



**Sujet de thèse : Développement de films minces nanostructurés pour photoélectrodes avancées par ALD et procédés basés sur des gabarits**

**Unité de recherche :** CIMAP - Équipe NIMPH (Nanostructures Intégrées pour la Microélectronique et la Photonique)

**Lieu :** Laboratoire CIMAP, ENSICAEN, Caen, France/Lab LCS, ENSICAEN, Caen,

**Contexte et Objectifs :** Le secteur de l'énergie évolue rapidement, avec une demande croissante de solutions renouvelables et durables. La production d'hydrogène via la dissociation de l'eau par énergie solaire est une voie prometteuse vers une énergie propre, offrant une source de combustible décarbonée. Dans ce contexte, les photoélectrodes jouent un rôle clé, et l'optimisation des matériaux et de leurs nanostructures peut considérablement améliorer les performances. Ce projet de thèse vise à développer des photoélectrodes innovantes en utilisant des films minces déposés par Atomic Layer Deposition (ALD), combinés à des techniques avancées de nanostructuration pour améliorer l'efficacité de la production d'hydrogène solaire.

**Description du projet :** Ce projet intégrera deux thématiques de recherche complémentaires :

**1. Nanostructuration par Gabarits :**

- Développer de nouveaux procédés de nanostructuration utilisant des gabarits en oxyde d'aluminium anodisé (AAO) pour contrôler les propriétés des matériaux déposés par ALD. Cela comprend la fabrication et l'optimisation des gabarits AAO, caractérisés par leurs réseaux de nanopores uniformes, servant de guide pour la croissance de nanomatériaux.
- Utiliser ces gabarits pour créer des réseaux de films nanostructurés, permettant un meilleur contrôle des propriétés optiques, électriques et catalytiques, essentielles pour des applications dans des dispositifs électroniques et optoélectroniques avancés.

**2. Films d'Oxydes Spinelles par ALD pour Photoélectrodes :**

- Synthétiser des films minces d'oxydes spinelles (ex :  $\text{FexCo}_{3-x}\text{O}_4$ ,  $\text{CaxFe}_{2-x}\text{O}_4$ ) par ALD pour une utilisation dans les photoélectrodes. Ces matériaux sont reconnus pour leur stabilité et leurs propriétés électroniques adéquates, en faisant d'excellents candidats pour la dissociation de l'eau par énergie solaire.
- Optimiser la stœchiométrie et les paramètres de dépôt pour améliorer l'absorption optique, la conductivité électrique et la stabilité chimique des films. Le projet s'appuiera sur des avancées récentes, telles que l'utilisation de  $\text{Nb-TiO}_2$  [[10.1016/j.jacomc.2024.100018](https://doi.org/10.1016/j.jacomc.2024.100018)] comme matériau complémentaire pour former des hétérojonctions efficaces.
- Développer des architectures de photoélectrodes planaires et 3D pour maximiser la surface et améliorer l'absorption lumineuse et le transport de charges.

**Approche de Recherche :** La thèse portera sur :

- **Fabrication et Optimisation de Gabarits Nanostructurés :** Synthétiser des gabarits AAO et ajuster leurs propriétés (taille des pores, uniformité) pour créer des structures bien définies pour l'ALD.
- **Synthèse de Films Minces par ALD :** Développer des procédés de dépôt pour obtenir des films d'oxydes spinelles avec un contrôle précis de la stœchiométrie et une qualité cristalline optimisée.
- **Caractérisation :** Utiliser des techniques avancées (diffraction des rayons X, ellipsométrie spectroscopique, spectrométrie de masse à ions secondaires) pour analyser les propriétés structurales, optiques et électriques des films.
- **Intégration et Tests de Performance :** Intégrer les films nanostructurés dans des photoélectrodes fonctionnelles et évaluer leurs performances pour la dissociation de l'eau par énergie solaire, en se concentrant sur la stabilité, l'efficacité et la scalabilité.

**Compétences Recherchées :**



- Connaissances en techniques de dépôt de films minces, en particulier ALD.
- Expérience en méthodes de caractérisation des matériaux (XRD, TEM, ellipsométrie, SIMS, etc.).
- Formation en science des matériaux, nanotechnologie et/ou technologies d'énergie renouvelable.
- Compétences analytiques et résolution de problèmes, avec une capacité à travailler en équipe interdisciplinaire.

**Résultats Attendus :** Ce projet de thèse vise à :

- Améliorer la compréhension de l'influence des gabarits nanostructurés sur les propriétés des films minces déposés par ALD.
- Développer de nouveaux procédés basés sur l'ALD pour créer des photoélectrodes efficaces pour la dissociation de l'eau par énergie solaire.
- Contribuer à la transition vers des énergies renouvelables en proposant des solutions innovantes pour la production d'hydrogène.

**Cadre Collaboratif :** Ce projet de thèse, mené au sein de l'équipe NIMPH, est soutenu par les projets LABEX EMC3 (SUNTOH et MARIE), dédiés au développement de technologies de conversion d'énergie. Le doctorant disposera d'infrastructures de pointe au CIMAP et bénéficiera de collaborations avec le Dr. Mohamad El-Roz du laboratoire LCS, dont l'expertise en caractérisation catalytique des matériaux et des hétérojonctions réalisées à partir des mêmes matériaux apportera un soutien complémentaire essentiel au projet.

**Contact :** Pour toute information ou candidature, veuillez contacter :

- Dr. Julien Cardin ([julien.cardin@ensicaen.fr](mailto:julien.cardin@ensicaen.fr))
- Dr. Christophe Labbé ([christophe.labbe@ensicaen.fr](mailto:christophe.labbe@ensicaen.fr))

**Informations supplémentaires:**

**Début:** Septembre 2025 (contrat de 36 mois)

**Lieu:** Caen, laboratoire CIMAP-ENSICAEN



CIMAP -UMR 6252, CNRS-CEA-ENSICAEN et Université de  
Caen  
6, Boulevard du Maréchal Juin, 14050 CAEN Cedex, FRANCE

