



Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives
Direction de la Recherche Fondamentale

Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique
<http://irfm.cea.fr>

Centre de Cadarache, 13108 Saint-Paul-Lez-Durance, France



SUJET DE THÈSE 2017

Pénétration des impuretés lourdes en présence d'îlots magnétiques se développant dans un plasma turbulent

Nom du responsable (ou codirecteur) de thèse : Olivier Agullo	e-mail :	olivier.agullo@univ-amu.fr
	page web :	
	téléphone :	04 91 28 82 51
	secrétariat :	04 91 28 82 51
Équipe de Recherche : Équipe DSC, laboratoire PIIM, Aix-Marseille université		

Nom du Directeur de thèse : Patrick Maget	e-mail :	patrick.maget@cea.fr
	page web :	
	téléphone :	04 42 25 49 88
	secrétariat :	04 42 25 62 22
Équipe de Recherche : Groupe Théorie et Simulations, SPPF, IRFM, CEA Cadarache		

Résumé du sujet :

Le contrôle des impuretés lourdes et/ou fortement chargées dans les plasmas de tokamak tels que JET ou prochainement ITER est devenu un enjeu important. En effet, l'érosion des parois génère inévitablement des impuretés fortement chargées, des impuretés de tungstène par exemple, qui peuvent pénétrer au cœur du tokamak et dégrader considérablement les performances des décharges. La présence d'îlots magnétiques dont les échelles spatiales peuvent être multiples, en particulier dans les régimes de confinement amélioré, influence les mécanismes de transport collisionnel et turbulent des impuretés. L'objectif de cette thèse est de discriminer les mécanismes à l'origine de leur transport vers le cœur en s'appuyant sur une modélisation analytique et des simulations de la dynamique multi-échelles intrinsèque au sujet de thèse. Dans la mesure où cette étude mettrait en évidence des signatures des différents mécanismes en jeu, une comparaison avec les données expérimentales pourra être effectuée, en particulier avec les données du tokamak JET mais aussi du tokamak au CEA-Cadarache.

Cette recherche s'appuiera sur une collaboration de longue date qui existe entre les équipes de l'IRFM au CEA-Cadarache et du laboratoire PIIM d'Aix-Marseille Université qui proposent ce sujet.

Formation recherchée / recommandée :

L'étudiant aura préférentiellement une formation en physique fondamentale et/ou des plasmas.

Intitulé du master préconisé :

Master Fusion ou de Physique des Plasmas

Description détaillée du sujet :

Le contrôle des impuretés lourdes et/ou fortement chargées, tel que le tungstène, dans les plasmas de tokamak est devenu un enjeu important car une concentration excessive d'impuretés peut dégrader les performances du plasma. En effet, les futures machines à fusion auront des parois et un divertor métalliques. En particulier le choix du tungstène a été fait pour le divertor d'ITER. L'érosion de ces parois génère inévitablement des impuretés fortement chargées qui peuvent pénétrer au cœur et dégrader considérablement le niveau de confinement. Expérimentalement, en particulier sur le tokamak JET, il est observé que l'activité MHD, y compris la présence d'îlots magnétiques, peut jouer un rôle important dans le processus d'accumulation des impuretés lourdes dans le cœur [1].

En amont de la question du contrôle des impuretés, il se pose celle d'identifier les mécanismes qui sous-tendent leur transport. À l'inverse des impuretés légères pour lesquelles le transport turbulent domine, le transport collisionnel néoclassique mesuré n'est pas négligeable dans le cas des impuretés lourdes, voire peut être dominant. Dans les futurs tokamaks tels qu'ITER, on s'attend à atteindre des régimes de fonctionnement où le transport turbulent sera en compétition avec le transport collisionnel pour le tungstène [2]. Éclaircir ces aspects est donc un enjeu important, en particulier en présence d'îlots magnétiques.

