

# Nanométrie

## *Nanometrology*

### 1. Introduction

Ce nouveau chapitre de notre rapport d'activités regroupe désormais les sujets relevant du périmètre de la métrologie à l'échelle du nanomètre. Par définition, les sujets qui y seront traités sont consacrés à la métrologie d'objets dont l'une au moins des dimensions est inférieure à 100 nm. On notera que ces sujets étaient précédemment répertoriés dans le domaine dont ils relèvent (longueur, électricité-magnétisme, etc.) ; compte tenu de leur teneur pluridisciplinaire, il a été convenu de les regrouper sous le même item.

### 2. Actions internationales

Dans le cadre du 7<sup>e</sup> Programme Cadre pour la Recherche et la Technologie, la commission européenne a accordé en fin d'année 2008 le financement du projet CONANOMET. L'objectif de ce projet est de fournir à la commission un ensemble de données sur lesquelles celle-ci puisse s'appuyer, pour définir sa stratégie en matière de nanométrie. Cet objectif se décline sous la forme de trois axes de travail : réaliser un état des lieux des besoins dans la perspective de fournir un support efficace aux nanotechnologies ; définir les développements clés pour les années futures ; fournir un plan d'action pour ces derniers.

Ce travail de collaboration réunit quatorze participants européens, dont nos homologues métrologues anglais, allemands, suédois et danois. Il a démarré en janvier 2009 et s'échelonne sur deux ans. La direction de la recherche scientifique et technologique du LNE est impliquée dans trois des sept groupes de tâches. Le premier, qui s'attache à recenser les besoins métrologiques, fera l'objet d'un « workshop » en fin d'année et d'un rapport en fin de projet. Le second doit recenser les formations européennes existantes et fournira un constat, accompagné de propositions d'évolutions afin de répondre aux besoins compilés en parallèle. Le troisième volet est relatif aux infrastructures. Les acteurs majeurs du domaine, centrales et plate-formes nationales seront identifiés. Une attention particulière sera donnée aux équipements utilisés en terme de raccordements et de traçabilité des mesures. Ceci permettra ainsi de déterminer le cahier des charges des potentielles infrastructures européennes. Ces données seront répertoriées sur un site web dont une première version devrait voir le jour début 2010.

### 3. Projets en nanométrie

#### 3.1. Nanométrie dimensionnelle : réalisation d'un AFM métrologique

Le développement de ce nouvel instrument est réalisé dans le cadre de la thèse CIFRE de Benoît Poyet, au sein du pôle de recherche du LNE. Cette dernière a débuté en septembre 2006. L'objectif est de réaliser un microscope à force atomique de petite course (100  $\mu\text{m}$  d'excursion dans les deux directions de déplacements et 10  $\mu\text{m}$  dans la direction verticale), avec une incertitude sur la mesure de la position de la pointe, par rapport à l'échantillon, d'environ 1 nm.

La platine de déplacement a été entièrement conçue et réalisée au sein du pôle de recherche du LNE. Sa géométrie innovante est constituée de deux blocs.

Le premier étage de la platine permet les déplacements perpendiculairement à la pointe de l'AFM. Ces déplacements sont réalisés par des actionneurs piézo-électriques qui exercent le guidage dans les directions x,y via une structure en pantographes présentée dans le précédent rapport d'activités.

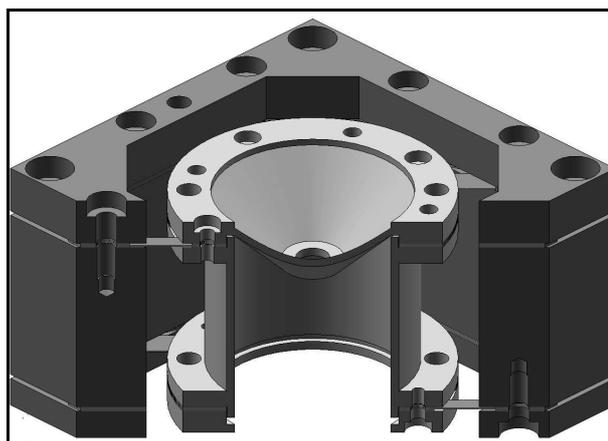


Fig. 1. – Schéma du second étage de translation en z de la platine.

