

Créer du chaos à partir d'un vortex magnétique nanométrique

Des chercheurs ont montré que des vortex magnétiques engendrés dans des couches magnétiques ultraminces ont un comportement chaotique. Cela se traduit par des signaux électriques complexes émis arbitrairement, qui pourraient être utilisés pour générer des nombres aléatoires ou sécuriser les communications.

Les vortex générés dans des matériaux magnétiques ultraminces sont des tourbillons de moments magnétiques caractérisés par un « cœur » de quelques dizaines de nanomètres de largeur. Ce cœur tourne comme une toupie et trace des orbites elliptiques dans le plan des films magnétiques, de l'ordre du nanomètre, dans lesquels ils résident. Selon que les moments magnétiques du cœur pointent vers le haut ou vers le bas par rapport à ce plan, ce cœur peut tourner dans le sens horaire ou antihoraire le long de ces orbites - un peu comme l'aiguille d'une horloge qui pourrait avancer ou reculer. Dans certaines conditions, les moments du cœur peuvent se renverser, changeant le sens de rotation. Mais surtout, ces renversements peuvent devenir chaotiques, ce qui signifie dans notre analogie avec l'horloge que l'aiguille pourrait par exemple avancer pendant une minute, puis reculer pendant deux, puis avancer à nouveau pendant deux minutes supplémentaires, etc., mais selon une séquence qui ne peut pas être prédite sur le long terme.

Dans un premier travail publié dans *Physical Review Letters*, une équipe de chercheurs du Centre de nanosciences et de nanotechnologies ([C2N](#), CNRS/Univ. Paris-Saclay), en collaboration avec des chercheurs de l'Unité mixte de physique CNRS-Thales ([UMPhy](#), CNRS/Thales), de l'Institut Jean Lamour ([IJL](#), CNRS/Univ. de Lorraine) et du Laboratoire matériaux optiques, photonique et systèmes ([LMOPS](#), CentraleSupélec/Univ. de Lorraine), a montré expérimentalement qu'un tel comportement peut être produit dans un système appelé « nano-oscillateur à vortex » où un tel mouvement est contrôlé en modifiant le courant électrique traversant le dispositif. Le système, fabriqué à l'UMPhy, consiste en un canal métallique nanométrique dans lequel de fortes densités de courant s'écoulent à l'intérieur d'une « vanne de spin », vanne dont la résistance au courant varie considérablement en fonction de la configuration magnétique (cf. illustration 1). Les courants induisent un mouvement chaotique du cœur de vortex, dont la position influe sur la résistance électrique du dispositif, grâce à la vanne de spin, et peut donc être lue. Dans un second travail publié dans *Nature Communications*, les chercheurs utilisent une technique de filtrage avancée pour séparer les mouvements du cœur issus du courant électrique de ceux nés des fluctuations thermiques. Avec le même système expérimental, les chercheurs ont découvert que l'état chaotique de la giration du cœur se traduit par l'alternance de deux formes d'onde dans l'espace des phases qui permet d'interpréter géométriquement ces mouvements (cf. illustration 2). Ils ont montré ensuite comment projeter ces motifs sur des bits d'information et ainsi générer des bits aléatoires à un rythme de cent millions de fois par seconde.

Ces résultats ouvrent la possibilité d'utiliser des nanodispositifs pour générer des motifs chaotiques pour les technologies de l'information. Un passage à grande échelle pour produire un réseau de tels oscillateurs à vortex peut être envisagé, ce qui permettrait de générer des nombres aléatoires à des fréquences de plusieurs GHz sur une seule puce. Les générateurs de nombres aléatoires rapides basés sur du "hardware" sont utiles pour le chiffrement. En couplant de tels nano-oscillateurs à vortex à d'autres composants spintroniques, tels que les mémoires magnétiques et les dispositifs logiques de spin, on peut également envisager un nouveau paradigme dans le calcul à faible puissance où la non-volatilité et la complexité de ces systèmes seraient combinées.



