

**THESE EN SCIENCES DES MATERIAUX / BDI-CNRS 2012**  
**Institut P', UPR 3346, Université de Poitiers/CNRS/ENSMA**

**Sujet.**

Cinétique de croissance/propagation des structures de cloquage: approche expérimentale et numérique

**Co-encadrants.**

A. Cimetière, J. Colin C. Coupeau (Dpt PMM, Institut P', UPR3346, Université de Poitiers)

**Collaboration.**

G. Parry (SIMAP, Université Joseph Fourier Grenoble)

**Lieu.** Institut P' UPR3346, Dpt Physique et Mécanique des Matériaux

Site du Futuroscope, CNRS/ENSMA/Université de Poitiers

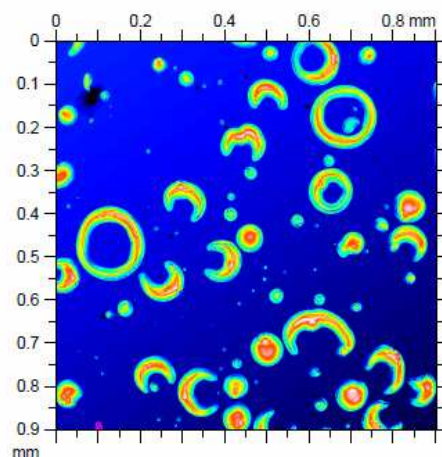
**Contact.** Christophe COUPEAU, Professeur 05.49.49.66.52

christophe.coupeau@univ-poitiers.fr

**Contexte et objectifs.** La qualité d'un revêtement destiné à un usage pratique est grandement influencée par son comportement mécanique et sa stabilité. Le taux de contraintes internes, l'épaisseur et l'adhésion sont les principaux facteurs qui déterminent la stabilité du couple revêtement/substrat et par la suite sa durée de vie. Il est ainsi indispensable lors de l'utilisation industrielle de ces systèmes que la bonne tenue mécanique de l'ensemble soit, d'une part réalisée dès l'élaboration en évitant les décohésions spontanées du dépôt sur son substrat, et d'autre part préservée lors de sollicitations mécaniques ultérieures au cours de leur utilisation. L'élaboration de films minces par pulvérisation entraîne généralement l'apparition de très fortes contraintes internes au sein de ces matériaux, parfois de plusieurs GPa en compression. De tels niveaux de contrainte sont alors à l'origine de décollements spontanés, aboutissant généralement à la perte des propriétés fonctionnelles qui leur étaient conférées. Dans ce contexte, on comprend bien l'intérêt d'une meilleure appréhension de ces phénomènes d'endommagement par cloquage, afin de les inhiber, voire les contrôler.

Depuis plusieurs années, un travail conséquent a été réalisé, tant expérimental que théorique, pour caractériser la morphologie des structures de cloquage, que ce soit les cloques circulaires, rides ou cordons de téléphones, en fonction de l'état de contrainte dans le film. Pour l'instant, les études qui ont été menées pour décrire ces phénomènes présupposent l'existence de zones délaminées à l'interface film/substrat, de telle sorte que l'étude peut être ramenée à un problème de flambage unilatéral pour une plaque mince élastique reposant sur un appui plan. Un grand nombre d'observations expérimentales restent cependant inexplicables à ce jour, concernant la croissance des cloques, en lien direct avec le vieillissement des matériaux contraints.

L'objectif de ce travail de thèse est d'aborder ces aspects cinétiques, à la fois du point de vue expérimental à l'aide d'un dispositif expérimental original permettant de suivre l'évolution des surfaces sur des échelles de temps significatives, mais aussi du point de vue numérique à partir de simulation par éléments finis. L'un des verrous



*Structures de cloquage en « donut » observées au sein d'un film d'or (630 nm) déposé sur substrat silicium.*

empêchant d'appréhender certains phénomènes concernait l'intégration des effets de couplage entre le flambage proprement-dit et la délamination concomitante de l'interface. Très récemment, des résultats préliminaires nous laisse entrevoir la possibilité, en intégrant des lois de décohésion à un code d'éléments finis (ABAQUS), de caractériser ces phénomènes dynamiques. Au travers de cette thèse, la compréhension d'un certain nombre de phénomènes serait alors possible, tels que par exemple la croissance de ride en « donut » dans un champ de contrainte anisotrope, la propagation d'une ride droite dans un gradient d'épaisseur, l'existence de cloques circulaires ou de cordons de téléphone présentant des doubles périodes.

### **Quelques publications significatives du groupe de recherche.**

- A. Ruffini, J. Durinck, J. Colin, C. Coupeau, J. Grilhe  
*Gliding at interface during thin film buckling: a coupled atomistic/elastic approach*  
*Acta Materialia* **60** 1259 (2012).
- C. Coupeau, J. Grilhé, E. Dion, L. Dantas de Moraes, J. Colin  
*Evidence of vacuum between buckled films and their substrates*  
*Thin Solid Films* **518** 5233 (2010).
- J. Durinck, C. Coupeau, J. Colin, J. Grilhé  
*Molecular dynamics simulations of buckling-induced plasticity*  
*Applied Physical Letters* **93** 221904 (2008).
- J. Colin, C. Coupeau, J. Grilhé  
*Plastic folding of buckling structures*  
*Physical Review Letters* **99** 046101 (2007).
- F. Foucher, C. Coupeau, J. Colin, A. Cimetière, J. Grilhé  
*How crystalline substrate plasticity modifies thin film buckling*  
*Physical Review Letters* **97** 096101 (2006).
- G. Parry, J. Colin, C. Coupeau, F. Foucher, A. Cimetière, J. Grilhé  
*Effect of substrate compliance on the global unilateral post-buckling of coatings:  
AFM observations and finite elements calculations*  
*Acta Materialia* **53** 441 (2005).