



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

Institut de Recherche sur la Fusion par confinement magnétique
<http://www-fusion-magnetique.cea.fr>



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

SUJET DE THÈSE 2021

Contrôle des flux de chaleur et de particules dans la configuration magnétique double point X du tokamak : études expérimentales et modélisation sur WEST et extrapolation pour les centrales à fusion

Control of heat and particle fluxes in tokamak double null magnetic configuration: experimental and modeling studies on WEST and extrapolations for fusion power plants

Nom du responsable (ou codirecteur) de thèse :	e-mail :	Nicolas.Fedorczak@cea.fr
	page web :	
	téléphone :	+33 (0)4 42 25 37 12
	secrétariat :	+33 (0)4 42 25 62 22
Équipe de Recherche : Groupe Expérimentation, Contrôle des Flux de chaleur et particules		

Nom du Directeur de thèse :	e-mail :	guido.ciraolo@cea.fr
	page web :	
	téléphone :	+33 (0)4 42 25 49 50
	secrétariat :	+33 (0)4 42 25 62 22
Équipe de Recherche : Groupe Théorie et Simulation Numérique		

Résumé du sujet en Français :

Parmi les défis à relever sur la voie des centrales à fusion, le contrôle de l'évacuation de la chaleur et des particules est l'un des plus critiques. De nombreux concepts développés pour les futures centrales à fusion reposent sur une configuration magnétique dite « Double Null » (DN), caractérisée par deux points x symétriques haut et bas, points où le champ magnétique dans le plan poloidal est nul. Par rapport à la configuration ITER « Lower Single Null » (SN), qui ne comporte qu'un seul point x et un divertor bas, l'avantage théorique de la configuration DN est de doubler la surface disponible pour l'évacuation de l'énergie convectée vers le divertor. Ce projet de thèse se concentre sur les études expérimentales et numériques de l'extraction de puissance dans la configuration magnétique DN. Des expériences dédiées seront réalisées sur le tokamak WEST qui offre la possibilité d'étudier la gamme complète des équilibres magnétiques, allant du SN inférieur au SN supérieur en passant par le DN, dans une configuration de divertor haut bas parfaitement symétrique. Les études expérimentales seront étayées par des simulations numériques réalisées avec le code SOLEDGE, capable de modéliser finement le transport et la turbulence dans des topologies magnétiques et des géométries de divertor réalistes, afin de mieux comprendre l'impact des différents mécanismes en jeu, notamment l'impact des dérives ExB sur les flux de particules et d'énergie dans les régions du divertor. Une comparaison avec les résultats obtenus en configuration SN standard complètera l'analyse des données et la caractérisation des DN. Enfin, le potentiel des configurations DN pour les futures centrales à fusion sera évalué.

Résumé du sujet en Anglais :

Among the challenges on the road map to fusion power plants, the control of power exhaust is one of the most critical. Many of the concepts developed for future fusion power plants are based on a so-called "Double Null" (DN) magnetic configuration, characterized by two symmetrical upper and lower x-points, where the magnetic field in the poloidal plane is zero. Compared to the ITER "Lower Single Null" (SN) configuration, which has only one x-point and a low divertor, the theoretical advantage of the DN configuration is to double the area available for the evacuation of the convected energy towards the divertor. This thesis project focuses on experimental and numerical studies of power extraction in the DN magnetic configuration. Dedicated experiments will be performed on the WEST tokamak which offers the possibility to study the full range of magnetic equilibria, ranging from the lower SN to the upper SN through the DN, in a perfectly symmetric top-down divertor configuration. The experimental studies will be supported by numerical simulations performed with the SOLEDGE code, which is capable of finely modeling transport and turbulence in realistic magnetic topologies and divertor geometries, in order to better understand the impact of the different mechanisms at play, in particular the impact of ExB drifts on particle and energy fluxes in the divertor regions. A comparison with the results obtained in standard SN configuration will complete the data analysis and the characterization of the DN. Finally, the potential of DN configurations for future fusion power plants will be assessed.

Formation recherchée / recommandée : Master 2 en physique, mathématiques appliquées .. / Ingénieur Grande Ecole

Intitulé du master préconisé : Sciences de la Fusion, Physique des plasmas, Physique Fondamentale et Application, Mécanique des fluides, ...