Le second étage constitutif de la platine permet le déplacement vertical sous la pointe. Outre une course maximale requise de 10  $\mu\text{m}$ , les principales exigences du dispositif sont : une bande passante de 2 kHz et des rotations parasites inférieures à 1  $\mu\text{rad}$ . Ces caractéristiques sont assurées par une structure à lames

flexibles, qui est schématisée sur la figure 1. Elle comprend deux étages de lames pincées qui permettent de contraindre simultanément les degrés de liberté correspondant aux trois rotations ainsi qu'aux deux translations verticales. Ainsi, seul le degré de liberté correspondant à la translation verticale est conservé. Un premier prototype a été réalisé dans le courant de l'année 2008 et testé en fin d'année. Les résultats obtenus mettent en avant des rotations parasites de l'ordre de 3  $\mu$ rad pour une course de 90  $\mu$ m (fig. 2). Ces résultats sont très satisfaisants car, ramenées à une course de 10  $\mu$ m, les rotations parasites sont largement inférieures aux objectifs visés. Concernant la bande passante, nous avons obtenu un pic de résonance mécanique à 1,4 kHz environ avec une fréquence de coupure à 4 kHz. C'est un bon résultat, compte tenu de la masse de l'ensemble à déplacer, qui rend l'objectif difficile à atteindre. Par ailleurs, ce dernier résultat n'est dépendant que de l'actionneur piézo-électrique et un montage piézoélectrique *push-pull* a été imaginé pour être intégré à l'étage de translation de l'AFM métrologique afin d'accroître d'avantage encore la bande passante de la platine Z.

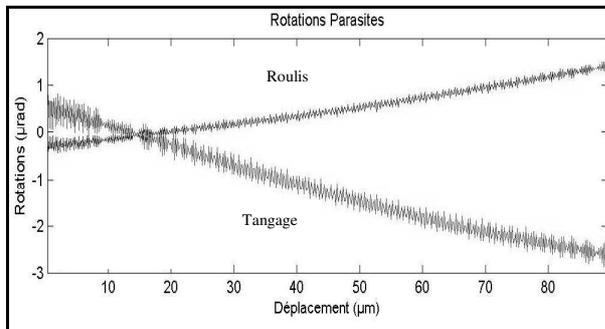


Fig. 2. – Enregistrement des rotations parasites pour un déplacement de la platine de l'ordre de 90  $\mu$ m.

L'interfaçage des quatre interféromètres différentiels pour mesurer la position relative de la pointe AFM par rapport à l'échantillon est en cours de réalisation. Un boîtier a été sous-traité pour intégrer les cartes qui permettent de convertir les signaux analogiques en quadrature sortant des interféromètres et de les interpoler en un signal numérique de 36 bits disponible sur un bus parallèle. Ces signaux sont ensuite renvoyés vers une cible FPGA qui permet de gérer les tâches d'acquisition et de pré-conditionnement de ces signaux à la plus haute fréquence possible. Nous avons donc interfacé, sous LabView, ces cartes d'interpolation avec les équipements National Instrument. Les fréquences d'acquisition obtenues sont de l'ordre de 1,4 MHz pour les quatre voies, ce qui est tout à fait satisfaisant et confortable pour notre application.

Les derniers développements de la CAO de l'AFM métrologique ont été achevés et l'usinage des différentes pièces de l'AFM métrologique est en cours de réalisation.

### 3.2. Nanométrie électrique : projet Nanospin

L'objectif de cette étude est de réaliser un microscope à force magnétique en couplant simultanément la détection du champ magnétique local par une barre de Hall à une détection topographique obtenue par une tête AFM. Plusieurs laboratoires nationaux (NPL, PTB, INRIM) ont actuellement des équipements similaires, mais aucun n'est basé sur le principe physique proposé dans ce projet : les équipements standards sont équipés de pointes AFM magnétiques.

Cette étude, effectuée au sein du pôle de recherche du LNE, propose en effet de mettre au point un dispositif basé sur l'utilisation de l'effet Hall. Le champ magnétique local du matériau génère un courant dans un matériau semi-conducteur de référence. En mesurant la résistance aux bornes de cette croix de Hall, on accède à la valeur du champ magnétique, en assurant le raccordement aux unités SI électriques. Dans cette configuration, la sonde AFM n'engendre plus de perturbation lors de la mesure. Le laboratoire disposera ainsi d'une instrumentation qui puisse réaliser des mesures de magnétisme, traçables et raccordées aux SI, *via* les résistances de Hall des matériaux de référence.

Le travail se décomposera en trois étapes : réalisation de croix de Hall en collaboration avec le LPN ; intégration de la barre de Hall sur un instrument AFM commercial ; tests sous pointes de différents matériaux de référence. Les matériaux nécessaires à la réalisation technologique des croix de Hall ont été approvisionnés en 2008. De premières barres de Hall de 1 mm  $\times$  50  $\mu$ m ont été lithographiées, avec des via métalliques pour réaliser des mesures de tension le long des barres, lors de l'injection de courant.

Un dispositif permettant de réaliser des mesures magnétiques de quelques centaines de Gauss à température ambiante a été également usiné. Il est constitué d'un porte-échantillon et d'un porte-sonde inséré dans un corps en céramique bobiné. Cet ensemble permettra d'étalonner les croix de Hall. Les premiers dispositifs opérationnels devraient être disponibles en fin d'année 2009.

Il est important de souligner que cette étude fait partie intégrante du projet proposé, et accepté par EURAMET, dans le cadre des JRP électricité-magnétisme. Cette étude fait ainsi l'objet d'une collaboration avec trois autres laboratoires nationaux : PTB, INRIM, NPL.