

## INSTITUT PASCAL – PHOTON - Microsystèmes Capteurs Chimiques

Directeur de thèse : Prof. Christelle Varenne (Professeure), [christelle.varenne@uca.fr](mailto:christelle.varenne@uca.fr)

Co-encadrant : Amadou Ndiaye (Ingénieur de Recherche), [amadou.ndiaye@uca.fr](mailto:amadou.ndiaye@uca.fr)

### Titre du sujet de thèse : *Élaboration, fonctionnalisation et caractérisation d'une hétérostructure bicouche silicium/graphène pour la détection d'hydrogène*

Résumé du sujet de thèse : Face à la transition énergétique actuelle, marquée par l'épuisement des ressources fossiles, doublée d'un dérèglement climatique associé aux émissions de gaz à effet de serre, le gouvernement a lancé en 2020 un plan de relance visant notamment au développement de la filière hydrogène [1]. Vecteur énergétique d'avenir puisque sans génération de CO<sub>2</sub>, l'hydrogène possède de plus une densité d'énergie plus importante que les équivalents vecteurs d'énergie d'origine fossiles. Néanmoins, c'est un gaz qui requiert un haut niveau de surveillance sur toute la chaîne d'exploitation, du fait de son caractère explosif à certaines concentrations [2]. Ainsi, pour la production, le stockage ou la distribution d'hydrogène, la surveillance continue de fuites par des capteurs fiables, miniatures et faibles coûts est essentielle pour garantir la sécurité des personnes, des équipements et des infrastructures.

Pour répondre à cette problématique, l'équipe Systèmes et Microsystèmes Capteurs Chimiques a pour ambition de développer un capteur résistif innovant basé sur une architecture bicouche silicium/graphène destiné à la détection de fuites d'hydrogène (H<sub>2</sub>). L'objectif de la thèse sera d'exploiter les propriétés complémentaires de ces deux matériaux afin d'améliorer les performances de détection.

L'étude prévoit de développer des couches sensibles à base de silicium et de graphène qui seront d'abord caractérisées séparément vis-à-vis de l'hydrogène avant d'être associées dans une structure bicouche unique bénéficiant des avantages des deux matériaux. Pour cela, la stratégie mise en place reposera sur la réalisation :

- de Silicium nanostructuré : la nanostructuration de la surface du silicium par méthode physique (via un masque) ou chimique visera à augmenter sa surface d'exposition et sa réactivité de surface tout en diminuant l'ancrage interfacial. Ensuite il sera décoré à l'aide de nanoparticules de palladium pour améliorer sa sensibilité vis-à-vis de l'hydrogène.
- de Graphène décoré par des nanoparticules (NPs) de palladium (Pd) et traité thermiquement. Grâce à sa surface spécifique importante (jusqu'à 2600 m<sup>2</sup>/g [3]), combinée aux propriétés catalytiques du palladium, cette structure renforcera la détection de l'hydrogène.
- de la structure mixte Silicium/Graphène inédite : cette configuration hybride permettra de combiner la stabilité et la sensibilité du silicium avec la forte réactivité de surface du graphène, tout en bénéficiant de l'activité catalytique du palladium vis-à-vis de l'hydrogène.[4]

Cette structure bicouche innovante bénéficiera de la plateforme de caractérisation par effet hall pour analyser les interactions électroniques et mieux comprendre les mécanismes réactionnels entre l'hydrogène et nos matériaux. Ces analyses permettront de corrélérer les performances de détection aux modifications des propriétés électroniques des couches actives.

L'objectif final de la thèse sera d'optimiser cette structure bicouche fonctionnalisée afin d'améliorer la sensibilité, la stabilité et la compréhension des mécanismes de détection de l'hydrogène.

#### Références :

[1] - <https://www.vie-publique.fr/discours/276268-bruno-le-maire-08092020-hydrogene-decarbone>

[2] - <https://www.france-hydrogene.org/technical-sheet/1-2-donnees-de-base-physico-chimiques-sur-lhydrogene/>

[3] - F. Bonaccorso, L. Colombo, G. Yu, M. Stoller, V. Tozzini, A.C. Ferrari, et al., *Science*, 347(2015) 1246501.

[4] - L. Moumaneix, A. Rautakorpi, T. Kallio, *ChemElectroChem*, 10 (2023) e202201109.