

Émission hyperfréquences de nano-oscillateurs à transfert de spin obtenus par électrodéposition de nanofils multicouches.

F. Abreu Araujo¹, M. Darques², K. A. Zvezdin^{3,4}, V. Cros⁵, L. Piraux¹

¹ Institut de la Matière Condensée et des Nanosciences, UCL, Croix du Sud 1, Louvain-la-Neuve, Belgique

² Institut Néel, 25 rue des Martyrs, Grenoble, France

³ A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Vavilova str. 38, Moscou, Russie

⁴ Istituto P.M. srl, via Cernaia 24, Turin, Italie

⁵ Unité Mixte de Physique CNRS/Thales and Université Paris Sud 11, Palaiseau, France

Les nanofils multicouches électrodéposés présentent des propriétés physiques intéressantes qui découlent de leur géométrie spécifique et de leurs dimensions submicroniques. Ils offrent des perspectives nouvelles pour certaines applications, notamment dans le domaine des dispositifs hyperfréquences dont les nano-oscillateurs à transfert de spin (STNOs) font partie.

L'élaboration de ces nanofils par dépôt électrochimique à l'intérieur de pores de taille nanométrique dans une membrane en alumine [1, 2], présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes de lithographies conventionnelles, comme la rapidité de fabrication, le faible coût engendré, ainsi que la souplesse de création des dispositifs. Concrètement, cette méthode dite des «templates» permet de réaliser au sein de ces réseaux ordonnés de nanofils des assemblées denses de nano-oscillateurs disposés en série et/ou en parallèle, propices à promouvoir des effets de synchronisation et à augmenter ainsi la puissance d'émission des nano-oscillateurs à transfert de spin.

Très récemment, nous avons observé dans ces nanofils multicouches des émissions hyperfréquences induites par transfert de spin et associées à la dynamique de l'état magnétique de vortex [3]. L'étude présentée ici s'inscrit dans la continuité de ces observations. Sur la partie de droite de la figure 1 sont résumées les caractéristiques fréquence-champ obtenues en injectant un courant continu dans des nanofils multicouches de type Co/Cu/Co qui ont été contactés isolément grâce à une méthode de nanoindentation par AFM modifié [1, 2]. Une illustration du système étudié est donnée à la figure 1a.

