

Aimantation de pastilles supraconductrices en présence de matériaux ferromagnétiques

Bashar GONY¹, Kévin BERGER¹, Bruno DOUINE¹, Jean LEVEQUE¹,
Matthieu PHILIPPE², Benoît VANDERHEYDEN², Philippe VANDERBEMDEN².

¹ Université de Lorraine, GREEN, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy, France

² Université de Liège, Department of Electrical Engineering & Computer Science, 4000 Liège, Belgique

RESUME - Les pastilles supraconductrices peuvent être aimantées et produire de forts champs magnétiques très supérieurs aux aimants permanents à condition d'être à très basses températures. Dans ce travail, nous étudions l'influence d'un matériau ferromagnétique sur le champ magnétique piégé par la pastille. Premièrement, nous examinons le processus d'aimantation par un champ magnétique impulsionnel (Pulsed Field Magnetization). Nous présentons l'influence d'un circuit magnétique sur le champ magnétique piégé. Nous remarquons une nette amélioration du champ piégé dans la pastille en utilisant le circuit magnétique. Dans un deuxième temps nous étudions l'impact d'un disque mince ferromagnétique attaché à la pastille et examinons son effet sur le champ piégé dans la pastille.

Mots-clés— aimantation, matériau ferromagnétique, pastille supraconductrice, supraconducteur HTc.

1. INTRODUCTION

Parmi les applications des supraconducteurs en génie électrique, nos équipes travaillent sur l'intégration de pastilles supraconductrices aimantées dans des applications de type moteur électrique ou accouplement magnétique, ainsi que sur la caractérisation détaillée de leurs performances, afin de profiter de l'induction magnétique importante qui peut être produite [1-2]. Avant d'installer ces pastilles supraconductrices dans de telles applications, il est primordial d'étudier l'optimisation de leur aimantation [3-7]. Cette communication présente tout d'abord l'étude de l'effet d'un circuit magnétique sur l'aimantation d'une pastille supraconductrice par la méthode PFM (Pulsed Field Magnetization), Fig. 1, puis étudie l'impact d'un disque ferromagnétique attaché au matériau supraconducteur. Le banc expérimental d'aimantation d'une pastille supraconductrice par PFM est représenté sur la Fig. 2. Il se compose d'un circuit de charge de condensateurs C et d'un circuit de décharge des condensateurs dans une ou plusieurs bobines jouant le rôle d'inducteur.

2. ETUDE DE L'INFLUENCE DU CIRCUIT MAGNETIQUE SUR L'AIMANTATION

Dans la plupart des applications en électrotechnique, il y a une forte présence de matériaux ferromagnétiques. Nous présentons ici l'influence d'un circuit magnétique sur l'aimantation d'une pastille supraconductrice. Le circuit

magnétique, présenté sur la Fig. 3 sera celui utilisé dans toutes les expériences. Il se compose de 200 tôles Fe-Si de types E-I. Les tôles de type I sont séparées de la colonne centrale des tôles de type E pour pouvoir placer la pastille et sa bobine d'aimantation. Ces dernières tôles sont rassemblées par deux plaques de fibre de verre, et quatre pattes de fixation. Le champ magnétique est mesuré par deux sondes à effet Hall placées sur le dessus de la pastille supraconductrice.

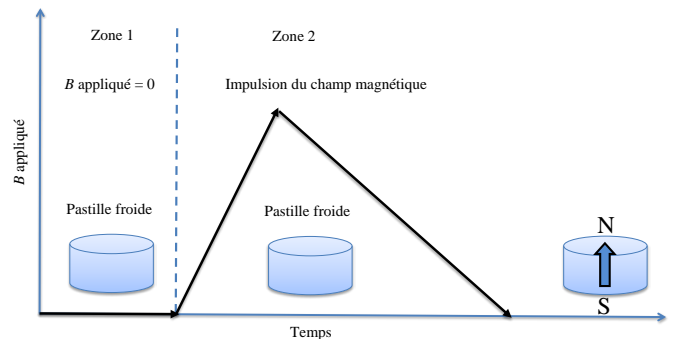


Fig.1. Aimantation d'une pastille supraconductrice par PFM.