Le rôle des îlots magnétiques dans les processus d'accumulation se situe à deux niveaux. D'une part, la turbulence magnétique peut engendrer non linéairement des micro-îlots magnétiques [3] dont la taille peut n'être que de quelques rayons de Larmor. La question de l'impact de ces îlots sur le transport turbulent mais aussi sur celui des particules lourdes reste largement peu connu. D'autre part, aux grandes échelles MHD, des modes de déchirement néoclassiques sont générés naturellement par de multiples mécanismes, et en particulier dans les régimes de confinement amélioré à haut beta. Ces îlots dégradent le confinement même en l'absence d'impuretés, ce qui est bien compris. Cependant, des études sur le tokamak JET [1] montrent que ces derniers peuvent aussi significativement accélérer l'accumulation d'impuretés fortement chargées au niveau du cœur et affaiblir l'efficacité du confinement en refroidissant le plasma en raison des pertes radiatives.

L'objectif de cette thèse est justement de comprendre les mécanismes de transport des impuretés par la turbulence en présence d'un îlot.

Le déroulement de la thèse sera le suivant. Un modèle gyrofluide sera développé afin d'avoir un outil permettant l'étude théorique et numérique d'une dynamique multi-échelle intrinsèque au sujet de thèse. Il s'appuiera sur des modèles déjà existants [4]. Une attention particulière sera portée à l'introduction des effets néoclassiques dans la modélisation. L'étude théorique et numérique des instabilités électromagnétiques présentes dans le contexte gyrofluide sera effectuée. Les impuretés seront ajoutées au modèle afin d'évaluer les rôles des micro-îlots, des modes de déchirement magnétiques néoclassiques et de la turbulence dans leur transport. Dans la mesure où cette étude mettrait en évidence des signatures des différents mécanismes en jeu, une comparaison avec les données expérimentales pourra être effectuée avec les données du tokamak JET mais aussi du tokamak au CEA-Cadarache qui sera doté d'un divertor en tungstène.

[1] T.C. Hender et al, Nuclear Fusion 56 (2016) 066002

[2] C. Angioni, 6 th Asia Pacific Transport Working Group International Conference, Seoul 2016

[3] O. Agullo et al, Physics of Plasma 21 (2014) 092303

[4] P. B. Snyder, thèse de 1999 intitulé "Gyrofluid Theory and Simulation of Electromagnetic Turbulence and Transport in Tokamak Plasmas"

Collaborations scientifiques et/ou partenariats industriels envisagés :

- Nom du collaborateur: Xavier Garbet (IRFM) et Nicolas Dubuit (AMU)

- Organisme/Société:
 - IRFM
 - AMU, Laboratoire de Physique et des Interactions Ioniques et Moléculaires (PIIM)

- Raison de la collaboration:

Le laboratoires PIIM et l'IRFM ont une collaboration de longue date sur les questions de turbulence et dynamique MHD des plasmas de fusion. Cette collaboration est attestée par des publications régulières sur ces thèmes. Dans le cas du projet de thèse, PIIM a développé des compétences, y compris numériques, pour étudier la question de l'interaction des îlots et de la turbulence dans le cadre d'une collaboration avec X. Garbet de l'IRFM. Plus généralement, le groupe impliqué dans ce projet au sein du laboratoire PIIM possède une expertise dans le développement de modèles couplés MHD/Turbulence. D'un autre côté, l'IRFM est en pointe sur la question du transport des particules lourdes [voir par exemple J-H Ahn et al, Plasma Physics and Controlled Fusion 58 (2016) 125009]. L'expertise côté CEA est aussi particulièrement solide sur la physique néoclassique et son implémentation dans un code fluide/MHD (XTOR).

Il existe donc une complémentarité certaine entre les deux équipes sur ce sujet. Cette complémentarité s'appuiera aussi sur l'expérience de Nicolas Dubuit du laboratoire PIIM qui a fait sa thèse à l'IRFM sur la thématique du transport d'impuretés dans un plasma magnétisé.