



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

### Etude du comportement thermique des composants en tungstène « biseautés » dans le tokamak WEST

<b>Nom du responsable (ou codirecteur) de thèse :</b> Jonathan Gaspar	<b>e-mail :</b>	
	<b>page web :</b>	
	<b>téléphone :</b>	+33 (0)4 42 25
	<b>secrétariat :</b>	+33 (0)4 42 25
<b>Équipe de Recherche :</b>		

<b>Nom du Directeur de thèse :</b> Yann Corre	<b>e-mail :</b>	Yann.corre@cea.fr
	<b>page web :</b>	
	<b>téléphone :</b>	+33 (0)4 42 25
	<b>secrétariat :</b>	+33 (0)4 42 25
<b>Équipe de Recherche :</b> CEA Cadarache, IRFM, SI2P, GP3		

#### Résumé du sujet en Français :

*Un des défis soulevés par le tokamak ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) concerne la conception et l'exploitation des composants face au plasma qui devront supporter des flux de chaleur très élevés (jusqu'à 20 MW.m<sup>-2</sup>). Dans ITER ces composants sont activement refroidis et composés de cibles en tungstène spécialement profilés avec un biseau de 0.5mm à la surface pour protéger les bords d'attaque des composants suivants. Sans la protection du biseau, un désalignement de quelques dixièmes de millimètre entre deux composants est suffisant pour générer localement des flux de chaleur excessifs et conduire à la fusion d'un composant, contraignant le domaine opérationnel de la machine. Le projet WEST (Tungsten (W) Environment in Steady-state Tokamak), qui repose sur la transformation du tokamak Tore Supra en machine métallique activement refroidie avec des composants face au plasma et des cibles en tungstène basées sur le même concept que celui utilisé pour ITER, représente une occasion unique d'étudier l'effet du biseau sur le comportement thermique du composant. Nous proposons une approche expérimentale et deux axes de recherche distincts: un axe pour vérifier expérimentalement l'efficacité de la solution ITER avec un biseau de 0.5mm et un axe pour caractériser le comportement des composant en situation extrême (fissuration et fusion du tungstène). Les analyses s'appuieront sur une instrumentation spécifique à la mesure thermique comprenant notamment 2 caméras infrarouges (dont une possédant une très haute résolution spatiale pour étudier l'effet du biseau), 16 thermocouples (TC) et 6 fibres à réseaux de Bragg (FBG).*

#### Résumé du sujet en Anglais :

*(traduction du texte précédent)*

#### Formation recherchée / recommandée :

**Intitulé du master préconisé :** Fusion par confinement magnétique, physique des plasmas.

**Description détaillée du sujet :**

*Pour réduire les contraintes thermomécaniques des composants générées à cause du très fort piquage du flux de chaleur, les cibles sont de petites tailles (12mm de large et environ 30 mm de long) et espacées les unes des autres (fentes de 0.5mm). Cette géométrie offre ainsi une fenêtre d'exposition très étroite au niveau du coin de la cible suivante, en face des fentes où la protection du biseau n'est plus efficace. Par ailleurs, la présence du biseau induit automatiquement une réduction de la surface exposée au plasma provoquant une augmentation du flux de chaleur localement. La base physique permettant de modéliser ces phénomènes, en particulier l'effet du biseau, est complexe et nécessite d'être validée expérimentalement.*

*Le premier objectif de la thèse est de caractériser expérimentalement, d'une part le plasma qui génère le chargement thermique (c'est-à-dire le flux de chaleur présent dans le plasma et son piquage dans la direction radiale) et d'autre part le comportement des composants face au plasma avec et sans « biseau ». Une première série d'expérience a déjà été réalisée dans la première phase d'exploitation du projet WEST (phase 1) avec des composants de type ITER sans « biseau », donc sans protection des bords d'attaques. Pour la seconde phase du projet WEST (phase 2), tous les composants du divertor auront un « biseau ». Le travail consistera à concevoir et réaliser des expériences dans le but d'étudier le coin des PFU non protégés par le biseau et d'évaluer la réduction du domaine opérationnel par rapport à la solution sans « biseau ». Ces résultats seront utilisés pour évaluer les risques et discuter quelles sont les conséquences pour l'exploitation d'un tokamak.*

*Le deuxième axe concerne le comportement des composants ITER en situation extrême. Un composant WEST a été volontairement modifié en introduisant une gorge de 2 mm de profondeur dans laquelle le flux de chaleur peut pénétrer et atteindre le bord d'attaque du composant suivant avec une incidence normale (donc exposé à des flux extrêmement intenses). L'objectif de l'expérience est d'atteindre le point de fusion pour valider les codes de simulation, étudier les conséquences pour le plasma ainsi que pour l'exploitation des composants endommagés (après avoir été fissurés ou fusionnés).*

*Ces travaux serviront, en plus de l'aspect validation des modèles et des hypothèses, à identifier les bases et les critères, physique ou technologique, qui pourront servir à optimiser l'exploitation du tokamak WEST et à préparer l'exploitation du tokamak ITER. Plusieurs collaborations sont envisagées : la première avec les équipes ITER en charge de l'exploitation, la seconde avec le laboratoire IUSTI Marseille pour les modélisations thermiques et l'interprétation des mesures thermiques (en particulier l'aspect mesures d'émissivité qui est nécessaire pour l'interprétation des données IR) et enfin avec IPP-Prague pour la modélisation particulière du plasma dans les espaces inter-composants. Une collaboration avec le tokamak EAST, machine métallique (Tungstène) et activement refroidie, est aussi envisagée pour compléter les études menées dans WEST.*

**Collaborations scientifiques et/ou partenariats industriels envisagés :**

- Nom du collaborateur: R. Dejarnac
- Organisme/Société: IPP Prague (République Tchèque)
- Raison de la collaboration:  
*Modélisation des trajectoires cyclotroniques des ions et électrons (effet du rayon de Larmor) dans les espaces inter-composants. Etudes des effets de gaines électrostatiques générées à la surface des composants.*