

**Titre de la thèse : Étude et réalisation de nouveaux dispositifs innovants autonettoyants dédiés à l'environnement – type POI (Piezoelectric-on-Insulator).**

**Laboratoire d'accueil :** FEMTO-ST, 26 chemin de l'Épitaphe 25000 Besançon Département Temps-Fréquence

**Spécialité du doctorat préparé :** microsystèmes, acoustique, environnement

**Mots-clefs :** micro-capteurs, impacteur, auto-nettoyage de surface, ondes de surface

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 d'espèces présentes 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 de nouveaux dispositifs à base de substrats piézoélectriques POI (**Piezoelectric-on-Insulator**) de manière à détecter précisément les particules fines présentes dans l'environnement et permettre le nettoyage de la surface après encrassement.

- La mesure des particules fines se fera via l'utilisation d'un impacteur à étages déjà développé dans l'équipe auquel il faudra apporter des améliorations (design, ergonomie, étage supplémentaire, ...).

- Le nettoyage devra se faire directement dans l'impacteur via des ondes élastiques de surface et de façon autonome.

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 sous la direction principale de Virginie Blondeau-Patissier, secondée par Thomas Baron et Sylvain Ballandras (entreprise SOITEC).

Plus précisément, le travail à effectuer sera partagé entre théorie, expérimentations sur un banc de mesure calibré de particules fines et simulations numériques. Le projet consiste à développer une nouvelle génération de capteurs de particules fines autonettoyant pour une application environnementale ou 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 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.
- Le principe du déplacement de gouttes via des ondes élastiques de surface sera étudié et appliqué à nos dispositifs.
- La détection des particules fines dans l'air a nécessité la fabrication d'un impacteur développé dans l'équipe. Il s'agit maintenant de lui intégrer un système permettant le nettoyage des différents capteurs placés au niveau des étages via des ondes de surface.
- Il sera également nécessaire de réaliser des tests en conditions extérieures et réelles.
- L'étudiant pourra bénéficier des connaissances et de l'aide du Staff de la centrale de micro-technologie Mimento pour la fabrication des capteurs en salle blanche.

La société SOITEC pourra mettre au service du doctorant son savoir-faire et ses capacités de réalisation de composants industriels innovants de type POI nécessaires au projet, fournissant ainsi une évaluation effective de leur applicabilité pour des cas concrets de détection de particules. La possibilité de transférer la technologie complète pour la fabrication en grande série de ces capteurs, associé à un industriel (Sté SOITEC Frec/n/Sys), est un atout essentiel et un point fort de ce projet.

**Références bibliographiques :**

[1] Di, Q.; Wang, Y.; Zanobetti, A. Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. The New England Journal of Medicine 2017.

[2] Djoumi, L.; Vanotti, M.; Blondeau-Patissier, V. Real time cascade impactor based on Surface Acoustic Wave delay lines for PM10 and PM2.5 mass concentration measurement. Sensors, 2018.

[3] Fawaz, G.; Vanotti, M.; Dbibih, F.-E.; Soumann, V.; Poisson, S.; Blondeau-Patissier, V. An Innovative Layer on Surface Acoustic Wave Sensors Integrated in a Cascade Impactor to Optimize PM10 Detection for Air Pollution Monitoring. Proceedings 2024, 97, 106.

[4] G. Fawaz, FE Dbibih, M. Vanotti, V. Soumann, V. Blondeau-Patissier, Innovative surface acoustic wave devices: A solution for real time monitoring and self-cleaning cascade impactor. Measurement 240 5 (2025) 115652

**Profil demandé :**

Ingénieur et / ou Master Recherche - Bon niveau de connaissances générales et scientifiques. Bon niveau de pratique du français et de l'anglais. Bonnes capacités d'analyse, de synthèse, d'innovation et de communication. Adaptabilité et créativité. Motivation pour une activité de recherche, en particulier expérimentale.

Connaissance de la physique, de l'acoustique (propagation des ondes). Compétences et motivation pour la recherche expérimentale et la micro technologie. La connaissance de la modélisation numérique en mécanique des fluides, COMSOL, SOLIDWORKS sera un avantage.

**Financement : CDD sur Projet de recherche**

Début du contrat : dès que possible (contrat de 36 mois)

**Direction / codirection de la thèse :**

Blondeau-Pâtissier Virginie : [virginie.blondeau@femto-st.fr](mailto:virginie.blondeau@femto-st.fr)

Baron Thomas : [thomas.baron@femto-st.fr](mailto:thomas.baron@femto-st.fr)

Ballandras Sylvain : [sylvain.ballandras@frecnsys.fr](mailto:sylvain.ballandras@frecnsys.fr)

Les candidats sont invités à soumettre leur candidature aux directeurs de thèse, accompagnée des documents suivants :

- CV
- Lettre de motivation
- Une lettre de recommandation
- Notes de master (M1, M2)

**Thesis title: Design and fabrication of innovative self-cleaning environmental devices - POI (Piezoelectric-on-Insulator) type.**

**Host Laboratory:** FEMTO-ST, 26 chemin de l'Épitaphe 25000 Besançon Département Temps-Fréquence

**Speciality :** microsystems, acoustics, environment

**Keywords:** microsensors, impactor, surface self-cleaning, surface waves

**Job description:**

**Introduction/ context:** Air pollution represents a major environmental health risk, and is estimated to cause around two million premature deaths a year worldwide. Environmental monitoring requires the measurement of different species of gases and particles. It cannot therefore be carried out by a single sensor, but by a set of specific, selective sensors.

