

Projet de fin d'études

Modélisation Multi-échelle des Composites Magnétiques avec des Modèles Géométriques Tirés des Images de la Microstructure

1 Description

Les matériaux ferromagnétiques sont couramment utilisés dans les dispositifs électriques pour canaliser le flux magnétique. Ils se composent souvent de phases magnétiques et conductrices isolées les unes des autres, ce qui permet de réduire les pertes dues aux courants induits. Historiquement, les empilements de tôles laminées étaient les plus utilisés pour la fabrication des noyaux magnétiques, mais des dispositifs intégrant des composites magnétiques doux (SMC) ont fait leur apparition et sont de plus en plus utilisés. Ces matériaux peuvent être usinés par des techniques classiques, comme la compaction de billes magnétiques de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres dans un matériau isolant, ou par impression 3D. Cela permet de créer des dispositifs compacts fonctionnant à haute fréquence (jusqu'à quelques centaines de kilohertz) avec des pertes en fer réduites grâce à la petite taille des grains. Bien que les pertes en fer soient moins significatives dans ces matériaux, elles existent et doivent être évaluées durant la phase de conception.

Pour améliorer l'efficacité énergétique des convertisseurs utilisant des SMC, il est nécessaire de développer des modèles numériques rapides et précis permettant d'estimer les pertes dans ces noyaux magnétiques. Ces modèles reposent souvent sur des techniques d'homogénéisation asymptotique, généralement dans un cadre périodique, où le matériau composite est remplacé par un matériau homogène aux propriétés équivalentes calculées sur un petit problème de cellule [1]. D'autres approches incluent l'homogénéisation en champ moyen, où la microstructure du composite est substituée par un matériau comportant une matrice et des inclusions simplifiées (sphères, ellipsoïdes, etc.) [2].

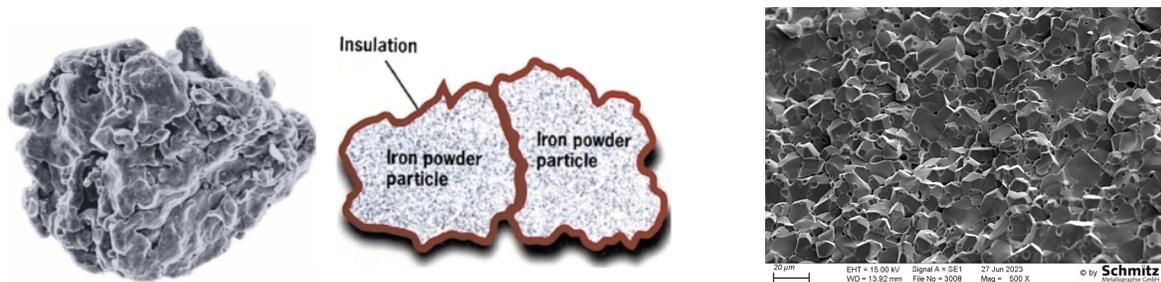


Figure 1: Gauche : un morceau de SMC. Milieu : schéma illustrant la composition d'une microstructure d'un SMC. Droite : microstructure d'un ferrite doux utilisé en électronique de puissance [3].

Bien que ces techniques puissent fournir des résultats assez proches des données expérimentales, il est essentiel de prendre en compte la géométrie réelle de la microstructure, surtout si l'on souhaite optimiser les propriétés du matériau en fonction de celle-ci. Ces modèles géométriques peuvent être dérivés d'images obtenues, par exemple, par tomographie à rayons X, par rayonnement synchrotron, ou d'autres techniques d'imagerie de la microstructure du matériau.

Ce stage a pour objectif d'utiliser les plateformes et outils disponibles au sein du laboratoire 3SR pour générer des modèles géométriques des composites magnétiques, puis d'appliquer ces modèles pour valider le code multi-échelle dans le cadre de problèmes magnéto-statiques.

References

- [1] J. L. Auriault, C. Boutin & C. Geindreau, *Homogenization of coupled phenomena in heterogenous media*, John Wiley & Sons, Vol. 149, 2010.
- [2] R. Corcolle, L. Daniel & F. Bouillault, *Intraphase fluctuations in heterogeneous magnetic materials*. Journal of Applied Physics, 105(12), 2009.
- [3] Magnetic material Manganese-zinc ferrites (MnZn+Fe₂O₄) (<https://www.schmitz-metallographie.de/en/gefuge/magnetic-material-manganese-zinc-ferrites-mnznfe2o4/>).

2 Déroulement du stage

1. Familiarisation avec la méthode multi-échelle pour les problèmes magnétostatique et avec le logiciel de simulation multi-échelle.
2. Mesures expérimentales sur les composites magnétiques et construction de modèles géométriques.
3. Simulations numériques en régime statique à l'aide des géométries de la microstructure.
4. Validations numérique et expérimentale.

3 Prérequis

1. Connaissance de la méthode des éléments finis et d'un langage orienté objet.
2. Intérêt pour la modélisation numérique et l'électromagnétisme.

4 Lieu de stage/encadrement

Le stage impliquera une collaboration avec les chercheurs du laboratoire de génie électrique de Grenoble (G2ELab) et du laboratoire Sols, Solides, Structures, Risques (3SR) à Grenoble. De nombreuses opportunités de poursuite en thèse de doctorat sont possibles à l'issu du stage.

5 Contacts

1. Innocent Niyonzima (email : innocent.niyonzima@univ-grenoble-alpes.fr, téléphone : +33 (0)7 49 61 67 14),
2. Christian Geindreau (email : christian.geindreau@univ-grenoble-alpes.fr)