

# 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>

## PROPOSITION DE THESE 2017

<b>Nom du Responsable de la thèse :</b> Christian Grisolia (CEA/IRFM) Dominique Vrel (LSPM, Paris 13)	<b>e-mail :</b> christian.grisolia@cea.fr dominique.vrel@lspm.cnrs.fr
	<b>téléphone :</b> 04 42 25 43 78 (CEA/Cadarache) 01 49 40 34 52 (LSPM)

**Durée de la thèse:** 3 ans

### Sujet de la thèse : WAF – Tungsten Alloys for Fusion

#### **Contexte et objectifs :**

L'objectif de ce projet est la synthèse d'alliages de tungstène utilisables dans le contexte de la fusion thermonucléaire pour la réalisation de Composés Face au Plasma capable 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 mécaniques que les matériaux existants, avec notamment une température de transition ductile fragile moins élevée facilitant les conditions d'usinage et améliorant les propriétés vis à vis de l'exposition au plasma, ce qui doit passer par l'obtention de matériaux nanométriques homogènes en composition. Simultanément, ces nouveaux alliages doivent présenter une forte résistance à l'oxydation, laquelle peut s'avérer dommageable dans certaines conditions accidentelles du réacteur, l'oxydation du tungstène pouvant consommer jusqu'à 50 kilos par heure de composés face au plasma. Nous étudierons enfin si ces nouveaux alliages de tungstène ne forment pas d'hydrides en présence de tritium susceptibles d'augmenter l'inventaire en tritium in situ.

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, et lui conférer une bonne résistance à l'oxydation. Cette synthèse se fera par l'utilisation du procédé SHS (Self-propagating High-temperature Synthesis). De nombreux travaux préliminaires ont déjà été effectués au LSPM sur la synthèse de matériaux riches en tungstène, allant du tungstène pur à des alliages complexes (dits « à haute entropie »), notamment des alliages binaires, ternaires et quaternaires dans le système W-Mo-Ta-Nb-V. Si une optimisation reste nécessaire, il n'y a pas de verrou identifié à lever pour fabriquer les nouveaux alliages envisagés dans ce projet de thèse. Dans le choix des éléments d'alliages, une bibliographie plus approfondie sera effectuée afin de tenir compte notamment de problèmes spécifiques à la thématique fusion, rarement abordés en science des matériaux, et notamment l'activation neutronique. Nous considérons d'ores et déjà que des alliages au Cr, Ti, Y mais aussi V et Ta seront au centre du projet WAF. A titre exploratoire, nous envisageons de commencer cette étude par la synthèse d'alliages de tungstène à 2, 4 et 6% massique de Vanadium, de Chrome ou de Tantale, avant d'aborder des alliages plus complexes comprenant plusieurs de ces éléments, pour finalement nous intéresser aux ajouts de Titane et d'oxyde d'Yttrium.

Dans le cadre de différents projets, nous implantons du tritium et du deutérium dans des matériaux pulvérulents ou massifs. Nous étudions par exemple le piégeage du tritium gazeux dans le tungstène par des expériences de thermo-désorption contrôlée et nous avons développé la modélisation associée qui nous permet d'extrapoler les résultats de laboratoire au réacteur de fusion. Nous envisageons d'appliquer la même méthodologie d'étude (expériences bien caractérisées et modélisation associée) aux alliages développés. Le plan de thèse proposé est le suivant :

Année 1: synthèse poudres alliages W (>90%), V, Cr, Ti, Y selon bibliographie. Caractérisations MEB, DRX, EDS. Pré-étude densification par Spark Plasma Sintering. Etude cinétique de tritiation et de dissolution des poudres en milieu aqueux

Année 2 : finalisation étude densification : recristallisation, grossissement de grains, homogénéité résultante des alliages (MEB, DRX, EDS). Etude du vieillissement des alliages en température. Etude des propriétés mécaniques (dureté, essais de compression, traction, mesure de température de transition ductile-fragile). Etude de l'oxydation des matériaux massifs

Année 3 : Etude de la rétention de tritium sur les massifs. Influence des éléments d'alliage et des traitements thermiques, du vieillissement. Etude de l'implantation de deutérium par plasma et TDS (Thermo-Desorption Spectrometry) pour analyser la physique du piégeage. Modélisation des résultats obtenus et extrapolation au réacteur.

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.

**Domaine de spécialité, compétences : science des matériaux**