

Résumé du sujet de thèse

Titre : Développement des revêtements architecturés protectifs et durables élaborés par des technologies hybrides PVD et ALD

Contexte : Les nouveaux procédés d'obtention de matériaux avancés, sous forme de revêtements, se développent de plus en plus pour répondre aux besoins socio-économiques et environnementaux. Les revêtements, en tant que couches de protection, améliorent les propriétés de surface d'un matériau. En particulier, le PVD (dépôt physique en phase vapeur) produit des couches micrométriques très robustes et résistantes aux conditions environnementales. Le revêtement des matériaux permet notamment d'étendre significativement leur durée de vie surtout en fonctionnement dans des milieux extrêmes. Ainsi, le dépôt de couches micrométriques et nanométriques pour obtenir des matériaux à gradient fonctionnel est une approche prometteuse pour réaliser une adaptation d'impédance ou une réduction des effets de corrosion et d'oxydation. Les dépôts par ALD (dépôt par couche atomique) seront utiles pour combler les lacunes (microfissures, défauts de surface...) qui existent dans un dépôt PVD. Ce sont des couches nanométriques très uniformes et très minces.

Dans ce projet, les dépôts seront élaborés en multi couches par des procédés de PVD et d'ALD. Les paramètres influençant la performance des revêtements seront identifiés surtout sur le choix des matériaux, les épaisseurs des couches PVD et ALD, et les propriétés thermiques. Une nouvelle technique est aussi mise en place pour des meilleurs revêtements, c'est l'ALD en phase liquide qui est une spécialité particulière au laboratoire EC2M à l'université libanaise.

Problématique : Avec l'infinité d'applications et l'utilisation des matériaux dans des milieux extrêmes (haute température, vibrations, milieux marins, ...), il est très important de produire des couches protectrices qui servent en premier lieu comme barrière de protection, qui par suite prolongera d'une manière remarquable la durée de vie des composants en question. La solution efficace est de revêtir les matériaux par des couches élaborées par PVD qui sont robustes, d'une bonne tenue mécanique, et résistants aux effets corrosifs. Le problème avec ces dépôts est que l'épaisseur de la couche (quelques micromètres) engendre des défauts de surface microscopiques sous forme de microfissures et de porosité. La combinaison de deux techniques PVD et ALD permettent de déposer des couches micrométriques qui seront par la suite couvertes par une ou plusieurs couches nanométriques et ces dernières rempliront les microfissures et combleront les défauts.

Objectifs :

- Développement de nouveaux revêtements hybrides architecturés, protectifs et résistants aux conditions environnementales sévères, en combinant la qualité et la tenue des dépôts PVD à l'uniformité des dépôts ALD (gaz ou liquide).
- Etablir des liens entre les paramètres d'élaboration, les propriétés physico-chimiques, les microstructures et la performance du revêtement.
- Création de couches hybrides anti corrosion avec de bonnes propriétés thermiques.
- Etude des couches élaborées dans des milieux à taux élevé de vibrations, hautes températures et possiblement le milieu marin.

Méthodologie : La thèse sera réalisée dans le cadre du programme de cotutelle de thèses entre l'Université Libanaise (UL) et l'Université de Technologie de Troyes (UTT) et court sur une durée de 36 mois. Le (la) future doctorant(e) sera codirigé(e) par Akram Alhussein,

Professeur associé à l'UTT, et par Roland Habchi, Professeur à l'UL. Les dépôts par les technologies PVD et ALD ainsi que les différentes caractérisations seront effectuées aux laboratoires LASMIS de l'UTT et au laboratoire EC2M de l'université libanaise, faculté des sciences.

La méthodologie d'étude s'appuie sur une approche multi-échelle permettant de corrélérer l'état microstructural du revêtement et ses propriétés résultantes. Ce projet s'articule autour de plusieurs tâches :

- 1) Elaboration des dépôts sur des substrats en Si wafers, lames de verre, acier, polymère (flexible), ou même papier.
- 2) La 1^{ère} couche de dépôt sera réalisée par PVD. Les matériaux candidats sont des alliages d'Al, Ti, Cr, ...
- 3) Caractérisations microstructurale, physico-chimique et mécanique de la 1^{ère} couche (MEB, EDS, DRX, Nano indentation, ...).
- 4) Elaboration de la 2^{ème} couche par ALD (phase gazeuse et phase liquide). Les matériaux candidats sont : Al₂O₃, TiO₂, ZnO, BN, ...
- 5) Caractérisations microstructurale, physico-chimique et électrique de la 2^{ème} couche (MEB, EDS, DRX, quatre pointes, impédance, Raman, ...).
- 6) Evaluation de la performance du matériau revêtu dans des conditions réelles de service.
- 7) Etablir un modèle phénoménologique reliant les différents paramètres d'élaboration avec les propriétés des revêtements.

Mots clés : Revêtements, PVD, ALD, procédé hybride, dépôts barrières, multi couches, propriétés physico-chimiques, anti corrosion, résistance à l'oxydation, durabilité.

Références :

- 1- Z. Wan et al. Enhanced Corrosion Resistance of PVD-CrN Coatings by ALD Sealing Layers. *Nanoscale Res Lett.* (2017) 12: 248.
- 2- W. Dai et al. Al₂O₃/CrAlSiN multilayer coating deposited using hybrid magnetron sputtering and atomic layer deposition. *Ceramics International* (corrected proof).
- 3- K. Jarvis and P.J. Evans. Growth of thin barrier films on flexible polymer substrates by atomic layer deposition. *Thin Solid Films* 624 (2017) 111–135.
- 4- M. Staszuk et al. Investigation of the structure and properties of PVD coatings and ALD + PVD hybrid coatings deposited on sialon tool ceramics. *Vacuum* 154 (2018) 272-284.
- 5- L. Guzman et al. Chemical and electrochemical characterization of hybrid PVD + ALD hard coatings on tool steel. *Electrochemistry Communications* 11 (2009) 2060-2063.
- 6- M. Staszuk et al. Investigation studies involving wear-resistant ALD/PVD hybrid coatings on sintered tool substrates. *MTAEC9*, 50(5)755 (2016).
- 7- L. Jarmo et al. Effect of surface wear on corrosion protection of steel by CrN coatings sealed with Atomic Layer Deposition. DOI: 10.1021/acsomega.7b01382 (2018).
- 8- T. Maindron et al. Defect analysis in low temperature atomic layer deposited Al₂O₃ and physical vapor deposited SiO barrier films and combination of both to achieve high quality moisture barriers. *Journal of Vacuum Science & Technology A* 34 (2016) 031513.