

## *Sujet de thèse*

# *Études mécanique et morphométrique de couches minces pour les microtechnologies.*

**Directrice de thèse :** Pr. Francine ROUDET (LGCgE-ULille)

**Laboratoire :** Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE)  
ER1 : Modélisation et caractérisation multi-échelle des problèmes couplés

**Nature du contrat :** Contrat doctoral (CDD 36 mois)

**Mots Clés :**

Indentation, propriétés mécaniques, modèles analytiques

**Contexte :**

Cette thèse s'appuie sur les compétences développées au sein de la Fédération Lilloise de Mécanique (Thème M3S) dans les domaines de l'indentation et de la morphologie des surfaces appliquées aux couches minces utilisées en microtechnologie. Ce travail de thèse fait suite aux connaissances acquises dans le cadre de 3 stages master (2021, 22 et 23) soutenus en partie par la Fédération Lilloise de Mécanique (FED 4130) et codirigés par des membres des laboratoires de l'IEMN et du LGCgE.

En 2021, les travaux de DZIRI [1] ont porté sur la détermination des propriétés mécaniques par indentation instrumentée de revêtements Cupro-Nickel (Constantan) mono et multicouches. L'analyse des résultats a mis en évidence plusieurs points à approfondir, en particulier l'effet de l'épaisseur des couches et de leurs répétitions ainsi que les contraintes résiduelles sur les valeurs des propriétés mécaniques obtenues. En 2022, BOUZIDI [2] a étudié de manière analogue des revêtements à structures épitaxiées AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> qui présentent l'avantage d'avoir une croissance contrôlée. L'étude des couches obtenues, extrêmement homogènes, a permis de s'affranchir de l'éventuelle hétérogénéité des couches et a mis en évidence l'importance des interfaces sur le comportement mécanique global d'un système multicouche. En 2023, le sujet porte sur l'étude de la morphologie de surface après indentation pour mesurer les déformations autour de l'empreinte afin de les prendre en compte dans la détermination des propriétés mécaniques. Ces premiers résultats ont également montré l'importance de l'étalonnage du système d'indentation sur la mesure à l'échelle nanométrique. C'est dans ce double objectif d'étalonnage du système de mesure et de la détermination des propriétés mécaniques de couches minces que s'appuiera le sujet de thèse proposé.

**Sujet :**

Le sujet proposé consiste donc à évaluer l'impact des méthodes d'étalonnage et à étudier la répétabilité et la reproductibilité inter-instrument pour la caractérisation mécanique et morphométrique de couches minces utilisées en microtechnologie. Pour la formation des matériaux revêtus de couches minces, il est prévu de déposer des métaux, des diélectriques et des polymères sur des substrats de natures différentes (verre et/ou silicium). Pour mener à bien ce travail, le candidat s'appuiera sur les compétences des laboratoires impliqués. L'IEMN sera le maître d'œuvre pour la réalisation des échantillons avec l'aide du candidat. Pour la caractérisation mécanique, le LAMIH impliquera le candidat dans la détermination des

propriétés mécaniques, dureté et module d'élasticité, aux échelles nano et micrométriques. Le candidat sera confronté à différents problèmes comme l'étalonnage [3] des instruments, les définitions des propriétés mesurées, comment soustraire l'influence du substrat dans la détermination des propriétés mécaniques avec les problématiques liées aux multicouches et au rôle de l'interface. Les déformations de l'empreinte, défection des faces de l'empreinte (effet sink-in) ou formation de bourrelets (effet pile-up) doivent être prises en compte car elles influent fortement sur les valeurs des propriétés déduites. Pour identifier les modes de déformation, le LGCgE dispose d'un microscope Keyence permettant une analyse morphométrique de l'empreinte. Une analyse plus fine par couplage FIB et MEB à l'IEMN apportera des éléments complémentaires et utiles à la compréhension des mécanismes de déformation sous indentation. Il reste toutefois en suspens la question de la pertinence, de la justification et de l'impact des modèles et des méthodes utilisées pour l'analyse des courbes force-déplacement. En effet, les postulats de départ sur lesquels se basent ces modèles peuvent être différents (matériau de référence, géométrie directe, déformation...) et il peut y avoir un impact sur la valeur finale de la propriété recherchée. Dans ce cas-là, la crédibilité de la valeur peut être remise en question.

La thèse se déroulera principalement dans les locaux du LGCgE, mais aussi selon les besoins dans les locaux de l'IEMN et du LAMIH de l'Université de Valenciennes (UPHF).

#### Références :

- [1] Dziri A., Montagne A., Roudet F., Ziouche K., Chicot D. – *Martens hardness of Constantan thin films on (100) Si wafer: Improvement in contact area function in nanoindentation* – Thin Solid Films (22/1/2023) 129712
- [2] T. Bouzidi - *Mechanical characterization of MOCVD deposited AlGaIn/GaN layers by instrumented Nanoindentation* - Lille, sept. 2022.
- [3] D. Chicot, A. Mejias, F. Roudet, A. Montagne, D. Betrancourt, et T. Coorevits - *Self-calibration in compliance and indenter tip defect for instrumented indentation* - Journal of Materials Research, vol. 37, n° 17, p. 2775-2792, sept. 2022, doi: 10.1557/s43578-022-00668-1.

#### Profil demandé :

La personne recrutée doit avoir des connaissances en science des matériaux, mécanique et physique et dans le domaine des microtechnologies.

- Motivée, travailleuse, rigoureuse et ouverte d'esprit.
- Forte aptitude à la communication, capacité d'initiative et d'organisation.

Envoyer CV + lettre de motivation + dernier bulletin de notes + recommandations (lettres ou références du contact) à Francine ROUDET (LGCgE) par mail [francine.roudet@univ-lille.fr](mailto:francine.roudet@univ-lille.fr)

**Date limite de dépôt des candidatures : 8 mai 2023**