Our environment is made up of numerous airborne micro- and nanometric particles, which can have various impacts on our health. This can result in intoxication in the case of carbon monoxide, or pulmonary problems in the case of formaldehyde, classified as a human carcinogen by the International Agency for Research on Cancer (IARC). Other gases, such as hydrogen, entail risks of explosion, yet can be an interesting source of energy in many applications. Carbon dioxide is harmless to humans in low concentrations, but can be emitted in very large quantities during natural combustion processes such as volcanic eruptions or fires. It is also emitted by the transport sector (fuel combustion), industry (use of fossil fuels) and housing (use of energy for heating, lighting, etc.). It is responsible for 26% of the greenhouse effect in our atmosphere as the increase in its concentration is partly responsible for the global warming since the last decades of the 20th century. Finally, fine particles such as PM10 and PM2.5 penetrate deep into the lungs, can cause inflammation and worsen the health of heart and lead to lung diseases. All these gases or micro-particles are used or emitted on a daily basis, relatively. Yet they can present a real health hazard when their concentration reaches a critical threshold.

Surface Acoustic Wave (SAW) devices are currently being studied for the detection of low concentrations of gases or particles. They present a high sensitivity, come in small sizes produced at low costs with a high robustness. Their principle is based on variations in the propagation properties of surface waves coming from

sensitive layers deposited on the sensors, as a function of the quantity of species present in the environment. Adsorption and desorption phenomena can thus be easily monitored by these sensors. Associated in-situ monitoring techniques are then required for the development of industrialized sensors.

**Description of thesis work and integration into the overall project**

The proposed project consists in studying and developing new devices based on piezoelectric POI (Piezoelectric-on-Insulator) substrates, so as to accurately detect fine particles present in the environment and enable surface cleaning after fouling.

- Fine particle measurement will be carried out using a multi-stage impactor already developed by the team, to which improvements will be made (design, ergonomics, additional stage, etc.).
- Cleaning should take place directly in the impactor via surface acoustic waves, and in an autonomous manner.

At present, the sensors operate in the hundred hertz range, but depending on the application needs, in vehicle interiors in particular, they could be designed to operate in different frequency ranges up to 2.4 GHz.

This work will be carried out mainly in the Time-Frequency department of the FEMTO-ST institute, under the principal direction of Virginie Blondeau-Patissier, assisted by Thomas Baron and Sylvain Ballandras (SOITEC).

More specifically, the work will be divided between theory, experiments on a calibrated fine particle measurement bench and numerical simulations. The aim of the project is to develop a new generation of self-cleaning fine particle sensors for environmental and automotive applications, based on research and industrial motivations.

In particular, the work program may include the following elements:

- Studying the acoustic behavior of different POI substrates (quality factor, electromechanical coupling, losses, etc.), comparing them with the quartz devices currently used in the team for particle measurement.
- The team has developed a software to predict the behavior of sensors according to their design. The aim is to study sensors with higher operating frequencies in order to reduce their size and increase their sensitivity to the species to be detected.
- The principle of droplet displacement via surface acoustic waves will be studied and applied to our devices.
- Detection of fine particles in the air has led to the fabrication of an impactor developed within the team. We now need to integrate a cleaning system for the various sensors mounted on the stages using surface acoustic waves.
- It will also be necessary to carry out tests under real outdoor conditions.
- The student will benefit from the knowledge and support of the staff at the Mimento micro-technology facilities to manufacture sensors in the cleanroom.

SOITEC will be able to provide the PhD student with its know-how and capacity to manufacture the innovative industrial POI-type components required for the project, thus providing an effective assessment of their applicability for particle detection applications. The possibility of transferring the complete technology for mass production of these sensors, in association with an industrial company (SOITEC Frec/n/Sys), is an essential asset and a strong point of this project.

**Applicant profil:**

Engineer and/or Research Master - Good general and scientific knowledge. Good level of French and English. Good analytical, synthesis, innovation and communication skills. Adaptability and creativity. Motivation for research activity, particularly experimental.

Knowledge of physics and acoustics (wave propagation). Skills and motivation for experimental research and micro technology. Knowledge of numerical modeling in fluid mechanics, COMSOL, SOLIDWORKS will be an advantage.

**Financing Institution: Fixed-term contract on a research project**

Contract start date: as soon as possible (36-month contract)

**Thesis Supervisor:**

Blondeau-Patissier Virginie: [virginie.blondeau@femto-st.fr](mailto:virginie.blondeau@femto-st.fr)

Baron Thomas: [thomas.baron@femto-st.fr](mailto:thomas.baron@femto-st.fr)

Ballandras Sylvain: [sylvain.ballandras@frecnsys.fr](mailto:sylvain.ballandras@frecnsys.fr)

Applicants are invited to submit their application to the PhD supervisors.

Application must contain the following documents:

- CV
- Cover letter
- At least 1 recommendation letter
- Master's grades (M1, M2)