

Proposition de thèse CIFRE SIGMAPHI avec le G2Elab et l'Institut Néel – Université de Grenoble.

## **Développement d'aimants supraconducteurs haut Tc (YBCO) refroidis par conduction**

Les supraconducteurs à haute température critique YBaCuO (YBCO) ouvrent la voie entre autres pour des aimants supraconducteurs à très haut champ magnétique, supérieur à 14 T, et à très hautes performances énergétiques. Un aimant supraconducteur, cryogénie comprise, consomme au moins 100 fois moins qu'un aimant résistif. Les demandes de tels aimants à très faible consommation sont nombreuses, l'induction magnétique étant un puissant moyen d'investigation en physique, biologie... SIGMAPHI souhaite développer une offre commerciale de tels aimants.

Les conducteurs YBCO transportent des densités de courants très élevées (supérieures 100 A/mm<sup>2</sup>) sous des inductions intenses (supérieures à 25 T) domaine interdit aux supraconducteurs conventionnels, à basse température critique. Par rapport à ceux-ci, les conducteurs YBCO offrent en plus une stabilité remarquable. En revanche ils restent des matériaux assez fragiles et intrinsèquement complexes à protéger en cas de perte locale de ses propriétés supraconductrices. Les recherches sur ces aimants YBCO restent très actives au plan international. Grenoble a été pionnière en France dans la réalisation de bobines supraconductrices et reste reconnue au plan international. Dans le cadre du projet « BOSSE » mené par SIGMAPHI, un aimant supraconducteur YBCO refroidis par l'hélium liquide est en cours de réalisation. Cet aimant remarquable est à la limite de la technologie actuelle en termes de densité de courant et de contraintes mécaniques et devrait battre le record de densité massique d'énergie magnétique stockée détenu par un aimant japonais.

L'objectif est de développer la technologie des aimants YBCO fort champ (supérieures à 10 T) secs ou « cryogen free », c'est à dire sans hélium liquide, onéreux et très contraignant pour l'utilisateur. Le refroidissement se fait par conduction thermique à partir de la tête froide d'un cryoréfrigérateur. Ce changement de refroidissement pose de nombreux défis, liés entre autres à une certaine fragilité des conducteurs YBCO et aux capacités réduites d'extraction de chaleur. Les connexions avec les conducteurs YBCO notamment devront faire l'objet d'une attention particulière avec la recherche de solution adaptées pour dissiper le moins possible, moins de 0,01 W par connexion.

Les travaux de thèse porteront principalement sur :

- Sélection du conducteur REBCO et de la méthode de refroidissement des bobinages YBCO.
- Conception, fabrication et qualification via des tests de bobinages prototypes YBCO au laboratoire, analyse et choix des solutions les plus adaptées.
- Conception et calculs des bobinages de la version « commerciale » de l'aimant.
- Conception du système électrique de protection des bobines YBCO.
- Conception d'une technique industrielle des jonctions des bobinages pour la fabrication en série chez SIGMAPHI.
- Conception d'un moyen de test industriel non destructif de la résistance des jonctions des bobinages pour la fabrication en série chez SIGMAPHI.
- Réalisation du dossier technique pour fabrication industrielle des bobinages chez SIGMAPHI (modes opératoires de fabrication et contrôle, fiches suiveuses, temps gamme).
- Participation au transfert de technologie de bobinage chez SIGMAPHI.

Cela passera par des calculs et simulations magnétiques, thermiques, mécaniques des aimants YBCO. La perte locale irréversible de l'état supraconducteur « quench » devra être étudié, via des simulations notamment, pour définir toute la stratégie de protection de l'aimant, c'est-à-dire limiter la montée en température et ne pas l'endommager. Les aimants YBCO devront être imaginés pour répondre aux nombreuses contraintes parfois contradictoires : reprise des efforts électromagnétiques considérables à froid, conception de connexions électriques avec l'YBCO à pertes extrêmement réduites, refroidissement par conduction du conducteur... Toutes les solutions devront être validées et qualifiées par des campagnes de tests. Enfin cette technologie d'aimant devra être transférée à SIGMAPHI.

Aucune compétence en supraconductivité nécessaire. Thèse à dominante expérimentale.

Thèse conditionnée à l'obtention du contrat RAPID Archymed.

Encadrants académique et industriel :

- P. Tixador ([pascal.tixador@grenoble-inp.fr](mailto:pascal.tixador@grenoble-inp.fr)) et A. Badel ([Arnaud.Badel@grenoble.cnrs.fr](mailto:Arnaud.Badel@grenoble.cnrs.fr))
- F. Forest ([fforest@sigmaphi.fr](mailto:fforest@sigmaphi.fr))

Lieu : CNRS, av. des Martyrs à Grenoble et SIGMAPHI, rue des Frères Montgolfier à Vannes.