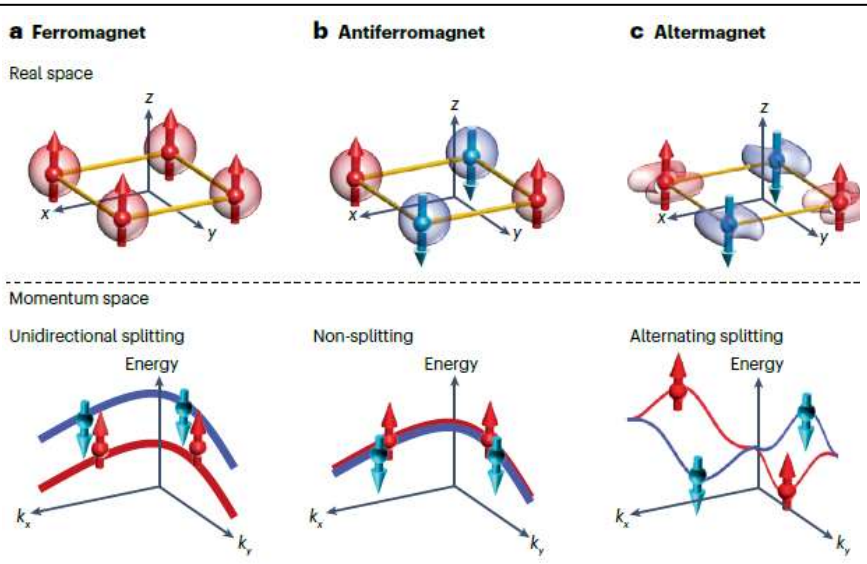
Effets de proximité aux interfaces supraconducteur/altermagnetique

laboratoire Albert Fert

Contexte Scientifique

Les altermagnets (AM)[1,2] forment une troisième classe de matériaux magnétiques récemment proposée. Contrairement aux ferromagnets, qui présentent un alignement parallèle des spins et une aimantation, ou aux antiferromagnets, dont les spins sont antiparallèles sans aimantation, les AM combinent un alignement alterné des spins avec des connexions de symétrie uniques (par exemple, miroir ou rotation). Cela entraîne un verrouillage spin-quantité de mouvement dans leurs bandes d'énergie, permettant un transport de spin anisotrope et des courants polarisés en spin sans aimantation. Ainsi, d'un point de vue technologique, les AM allient les avantages des ferromagnets (polarisation en spin des électrons de conduction) et des antiferromagnets (champs de fuite négligeables et dynamique de spin à haute fréquence), ce qui les rend prometteurs pour des applications en spintronique et en magnonique[3].

Depuis leur proposition théorique en 2022, les AM suscitent un intérêt de recherche significatif, les efforts expérimentaux se concentrant sur l'identification de matériaux présentant leurs propriétés subtiles. Cependant, leur démonstration est complexe, nécessitant souvent des sondes sophistiquées pour distinguer les réponses des AM d'autres effets, comme le couplage spin-orbite. Les défis clés incluent donc le développement de sondes efficaces pour les AM et l'exploitation de leurs propriétés de spin uniques pour de nouvelles fonctionnalités.



Configurations de spin dans les ferromagnets, les antiferromagnets collinéaires conventionnels et les altermagnets. (a) Dans l'espace réel, les spins sont parallèles. Dans l'espace des moments, les bandes d'énergie présentent une division unidirectionnelle, dont le signe est généralement indépendant du moment. (b)Les spins sont antiparallèles avec une densité de spin isotrope. Les bandes d'énergie ne présentent pas de division. (c) Chaque sous-réseau présente une densité de spin anisotrope. Les sous-réseaux opposés sont connectés par des symétries qui ne sont ni l'inversion ni la translation. Les bandes d'énergie montrent une division de spin alternée, formant un verrouillage spin-quantité de mouvement/vallée en paires C. Tiré de la référence 3