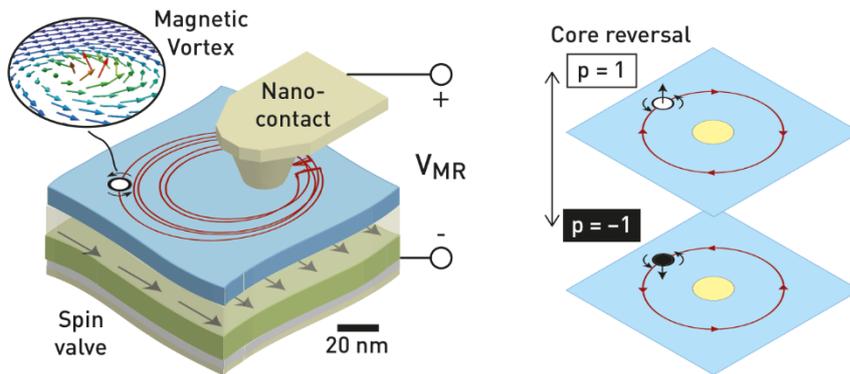


Illustration 1. À gauche, schéma d'un « oscillateur à vortex nanométrique ». À droite, le renversement du cœur de vortex entraîne un changement de sens de la giration du vortex autour du nanocontact.

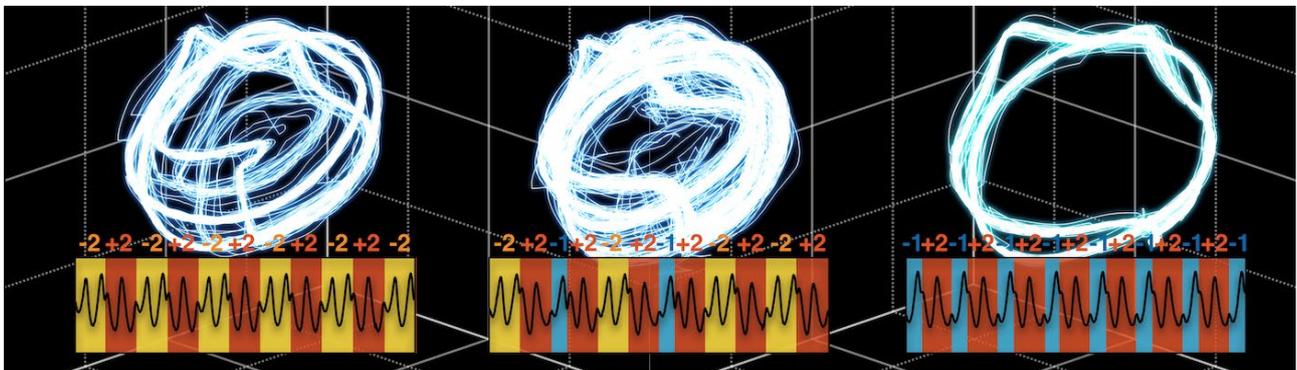


Illustration 2. Trajectoires de vortex dans l'espace des phases du système dynamique illustrant un comportement périodique et chaotique. Ces trajectoires génèrent des motifs de formes d'onde distincts qui peuvent être utilisés dans les technologies de l'information.

Bibliographie

Chaos in Magnetic Nanocontact Vortex Oscillators. Thibaut Devolder, Damien Rontani, Sébastien Petit-Watelot, Karim Bouzehouane, Stéphane Andrieu, Jérémy Létang, Myoung-Woo Yoo, Jean-Paul Adam, Claude Chappert, Stéphanie Girod, Vincent Cros, Marc Sciamanna et Joo-Von Kim, *Physical Review Letters*, le 1^{er} octobre 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.147701>

Article disponible sur les bases d'archives ouvertes [arXiv](#) et [HAL](#).

Pattern generation and symbolic dynamics in a nanocontact vortex oscillator. Myoung-Woo Yoo, Damien Rontani, Jérémy Létang, Sébastien Petit-Watelot, Thibaut Devolder, Marc Sciamanna, Karim Bouzehouane, Vincent Cros, Joo-Von Kim, *Nature Communications*, le 30 janvier 2020.

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-14328-7>

Article disponible sur la base d'archives ouvertes [arXiv](#).

Contacts

Joo-Von Kim | Chargé de recherche au CNRS | C2N | joo-von.kim@c2n.upsaclay.fr
Communication CNRS-INP | inp.com@cnrs.fr