

**Sujet de stage : caractérisation et modélisation des bruits dans un microscope électronique à balayage**

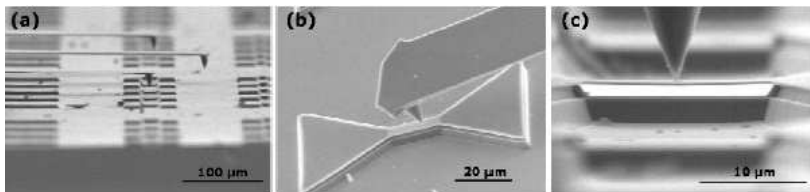
**Encadrement : M. Boudaoud, Y. Haddab, P. Lutz, Y. Le Gorrec**

**Contacts : [yassine.haddab@femto-st.fr](mailto:yassine.haddab@femto-st.fr) ou [philippe.lutz@femto-st.fr](mailto:philippe.lutz@femto-st.fr)**

**Lieu : département AS2M de FEMTO-ST (Besançon) et potentiellement ISIR (Univ Pierre et Marie Curie, Paris) pour 15 jours à trois semaines**

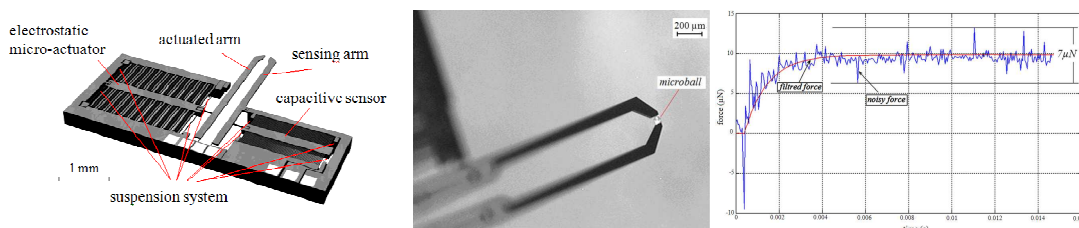
L'objectif du stage est de caractériser et de modéliser les bruits à l'intérieur d'un MEB en vue de permettre une commande robuste pour la manipulation très précise de nano-objets. L'analyse détaillée des bruits et perturbations apparaissant dans un environnement MEB sera le cœur du travail de stage. Une attention particulière sera portée sur la gestion des flux électroniques pendant les différentes phases d'exploitation (manipulation, observation et caractérisation des échantillons).

Le stage s'inscrit dans une tâche du projet ANR « NANOROBUST » associant FEMTO-ST à Besançon, l'ISIR à Paris, le LPN à Marcoussis et l'IRISA à Rennes. Thalès Research Technologies participe également à ces travaux. L'objectif général de NANOROBUST est de proposer une plate-forme robotisée de nanomanipulation et de caractérisation physique sous microscope électronique à balayage. La figure 1 illustre la mesure de raideur mécanique in situ sous MEB.



*Fig. 1: illustration de la mesure de raideur mécanique in situ sous MEB (a) Vue d'ensemble de trois pointes de microscope à force atomique (AFM) au dessus de membranes suspendues ; (b) Pointe d'AFM au dessus d'une membrane ; (c) Vue de profil de la pointe appuyant sur la membrane*

La commande des microrobots et des microsystèmes se heurte à de nombreuses difficultés liées à la forte miniaturisation. Ces difficultés sont dues d'une part à la recherche de performances élevées en termes de résolution et de précision et d'autre part à la forte sensibilité de ces systèmes aux conditions environnementales (température, humidité, etc.) et aux bruits. Par ailleurs, à ces échelles dimensionnelles, les rapports signal/bruit sont très défavorables en raison des très faibles amplitudes des signaux utiles. L'actionnement dans le micro/nanomonde est essentiellement effectué à l'aide de matériaux actifs (piézoélectriques, alliages à mémoire de forme, etc.) ou de structures déformables associées à un effet physique (actionneurs électrostatiques, etc.). Le contrôle de la force d'interaction entre les outils de préhension et les nano-objets est essentiel pour réaliser les nanomanipulation et caractérisation. En fonction des procédés utilisés pour la mesure des forces, la résolution peut atteindre quelques nanonewtons. L'emploi de ces procédés à l'intérieur d'un MEB pose de nombreuses difficultés liées d'une part au confinement et d'autre part au principe même de l'imagerie MEB qui génère des charges électriques. Par ailleurs, les résolutions annoncées dans les divers travaux sont parfois des résolutions théoriques ou des valeurs détectées difficilement reproductibles en raison du niveau des bruits de mesure. Une modélisation dynamique des bruits est donc une étape essentielle pour obtenir la commande ultraprécise nécessaire pour la manipulation et la caractérisation des nano-objets. La figure 2 illustre l'asservissement de la force de serrage d'une micro-bille.



*Fig. 2 : asservissement de la force de serrage d'une micro-bille (FEMTO-ST).*