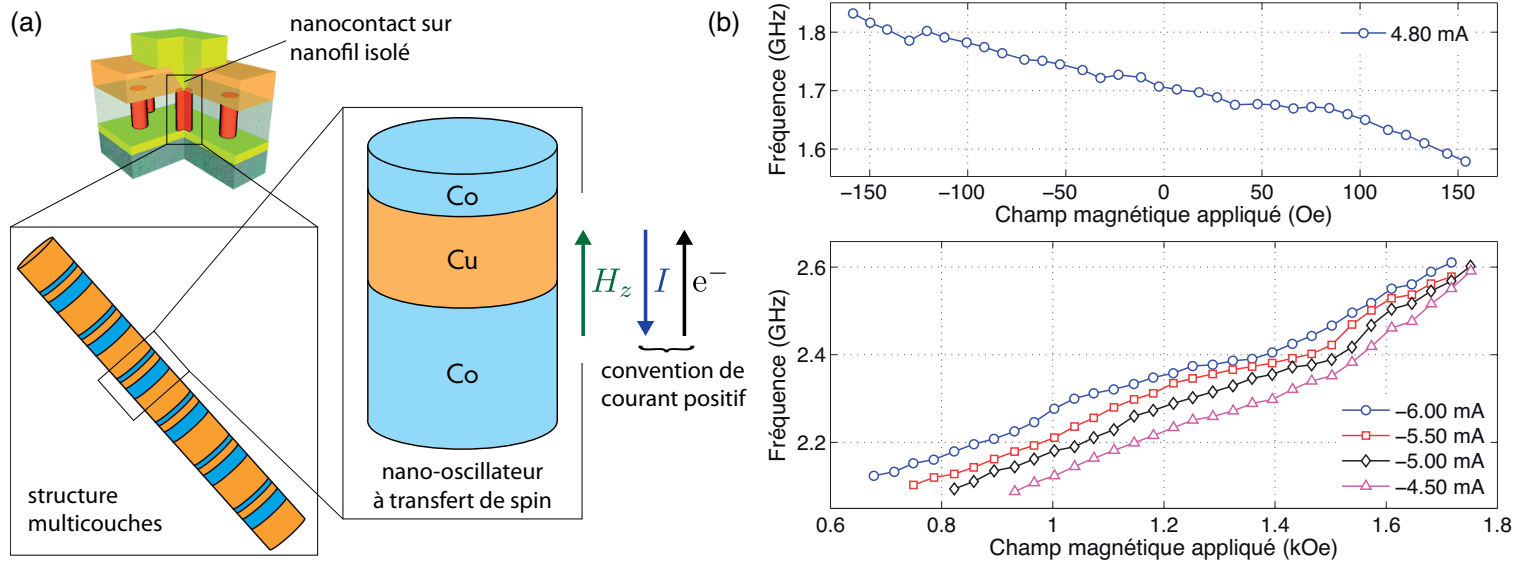


FIGURE 1 – (a) Illustration schématique de la géométrie de notre système étudié. (b) Evolution de la fréquence du signal hyperfréquence émis en fonction du champ magnétique appliqué suivant l'axe z (hors du plan). Des signaux sont obtenus en injectant des courants continus (de -4.5 à -6 mA et $+4.8$ mA) et également pour différentes plages de champ.

Nous avons observé des émissions hyperfréquences cohérentes pour des courants dc négatifs et des courants positifs sur certaines plages du champ magnétique appliqué (voir figure 1b). Lors des mesures par injection de courants négatifs, nous avons pu extraire des signaux avec une puissance d'émission maximale de 2.3 pW/mA² pour des largeurs de raie minimales de 9.9 MHz. Ces mesures sont comparables à celles réalisées précédemment [3]. Par contre, pour nos mesures en courant positif, l'état magnétique (voir plus loin) a permis d'améliorer la qualité spectrale de nos signaux tandis qu'il a été possible d'obtenir des signaux à champ nul. En effet, la puissance maximale d'émission a presque doublé, soit 4.4 pW/mA² et la largeur de raie minimale a été réduite

de moitié, soit 3.7 MHz.

Parallèlement aux mesures électriques réalisées sur les nanofils multicouches, nous avons étudié la tricouche Co(7nm)/Cu(13nm)/Co(24) par simulation micromagnétique (LLG+ST) en vue de comprendre dans quel état magnétique et dynamique notre système expérimental évolue. Cette étude fait apparaître des états à un vortex dans la couche magnétique épaisse (polariseur - voir figure 2a) ainsi que des états à deux vortex, un dans chaque couche magnétique du STNO (voir figure 2b). Tout porte à croire que les mesures de la figure 1b associées à des courants négatifs correspondent à l'état à un vortex même si la gamme en champ est tronquée à environ 1.75 kOe par rapport aux simulations. Parmi les états à deux vortex, il y a celui où la polarité des coeurs de vortex est opposée tout en possédant la même chiralité (dictée par le champ d'Oersted).

Les simulations micromagnétiques ont montré que cet état magnétique à deux vortex est stable sur une large fenêtre de champ et possède la particularité de présenter une oscillation des coeurs de vortex par transfert de spin même à champ nul! Le graphe supérieur de la figure 1b associé à un courant positif semble bien correspondre à cet état, mais là encore la gamme en champ pour laquelle nous observons des émissions est inférieure à celle prédite par les simulations. La caractéristique fréquence-champ obtenue est présentée sur la figure 2b. Cette propriété est également en très bon accord avec les mesures expérimentales récentes de N. Locatelli *et al.* [4] sur des nanopiliers fabriqués par voie lithographique.

