



---

Proposition de sujet de thèse

Groupe Métaux et Céramiques à Microstructure Contrôlée (MCMC)  
Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est (ICMPE), UMR 7182 CNRS/Université Paris-Est Créteil  
2-8 rue Henri Dunant, 94320 THIAIS

**Étude des mécanismes élémentaires de déformation plastique d'alliages métalliques multi-composants dits de haute entropie de structure cubique centrée**

Alors qu'il a longtemps été considéré que les alliages métalliques constitués d'un grand nombre d'éléments principaux généraient des microstructures complexes constituées de plusieurs phases souvent fragiles, il semble désormais admis que certains systèmes d'alliages formés d'au moins 5 éléments métalliques en proportion quasi-équiatomique sont susceptibles de former des solutions solides de composition complexe. La forte entropie de mélange favoriserait dans ce cas la stabilisation de solutions solides simples (par opposition à la formation de nombreux composés intermétalliques). Ces alliages dits « de haute entropie » (AHE) présentent un large spectre de microstructures et de propriétés (mécaniques notamment), pour certaines supérieures aux alliages « classiques ». Parmi les pistes explorées actuellement, **les AHE réfractaires à base de Hf, Ta, Ti, Nb, Mo, Zr, W sont attractifs**, notamment dans l'industrie aéronautique et/ou militaire de par la stabilité de leur microstructure à des températures bien supérieures à 1000 °C, ainsi que leurs propriétés mécaniques spécifiques, au regard des valeurs de résistances mécaniques très élevées. Cependant les études récentes sur ces alliages restent principalement focalisées sur l'attractivité du concept et peu d'études approfondies sur la compréhension du comportement mécanique ont été proposées dans la littérature. Ce point est fondamental pour le développement futur de matériaux en conditions extrêmes.

**Le présent projet de thèse s'inscrit dans le cadre de l'étude de nouveaux alliages métalliques réfractaires multi-composants dits de « haute entropie » (AHE) et de structure cubique centrée.** Dans cette optique, la thèse offre une vaste opportunité d'approfondir la compréhension du comportement) de cette nouvelle classe d'alliages métalliques réfractaires et trouve parfaitement sa place dans le cadre d'une recherche à la fois fondamentale et expérimentale.

Le travail proposé consiste à étudier l'évolution des propriétés mécaniques d'alliages  $Nb_x(HfTaTiZr)_{100-x}$  de structure cubique centrée dans la gamme  $20 < x < 100$  (at.%). La stratégie vise à identifier les spécificités intrinsèques de ces solutions solides concentrées en étudiant l'impact des substitutions élémentaires sur le comportement mécanique des matériaux obtenus. L'évolution des mécanismes de déformation sous-jacents sera évidemment placée au cœur de l'étude proposée et effectuée principalement par microscopie électronique en transmission (MET) *in-situ*.

Le caractère ambitieux de cette thèse réside dans l'approche souhaitée et se focalise donc autour d'axes scientifiques considérés comme des domaines d'expertise des laboratoires concernés (ICMPE, CEMES, LSPM et RUB). La chimie métallurgique avec la formulation et l'élaboration d'alliages par voies classique et innovante, la caractérisation des microstructures obtenues et la compréhension des liens entre microstructure(s) et propriétés mécaniques. En particulier, l'élaboration des nuances d'alliages sera principalement réalisée au four à arc, couplée pour l'optimisation, à des traitements sous un simulateur thermomécanique Gleeble, et sera suivie d'une caractérisation physico-chimique à l'aide des outils qui font la force des laboratoires partenaires (DRX, MEB, MET...). La caractérisation des propriétés mécaniques des alliages obtenus sera effectuée à l'aide d'essais mécaniques simples (traction essentiellement) et plus complexes (sauts de vitesse, saut de température, relaxation) dans le but de déterminer l'évolution des mécanismes de déformation avec la température et/ou la vitesse de déformation. Les mécanismes seront finement étudiés (qualitativement mais surtout

INSTITUT de CHIMIE et des MATERIAUX PARIS EST – UMR 7182

2- Rue Henri Dunant – 94320 THIAIS – France

Téléphone : +33 (0)1 49 78 11 81 – Télécopie : +33 (0)1 49 78 11 66 – Courriel : dir\_icmpe@icmpe.cnrs.fr



quantitativement) à l'aide d'essais de traction dynamiques *in-situ* sous MET dans une large gamme de température (-173°C – 1000°C). L'expérience acquise depuis de longues décennies par le CEMES sur cette technique et les récentes études effectuées par les membres de l'équipe PPM sur les structures cubiques centrées sont un plus indéniable pour le sujet et le ou la futur.e candidat.e. De fait, la thèse se déroulera en grande partie à l'ICMPE avec un ou plusieurs séjours de longue durée au CEMES à Toulouse. Des séjours seront également prévus à l'Université de Bochum, en Allemagne, dans le cadre de la réalisation d'essais mécaniques spécifiques sur ces alliages.

**Encadrement :** Jean-Philippe Couzinié (MCF HDR, [couzini@icmpe.cnrs.fr](mailto:couzini@icmpe.cnrs.fr)) et Frederic Mompiau (CR HDR, [frederic.mompiau@cemes.fr](mailto:frederic.mompiau@cemes.fr)). Les équipes LSPM (CNRS, UPR3407) de l'Université Paris 13 et de l'Institut für Werkstoffe de l'Université de la Ruhr (Bochum, Allemagne) seront également partenaires au cours de cette thèse sous l'encadrement de Guy Dirras (Pr., [dirras@lspm.cnrs.fr](mailto:dirras@lspm.cnrs.fr)) et Guillaume Laplanche ([guillaume.laplanche@rub.de](mailto:guillaume.laplanche@rub.de)), respectivement.

**Profil souhaité :** le ou la candidat.e recruté.e devra démontrer un cursus solide en sciences des matériaux avec un excellent niveau en Master 2/École d'Ingénieur.

**Début de la thèse de Doctorat et financement envisagé :** 1 octobre 2019 ; bourse ministérielle ; École Doctorale Sciences Ingénierie et Environnement (Université Paris-Est).

**Date limite de candidature :** 31 mai 2019.