université de Houston.

- Proposer et réaliser des tests en présence des espèces visées et d'interférents pour quantifier leur sélectivité et sensibilité pour des applications dans le milieu automobile. Tests en conditions réelles dans les habitacles de véhicules.
- L'étudiant pourra bénéficier des connaissances et de l'aide du Staff de la centrale de microtechnologie Mimento pour la fabrication des capteurs en salle blanche.

La société Frec/n/Sys pourra mettre au service du doctorant son savoir-faire et ses capacités de réalisation de composants industriels pour tester les molécules qu'il développera dans le cadre de sa thèse, fournissant ainsi une évaluation effective de leur applicabilité pour des cas concrets de détection de molécules d'intérêt. La complémentarité des équipes en termes de recherche et développement, associé aux laboratoires académiques dont l'un en collaboration avec l'Université de Houston, et la possibilité de transférer la technologie complète pour la fabrication en grande série de ces capteurs, associé à un industriel (Sté Frec/n/Sys), est un atout essentiel et un point fort de ce projet. La complémentarité très forte des 2 équipes en termes de recherche et développement est un atout essentiel pour la réalisation de ce travail.

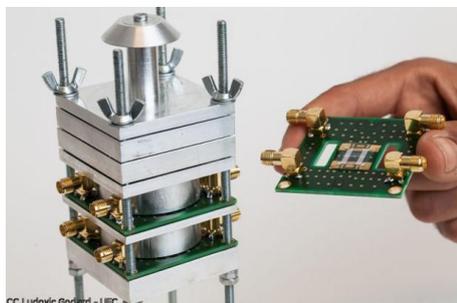


Figure 2 : Impacteur pour la détection des PM10 et PM2.5 (Brevet COSYMA -2017)

Contact : Virginie Blondeau-Patissier (MCF-HDR)
 Département Temps-Fréquence – Équipe COSYMA
 Institut FEMTO-ST
 26, chemin de l'Épitaphe
 25 000 Besançon
 Téléphone : 03-81.40.29.58
 Mail : virginie.blondeau@femto-st.fr