

TITRE DU SUJET DE THÈSE : **Développement d'une imagerie de résistance électrique locale par AFM à pointe conductrice en mode contact intermittent**

DIRECTEUR DE THÈSE : Frédéric HOUZÉ houze@lgep.supelec.fr
Olivier SCHNEEGANS schneegans@lgep.supelec.fr

ÉQUIPE D'ACCUEIL : Equipe « Contacts Electriques », LGEP, UMR CNRS-Supelec 8507,
Universités Paris-Sud 11 & UPMC, 11 rue Joliot-Curie, Gif-sur-Yvette

DESCRIPTIF ET APPORT DU TRAVAIL DE THÈSE :

- Contexte de la recherche

Les mesures électriques locales en microscopie à force atomique (AFM) sont devenues un outil incontournable, aussi bien pour la caractérisation de matériaux, structures et dispositifs à une échelle de plus en plus réduite, que pour des études à caractère plus fondamental des propriétés de nanostructures et nano-objets. L'équipe Contacts Electriques du LGEP développe depuis plusieurs années un appareil, le « Résiscope », permettant des mesures de résistance électrique locale en DC sur une très large gamme (jusqu'à 11 décades), en mode imagerie conjointement à la topographie. Cependant, même si l'extrême sensibilité du Résiscope permet d'opérer avec une très faible force d'appui pointe/surface, cette force reste exercée en continu tout au long du balayage (mode contact), ce qui peut endommager certains types d'échantillons. L'objectif principal de la thèse sera de modifier l'appareil afin de pouvoir travailler en mode « contact intermittent » et ainsi élargir son champ d'applications à l'étude de matériaux « mous » (électronique moléculaire, biologie...), ou de nano-objets fragiles et/ou faiblement ancrés, pour lesquels on constate un fort accroissement de la demande de caractérisations électriques locales. Les travaux seront réalisés dans le cadre d'un partenariat établi depuis plusieurs années avec la PME d'instrumentation CSI, qui a déjà développé une version commerciale du Résiscope, et l'Unité Mixte de Physique CNRS-Thales, dont les recherches de pointe sur les matériaux moléculaires pourront bénéficier des avancées instrumentales obtenues.

- Bref descriptif scientifique et pré requis

De manière schématique, on peut considérer qu'il y a deux voies principales possibles pour réaliser un fonctionnement de l'AFM en mode contact intermittent. La première voie (mode dit « pulsed force ») consiste à utiliser l'actionnement de l'élément piezoélectrique dans la direction normale à la surface de l'échantillon pour créer une succession de cycles approches-retraits durant le scan ; en pratique ce mouvement relatif pointe/échantillon se trouve limité à une fréquence de quelques centaines de Hertz par les caractéristiques en résonance de l'élément piezoélectrique. Une seconde voie consiste à faire vibrer le levier portant la pointe (mode dit « tapping ») ; les fréquences de travail sont alors typiquement de quelques dizaines à quelques centaines de kilo-Hertz. Le coeur du travail de thèse consistera à modifier le Résiscope pour pouvoir l'utiliser, d'abord en mode pulsed force, puis en mode tapping. Ceci nécessitera de passer d'une mesure réalisée actuellement en contact maintenu, à une mesure effectuée dans des conditions dynamiques beaucoup plus complexes, avec des accostages et séparations périodiques de la pointe. Pour comprendre les phénomènes mis en jeu, une étude préliminaire sera menée sur l'établissement et la rupture du nanocontact électrique en mode intermittent à des fréquences de quelques dizaines à quelques centaines de Hertz ; elle constituera le socle sur lequel s'appuieront les orientations techniques relatives au mode opératoire des mesures électriques (déclenchement et durée de la séquence d'acquisition sur chaque cycle). A l'issue des évolutions successives du Résiscope, les différents points clés de conception d'un nouveau module dédié aux mesures en mode intermittent guideront le développement d'un nouveau module spécifiquement dédié au contact intermittent.

Le (la) candidat(e) aura un profil « nanosciences » et « sciences des matériaux ». Une bonne connaissance de la microscopie AFM et un fort attrait pour l'expérimentation seront un plus.

- Compétences acquises lors du travail de thèse

Le (la) doctorant(e) aura l'occasion d'acquérir des connaissances approfondies dans les domaines de la microscopie à force atomique, de la mesure de signaux électriques faible niveau / courte durée, des propriétés de couches moléculaires ultraminesces. Il (elle) sera amené(e) à interagir avec des ingénieurs d'une PME en vue de valoriser les développements instrumentaux réalisés.