

Coordination de la Formation par la Recherche

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

*Référence du dossier :*

*Pôle :* DRF

*N° :* SL-DRF-18-0556

### 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

**Pousser la physique des barrières de transport jusqu'au mur: comment les conditions aux limites impactent-elles le confinement dans les tokamaks?**

### 3 - Thématique de Recherche

**Physique théorique / Physique théorique**

### 4 - Pièce jointe

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

Intitulé de la pièce jointe :

## 5 - Résumé

Dans les plasmas magnétiques de tokamak, une transition spontanée du régime de transport turbulent peut prendre place à l'interface entre le plasma confiné et la couche limite de plasma en interaction avec la paroi du réacteur. La compréhension et le contrôle de cette transition est un enjeu primordial pour améliorer les performances des réacteurs. S'il est accepté que des phénomènes de stabilisation de la turbulence par des écoulements cisailés à grande échelle soient en jeu, la compréhension actuelle n'est pas assez complète pour proposer des modèles prédictifs applicables aux futurs réacteurs. En particulier, le rôle des conditions aux limites sur cette transition est un sujet peu étudié car à la frontière de deux thématiques trop souvent distinctes : le confinement de l'énergie et l'interaction plasma-paroi.

Le projet de thèse se positionne à cette interface, encadré par une équipe mixte. Le cœur du projet est l'étude expérimentale de l'interaction "écoulements-turbulence" à l'interface topologique entre plasma confiné et couche limite en contact avec la paroi. Un système de mesure radar par effet doppler sera l'outil principal, complété par des mesures de sondes électrostatiques. Des expériences sur grands instruments seront préparées, coordonnées et analysées, en France (tokamak WEST) et possiblement en Europe. Ce travail expérimental sera complété par une approche théorique des phénomènes de couplage basée sur des développements récents, afin de former des modèles simplifiés permettant de décrire les expériences.

## 6 - Exposé du sujet

Dans un réacteur à fusion par confinement magnétique, la performance de confinement relie la pression thermodynamique obtenue dans le plasma (de laquelle dépend la puissance fusion produite) au niveau de puissance additionnelle nécessaire à l'obtention de cette pression. Physiquement, le confinement est régi par les processus de transport se développant contre le confinement magnétique. Il s'agit principalement d'instabilités turbulentes, comme dans beaucoup de systèmes fluides forcés hors équilibre thermodynamique. Une des particularités des plasmas chauds magnétisés est le déclenchement, sous certaines conditions (puissance additionnelle, densité plasma, géométrie ...) d'une soudaine stabilisation de la turbulence dans une couche plasma stratifiée, dénommée barrière de transport, localisée invariablement au bord du volume confiné. Cette transition, connue comme « low to high confinement mode transition » (transition L-H) conduit à une amélioration significative des performances du réacteur. L'idée généralement acceptée est que des écoulements à grandes échelles prennent place le long des strates de la topologie confinée, avec un gradient suffisant entre strates pour déformer et stabiliser les îlots microscopiques de turbulence. Une fois la transition établie, la barrière de transport soutient un fort gradient de pression qui, à travers l'équilibre local des forces, est responsable de forts écoulements stratifiés stabilisant la turbulence. Ainsi, la barrière de transport est souvent considérée comme un état auto-organisé de turbulence réduite. Cependant, cette affirmation n'explique pas (1) la transition elle-même vers un état auto-organisé, (2) la position spatiale de la barrière, à l'interface entre une topologie fermée (le plasma confiné) et une topologie ouverte (la couche limite du bord), (3) les dépendances paramétriques des conditions de transition : puissance, densité plasma, champ magnétique, topologie de la couche limite. Les connaissances empiriques accumulées au niveau international ne permettent pas encore de faire des prédictions fiables pour les conditions de transition dans les futurs réacteurs tels ITER. Une des principales raisons est que les ingrédients physiques clés au cœur de la transition sont encore débattus.

L'axe de recherche innovant proposé pour le projet de thèse vise à étudier expérimentalement les interactions de la zone de stratification de bord avec les zones plasmas environnantes : zones topologiques fermées et ouvertes. Plus précisément, le projet de thèse couvrira l'étude de trois aspects distincts : (i) équilibre et couplage entre les écoulements d'équilibre et les écoulements générés par la turbulence, (ii) effet des écoulements sur la turbulence et modification des caractéristiques de la turbulence en fonction des conditions plasmas, (iii) influence de la topologie magnétique de la couche limite sur le système écoulements/turbulence. Ces mécanismes et leurs intrications sont supposés rendre compte des conditions empiriques de transition du transport, comme décrits par des modèles théoriques récents.

Les activités expérimentales se dérouleront principalement sur le tokamak WEST, qui possède des paramètres topologiques uniques impliqués dans les dépendances paramétriques des conditions de transition. L'élargissement de cette activité expérimentale à d'autres tokamaks internationaux sera

encouragé au travers de collaborations existantes. En pratique, le projet sera focalisé sur la caractérisation des écoulements et de la turbulence dans une large région du plasma de bord. Le diagnostic principal est un système radar à la pointe des performances, nommé réflectométrie Doppler, qui permet des mesures simultanées des écoulements (générés par équilibre des forces et par la turbulence) et des propriétés de la turbulence. Ces mesures seront complétées par l'utilisation d'un ensemble de sondes électrostatiques permettant de caractériser les propriétés de la couche limite.

Un protocole expérimental sera mis en place sur des grands instruments, les expériences seront conduites et analysées, en parallèle de projets théoriques et numériques portant sur des problématiques proches. Les travaux seront synthétisés dans des articles publiés dans des revues scientifiques de qualité, et l'opportunité sera donnée d'exposer les résultats dans des conférences internationales.

## 7 - Collaborations (éventuelles) prévues

Laboratoire : **Laboratoire de physique des plasmas, UMR7648**

Organisme : **CNRS**

Responsable : **Hennequin Pascale**

Raison de la collaboration :

**Expertise en reflectometrie Doppler et caractérisation des écoulements et de la turbulence dans les plasmas magnétisés. Le LPP est un partenaire du tokamak WEST à travers la fédération de recherche sur la fusion par confinement magnétique**

Duree :

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

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

Nom: **Fedorczak**

Prénom: **Nicolas**

Adresse : **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Cadarache, 13108 St Paul Lez Durance Cedex**

Téléphone **04 42 25 37 12**

@mail: **nicolas.fedorczak@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 2018/2019 ? **2**

## 10 - Directeur de thèse

Nom: **HENNEQUIN**

Prénom: **Pascale**

Adresse : **LPTP, Ecole Polytechnique, CNRS UMR 7648, 91128 Palaiseau Cedex, France**

Téléphone: **0169335950**

@mail: **pascale.hennequin@lptp.polytechnique.fr**

Habilitation à diriger des recherches :

**Oui**

Organisme de rattachement : **CNRS**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées

**4**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2018/2019 ? **2**