

Coordination de la Formation par la Recherche

Sujet de Thèse CEA "SUJET-LABO 2023"

Référence du dossier :

Pôle : DRF

N° : SL-DRF-23-0540

1 - Laboratoire d'accueil au CEA

Centre : **Cadarache**

Département/Service : **IRFM / Service Intégration Plasma Paroi**

Nom du laboratoire : **GP2B/Groupe Physique du Plasma de Bord**

2 - Titre du sujet de thèse

Modélisation de l'interaction plasma-paroi au cours d'une décharge complète en configuration magnétique non-axisymétrique (ripple/stellator)

3 - Thématique de Recherche

Sciences pour l'ingénieur / Energie, thermique, combustion, écoulements

4 - Pièce jointe

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

Intitulé de la pièce jointe :

5 - Résumé

Dans la perspective de développer et d'opérer les futurs réacteurs à fusion nucléaire, le développement d'outils capables de simuler le plasma sur une décharge complète à la manière d'un « simulateur de vol » est devenu crucial. En particulier, ces outils doivent pouvoir simuler l'interaction plasma-paroi en prenant en compte la géométrie précise de la paroi ainsi que les variations spatio-temporelles du champ magnétique utilisé pour confiner le plasma. Depuis quelques années, le développement de solveurs plasma basés sur une discrétisation « éléments finis Galerkin-discontinu » a permis de simuler des décharges complètes mais limitées à des géométries toroïdalement symétriques. Poursuivre le développement de ces outils pour prendre en compte les variations toroïdales à la fois de la paroi et du champ magnétique permettra d'avoir l'outil nécessaire pour analyser les expériences actuelles à la fois en configuration tokamak sur WEST qui présente un champ modérément non-axisymétrique mais aussi en configuration stellarator sur W7-X, une configuration totalement non-axisymétrique. Pour valider l'outil numérique, on s'attachera en particulier à étudier l'impact du ripple - perte d'axi-symétrie due au nombre fini de bobines générant le champ toroïdal - sur le dépôt de chaleur et sur l'érosion du Tungstène sur WEST en comparant simulations numériques et mesures expérimentales.

6 - Exposé du sujet

La communauté Fusion a pointé du doigt le manque d'outil de modélisation performant capable de simuler une décharge complète aussi bien sur les machines actuelles que sur les réacteurs du futur (ITER, DEMO, Start-up fusion...). Ce « flight simulator » devrait permettre d'intégrer à terme la physique complexe qui gouverne une décharge, c'est-à-dire le plasma, les neutres et impuretés générés à la paroi, les systèmes de chauffage, l'évolution du champ magnétique au cours de la décharge, etc. En collaboration avec le laboratoire M2P2, expert en méthodes numériques pour la mécanique des fluides, un premier pas a été fait dans cette direction avec le développement d'un code plasma+neutres basé sur une méthode « éléments finis Hybrid-Discontinuous-Galerkin ». Ce code permet de simuler pour la première fois une décharge complète avec un équilibre magnétique variant au cours du temps, de la phase de limiteur en début de décharge, en passant par la formation du point-X pour la phase divertor, jusqu'au landing en fin de décharge. Cet outil prometteur utilisé principalement en 2D en supposant l'axi-symétrie du champ et de la paroi est néanmoins en cours d'extension en 3D, permettant de simuler un tokamak voire même à terme un stellarator en prenant en compte la complexité de la géométrie de la paroi et du champ magnétique.

Au cours de la thèse que nous proposons, l'étudiant devra participer au développement de l'outil numérique ce qui requiert un goût pour la programmation (Fortran) et pour les mathématiques appliquées même si la part de programmation ne sera pas la part principale de la thèse. L'essentiel du travail sera d'utiliser pour la première fois l'outil (déjà développé) pour simuler WEST en 3D en prenant en compte le ripple (non-axisymétrie du champ magnétique due au nombre fini de bobines) et si possible en prenant en compte la non-asymétrie de la paroi. Ces simulations devraient permettre de comprendre notamment l'impact du ripple sur le dépôt de chaleur et sur l'érosion du tungstène. L'ajout d'impuretés légères au modèle physique devra aussi être considéré pour étudier les scénarios réduisant l'érosion de la paroi. Enfin, une application innovante de l'outil de modélisation au stellarator W7-X pourra être considérée en fin de thèse permettant de développer une compétence « stellarator » à l'IRFM, en support à l'exploitation de W7-X dans le cadre EuroFusion mais aussi en support aux start-up (notamment Renaissance Fusion en France qui compte exploiter une configuration stellarator). Pour conclure, cette thèse s'inscrit dans l'intention de développer à l'IRFM le « flight simulator » requis pour l'exploitation future d'ITER (simulation nécessaire de la décharge complète avant la réalisation expérimentale / mitigation des risques).

L'étudiant devra présenter une curiosité pour la physique des plasmas de fusion, notamment l'interaction plasma-paroi. Il devra être intéressé par le développement numérique HPC (code Fortran parallélisé). On recherchera plutôt un étudiant issu du master Fusion ou d'un master « mécanique des fluides », les compétences en programmation pouvant s'acquérir au cours de la thèse.

7 - Collaborations (éventuelles) prévues

Laboratoire : **M2P2**
Organisme : **CNRS**
Responsable : **Serre Eric**

Raison de la collaboration :

Le M2P2 a été précurseur sur le développement des méthodes Discontinuous-Galerkin pour la simulation du plasma de bord. Ce laboratoire possède l'expertise sur les méthodes numériques utilisées pour le développement de l'outil de modélisation évoqué dans ce sujet de thèse.

Duree : **36**

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

9 - Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Nom: **Bufferand** Prénom: **Hugo**

Adresse : **IRFM, Bâtiment 508,
CEA Cadarache,**

13108 Saint-Paul-lez-Durance

Téléphone **04 42 25 77 04** @mail: **hugo.bufferand@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Non**

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà **4**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2023/2024 ? **2**

10 - Directeur de thèse

Nom: **CIRAULO** Prénom: **Guido**

Adresse : **CEA, IRFM, 13108 St Paul Lez Durance**

Téléphone: **0442254950** @mail: **guido.ciraolo@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Oui**

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées **7**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2023/2024 ? **2**

11 - Signatures :

Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Date : /./././

Hugo Bufferand

Signature :

Directeur de Thèse (lorsqu'il est identifié)

Date : /./././

Guido CIRAULO

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 :