

**Fonctionnalisation de membranes de silicium poreux par des oxydes métalliques  
déposés par ALD (Atomic Layer Deposition).  
Application à la production de carburant solaire par la réduction du CO<sub>2</sub>.**

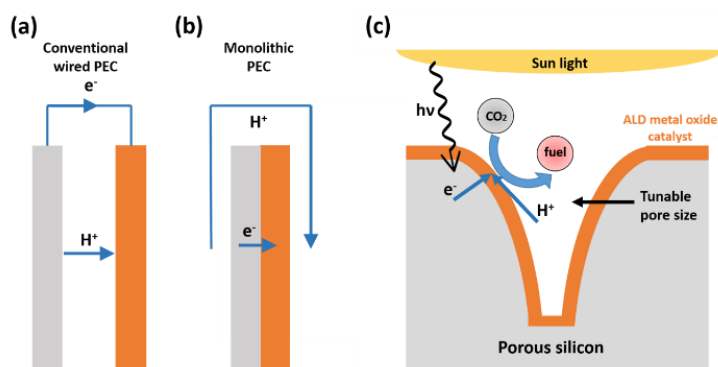
## Contexte

La consommation en énergie primaire et en particulier en énergie fossile telles que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel ne cesse d'augmenter ce qui pourrait mener à une pénurie. Par ailleurs, le contrôle des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est nécessaire et les nouvelles technologies permettent de l'utiliser pour la synthèse de carburants ou produits chimiques à haute valeur ajoutée. A l'heure actuelle, le rendement des meilleurs systèmes pour la réduction du CO<sub>2</sub> en gaz naturel (méthane) reste relativement faible (1,1  $\mu\text{mol.g}_{\text{catalyseur}}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) [1]. L'amélioration de ces technologies présente donc un grand. Nous proposons ici une approche permettant de réaliser ces dispositifs sur de plus grandes surfaces en utilisant les propriétés particulières des matériaux poreux, laissant espérer une production plus conséquente.

La réduction du CO<sub>2</sub> pour la production de carburants solaires est généralement réalisée par un système à deux électrodes. Ceci implique deux procédés de fabrication séparés pour l'anode et la cathode (Figure 1a). Les cellules photo-électrochimiques (PEC) monolithiques (Figure 1b) présentent l'avantage d'intégrer le système de conversion complet dans un seul montage. Toutefois, une meilleure intégration de ces cellules monolithiques est nécessaire pour réussir à faire émerger cette technologie appelée « photosynthèse artificielle ».

Parmi tous les semi-conducteurs qui ont été étudiés pour la réalisation de PEC, le silicium est un candidat logique dans la mesure car facile à texturer et à fonctionnaliser en déposant différents matériaux, de manière homogène et sur de grandes surfaces grâce à sa compatibilité avec tous les procédés de fabrication de la microélectronique. Par ailleurs, le silicium présente un rôle dominant dans l'industrie de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique (photovoltaïque) grâce à ses excellentes propriétés d'absorption de la lumière. La fonctionnalisation du silicium poreux (PSi) semble être une bonne méthode pour réaliser la réduction du CO<sub>2</sub> car il possède une forte surface spécifique et on peut y déposer des catalyseurs déposés par couches atomiques (ALD) de manière conforme. De plus, cette couche de fonctionnalisation est protectrice du silicium poreux [2], souvent prône à la photocorrosion [3]. Le dispositif obtenu aurait alors l'architecture présenté en Figure 1c. Le catalyseur « simple » le plus performant aujourd'hui semble être l'oxyde de titane (TiO<sub>2</sub>) [1] mais d'autres matériaux, notamment à grands gaps tels que le ZrO<sub>2</sub> et le Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dont le dépôt est maîtrisé par notre laboratoire semblent aussi prometteurs [4-5].

Afin de relever ce défi, ce projet de thèse a pour objectif de fabriquer des PEC grandes surfaces capables de réaliser la réduction du CO<sub>2</sub> en combinant l'utilisation d'oxydes métalliques déposés par ALD et l'énergie solaire pour la production d'une source d'énergie alors devenue renouvelable : le méthane.



**Figure 1.** Représentation schématique d'une cellule photoélectrochimique (PEC) classique (a) comparée à une cellule monolithique (b) et architecture proposée dans ce projet pour la conversion de  $CO_2$  en carburant (c).

Les travaux seront menés par Brice Le Borgne. La direction de la thèse sera assurée par Gaël Gautier qui apportera son expertise quant à la synthèse du silicium poreux mais aussi sur les techniques d'analyse. Des collaborations à l'échelle nationale et internationale sont envisagées.

## Références

- [1] Zhao, H., et al. (2017). *Applied Surface Science*, 404, 49-56.
- [2] Ao, X., et al. (2012). *Applied Physics Letters*, 101(11), 111901
- [3] Santinacci, L. et al. (2016). *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(37), 24810-24818.
- [4] García-López, E. et al. (2018). *Catalysis Today*, 313, 100-105.
- [5] Akimov, A. V. et al. (2015). What makes the photocatalytic  $CO_2$  reduction on N-doped  $Ta_2O_5$  efficient: insights from nonadiabatic molecular dynamics. *JACS*, 137(35), 11517-11525.

## Profil souhaité

L'étudiant ou l'étudiante devra détenir un Master (ou en cours de diplomation) dans le domaine des matériaux, de l'électronique et/ou de l'électrochimie. Il ou elle doit faire preuve d'autonomie et de rigueur. La durée de ce contrat sera de 3 ans (Octobre 2022 à Août 2025). Il sera rémunéré conformément à la législation (env. 1400€/mois) avec possibilité d'enseigner sous conditions (+env. 300€/mois). Des déplacements à l'étranger lors de conférences est à prévoir. La maîtrise de l'anglais (lu, parlé et écrit) est indispensable pour la communication et la publication de nos travaux.

## Contacts

Si vous êtes intéressé(e) par ce sujet ou si vous souhaitez des informations complémentaires, nous contacter aux adresses suivantes :

<p><b>Brice LE BORGNE</b> Maître de Conférences Université de Tours GREMAN – Site STMicroelectronics 16 rue Pierre &amp; Marie Curie – BP 7155 37071 TOURS Cedex 2 brice.leborgne@univ-tours.fr</p>	<p><b>Gaël GAUTIER</b> Professeur INSA-CVL GREMAN – Site STMicroelectronics 16 rue Pierre &amp; Marie Curie – BP 7155 37071 TOURS Cedex 2 gael.gautier@univ-tours.fr</p>
---	--

Informations sur le laboratoire :

<https://greman.univ-tours.fr/english-version/about-us>