Description détaillée du sujet (en français):

Parmi les défis à relever sur la voie des centrales à fusion, le contrôle de l'évacuation de la chaleur et des particules est l'un des plus critiques. Une fraction importante de l'énergie produite par les réactions de fusion est transportée par convection de la région du plasma central à travers la séparatrice vers la couche limite de plasma périphérique où les lignes de champ magnétique sont reliées aux surfaces solides du divertor, la couche dite "scrape-off layer" (SOL). Dans le divertor d'ITER, le flux de chaleur en régime stationnaire qui en résulte devrait déjà être très proche des limites technologiques. Afin de gérer une plus grande puissance de fusion comme prévu dans les centrales à fusion, plusieurs stratégies sont à l'étude, jouant à la fois sur des configurations magnétiques alternatives à celle d'ITER et sur la dissipation de l'énergie dans les régions périphériques du plasma par injection d'impuretés, un moyen très efficace de répartir l'énergie sur tous les composants faisant face au plasma, mais au prix d'une dilution du plasma.

Dans ce contexte, de nombreux concepts développés pour les futures centrales à fusion reposent sur une configuration magnétique dite « Double Null » (DN), caractérisée par deux points x symétriques haut et bas, points où le champ magnétique dans le plan poloidal est nul. Par rapport à la configuration ITER « Lower Single Null » (SN), qui ne comporte qu'un seul point x et un divertor bas, l'avantage théorique de la configuration DN est de doubler la surface disponible pour l'évacuation de l'énergie convectée vers le divertor. Une autre propriété topologique intéressante de la configuration DN est que le côté externe (par rapport au centre du plasma) de la couche limite, caractérisé par un plasma plus turbulent, est magnétiquement déconnecté du côté interne, où le plasma est plus stable. Cela empêche la pénétration des flux de plasma à grande échelle dans la région stable, comme observé dans la configuration SN. L'impact sur les propriétés de confinement global et la stabilité MHD du plasma de bord n'a été que partiellement abordé et reste une question ouverte.

Ce projet de thèse se concentre sur les études expérimentales et numériques de l'extraction de puissance dans la configuration magnétique DN. Des expériences dédiées seront réalisées sur le tokamak WEST qui offre la possibilité d'étudier la gamme complète des équilibres magnétiques, allant du SN inférieur au SN supérieur en passant par le DN, dans une configuration de divertor haut bas parfaitement symétrique. Cette particularité est d'une importance fondamentale pour une meilleure compréhension de la répartition du dépôt d'énergie sur la paroi ainsi que des propriétés du plasma.

WEST est particulièrement bien diagnostiqué pour de telles études, étant équipé de sondes électrostatiques dites de Langmuir sur les divertors haut et bas, donnant accès à la distribution du flux de chaleur et de

particules avec une très haute résolution. D'autres diagnostics tels que les caméras infrarouges, la bolométrie, la spectroscopie visible et la réflectométrie Doppler permettront une analyse complète des propriétés du plasma, des sources d'impuretés ainsi que de la caractérisation de la turbulence dans les couches limites interne et externe.

Une attention particulière sera accordée à l'évolution de la répartition du dépôt de puissance en fonction des régimes de densité, en considérant initialement des plasmas ohmiques. La deuxième étape se concentrera sur l'augmentation de la puissance de chauffage et l'accès à des régimes de confinement amélioré avec établissement d'un piédestal de pression au bord du plasma, en analysant à la fois la stabilité du piédestal ainsi que l'évolution de l'épaisseur des couches limites interne et externe. Les études expérimentales seront étayées par des simulations numériques réalisées avec le code SOLEDGE, capable de modéliser finement le transport et la turbulence dans des topologies magnétiques et des géométries de divertor réalistes, afin de mieux comprendre l'impact des différents mécanismes en jeu, notamment l'impact des dérives ExB sur les flux de particules et d'énergie dans les régions du divertor.

Une comparaison avec les résultats obtenus en configuration SN standard complètera l'analyse des données et la caractérisation des DN. Enfin, le potentiel des configurations DN pour les futures centrales à fusion sera évalué.

Collaborations scientifiques et/ou partenariats industriels envisagés :

- Nom du collaborateur: DR Yannick Marandet (codirecteur de thèse)
- Organisme/Société: CNRS, laboratoire PIIM, Aix-Marseille Université
- Raison de la collaboration:

Yannick Marandet collabore activement depuis longtemps avec les équipes de l'IRFM sur un large spectre des thématiques, allant de la modélisation du transport du plasma de bord et de l'interaction plasma-paroi jusqu'à l'analyse et l'interprétation des expériences, notamment pour ce qui concerne le transport d'impuretés et de particules neutres.

Dans le cadre du sujet proposé, il participera activement à la partie de modélisation étant un des experts du code SOLEDGE-EIRENE qu'il continue de développer en collaboration avec l'IRFM. Son expertise dans l'analyse de données expérimentales comme celles venant de la spectroscopie visible et concernant l'interaction plasma-paroi sera aussi très précieuse pour le travail du doctorant et l'avancement du travail de thèse.