

## sujet du stage :

**Titre :** Aimants supraconducteurs pour la fusion thermonucléaire: développement du module Aimants d'un code système modélisant le fonctionnement d'un tokamak réacteur de fusion.

### **Court descriptif**

Le présent stage consiste à perfectionner le module aimants qui pré-dimensionne les aimants supraconducteur d'un tokamak au sein d'un code système

### **Contexte et objectifs :**

Un réacteur de fusion nécessite le confinement optimal de plasmas de grand volumes ce qui impose l'usage d'aimants de grande taille fonctionnant à des courants très importants (typiquement quelques centaines de MA). La minimisation de la contribution des aimants dans bilan de puissance de la centrale étant cruciale, ces courants imposent d'utiliser des câbles supraconducteurs, dont les propriétés permettent de transporter le courant à dissipation ohmique nulle. Trois principaux sous-systèmes magnétiques du tokamak sont considérés ici: le système de champ Toroïdal (TF), le système de champ Poloïdal (PF) et le Solénoïde central (CS) chacun ayant un rôle particulier dans le fonctionnement.

Dans le cadre des études relatives au futur réacteur de démonstration DEMO il est nécessaire de définir une géométrie des aimants avec des marges de dimensionnement suffisants pour assurer une sécurité fonctionnelle c'est-à-dire un risque minimum en opération. Cette démarche est généralisée à l'échelle du réacteur et rend possible la définition d'un point d'opération optimal du réacteur qui pourra pratiquement établir les directions techniques d'un avant-projet conceptuel (analyses numériques détaillées et R&D associée) avant d'entrer dans la phase de validation engineering elle-même.

Dans ce cadre un code de dimensionnement (SYCOMORE, pour SYstem COde for MOdelisation of REactor) a été développé à l'IRFM, qui permet par sa structure modulaire de faire interagir les différents composants qui entrent en jeu dans le dimensionnement du tokamak, pour trouver toutes les configurations opérationnelles respectant ces interdépendances. A ce titre le module du composant « aimants » revêt une place centrale car il détermine une grande part de l'occupation spatiale de la machine et par là de son coût. Plus largement, l'exploration d'un maximum de domaines d'opération étant crucial pour le choix d'un régime optimum du réacteur, l'amélioration du module relatif aux aimants supraconducteurs constitue cadre un enjeu particulièrement important.

L'objectif du stage est orienté vers l'amélioration de ce module et se compose de plusieurs parties:

1-Exploiter les fonctionnalités de l'acteur aimant existant dans SYCOMORE par l'exploration d'un large domaine d'opération réacteur et l'interprétation des tendances obtenues. De nouvelles versions des sous-systèmes TF et CS ont été récemment intégrées et seront donc testées durant cet exercice, qui pourra aussi comporter des comparaisons croisées avec des configurations d'autres tokamaks comme ITER, JT-60SA ou DEMO et les résultats associés lors d'analyses détaillées (ex. modélisation aux éléments finis).

Le mode « direct » du code sera ainsi exploité mais aussi le mode « optimiseur » qui fera l'objet d'une étude à part, avec un choix préalable de facteurs de mérite (puissance, taille, coût, taux de disponibilité...) et d'une discussion au niveau système à partir des résultats obtenus. Par ailleurs un benchmark (vérification croisée) pourra être mené avec un code de référence européen, PROCESS, développé de longue date à CCFE (UK).

2-Améliorer le module aimant existant par intégration de versions plus sophistiquées de représentation des sous-systèmes. Les trois sous-modules sont concernés par cet objectif :

a. Le système TF, avec une amélioration de la représentativité du module et notamment la prise en compte de 2 facteurs actuellement simplifiés : l'influence de la chambre à vide qui dimensionne la protection électrique de l'aimant, et la charge thermique neutronique, qui impacte l'échauffement des supraconducteurs. Par ailleurs le module sera aussi utilisé en version autoportée (standalone) afin de vérifier le comportement d'un optimiseur de forme récemment implanté.

b. Le système CS, composant majeur dans le pilotage de la durée des plasmas. Le travail

consistera à affiner le protocole de dimensionnement afin de pouvoir relier les deux principales valeurs pilotes : l'extension externe du CS et le flux qu'il procure au centre du plasma. Par ailleurs des études paramétriques seront menées afin de quantifier l'intérêt d'utiliser une technologie de supraconducteurs avancés (High Temperature Superconductors) et permettre son intégration dans le code maître SYCOMORE.

- c. Le système PF, avec un travail sur la reconstruction des courants nécessaires aux PF pour établir l'équilibre plasma désiré. Pour cela le code développé par le CEA (FEEQS) sera mis en opération et paramétré pour rendre l'algorithme de recherche le plus efficace. Un cas applicatif pourra être mené avec le calcul des courants (FEEQS) et le dimensionnement des aimants (SYCOMORE) et les résultats analysés. Enfin des pistes d'éventuelle intégration de FEEQS dans la boucle de calcul SYCOMORE explorées.