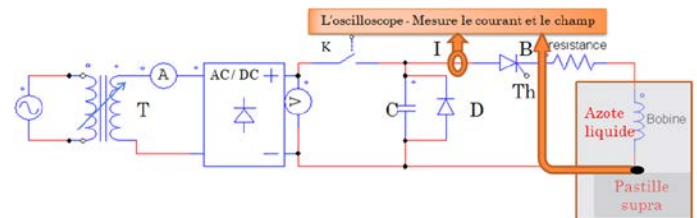


Fig.2. Banc expérimental utilisé en PFM.

Dans un premier temps, nous avons effectué un test expérimental sans circuit magnétique puis nous avons refait le même test avec un circuit magnétique, enfin nous avons comparés les résultats, Fig. 4. Nous avons trouvé une amélioration du champ piégé de l'ordre de 36 % au centre de la surface de la pastille par rapport au résultat sans le circuit magnétique.

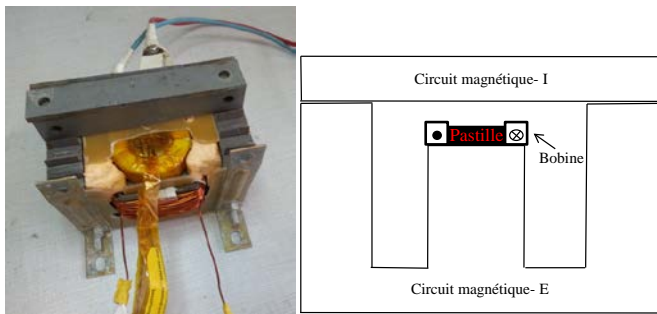


Fig. 3. Schéma de l'étude expérimentale de l'influence du circuit magnétique de l'aimantation d'une pastille supraconductrice.

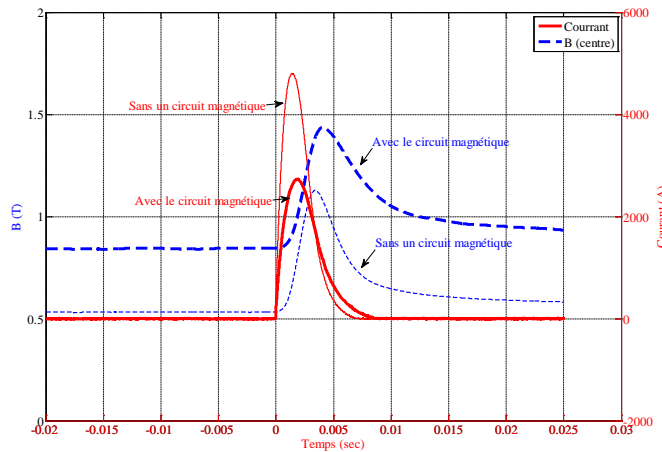


Fig. 4. Comparaison des résultats avec et sans circuit magnétique.

3. ETUDE DE L'INFLUENCE D'UN DISQUE FERROMAGNETIQUE ATTACHE A LA PASTILLE

Nous avons ensuite examiné l'influence d'un disque ferromagnétique doux (matériau *Supra50*) attaché à la pastille supraconductrice et ce pour différentes épaisseurs de matériau ferromagnétique. Pour ce faire, l'induction magnétique moyenne $\langle B \rangle$ a été mesurée au moyen de bobines de détection enroulées précisément autour de la pastille lorsque le champ magnétique appliqué (H_{app}) est cyclé lentement entre -3T et 3T (Fig. 5). On constate clairement une augmentation de l'induction magnétique rémanente (à $H_{app} = 0$) allant de 14 à 18%, en fonction de l'épaisseur du matériau magnétique [7]. Ces résultats peuvent être expliqués à partir de la déformation des lignes de champ piégées en présence du matériau ferromagnétique [8].