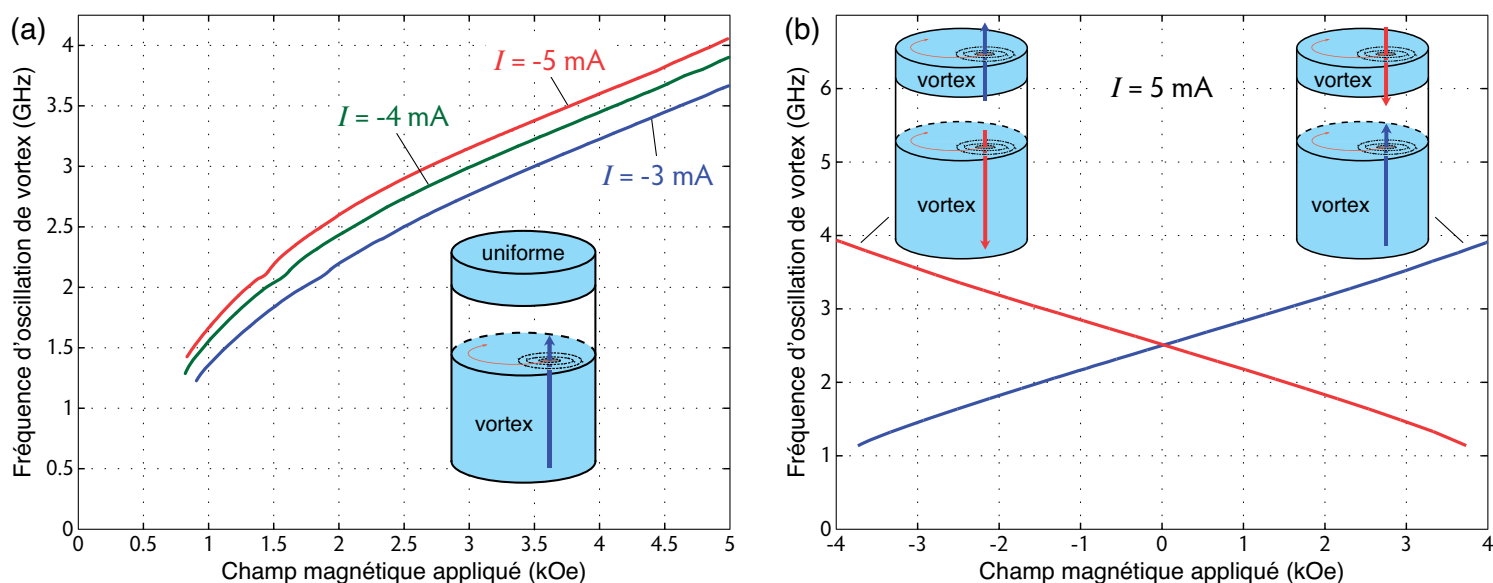


FIGURE 2 – Evolution de la fréquence d'oscillation des coeurs de vortex (mouvement gyrotropique) en fonction du champ magnétique appliqué suivant l'axe z (hors du plan). A gauche, la caractéristique obtenue en injectant des courants dc négatifs (-3, -4, et -5 mA) correspond à l'état à un vortex tandis qu'à droite, la caractéristique obtenue en injectant un courant dc positif de 5 mA correspond à l'état à deux vortex avec polarité opposée.

Au coeur des recherches sur la synchronisation de plusieurs STNOs, les nanofils multicouches fournissent un cadre très fertile car il est possible d'en disposer un grand nombre en interaction les uns avec les autres. Même si, à l'heure actuelle, nous n'avons pas encore pu mettre en évidence d'effets de synchronisation entre plusieurs STNOs, la compréhension de ces nano-oscillateurs à l'aide de simulations micromagnétiques a d'ores et déjà permis de prédire les distances optimales qu'il faut introduire entre les oscillateurs en série comme en parallèle pour favoriser leur interaction et potentiellement leur synchronisation. Nous comptons bien exploiter ces prédictions pour poursuivre nos recherches dans ce sens.

-
- [1] T. Blon, S. Mátéfi-Tempfli, M. Mátéfi-Tempfli, L. Piraux, S. Fusil, R. Guillemet, K. Bouzehouane, C. Deranlot and V. Cros, *J. Appl. Phys.* **102** (2007), 103906
- [2] L. Piraux, K. Renard, R. Guillemet, S. Mátéfi-Tempfli, M. Mátéfi-Tempfli, V. Antohe, S. Fusil, K. Bouzehouane, and V. Cros, *Nano Letters* **7** (9) (2007), pp 2563-2567
- [3] M. Darques, A. Dussaux, A. V. Khvalkovskiy, J. De la Torre Medina, F. Abreu Araujo, R. Guillemet, K. Bouzehouane, S. Fusil, J. Grollier, G. G. Avanesyan, K. A. Zvezdin, V. Cros, and L. Piraux, *Journal of Physics D : Applied Physics* **44** (2011), no. 10, 105003.
- [4] N. Locatelli, V. V. Naletov, J. Grollier, G. de Loubens, V. Cros, C. Deranlot, C. Ulysse, G. Faini, O. Klein and A. Fert, *Appl. Phys. Lett.* **98** (2011), 062501