

## Etude des propriétés physiques des skyrmions magnétiques en vue d'applications spintroniques

**Contact :** Helene BEA DRF//INAC/SPINTEC [helene.bea@cea.fr](mailto:helene.bea@cea.fr) 0438780864

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

### Résumé :

Les Skyrmions en couches minces sont des textures de spin à travers lesquelles l'aimantation suit une cycloïde, tournant dans l'un ou l'autre sens, ce qui définit la chiralité du skyrmion. Ces domaines magnétiques peuvent apparaître dans des tricouches ultraminces sans symétrie d'inversion de type métal lourd / ferromagnétique / oxyde, où une interaction interfaciale appelée Dzyaloshinskii-Moriya (DMI) apparaît. Ces solitons topologiques suscitent actuellement un intérêt considérable tant pour la physique sous-jacente que pour leur potentiel applicatif. Comme ils sont déplaçables par un courant électrique, ils peuvent être utilisés comme bits nanométriques de données pour le stockage haute densité ou pour la logique magnétique. De plus, la possibilité d'ajuster les propriétés magnétiques d'interface par une tension de grille permet un contrôle des dispositifs spintroniques avec une faible puissance consommée et fournit un degré de liberté supplémentaire versatile, local et dynamique pouvant être implémenté dans des concepts innovants.

Dans ce contexte, en collaboration avec l'Institut Néel, nous avons récemment montré qu'une tension de grille peut non seulement créer et effacer les skyrmions, mais également modifier le DMI. Une nouvelle origine du DMI a été révélée par nos expériences, ce qui permet d'entrevoir un contrôle du signe du DMI par tension de grille. Cela conduirait à une inversion de la chiralité du skyrmion.

Dans ce stage expérimental, nous visons à observer le changement de signe du DMI et à démontrer le changement de chiralité des skyrmions. Cette percée ouvrirait de nouvelles possibilités pour la manipulation des skyrmions, car un changement de chiralité inverserait le sens du mouvement induit par le courant. Cela ouvrirait également une physique nouvelle et riche sur le contrôle dynamique de la topologie de ces solitons.

### Sujet détaillé :

Les structures magnétiques topologiquement non triviales appelées skyrmions [1] sont des bulles magnétiques ayant des parois de domaine d'une chiralité donnée: lorsqu'on traverse radialement le skyrmion, l'aimantation tourne de 360° avec un sens de rotation donné (chiralité). Ils peuvent apparaître à température ambiante dans des systèmes de tricouches ultra-minces, composées par exemple d'un métal lourd, un ferromagnétique et un isolant tels que Ta /FeCoB /TaOx, Pt /Co /AlOx et Pt /Co /MgO. La brisure de symétrie d'inversion et le couplage spin-orbite dans ces tricouches induisent un échange antisymétrique interfacial appelé interaction de Dzyaloshinskii-Moriya [2] (DMI). Cette interaction donne lieu à des textures magnétiques non colinéaires et la chiralité des skyrmions est déterminée par le signe du DMI. Les Skyrmions suscitent actuellement un vif intérêt car ils pourraient être utilisés comme bits d'informations nanométriques pouvant être déplacés par un courant électrique via des couples de spin-orbite : des applications de mémoire ou de logique magnétique sont donc envisagées avec ces skyrmions [3].

En 2007, l'anisotropie magnétique d'interface s'est avérée contrôlable avec un champ électrique [4]. Cette percée a ouvert un tout nouveau domaine de recherche et a également mené à de nouveaux dispositifs spintroniques contrôlés par une tension de grille. Ce nouveau degré de liberté permet un contrôle versatile, local et dynamique pouvant être mis en œuvre dans des concepts innovants. De plus, le contrôle par une tension de grille ne nécessite pas de passage de courant et est donc économe en énergie [5].

Dans ce contexte, nous avons montré, en collaboration avec l'Institut Néel, la première preuve de concept à température ambiante d'un dispositif d'interrupteur à skyrmion contrôlé par une tension de grille : en appliquant successivement des tensions positives et négatives, les skyrmions apparaissent et disparaissent [6]. De plus, nous avons récemment démontré que le DMI lui-même peut être ajusté par une tension de grille [7]. Notre étude a été la première preuve directe de l'influence d'une tension de grille sur le DMI. Elle a également révélé un mécanisme prédit théoriquement

induisant du DMI (appelé Rashba-DMI) qui n'avait pas encore été observé expérimentalement. De par la nature de ce mécanisme, nous pouvons nous attendre à une inversion du signe du DMI pour des tensions de grille appropriées, pouvant éventuellement conduire à une inversion dynamique de la chiralité des skyrmions. Ce commutateur de chiralité serait très intéressant car il changerait le sens du mouvement des skyrmions induit par courant. Cela ouvrirait également la voie à une riche et nouvelle physique sur le contrôle dynamique de la topologie de ces solitons.

Dans des études antérieures, nous avons observé la formation de skyrmions dans diverses conditions de matériaux et de champs magnétiques. Ils présentent une stabilité thermique et un comportement différents sous l'application d'un champ magnétique ou d'un courant électrique.

Dans le cadre de ce stage expérimental, nous proposons donc de mieux comprendre la formation des skyrmions dans ces différentes conditions. Nous prévoyons également d'étudier les effets du champ électrique sur les propriétés magnétiques, et plus particulièrement le DMI, pour ces différents types de skyrmions. Enfin, nous visons à observer le changement de signe DMI et à démontrer le changement de chiralité. Cette percée ouvrirait de nouvelles possibilités pour la manipulation des skyrmions.

Les techniques expérimentales qui seront utilisées sont les caractérisations magnétiques (magnétomètre à échantillon vibrant), l'imagerie magnétique (microscopie à effet Kerr magnéto-optique) et les caractérisations électriques. Le(la) candidat(e) fabriquera également des échantillons en utilisant des techniques de micro et de nanofabrication (lithographie UV ou laser, dépôt par couche atomique, lift-off). Le(la) candidat(e) sera intégré(e) dans une équipe de 3-4 personnes avec un encadrement quotidien et des réunions hebdomadaires. Ce projet fait partie d'une collaboration avec l'Institut Néel où certaines expériences seront faites.

[1] A.N. Bogdanov et al. J. Exp. Theor. Phys. 95, 178 (1989)

[2] U.K. Roßler et al., Nature 442, 797 (2006) ; N. Nagaosa and Y. Tokura, Nat. Nanotech. 8, 899- 911 (2013)

[3] W. Jiang et al., Science 349, 283 (2015), S. Woo et al., Nat. Mater. 15, 501 (2016)

[4] M. Weisheit et al., Science, 315, 349 (2007)

[5] K.L. Wang et al. , J. Phys. D, 46, 074003 (2013)

[6] M. Schott et al. Nano Lett., 17, 3006 (2017)

[7] T. Srivastava et al., Nano. Lett.,18, 4871 (2018)

**Compétences requises :**

Master in physics, nanosciences, basis on magnetism