



***Mécanismes d'endommagement par cloquage des revêtements:  
influence de la microstructure et de l'endommagement plastique***

**Début de la mission doctorale.** 01/10/2021

**Salaire mensuel.** 2000 € brut, CDD 3 ans (+possibilité de complément d'enseignements)

**Financements.** Labex Interactifs / Université de Poitiers et Labex CEMAM Université Grenoble-Alpes

**Laboratoires partenaires**

Laboratoire SIMaP UPR 5566 CNRS, Université Grenoble-Alpes ([simap.grenoble-inp.fr](http://simap.grenoble-inp.fr))

Institut Pprime UPR 3346 CNRS, Université de Poitiers ([www.pprime.fr](http://www.pprime.fr))

**Directeurs de thèse.**

Guillaume Parry ([guillaume.parry@grenoble-inp.fr](mailto:guillaume.parry@grenoble-inp.fr))

Christophe Coupeau ([christophe.coupeau@univ-poitiers.fr](mailto:christophe.coupeau@univ-poitiers.fr))

<https://sfa.univ-poitiers.fr/physique/membres/coupeau-christophe/>

**Mots-clés.** Revêtements, Films minces, Cloquage, Endommagement, Contraintes

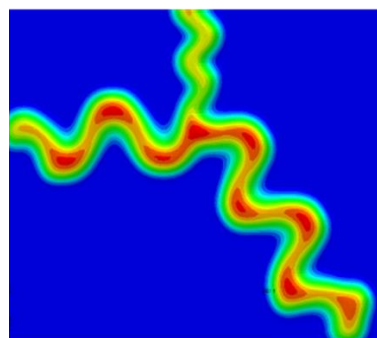
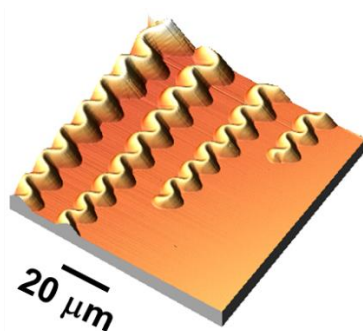
**Compétences recherchées.** simulations par éléments finis FEM (Abaqus), sciences des matériaux, plasticité, propriétés mécaniques des matériaux

La qualité d'un revêtement destiné à un usage pratique (composants micro-électroniques, verres de lunettes, vitrages, barrières thermiques, etc...) est grandement influencée par son comportement mécanique et sa stabilité. Le niveau de contraintes, 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. La bonne tenue mécanique de l'ensemble doit être non seulement réalisée dès l'élaboration en évitant les **décohésions spontanées** du dépôt sur son substrat, mais aussi préservée lors de sollicitations mécaniques ultérieures au cours de leur utilisation.

L'origine des **contraintes** au sein d'un revêtement est diverse. Les films minces et revêtements peuvent ainsi être soumis à des contraintes très fortes, de l'ordre de plusieurs gigapascals (GPa). De tels niveaux de contrainte en compression sont alors à l'origine de **décollements spontanés** observés parfois même dès la sortie des chambres de dépôt, phénomène appelé **cloquage**. Une structure de cloquage typique, dite en « cordons de téléphones » est présentée à titre d'exemple Fig. 1a. Cet endommagement des matériaux revêtus aboutit généralement à la perte des propriétés fonctionnelles (mécanique, tribologique, optique, magnétique, électronique...) qui leur étaient conférées. Dans ce contexte, on comprend bien l'intérêt d'une meilleure compréhension de ces phénomènes d'endommagement par cloquage, afin de l'inhiber, le limiter, voire le contrôler. L'amélioration de la tenue mécanique des matériaux revêtus s'accompagnera par ailleurs de gains économiques significatifs (réduction des taux de rebus de fabrication, et allongement de leur durée de vie en conditions de fonctionnement).

Depuis une dizaine d'années, la compréhension du phénomène à l'échelle méso/microscopique a bien progressée, notamment grâce à des simulations numériques comme celle dont le résultat est présenté Fig. 1b. De nombreuses questions restent cependant en suspens **concernant l'influence des paramètres physiques microstructuraux des revêtements** (taille de grains, plasticité, déformations aux joints de grains) **sur la réponse mécanique du couple revêtement/substrat.**

C'est à ces questions que tentera de répondre cette mission doctorale qui s'appuiera sur la confrontation entre modélisation du comportement mécanique d'un revêtement par simulations par éléments finis (FEM sous le code Abaqus) et observations expérimentales originales (MEB, AFM, DRX, spectroscopie Raman). La stratégie numérique consistera en particulier à prendre en compte la microstructure granulaire du revêtement, la propagation de la fissure à l'interface film/substrat et l'endommagement plastique irréversible du revêtement, comme illustré schématiquement en Fig. 2.



(a)

(b)

Figure 1: (a) Structures de cloquage observées par microscopie à force atomique sur des films de  $Y_2O_3$  de 40 nm d'épaisseur déposés sur substrats de GaAs (b) Simulation numérique de cloquage (lignes de niveau représentant la hauteur de la structure cloquée).

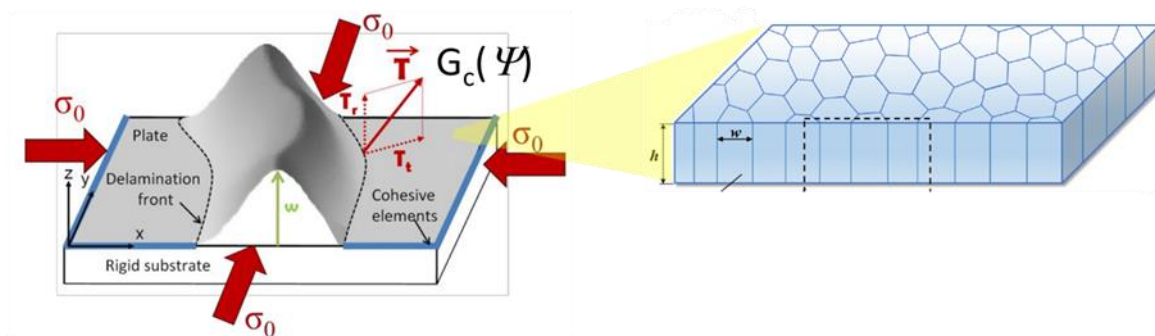


Figure 2: Modélisation mécanique du revêtement sous forme d'une plaque sous contrainte isotrope compressive  $\sigma_0$ , possibilité de rupture de l'interface  $G_c(\Psi)$  et prise en compte de distribution de taille de grains  $w$  pour une description réaliste de la microstructure du revêtement à une échelle micro-nano-métrique.