

**Titre en français : Capteurs intelligents pour l'estimation et la prédiction des concentrations de H<sub>2</sub> en présences de perturbations physiques et de gaz interférents**

**Titre en anglais : Smart sensors for estimating and predicting H<sub>2</sub> concentrations in the presence of physical disturbances and interfering gases**

**Nom du directeur de thèse : Mohand Djeziri**  
**Nom du co-directeur de thèse : Tomas Fiorido**  
**Tel : 0669010990**  
**E-Mail : [mohand.djeziri@im2np.fr](mailto:mohand.djeziri@im2np.fr) [tomas.fiorido@im2np.fr](mailto:tomas.fiorido@im2np.fr)**

**Laboratoire : Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence**

**Financement : demandé**  
**Type de financement : ED353**

**Résumé en français :**

L'IM2NP (Equipe Microcapteurs et Instrumentations) est spécialisé dans le domaine de la mesure et de la surveillance en environnement spécifique ou sévère (air extérieur, air intérieur, santé, milieu nucléaire). Son activité repose sur des expertises allant de l'étude et de l'élaboration des couches, à la réalisation de micro-dispositifs sur supports rigides ou souples. Il possède des compétences et un savoir-faire dans La conception et la réalisation de microcapteurs et multicapteurs de gaz ; La caractérisation et le test des microcapteurs de gaz sous atmosphère contrôlée ; Le développement et la mise en œuvre de techniques de traitement des signaux et des données en vue d'améliorer la sélectivité des multicapteurs de gaz.

Suite à une étroite collaboration entre l'industriel CMR Group et l'équipe MCI (MicroCapteurs et Instrumentation) de l'IM2NP, une nouvelle génération de capteurs d'hydrogène capables d'opérer dans le gaz naturel a été réalisée. Ces capteurs offrent des performances intéressantes, mais sont fortement sensibles à des gaz interférents (CO, H<sub>2</sub>S ,...) et aux perturbations externes (variations des pressions , des débits, des températures, de l'humidité,...). Le développement des usages de l'H<sub>2</sub> fait apparaitre, le besoin de capteurs génériques pour des mesures dans l'air (détection de fuites par exemple) et en présence d'une forte humidité (piles à combustible, diagnostic médical...). Dans ce but, les capteurs développés pour la mesure dans le gaz naturel ont été testés sous hydrogène en présence d'air sec ou d'humidité et ont donné des résultats très intéressants. Toutefois nous avons pu constater que la présence d'oxygène et/ou d'humidité en continu atténue les performances du capteur en termes de réponses et de dérive dans le temps de la ligne de base, au fur et à mesure des expositions. Ces résultats démontrent que la technologie basée sur des films minces à base de palladium permettrait le développement d'un capteur générique d'hydrogène quel que soit le milieu ambiant mais nécessiterait encore des améliorations, qui pourraient se faire au niveau du matériau sensible et de l'analyse des données.

Dans ce sujet de thèse, le travail de recherche va se dérouler sur deux axes complémentaires : l'amélioration de la couche sensible du capteur pour l'adapter au contexte d'utilisation, et le traitement des données brutes pour l'amélioration des performances (sensibilité, sélectivité, précision, correction automatique des dérives) en utilisant les outils de l'Intelligence Artificielle. Ces deux phases du développement du capteur se dérouleront dans une boucle d'optimisation. L'analyse des performances du capteur en temps réel permettra de guider le processus de conception du capteur.

**Résumé en anglais :**

The IM2NP (Microsensors and Instrumentations Team) specializes in the field of measurement and monitoring in specific or severe environments (outdoor air, indoor air, health, nuclear environment). Its activity is based on expertise ranging from the study and development of layers, to the creation of microdevices on rigid or flexible supports. He has skills and know-how in the design and production of gas microsensors and multisensors; Characterization and testing of gas microsensors under controlled atmosphere; The development and implementation of signal and data processing techniques to improve the selectivity of gas multisensors.

A new generation of hydrogen sensors capable of operating in natural gas has been developed through close collaboration between the industrial CMR-Group and the MCI team of IM2NP-Lab. These sensors offer interesting performances, but are highly sensitive to interfering gases (CO, H<sub>2</sub>S, etc.) and external disturbances (variations in pressures, flow rates, temperatures, humidity, etc.). The development of uses of H<sub>2</sub> reveals the need for generic sensors for measurements in the air (leak detection for example) and in the presence of high humidity (fuel cells, medical diagnosis, etc.). For this purpose, the sensors developed for measurement in natural gas were tested under hydrogen in the presence of dry air or humidity and gave promising results. However, it was found that the presence of oxygen and/or humidity attenuates the performance of the sensor in terms of response-time and baseline-drift over exposure time. These results demonstrate that thin-films technology based on palladium would allow the development of a generic hydrogen sensor regardless of the ambient environment but would still require improvements, which could be made at the level of the sensitive material development and the data-analysis.

In this PhD proposal, the research work will be carried out on two complementary axes: the improvement of the sensitive layer of the sensor to adapt it to the context of use, and the processing of raw data to improve performance (sensitivity, selectivity, precision, automatic drift correction,) using Artificial Intelligence tools. These two phases of sensor development will take place in an optimization loop. Analyzing sensor performance in real time will help in guiding the sensor design process.

**Profil du candidat recherché :** instrumentation, capteurs et mesures, analyse de données, IA, modélisation  
Formation initiale : Diplôme d'ingénieur ou Master 2 en sciences de l'ingénieur : instrumentation, électronique/automatique

**Publications sur le sujet :**

1. Clément Occelli, Tomas Fiorido, Carine Perrin-Pellegrino, Jean-Luc Seguin "Sensors for anaerobic hydrogen measurement: A comparative study between a resistive PdAu based sensor and a commercial thermal conductivity sensor" international journal of hydrogen energy 48 (2023) 17729e17741.
2. M. A. Djeziri, O. Djedidi, N. Morati, et al. A temporal-based SVM approach for the detection and identification of pollutant gases in a gas mixture. Applied Intelligence (2021). <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02761-0>.
3. O. Djedidi, M. A. Djeziri, N. Morati, J. L. Seguin, M. Bendahan." Accurate Detection and Discrimination of Pollutant Gases Using a Temperature Modulated MOX Sensor Combined with Feature Extraction and Support Vector Classification ". Sensors & Actuators 2021. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129817>
4. M. A. Djeziri. M. Bendahan. "Special Issue: Advances in Machine Learning and Deep Learning Based Machine Fault Diagnosis and Prognosis". Editorial. V.9, Issue 532 Processes (2021), <https://doi.org/10.3390/pr9030532>.
5. I. Darmadi, F. A. A. Nugroho, and C. Langhammer, 'High-Performance Nanostructured Palladium-Based Hydrogen Sensors—Current Limitations and Strategies for Their Mitigation', *ACS Sens.*, p. acssensors.0c02019, Nov. 2020, doi: 10.1021/acssensors.0c02019.
6. I. Darmadi, S. Z. Khairunnisa, D. Tomeček, and C. Langhammer, 'Optimization of the Composition of PdAuCu Ternary Alloy Nanoparticles for Plasmonic Hydrogen Sensing', *ACS Appl. Nano Mater.*, p. acsanm.1c01242, Aug. 2021, doi: 10.1021/acsanm.1c01242.

**Insertion professionnelle après thèse** : publique et/ou privée : enseignement et recherche, docteur ingénieurs dans des grands groupes industriels ou des startups.