

Coordination de la Formation par la Recherche

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

*Référence du dossier :*

*Pôle :* DRF

*N° :* SL-DRF-18-0569

### 1 - Laboratoire d'accueil au CEA

Centre : **Cadarache**

Département/Service : **IRFM / Service Intégration Plasma Paroi**

Nom du laboratoire : **GCECFP/Groupe Conception et Exploitation Composants Face au Plasma**

### 2 - Titre du sujet de thèse

**Alliages de Tungstène pour la fusion**

### 3 - Thématique de Recherche

**Sciences pour l'ingénieur / Matériaux et applications**

### 4 - Pièce jointe

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

Intitulé de la pièce jointe :

## 5 - Résumé

L'objectif de ce projet est la synthèse d'alliages de tungstène utilisables dans le contexte de la fusion thermonucléaire pour la réalisation de Composants Face au Plasma capables de soutenir les flux thermiques très élevés observés dans les réacteurs de fusion. Il s'agit d'optimiser ces alliages afin d'obtenir de meilleures propriétés d'usage en particulier une plus grande ductilité facilitant les conditions d'usinage et améliorant les propriétés vis à vis de l'exposition au plasma. Ceci doit passer par l'obtention de matériaux nanométriques [Németh - 2015] homogènes en composition. De plus ces nouveaux matériaux doivent présenter des propriétés spécifiques à la filière fusion comme une bonne résistance à la recristallisation, à l'activation neutronique, afin de limiter les conséquences de leur utilisation sur la filière déchets, ne pas ou peu former d'hydrures, résister à l'érosion plasma et à l'oxydation. Ce dernier point peut s'avérer critique dans certaines conditions accidentelles, l'oxydation du tungstène pouvant consommer jusqu'à 50 kilos par heure de composés face au plasma.

L'originalité du projet est en grande partie fondée sur l'obtention de poudres d'alliages réfractaires nanométriques, homogènes en composition, afin de garantir une température de transition ductile-fragile suffisamment basse pour rendre le matériau usinable (poudres nanométriques) et lui conférer une bonne résistance à l'oxydation (alliages spécifiques). Cette synthèse se fera par l'utilisation du procédé SHS (Self-propagating High-temperature Synthesis). A titre exploratoire, des poudres nanométriques (~100 nm) d'alliages de tungstène à faible proportion (2 à 6% massique) de Vanadium, de Chrome ou de Tantale ont été réalisés. A partir de ces poudres, des échantillons solides ont été obtenus par Spark Plasma Sintering (SPS). Si une optimisation reste nécessaire, il n'y a pas de verrou identifié à lever pour fabriquer les alliages massifs envisagés.

Une bibliographie approfondie sera effectuée pour sélectionner les éléments d'alliage afin de tenir compte des contraintes spécifiques à la thématique fusion comme précisé ci-dessus : température de recristallisation, activation neutronique, formation d'hydrures, résistance à l'érosion plasma, résistance à l'oxydation,.... Des alliages binaires, ternaires et quaternaires dans le système W-Ta-V-Cr sont envisagés. Différents échantillons massifs de petites tailles, obtenus à partir de poudre nanométriques seront fabriqués: W pur et quelques alliages de W à concentration maximale en éléments d'alliage fixée à 6% massique. Ces échantillons seront soumis à différents tests métallurgiques (micro-dureté, tests de compression et tests thermomécaniques) qui permettront de les comparer au W actuellement utilisé. Afin de déterminer l'influence des éléments d'alliage, nous nous attacherons à bien caractériser les matériaux pulvérulents et massifs lors de ces phases de fabrication : distribution en taille pour les poudres, composition et homogénéité de composition pour les poudres et les massifs, propriétés mécaniques et thermomécaniques pour les massifs. La reproductibilité du procédé de fabrication sera aussi évaluée. Des tests de corrosion sous vapeur d'eau à haute température (~600-800°C) seront aussi entrepris. A l'issue de cette première phase de tests, les alliages les plus prometteurs seront retenus pour des tests plasma d'érosion et d'implantation ionique d'hydrogène afin d'évaluer leur comportement en opération tokamak. Enfin, en mettant à profit la capacité de fabrication du laboratoire, des échantillons massifs de grandes tailles (plusieurs cm<sup>3</sup>) seront fabriqués afin de les soumettre à des tests à hauts flux semblables à ceux observés dans un tokamak. Une pré-étude sera aussi entreprise sur la fabrication par SPS d'un échantillon massif permettant la réalisation d'un composant de géométrie identique à ceux utilisés sur WEST ou ITER ouvrant la voie aux tests en conditions réelles en tokamak. Ce projet de thèse est un travail fortement collaboratif qui permettra au candidat d'acquérir, dans des laboratoires experts, de larges compétences en physique et en caractérisation des matériaux mais aussi en fusion thermonucléaire. Le candidat sera amené à se déplacer en France et à l'étranger et devra faire preuve d'autonomie.

[Németh - 2015] A. Németh et al, The nature of the brittle-to-ductile transition of ultra-fine grained tungsten (W) foil, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 50 (2015) 9–15

## 6 - Exposé du sujet

L'objectif de ce projet est la synthèse d'alliages de tungstène utilisables dans le contexte de la fusion thermonucléaire pour la réalisation de Composants Face au Plasma capables de soutenir les flux thermiques très élevés observés dans les réacteurs de fusion. Il s'agit d'optimiser ces alliages afin d'obtenir de meilleures propriétés d'usage en particulier une plus grande ductilité facilitant les conditions d'usinage et améliorant les propriétés vis à vis de l'exposition au plasma. Ceci doit

passer par l'obtention de matériaux nanométriques [Németh - 2015] homogènes en composition. De plus ces nouveaux matériaux doivent présenter des propriétés spécifiques à la filière fusion comme une bonne résistance à la recristallisation, à l'activation neutronique, afin de limiter les conséquences de leur utilisation sur la filière déchets, ne pas ou peu former d'hydrides, résister à l'érosion plasma et à l'oxydation. Ce dernier point peut s'avérer critique dans certaines conditions accidentelles, l'oxydation du tungstène pouvant consommer jusqu'à 50 kilos par heure de composés face au plasma.

