



Offre de thèse 2019

Propriétés de transport électronique de nano-objets métalliques individuels synthétisés par voie chimique

Laboratoire : Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets (LPCNO-UMR 5215 INSA-CNRS-UPS)

Equipe : Nanomagnétisme

Encadrants : Benjamin Lassagne, Julian Carrey

Financement : MESR (3 ans)

Contact : lassagne@insa-toulouse.fr, carrey@insa-toulouse.fr

Depuis plusieurs dizaines d'années déjà, l'étude des propriétés de transport électronique de nano-objets (NO) connectés à des macro-électrodes métalliques a permis de mesurer une diversité de régimes de conduction électronique tout aussi fascinants les uns que les autres. Par exemple, l'étude des propriétés de transport de boîtes quantiques semi-conductrices ou de nano-ilots métalliques individuels [1] a permis de mettre en évidence des régimes de Blocage de Coulomb caractéristiques de l'aspect corpusculaire de l'électron. Dans ce type de régime le passage du courant est bloqué sur une large gamme de tension de polarisation à cause de la répulsion Coulombienne entre électrons. Au-delà d'une tension de polarisation seuil l'injection d'électrons devient possible et se fait électron par électron. Le potentiel technologique de ce type de dispositifs pour réaliser des transistors à un électron ultra-rapides est très élevé. A l'inverse, la mise en évidence de régimes de transport balistique dans des nanotubes de carbone individuels a permis de démontrer expérimentalement la quantification de la conductance [2]. Ce phénomène est directement lié à l'aspect ondulatoire des électrons. Le nanotube joue le rôle d'un guide d'onde électronique dans lequel les électrons interagissent peu entre eux et où le passage du courant s'effectue sans dissipation d'énergie et donc sans échauffement. De tels dispositifs pourraient servir d'interconnexions dans les processeurs du futur et résoudre de nombreux problèmes observés dans les processeurs actuels. Tout aussi surprenant, des effets de magnétorésistance géante ont été mesurés dans des nano-jonctions tunnels magnétiques ainsi que dans des réseaux de NO magnétiques [3]. Ce phénomène est directement lié à la modulation de l'effet tunnel par le spin de l'électron. Ce couplage spin-transport de charge est déjà mis à profit dans la réalisation de mémoires magnétiques rapides et non volatiles, les MRAMs.

Au LPCNO, nous avons accès à une grande variété de NO métalliques synthétisés par voie chimique comme par exemple des nano-cubes et des nano-sphères de Fer, des nano-étoiles de Pt, des nano-sphères et des nano-fils d'Au ou encore des nano-bâtonnets de Co. Ces différents types de NO ont déjà démontré un fort potentiel en catalyse chimique, dans le traitement du cancer par hyperthermie magnétique ou dans le stockage de données à haute densité. Nous aimerions maintenant nous focaliser sur l'étude des propriétés de conduction électronique de ces NO, et plus particulièrement sur celles des nano-fils d'Au (1,5nm de diamètre et quelques microns de long) ainsi que celles des NO magnétiques à base de Fer (nano-cubes de 10nm) ou de Co (nano-bâtonnets de 10nm de diamètre). Ces trois types de NO s'avèrent particulièrement intéressants que ce soit d'un point de vue fondamental ou technologique. En effet on s'attend à mesurer des régimes de conduction de type balistique dans les nano-fils d'Au individuels à l'instar de ce que l'on a pu observer avec les nanotubes de carbone. Quant aux NO magnétiques on s'attend à mesurer des forts couplages entre le spin et le

transport de charge, notamment si des régimes de type blocage de Coulomb sont observés. Mesurer de tels couplages dits Magnéto-Coulomb pourrait permettre de sonder en profondeur les propriétés magnétiques des NO. Au-delà de l'aspect fondamental de ces études, de tels nano-dispositifs magnétiques pourraient constituer les briques élémentaires de réseaux de neurones artificiels comme il a été démontré récemment [4].

Le sujet de cette thèse sera précisément l'investigation des propriétés de transport électronique sous champ magnétique et jusqu'à basse température (2K) de nano-fils d'Au individuels et/ou de NO magnétiques individuels tel les nano-cubes de Fer ou les nano-bâtonnets de Co. Peu d'études (voir aucune) sur objets individuels ont été faites car la connexion de ces différents types de NO se révèle non triviale. Le challenge consistant à étudier leurs propriétés de conduction est donc très élevé. Pour faciliter ces études nous avons développé au LPCNO un système unique de dépôt contrôlé de NO basé sur une source électrospray [5]. Ce système permet de déposer des NO métalliques individuellement dans des nano-gaps ($\geq 10\text{nm}$) réalisés par lithographie électronique.

Le travail de cette thèse sera pluridisciplinaire et consistera à :

- (i) Réaliser et optimiser les dispositifs à nano-gap par lithographie électronique.
- (ii) Déposer sur les dispositifs à nano-gap les NO grâce à l'électrospray.
- (iii) Effectuer les mesures et l'étude des propriétés de conduction électronique à basse température et sous champ magnétique des NO connectés.

Profil recherché :

Titulaire d'un master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur, spécialité physique de la matière, nano-physique et nanotechnologie. Le/la candidat(e) devra avoir un attrait certain pour l'expérimentation et la pluridisciplinarité. Il/elle devra être méticuleux(se), organisé(e) et faire preuve d'initiative et d'autonomie.

Référence bibliographique

- [1] L.P Kouwenhoven & al, Rep. Prog. Phys. 64, (2001) 701–736.
- [2] W. Liang & al Nature. 411, (2001) 455.
- [3] J. S. Moodera & al Phys. Rev. Lett. 74, (1995) 3273; J. Dugay & al, Nanoletters. 11 (2011) 5128
- [4] A. Mizrahi & al, Nature Communications 9 (2018) 1
- [5] P. Agostini & al, J Nanopart Res, 18 (2016) 11