

Coordination de la Formation par la Recherche

Sujet de Thèse CEA "SUJET-LABO 2023"

Référence du dossier :

Pôle : DRF

N° : SL-DRF-23-0582

1 - Laboratoire d'accueil au CEA

Centre : **Cadarache**

Département/Service : **IRFM / Service Tokamak Exploitation et Pilotage**

Nom du laboratoire : **GCRY/Groupe Cryomagnétisme**

2 - Titre du sujet de thèse

Design conceptuel d'un système d'aimant toroïdal HTS pour Tokamak compact

3 - Thématique de Recherche

Sciences pour l'ingénieur / Mécanique, énergétique, génie des procédés, génie civil

4 - Pièce jointe

Y a t-il une pièce jointe associée ? **Non**

Intitulé de la pièce jointe :

5 - Résumé

Les aimants sont au cœur du design et des performances des machines de type Tokamak. D'abord en cuivre, puis en supraconducteurs LTS (Low Temperature Superconductors), il est maintenant envisagé d'utiliser des supraconducteurs avancés (HTS : High Temperature Superconductors) pour réaliser des Tokamaks plus compacts et à fort champ magnétique. Mais l'utilisation de ces nouveaux matériaux rencontre de nombreux obstacles (mécaniques, électromagnétiques, technologiques) qui contraignent le design et constituent des défis technologiques et scientifiques. La thèse aura pour but de proposer des designs d'aimants permettant d'utiliser ces nouveaux matériaux, en prenant en compte ces nouvelles contraintes.

6 - Exposé du sujet

Les aimants sont au cœur du design et des performances des machines de type Tokamak. D'abord en cuivre, puis en supraconducteurs LTS (Low Temperature Superconductors), il est maintenant envisagé d'utiliser des supraconducteurs avancés (HTS : High Temperature Superconductors) pour réaliser des Tokamaks plus compacts et à fort champ magnétique. Récemment, une bobine conçue par la startup CFS (CommonWealth Fusion Systems, associés au MIT) a atteint un champ impressionnant de 20T sur le conducteur en utilisant ces matériaux. Mais l'utilisation de ces nouveaux matériaux rencontre de nombreux obstacles (mécaniques, électromagnétiques, protection) qui contraignent le design et constituent des défis technologiques et scientifiques. La bobine modèle de CFS a, par exemple, été récemment endommagée de manière irréversible au cours d'un essai de transition résistive (quench).

Afin de comprendre les déterminants d'un aimant utilisant ces nouveaux matériaux HTS, de cerner les gains en performances mais aussi les contraintes supplémentaires qu'ils apportent, l'IRFM propose de développer les outils et les méthodes de dimensionnement d'un aimant HTS fort champ pour le système toroidal d'un tokamak compact. Il conviendra de prendre en compte de nombreuses physiques couplées, et de trouver des solutions innovantes aux grands défis des HTS que sont la mécanique de l'aimant, sa protection et son refroidissement.

La thèse se déroulera en plusieurs étapes qui visent à lever ces verrous :

- Au sein du Groupe AIMants supraconducteurs de l'IRFM (Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique - Cadarache), le doctorant se familiarisera avec le design intégré des systèmes d'aimants pour les tokamaks, et développera les approches multi-physiques (couplage électromagnétique-mécanique-thermique) en lien avec l'utilisation de matériaux HTS. En intégrant les attendus d'une machine compacte à fort champ, il sera alors à même de proposer un ou plusieurs pré-design de système toroidal d'aimant HTS, et d'identifier les points de fonctionnement avantageux ainsi que les défis à résoudre.
- Au sein du Laboratoire de Conception, d'études et d'Avant-Projets de l'IRFU (Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers – Saclay), le doctorant travaillera le design mécanique des systèmes d'aimants proposés. Par une approche éléments finis suivie d'une réduction à des modèles analytiques, il développera des stratégies innovantes de reprise des efforts électromagnétiques de ces systèmes qui constituent aujourd'hui un frein majeur au développement des aimants « fort champ ».
- Enfin, de retour à l'IRFM, et en collaboration avec le groupe d'étude des HTS de l'IRFU, l'étudiant développera un pré-design de l'architecture interne de l'aimant, en prenant en compte les performances supraconductrices des HTS, la mécanique fine du conducteur, les modes de refroidissement et de protection (extraction de l'énergie magnétique) ainsi que les interfaces avec les autres systèmes du tokamak. Cette s'accompagnera de prototypes et de tests de conducteurs HTS.

L'équipe encadrante bénéficie d'une solide expertise en dimensionnement intégré de Tokamak (Code Sycomore), en design d'aimants supraconducteurs (Outils Multiphysiques utilisés depuis 2015 pour EU-DEMO dans Eurofusion) et s'appuiera sur les laboratoires partenaires pour les aspects de mécanique de structure innovantes (AMU-LMA/IRFU-DIS), de bobinages HTS (IRFU-DACM) et de refroidissement cryogénique (IRIG).

La thèse comprend donc de nombreux aspects de dimensionnement faisant intervenir des physiques variées.
La composante mécanique est importante et comprend un déplacement et un encadrement à Saclay.

7 - Collaborations (éventuelles) prévues

Laboratoire : **IRFU/DIS/LCAP**

Organisme : **CEA**

Responsable : **Nunio Francois**

Raison de la collaboration :

Encadrement de la partie Mécanique de la thèse

Duree : **8**

8 - Partenariat(s) industriels prévu(s) (éventuellement)

9 - Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Nom: **Torre**

Prénom: **Alexandre**

Adresse : **CEA Cadarache
13108 St-Paul lez durance CEDEX
DSM/IRFM/STEP/GCRY
Bat 513 / pièce 33**

Téléphone **0442257442**

@mail: **alexandre.torre@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Non**

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà **1**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2023/2024 ? **1**

10 - Directeur de thèse

Nom: **LEBON**

Prénom: **Frédéric**

Adresse : **Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique
4 impasse Nikola Tesla
CS 40006
13453 Marseille Cedex 13**

Téléphone: **04.84.52.42.22**

@mail: **lebon@lma.cnrs-mrs.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Oui**

Organisme de rattachement : **Aix-Marseille Université**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées **25**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2023/2024 ? **5**

11 - Signatures :

Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Date : /././././

Alexandre Torre

Signature :

Directeur de Thèse (lorsqu'il est identifié)

Date : /././././

Frédéric LEBON

Signature :

Chef de Département CEA (ou son représentant)

Date : /././././

Jérôme BUCALOSSI

Signature :

Directeur du Pôle CEA (ou son représentant)

Date : /././././

Elsa CORTIJO

Signature :

12 - Avis du Responsable de l'Ecole Doctorale :

Sciences pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique - Aix-Marseille Université -

Nom du Responsable :

Date : /././././

Signature :

Avis : Favorable Défavorable

Avis circonstancié :