



LABORATOIRE DES  
SCIENCES DES  
PROCEDES ET DES  
MATERIAUX

Tél : 01•49•40•34•88  
Fax : 01•49•40•39•38



UNIVERSITE PARIS 13  
AVENUE  
JEAN BAPTISTE  
CLEMENT  
93430 VILLETANEUSE  
FRANCE

## Proposition de thèse

### **Alliages métalliques réfractaires multi-composants à haute entropie : formulation et évolution microstructurale et comportement en grandes déformations**

Ce projet de thèse s'inscrit dans le cadre d'une recherche à la fois fondamentale et de développement d'alliages multi-composants complexes dits de "haute-entropie" – alliages dont le nom souligne leur entropie de mélange intrinsèquement élevée. Alors qu'il a souvent été – à juste titre – estimé que préparer des alliages métalliques contenant des éléments de composition quasi équiatomique amènerait à la formation de phases intermétalliques fragiles (et donc préjudiciables pour le comportement mécanique des matériaux), il semble désormais bien établi que des solutions solides uniques se forment à partir de quatre éléments ou plus, en proportions atomiques égales. Le mélange de plusieurs composants principaux différents permet d'envisager des microstructures et donc des propriétés physiques, chimiques et mécaniques hors du commun.

Les conditions de formation de ces solutions solides ne sont pas formellement connues pour l'instant, mais les matériaux obtenus possèdent généralement des microstructures très stables en température, jusqu'à 1400°C pour les nuances les plus réfractaires, d'excellentes propriétés mécaniques, une résistance pouvant dépasser les 4GPa en compression, ainsi qu'une tolérance à l'endommagement sans égal [B. Gludovatz et al. Science 345, 1153(2014)].

Ce projet offre de vastes opportunités pour explorer, découvrir et développer une nouvelle classe de matériaux pour applications structurales hautes températures (industries aérospatiale, militaire, ...). Il permet surtout de revisiter la notion d'alliage, dont le principe, connu des métallurgistes est d'incorporer quelques éléments d'addition mineurs dans une matrice principale. Cependant, dans le cas des alliages de haute-entropie, tous les éléments sont présents dans des proportions équivalentes. Ainsi, l'objectif principal de cette étude est le développement (théorique et expérimental) d'alliages réfractaires à haute-entropie à base de métaux de transition des colonnes IV, V et VI du tableau périodique (Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W).

Au cours de cette thèse, la formulation et l'élaboration d'alliages de haute-entropie réfractaires, possédant des propriétés avancées, avec notamment un très bon comportement mécanique ainsi qu'une ductilité suffisante à température ambiante pour être mis en forme sera mise en œuvre et optimisée. Le comportement et les évolutions microstructurales en en grandes déformations de type laminage, extrusion, torsion haute pression et impacts seront étudiés. Les microstructures ainsi induites et leur influence ultérieure sur les mécanismes de déformation et d'endommagement seront analysés en s'appuyant sur un ensemble de compétences et de techniques de caractérisations considérées depuis des décennies comme des domaines d'expertise du LSPM et de ses partenaires impliqués dans ce projet: la chimie métallurgique avec la formulation et l'élaboration d'alliages par voies classiques ou non classiques comme le SHS, la caractérisation des microstructures (MET, MEB, EBS, DRX) obtenues et la compréhension des liens entre microstructure et propriétés mécaniques.

Ce projet qui se déroulera au LSPM sera réalisé en étroite collaboration avec

l'institut de Chimie et des Matériaux de Paris-Est (ICMPE) et Nexter-munitions (Bourges)

*Profil du candidat* : Métallurgie physique, procédés d'élaboration et de mise en forme, mécanique des matériaux

*Type d'allocation* : Ministère

*Contacts*:

LSPM : Prof. G. Dirras ([dirras@lspm.cnrs.fr](mailto:dirras@lspm.cnrs.fr) - Tel : 01 49 40 34 88)

ICMPE: Dr. J.-Couzinié ([couzinie@icmpe.cnrs.fr](mailto:couzinie@icmpe.cnrs.fr) - Tel : 01 56 70 30 20)