

Coordination de la Formation par la Recherche

## Sujet de Thèse CEA "SUJET-LABO 2018"

*Référence du dossier :*

*Pôle :* DRF

*N° :* SL-DRF-18-0557

### 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

**Transport et turbulence dans le plasma de bord des tokamaks en géométrie complexe**

### 3 - Thématique de Recherche

**Physique corpusculaire et cosmos / Physique des plasmas et interactions laser-**

### 4 - Pièce jointe

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

Intitulé de la pièce jointe :

## 5 - Résumé

Le transport dans le plasma de bord des tokamaks demeure l'une des principales inconnues pour les machines futures et en particulier ITER. Celui-ci détermine les performances fusion ainsi que l'espérance de vie des composants face au plasma. Il est reconnu que la turbulence joue un rôle prépondérant dans la physique en jeu.

Le traitement de ce problème non-linéaire nécessite l'utilisation de codes numériques complexes dits "premier principe", c'est-à-dire ne faisant pas appel à des hypothèses ad-hoc pour simplifier la description du transport. Initialement exploités dans des géométries simplifiées, ces codes fluides à 3 dimensions commencent désormais à s'attaquer à la modélisation du transport turbulent dans le plasma de bord en géométrie réaliste. Les premiers résultats soulignent l'importance de la prise en compte précise de la géométrie magnétique et de la paroi du réacteur. La compréhension et les implications de cette physique restent cependant à développer.

Ce projet de thèse vise à étudier l'impact de la géométrie du plasma et du réacteur sur la turbulence dans le plasma de bord. Il comprendra un volet modélisation et un volet expérimental. Il s'appuiera sur la gamme d'outils numériques développés à l'IRFM en collaboration avec l'université d'Aix-Marseille et sur l'exploitation des expériences menées sur le tokamak WEST ou d'autres machines européennes partenaires. L'objectif est de déterminer les paramètres géométriques essentiels influant sur le transport turbulent dans le plasma afin d'en tirer des enseignements sur le design et l'exploitation des machines futures.

## 6 - Exposé du sujet

Le transport dans le plasma de bord des tokamaks demeure l'une des principales inconnues pour les machines futures et en particulier ITER. La compréhension des mécanismes physiques expliquant les flux de particules et d'énergie dans la partie extérieure du plasma est fondamentale pour la détermination et l'optimisation des performances fusion ainsi que de l'espérance de vie des composants face au plasma. L'un des principaux défis est l'évacuation des flux de particules et d'énergie sortant du plasma en respectant les contraintes imposées par les limites des matériaux formant les composants face au plasma. Du fait de l'anisotropie de la physique du transport dans les plasmas magnétisés, ces flux se distribuent dans une couche limite de faible épaisseur dans le bord du plasma et viennent impacter la paroi sur une surface réduite, conduisant à des flux surfaciques de plusieurs dizaines de MW/m<sup>2</sup> potentiellement dommageables pour l'intégrité de la machine. La largeur de cette couche limite est en grande partie déterminée par le transport transverse au champ magnétique, transport dans lequel la turbulence joue un rôle prépondérant. La modélisation et la compréhension de cette physique fortement non-linéaire nécessitent l'emploi de codes numériques complexes, dits "premier principe", c'est-à-dire ne faisant pas appel à des hypothèses ad-hoc pour simplifier la description du transport.

La dernière décennie a été le théâtre d'un effort soutenu dans différentes équipes de recherches pour progresser dans le développement et l'exploitation de tels outils. Dans une logique d'approche progressive de la complexité, tous ces codes fluides à 3 dimensions ont d'abord été développés et appliqués dans des géométries simples ou idéalisées afin de se focaliser sur les aspects dynamiques indépendants de la géométrie. Les résultats montrent que la phénoménologie de la turbulence aux plus petites échelles n'est pas dissociable de l'équilibre aux grandes échelles. Ceci suggère entre autre que la prise en compte de la géométrie exacte du plasma est indispensable à une bonne description du transport turbulent. Récemment, le code TOKAM3X, développé en partenariat entre l'IRFM et l'Université Aix-Marseille, a franchi une étape clé en permettant d'aborder le problème du transport turbulent dans une géométrie arbitraire, en particulier la géométrie divertor utilisée dans les plus grands tokamaks actuels et prévue pour ITER. Cette géométrie se caractérise par une topologie du champ magnétique fondamentalement différente de celles étudiées jusque-là, impliquant l'existence d'une séparatrice et d'un point de champ magnétique poloidal nul, le « point X ». Les premiers résultats confirment l'importance de la prise en compte de la géométrie magnétique et révèle une phénoménologie particulièrement complexe dans la zone du divertor et autour du point X [D. Galassi et al., Nuclear Fusion 2017].

