

## Imagerie par holographie électronique de nanotubes magnétiques pour l'électronique de spin

**Contact :** Eric GAUTIER DRF//INAC/SPINTEC [eric.gautier@cea.fr](mailto:eric.gautier@cea.fr) 0438784226

**Stage pouvant se poursuivre en thèse : Oui**

### Résumé :

L'objectif du stage est l'étude par microscopie électronique en transmission (TEM) de nanotubes magnétiques synthétisés par voie chimique de diamètre une centaine de nanomètres environ. Nous étudions ceux-ci comme objets modèles pour explorer le concept de stockage d'information dans un média magnétique 3D, basé sur la propagation de parois magnétiques. Une étude physico-chimique du matériau et par imagerie magnétique à l'échelle du nanomètre permettront d'explorer et comprendre l'arrangement en domaines et parois de domaines magnétiques de ces systèmes, dont nous maîtrisons la synthèse depuis peu.

Les techniques expérimentales mises en oeuvre seront l'analyse chimique et structurale par diffraction électronique et l'imagerie haute résolution par l'holographie électronique. L'étudiant devra réaliser la préparation des échantillons pour la microscopie électronique, il participera aux mesures, et réalisera les traitements d'image nécessaire à leur analyse. Le sujet comprend également un volet de traitement, interprétation des données et simulations micromagnétiques. Celles-ci seront effectués en collaboration avec le groupe de simulation conjoint des laboratoires SPINTEC / NEEL, et permettront d'interpréter les résultats

### Sujet détaillé :

Pour réaliser les microscopies structurales et magnétiques nous disposons d'équipements récents et de tout premier plan mondial qui permettent de faire des analyses chimiques, des images de la matière jusqu'à l'échelle atomique mais également de visualiser à une échelle nanométrique les effets propres au magnétisme. Les techniques expérimentales mise en oeuvre seront essentiellement:

- L'analyse chimique et structurale par diffraction électronique
- L'imagerie à haute résolution
- L'imagerie magnétique par holographie électronique avec une sensibilité et une résolution de quelques nanomètres.

Les systèmes expérimentaux sont disponibles, par des collaborations avec des chimistes mais également par synthèse à l'Institut NEEL, et seront mis à disposition. Lors d'expériences par microscopie à photoélectrons (PEEM, expériences par rayonnement synchrotron) nous avons mis en évidence des domaines orthoradiaux et donc à fermeture de flux. Cette fermeture est très intéressante dans le cadre d'une mémoire 3D, car elle permet de minimiser les effets de champ dipolaire à longue portée, et donc de cross-talk entre éléments. Néanmoins elle est inattendue par rapport à la direction axiale. En lien avec la microstructure nous chercherons donc à clarifier la raison de cette orientation. Par ailleurs, grâce à notre haute résolution spatiale nous chercherons à clarifier le type de parois magnétiques entre les domaines, ce qui a un impact crucial sur leur dynamique attendue sous champ magnétique ou courant polarisé en spin.

L'étudiant devra réaliser la préparation des échantillons pour la microscopie électronique (dispersion de tubes initialement en solution, utilisation éventuelle de gravure par faisceau d'ions focalisés), le montage d'un dispositif en vue d'une observation dans le microscope. Des études statiques, éventuellement sous champ magnétique ou à haute température, seront faites pour l'étude des domaines magnétiques, des parois et des lignes de champ de fuite rayonnant dans le volume ou à proximité des tubes. L'étudiant sera au coeur des étapes de traitement et d'analyse micromagnétique

La poursuite du sujet en thèse permettra d'étendre ces études nanomagnétiques dans une perspective d'électronique de spin. Nous réaliserons et

considérerons des tubes connectés électriquement, afin de manipuler leur aimantation sous courant polarisé dans le microscope, et notamment déplacer des parois magnétiques. Nous considérerons également des tubes multi-parois coeur-coquille, indispensables puisque l'électronique de spin requière de tels empilements pour obtenir des effets magnéto-résistifs, ou bien d'injection de courant polarisé avec les effets de type spin-Hall. C'est l'atout clef des nanotubes par rapport aux nanofils étudiés plus habituellement. Une perspective sera de faire des études dynamiques avec un nano-dispositif en fonctionnement (ex: circulation de courant polarisé induisant une dynamique précessionnelle) dans le microscope.

Enfin, effort sera fait sur les simulations d'images et des simulations en micromagnétisme. Ces calculs seront effectués en collaboration avec le groupe de simulation conjoint SPINTEC / NEEL et permettront d'interpréter nos résultats

**Compétences requises :**

Physique expérimentale, compréhension de la physique de la matière condensée, informatique, programmation.