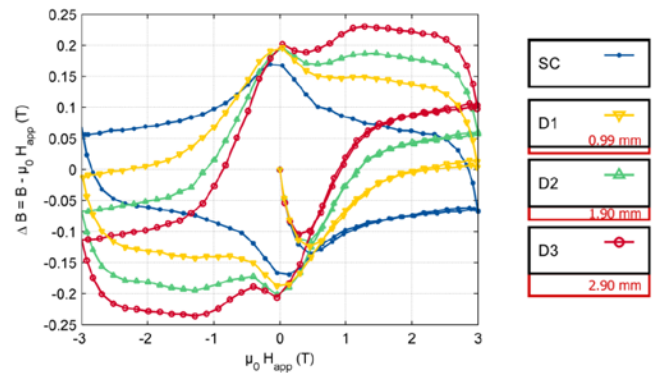


Fig. 5. Evolution de l'induction magnétique moyenne $\langle B \rangle$ dans une pastille $YBa_2Cu_3O_7$ à 77 K en fonction de cycles de champ magnétique appliqué, pour une pastille seule (bleue) ou accolée à différents disques ferromagnétiques d'épaisseur croissante (de 0.99 à 2.9 mm, configurations D1 à D3).

4. CONCLUSION

L'objectif de cette étude est d'étudier les performances de champ piégé d'une pastille supraconductrice en présence de matériaux ferromagnétiques. Les résultats expérimentaux de l'aimantation dans un circuit magnétique en Fe-Si ont montré une amélioration de l'aimantation des pastilles supraconductrices en présence d'un noyau ferromagnétique utilisé lors du processus d'aimantation. Ceci nous permet de conclure à l'utilité d'aimanter *in-situ* ces pastilles dans les applications en électrotechnique visées. D'autre part, une augmentation perceptible de l'induction piégée est également observée lorsqu'un disque mince ferromagnétique est accolé à la pastille. Cette amélioration de l'aimantation des pastilles peut s'expliquer par la canalisation des lignes de champs magnétiques en présence du matériau ferromagnétique.

5. REFERENCES

- [1] Y. Jiang, R. Pei, W. Xian, Z. Hong, and T. A. Coombs, "The design, magnetization and control of a superconducting permanent magnet synchronous motor", *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 21, p. 065011, 2008.
- [2] A. Rezzoug, J. Lévêque, B. Douine, S. Mezani, "Machines à supraconducteurs, Machines électriques non conventionnelles", *Traité EGEM, Hermès, Lavoisier*, pp. 196-258, 2011.
- [3] B. Douine, C.H. Bonnard, F. Sirois, K. Berger, A. Kameni, J. Lévêque, "Determination of J_c and n -value of HTS Pellets by Measurement and Simulation of Magnetic Field Penetration", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 25, n°4, 2015.
- [4] M. R. Koblischka, A. Wiederhold, M. Muralidhar, K. Ioue, T. Hauet, B. Douine, K. Berger, M. Murakami, U. Hartmann, "Development of MgB₂-based bulk supermagnets", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 50, n°11, nov. 2014.
- [5] B. Gony, R. Linares, Q. Lin, K. Berger, B. Douine, J. Lévêque, "Influence of the inductor shape, and the magnetization processes on a trapped magnetic flux in a superconducting bulk", vol. 503, *Physica C*, pp. 1-6, 2014.
- [6] P. Vanderbemden, Z. Hong, A. Coombs, S. Denis, M. Ausloos, J. Schwartz, I. B. Rutel, N. H. Babu, D. A. Cardwell, and A. M. Campbell, "Behavior of bulk high-temperature superconductors of finite thickness subjected to crossed magnetic fields: Experiment and model", *Phys. Rev. B*, vol. 75, 174515, 2007.
- [7] M. P. Philippe, *et al.* "Magnetic characterisation of large grain, bulk Y-Ba-Cu-O superconductor-soft ferromagnetic alloy hybrid structures", *Physica C*, vol. 502, pp. 20-30, 2014.
- [8] M. P. Philippe, *et al.* "Influence of soft ferromagnetic sections on the magnetic flux density profile of a large grain, bulk Y-Ba-Cu-O superconductor", *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 28, 0950082015.