L'originalité du projet est en grande partie fondée sur l'obtention de poudres d'alliages réfractaires nanométriques, homogènes en composition, afin de garantir une température de transition ductile-fragile suffisamment basse pour rendre le matériau usinable (poudres nanométriques) et lui conférer une bonne résistance à l'oxydation (alliages spécifiques). Cette synthèse se fera par l'utilisation du procédé SHS (Self-propagating High-temperature Synthesis). A titre exploratoire, des poudres nanométriques (~100 nm) d'alliages de tungstène à faible proportion (2 à 6% massique) de Vanadium, de Chrome ou de Tantale ont été réalisés. A partir de ces poudres, des échantillons solides ont été obtenus par Spark Plasma Sintering (SPS). Si une optimisation reste nécessaire, il n'y a pas de verrou identifié à lever pour fabriquer les alliages massifs envisagés.

Une bibliographie approfondie sera effectuée pour sélectionner les éléments d'alliage afin de tenir compte des contraintes spécifiques à la thématique fusion comme précisé ci-dessus : température de recristallisation, activation neutronique, formation d'hydrides, résistance à l'érosion plasma, résistance à l'oxydation,... Des alliages binaires, ternaires et quaternaires dans le système W-Ta-V-Cr sont envisagés. Différents échantillons massifs de petites tailles, obtenus à partir de poudre nanométriques seront fabriqués: W pur et quelques alliages de W à concentration maximale en éléments d'alliage fixée à 6% massique. Ces échantillons seront soumis à différents tests métallurgiques (micro-dureté, tests de compression et tests thermomécaniques) qui permettront de les comparer au W actuellement utilisé. Afin de déterminer l'influence des éléments d'alliage, nous nous attacherons à bien caractériser les matériaux pulvérulents et massifs lors de ces phases de fabrication : distribution en taille pour les poudres, composition et homogénéité de composition pour les poudres et les massifs, propriétés mécaniques et thermomécaniques pour les massifs. La reproductibilité du procédé de fabrication sera aussi évaluée. Des tests de corrosion sous vapeur d'eau à haute température (~600-800°C) seront aussi entrepris. A l'issue de cette première phase de tests, les alliages les plus prometteurs seront retenus pour des tests plasma d'érosion et d'implantation ionique d'hydrogène afin d'évaluer leur comportement en opération tokamak. Enfin, en mettant à profit la capacité de fabrication du laboratoire, des échantillons massifs de grandes tailles (plusieurs cm<sup>3</sup>) seront fabriqués afin de les soumettre à des tests à hauts flux semblables à ceux observés dans un tokamak. Une pré-étude sera aussi entreprise sur la fabrication par SPS d'un échantillon massif permettant la réalisation d'un composant de géométrie identique à ceux utilisés sur WEST ou ITER ouvrant la voie aux tests en conditions réelles en tokamak. Ce projet de thèse est un travail fortement collaboratif qui permettra au candidat d'acquérir, dans des laboratoires experts, de larges compétences en physique et en caractérisation des matériaux mais aussi en fusion thermonucléaire. Le candidat sera amené à se déplacer en France et à l'étranger et devra faire preuve d'autonomie.

[Németh - 2015] A. Németh et al, The nature of the brittle-to-ductile transition of ultra-fine grained tungsten (W) foil, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 50 (2015) 9–15

## 7 - Collaborations (éventuelles) prévues

Laboratoire :

Organisme : **LSPM (Paris 13 et CNRS)**

Responsable : **Vrel Dominique**

Raison de la collaboration :

**l'IRFM collabore avec le LSPM depuis de nombreuses années. Plusieurs thèmes de recherche ont été entrepris en commun comme l'étude et la modélisation du piégeage de l'hydrogène dans les matériaux constitutifs des composés face au plasma de tokamak. Depuis 3 ans, nous avons décidé, avec Dominique Vrel Directeur de Recherche CNRS, de travailler sur le développement de nouveaux alliages de tungstène pour la fusion. Ces matériaux massifs sont fabriqués à partir de poudres nanométriques d'alliages produites au LSPM par une technique originale et innovante.**

**Le projet de thèse proposé va nous permettre de progresser dans la fabrication et l'étude de ces nouveaux matériaux. L'intérêt du LSPM autour de ce travail est très fort et le laboratoire soutient ce travail par l'apport d'un demi financement de thèse.**

Duree : 36

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

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

Nom: **GRISOLIA** Prénom: **Christian**

Adresse : **CEA - IRFM  
Centre d'études de Cadarache  
13108 Saint Paul lez Durance**

Téléphone **04 42 25 43 78** @mail: **christian.grisolia@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Oui**

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà **5**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2018/2019 ? **1**

**10 - Directeur de thèse**

Nom: **Vrel** Prénom: **Dominique**

Adresse : **LSPM  
Université Paris 13, CNRS  
Bâtiment L1 ou L2  
99 avenue Jean-Baptiste Clément  
93430 Villetaneuse  
FRANCE**

Téléphone: **0149403452** @mail: **vrel@lspm.cnrs.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Oui**

Organisme de rattachement : **CNRS/LSPM**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées **5**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2018/2019 ? **1**