Ce projet de thèse vise à poursuivre ces études en analysant de manière plus précise le rôle exact de la géométrie du champ magnétique sur le transport turbulent dans le plasma de bord et les conséquences sur la largeur du canal de flux de chaleur vers la paroi. Le rôle additionnel de la

géométrie de la paroi du réacteur sera également abordé. Il s'appuiera sur la gamme d'outils numériques développés à l'IRFM en collaboration avec l'université de Marseille, en particulier le code TOKAM3X [P. Tamain et al., Journal of Computational Physics 2016]. L'utilisation du code SOLEDGE2D pour le test de modèles réduits pourra également être envisagée.

Le projet s'articulera autour de 2 grands axes complémentaires : un axe modélisation et un axe expérimental. Pour ce qui concerne la modélisation, l'effort portera sur deux types de simulations :

1) des simulations en géométrie réalistes, dérivées de l'expérience, dont les résultats pourront être comparés aux résultats expérimentaux ;

2) des simulations dans des géométries idéalisées, qui serviront à isoler l'impact séparé des différents paramètres géométriques sur la dynamique observée. La compréhension tirée de ces simulations permettra de guider l'interprétation des résultats des simulations en géométrie réaliste. Outre la géométrie magnétique, le doctorant sera également amené à tirer parti des développements les plus récents du code TOKAM3X pour aborder le rôle de la géométrie de la paroi du réacteur sur la phénoménologie observée, suite à l'observation expérimentale d'un impact direct de celle-ci sur le confinement du plasma.

En complément, un travail expérimental sera entrepris afin de caractériser l'impact des effets géométriques sur le transport et la turbulence dans le plasma de bord et de servir de point de comparaison aux simulations. Le doctorant proposera et mènera des expériences dédiées sur le tokamak WEST à l'IRFM, permettant de produire des plasmas en géométrie complexe avec une certaine flexibilité dans la géométrie relative du plasma et de la paroi. Des expériences sur d'autres machines partenaires européennes pourront également être proposées.

Cette thèse est proposée au sein de l'équipe GDIPP (Groupe Divertor et Interaction Plasma-Paroi) de l'IRFM. Le doctorant bénéficiera de l'expérience et du soutien de son encadrement direct mais aussi de l'ensemble de l'équipe. Il sera également encouragé à s'intéresser aux autres travaux du groupe ainsi qu'à l'ensemble des thématiques abordées à l'IRFM afin de se développer une culture générale. L'équipe évolue dans un environnement collaboratif riche en France (collaboration de longue durée avec les laboratoires de l'université de Marseille et de la Fédération de Recherche sur la Fusion Magnétique) et en Europe (via le consortium Eurofusion).

## 7 - Collaborations (éventuelles) prévues

Laboratoire : **M2P2**

Organisme : **Ecole Centrale Marseille - CNRS**

Responsable : **Serre Eric**

Raison de la collaboration :

**Le code TOKAM3X, qui sera le principal outil utilisé pour le volet modélisation des travaux réalisés dans le cadre de cette thèse, est développé depuis plusieurs années en étroite collaboration entre l'IRFM et le laboratoire M2P2. L'implication des équipes du M2P2 est donc souhaitable pour le suivi de ces travaux afin de participer aux éventuelles évolutions nécessaires dans les codes.**

Duree : **36**

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

## 9 - Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Nom: **Tamain**

Prénom: **Patrick**

Adresse : **CEA Cadarache  
IRFM/SPPF bat 513  
13108 St Paul lez Durance Cedex  
FRANCE**

Téléphone **0442252616**

@mail: **patrick.tamain@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Non**

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà **5**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2018/2019 ? **1**

## 10 - Directeur de thèse

Nom: **SERRE**

Prénom: **Eric**

Adresse : **Laboratoire M2P2 UMR 6181, CNRS/Aix-Marseille Université  
Technopole de Château-Gombert, La Jetée  
38 rue F. Joliot-Curie  
13451 Marseille cedex 20**

Téléphone: **33(0)491118535**

@mail: **eric.serre@univ-amu.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Oui**

Organisme de rattachement : **CNRS**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2018/2019 ?