



Comment la chimie à l'échelle nanométrique influence les performances des aimants permanents.

Baptiste GAULT^{a,b}

^a Université Rouen Normandie, CNRS, Groupe de Physique des Matériaux, UMR 6634, St-Etienne-du-Rouvray, France

^b Max Planck Institute for Sustainable Materials, Düsseldorf, Allemagne

Les aimants sont au cœur des technologies de la transition énergétique, en particulier pour la mobilité dans les véhicules électriques ou pour la génération d'énergie décarbonée par le biais des éoliennes par exemple. La chimie et l'organisation des atomes au sein d'un réseau cristallin donnent au matériau des propriétés intrinsèques qui peuvent être estimées ou calculées – cependant, les aimants n'atteignent jamais ces performances théoriques. Ce problème est maintenant connu comme le paradoxe de Brown [1]. Comme souvent dans les matériaux solides, il a été démontré que cette rupture entre la théorie et la réalité est liée aux défauts cristallins et microstructuraux : localement l'organisation atomique change et cela modifie les propriétés physiques du matériau mais aussi sa chimie – les équilibres de phase par exemple y sont différents. Ces principes ont été étudiés en détail pour comprendre les propriétés mécaniques des matériaux métalliques, et les aimants sont aujourd'hui des sujets d'études aussi poussés.

Au cours de cette présentation, je démontrerai en particulier l'apport de la microscopie avancée, en particulier par microscopie électronique et sonde atomique tomographique, pour mesurer la structure et la chimie des phases et défauts au sein d'aimants permanents et tenter de rationaliser les relations entre la microstructure, la chimie et les propriétés d'aimants permanents industriels [2] ou synthétisés dans le laboratoire [3], y compris par fabrication additive [4]. Je discuterai des défis pour l'élaboration de ces aimants permanents, en particulier pour limiter l'incorporation de terres rares, ainsi que leur recyclage.

Références :

- [1] O. Gutfleish et al. - *Magnetic Materials and Devices for the 21st Century: Stronger, Lighter, and More Energy Efficient*, Advanced Materials, 23, 821–842, 2011.
- [2] S. Giron et al. - *Identifying grain boundary and intragranular pinning centres in $\text{Sm}_2(\text{Co, Fe, Cu, Zr})_{17}$ permanent magnets to guide performance optimisation*, Nature Communications, 16, 11335, 2025.
- [3] N. Polin et al. - *Direct observation of nanoscale pinning centers in $\text{Ce}(\text{Co}_{0.8}\text{Cu}_{0.2})_{5.4}$ permanent magnets*, Acta Materialia, 121906, 2026 (in press).
- [4] V. Nallathambi et al. - *Effect of Ag nano-additivation on microstructure formation in Nd-Fe-B magnets built by laser powder bed fusion*, Acta Materialia, 297, 121353, 2025.

Mots Clés : Aimants permanents, Microscopie, Défauts microstructuraux, Sonde atomique tomographique, Optimisation.