

CEA/CADARACHE

DIRECTION DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE (DRF)

INSTITUT DE RECHERCHE SUR LA FUSION PAR CONFINEMENT MAGNETIQUE (IRFM)

CEA/Cadarache - 13108 St Paul-lez-Durance Cedex

Visitez notre site Web : <http://irfm.cea.fr>

SUJET DE THÈSE 2016-2017

Nom du Responsable de thèse : Elodie BERNARD	e-mail : Elodie.bernard@cea.fr
	téléphone : 04 42 25 30 39
	secrétariat : 04 42 25 49 90
Équipe de Recherche : SI2P /GCFPM	

Titre du sujet de thèse : Surface conditions of W components: impact on hydrogen inventory

Résumé du sujet :

Le tungstène (W) a été choisi comme matériau principal pour le divertor de WEST et bientôt ITER pour ses propriétés face au plasma, telles son faible taux d'érosion ou son point de fusion élevé. Cependant, certains points restent à comprendre afin d'anticiper l'évolution des propriétés des composants face au plasma (PFC), notamment les conséquences de l'irradiation en hélium et l'inventaire en hydrogène du matériau. Les études menées à l'heure actuelle se concentrent principalement sur l'étude d'échantillons de W préparés et exposés en laboratoire, et ont permis d'identifier un rôle majeur de l'état de surface sur l'évolution du comportement du matériau, notamment le piégeage en hydrogène.

Afin d'accéder aux mécanismes fondamentaux de piégeage ou d'endommagement de la structure cristalline, ces études impliquent pour la plupart des échantillons polis manuellement et/ou par polissage électrolytique, soumis à des recuits haute température. L'impact de cet état de surface est crucial : ainsi, des études de thermo désorption ont montré qu'un deuxième pic de désorption du deutérium apparaît lorsque l'état de surface n'est pas optimal. La littérature sur le sujet montre d'ailleurs des pics de désorption du deutérium d'énergies et de nombre variables selon les études en fonction du matériau ou de l'état de surface (différents fournisseurs de W, méthodes de préparation...). La position et l'intensité des pics du spectre de désorption permettent d'identifier les types de pièges présents dans le matériau : la variation de ces pics doit donc être comprise pour pouvoir proposer un modèle des mécanismes de piégeage.

D'autre part, la croissance d'une couche d'oxyde à la surface du tungstène métallique est rapide : une exposition à l'air ou la présence de trace d'eau auront pour conséquence la formation de WO_3 à la surface du matériau. Une surface oxydée a des propriétés différentes en terme de piégeage de l'hydrogène, et à haute température peut générer des oxydes volatiles dans la chambre à vide. Il est donc important d'évaluer l'impact d'oxydes potentiels et de définir des méthodes d'atténuation de leurs effets.

Ces deux thèmes liés à la composition et structure de la surface seront abordés dans la thèse du point de vue des composants W mis en place dans WEST. Un large panel de conditions de surface, depuis le matériau « idéal » jusqu'aux conditions réelles du PFC, e.g. structuré par des plasmas de deutérium, sera étudié par le candidat. Les échantillons seront produits de manière à faire varier la rugosité (type et finesse de polissage) et l'oxydation de la surface (suppression de la couche d'oxyde par flash thermique ou production de couches plus ou moins épaisses par oxydation contrôlée à l'Université d'Aix Marseille). Les propriétés de chaque échantillon seront ensuite mesurées par plusieurs techniques d'analyse des

matériaux :

- Rugosité de surface : microscopie confocale, microscope à force atomique (AFM)
- Etat cristallin et composition : cristallographie aux rayons X (XRD), spectrométrie photoélectronique X (XPS)

Puis, le panel d'échantillons sera chargé en hydrogène afin d'étudier la rétention observée pour chaque condition de surface. Deux types d'études pourront être menés :

- Chargement gazeux en tritium puis étude de la cinétique de désorption au CEA Saclay
- Chargement gazeux en deutérium puis désorption thermo programmée (TPD) à l'IRFM
- Implantation en deutérium par faisceau d'ions puis désorption thermo programmée (TPD) au PIIM (AMU)

En parallèle, les échantillons seront soumis à des expositions en laboratoire reproduisant les interactions plasma-paroi ayant cours dans un tokamak. Le suivi des campagnes WEST permettra d'adapter les conditions d'exposition du panel d'échantillons afin d'obtenir une plage de données adéquate ; nous aurons ainsi à terme un spectre de conditions comparables afin de comparer les expositions en laboratoire avec les échantillons issus de WEST. Selon les possibilités et l'avancement du programme WEST, il est prévu d'analyser des échantillons issus de PFC exposés dans le tokamak au plus tôt fin 2017, au plus tard fin 2018 (fin de la campagne C4). Les conditions de surface qui seront apparues comme d'intérêt majeur au vu des premières expériences en laboratoire, pourront être intégrées l'exposition de composants pré endommagés dans WEST au cours des campagnes ultérieures. Ainsi, l'étudiant sera amené à participer au suivi et à l'exploitation scientifique des résultats issus de l'exploitation du tokamak.

Enfin, nous travaillerons en collaboration avec les équipes en charge de la modélisation et les résultats seront intégrés dans le modèle « rate-equation » de l'IRFM, afin d'affiner la prise en compte des mécanismes de surface dans la modélisation du comportement des PFC.

En résumé, le candidat réalisera une étude matériaux tournée vers l'exploitation WEST, avec un panel d'état de surface allant du matériau « idéal » à l'état de surface concrètement imparfait d'un composant installé dans WEST et soumis au plasma. Ce travail permettra de mettre en avant les paramètres majeurs qui dominent le comportement de la surface (couche d'oxyde, polissage) et qui influencent la rétention en hydrogène. L'étudiant sera amené à travailler en forte collaboration avec le SCBM au CEA Saclay et le laboratoire PIIM de l'Université d'Aix-Marseille, dans l'équipe dirigée par Thierry Angot.

Compétences souhaitées : Science des matériaux