Nous proposons que l'exploration de l'interaction entre les supraconducteurs (S) et les AM pourrait offrir une approche puissante pour relever ces défis[4]. Les interfaces S/AM ont connu une croissance théorique rapide, avec de nouveaux articles proposant des phénomènes comme la supraconductivité topologique, les courants de spin et les effets de diode. La supraconductivité pourrait également servir de sonde sensible pour l'altermagnétisme. Cependant, les études expérimentales restent rares, ce qui motive cette proposition. Nous explorerons trois mécanismes principaux d'interaction : l'effet de proximité (pénétration des corrélations supraconductrices dans l'AM), l'effet du champ d'échange sur les propriétés du supraconducteur, et l'interaction dynamique entre la dynamique d'aimantation dans l'altermagnet et l'état supraconducteur. Cela sera étudié via des expériences de magnétotransport et de pompage de spin dans des hétérostructures S/AM.

1. Šmejkal *et al. Phys. Rev. X* **12**, 040501 (2022).
2. Krempaský *et al. Nature 2024 626:7999* **626**, 517–522 (2024).
3. Song *et al. Nature Reviews Materials 2025 10:6* **10**, 473–485 (2025).
4. Mazanik *et al.* https://arxiv.org/pdf/2603.06188 (2026).

Programme de travail et compétences acquises pendant le stage

Le travail expérimental consiste en la croissance (par dépôt laser pulsé) et la nanofabrication (lithographie) de dispositifs S/AM, ainsi que leur caractérisation par des mesures de transport, des expériences de résonance ferromagnétique (FMR) et des techniques avancées d'imagerie magnétique (MFM, microscopie à centres NV) en environnement cryogénique. L'étudiant interagira et collaborera avec des post-doctorants, des chercheurs permanents, ainsi qu'avec des collaborateurs experts en modélisation théorique.

Compétences requises pour le candidat :

Excellent esprit d'équipe, rigueur et enthousiasme. Le candidat doit faire preuve d'une forte curiosité scientifique. Une expérience et des connaissances de base en supraconductivité, magnétisme et physique de la matière condensée en général sont considérées comme un atout majeur.

Environnement de travail

Le travail sera réalisé au Laboratoire Albert Fert, créé et dirigé scientifiquement par le Prix Nobel de physique 2007, le professeur Albert Fert. Ce laboratoire est spécialisé dans la spintronique, le nanomagnétisme, les oxydes complexes et les supraconducteurs non conventionnels.

Le laboratoire est une initiative conjointe du CNRS (le plus grand organisme de recherche en France), de l'Université Paris-Saclay et de l'industriel technologique THALES. Le doctorant évoluera dans un environnement intellectuel très riche, où universitaires et industriels travaillent ensemble, et où la recherche fondamentale et les développements technologiques progressent main dans la main. Dans une perspective plus globale, le projet de thèse s'inscrit dans un effort national sur la spintronique (PEPR SPIN) et dans des projets communs entre le Laboratoire Albert Fert et divers laboratoires français (IJL Nancy, SPINTEC Grenoble, LPS Orsay, CINaM Marseille, PHELIQS Grenoble) et européens (UCM Espagne, CSIC Saint-Sébastien, CHALMERS Suède, WWU Allemagne) sur la spintronique supraconductrice. Ainsi, le doctorant aura accès à un vaste réseau de collaborateurs de premier plan en France et en Europe.

Les encadrants seront le Dr. Javier E. Villegas (javier.villegas@cnrs-thales.fr) et Santiago Carreira (santiago.carreira@cnrs-thales.fr), à contacter pour candidater.

Pour plus d'informations sur le laboratoire et le groupe, veuillez consulter les liens suivants :

https://laboratoire-albert-fert.cnrs-thales.fr/
https://javierevillegas.wordpress.com/

https://laboratoire-albert-fert.cnrs-thales.fr/
Laboratoire Albert Fert
Located in: Thales Research and Technology
1 avenue Augustin-Fresnel
91767 Palaiseau, France

Requested background : Master 2
Duration : 4-6 months
Start period : from Feb 2027
Possibility of the PhD thesis: YES
Contact : javier.villegas@cnrs-thales.fr