



## OFFRE DE THESE

### Conception et évaluation expérimentale d'alliages « à composition complexe » (HEA/CCA) à haute résistance mécanique

Contrairement aux matériaux métalliques classiques qui sont basés sur un seul élément chimique majoritaire, les alliages à forte entropie (HEA, *high entropy alloys*) ou « alliages concentrés à composition complexe » (CCA, *complex concentrated alloys*) contiennent au moins cinq éléments chimiques, en proportions quasi égales. Une telle composition permet parfois de stabiliser une solution solide dont les propriétés sont uniques : par ex. l'"*alliage de Cantor*", CoCrFeMnNi, montre une augmentation simultanée de la limite d'élasticité et de l'allongement à la rupture lorsque la température décroît, associées à une résistance aux chocs supérieure à celle des aciers inoxydables. Les propriétés originales des alliages de type HEA/CCA permettent d'en attendre des applications dans des domaines les plus exigeants tels que l'aéronautique ou le nucléaire.

Ce projet de thèse de doctorat vise à **concevoir et à développer** (par la voie numérique validée expérimentalement) **de nouveaux alliages de type CCA sans cobalt** pour des applications nucléaires. En particulier, le doctorant cherchera des compositions chimiques originales qui permettront un durcissement efficace d'une matrice métallique (à base de Fe, Ni, Cr et Mn) par une/des phases minoritaires riches en Nb, V, Ti, Al.

La conception numérique d'alliages (IMN, Nantes) fera appel à une combinaison d'outils, comme l'optimisation par algorithme génétique, des modèles physiques, des modèles de fouille de données (*machine learning*) et la thermodynamique prédictive. Pour des compositions chimiques présélectionnées, des coulées d'alliages seront réalisées (LGF, St-Étienne). L'optimisation microstructurale des alliages et leur caractérisation approfondie (MEB, RX, EBSD, MET ; essais de traction et de compression) permettront d'évaluer l'efficacité de la démarche numérique. La validation finale des compositions proposées comportera aussi des essais de corrosion et de corrosion sous contrainte, réalisés dans les conditions proches de leur utilisation pressentie.

La première partie de la thèse, d'une durée approximative d'un an, se déroulera à Nantes (Institut des Matériaux de Nantes, UMR 6502, Université de Nantes - CNRS). La suite du travail, d'une durée approximative de deux ans, aura lieu à St-Étienne (Laboratoire Georges Friedel, UMR 5307, Mines Saint-Étienne - CNRS).

#### PROFIL DU CANDIDAT

**Diplôme requis** : Ingénieur ou Master en Science des Matériaux ou Mécanique des Matériaux.

**Compétences requises** : métallurgie physique (transformations de phases, relations entre microstructure et comportement mécanique des matériaux). Bonnes bases de programmation informatique. La maîtrise de la langue anglaise est nécessaire.

**Autres** : Adaptabilité, goût pour le travail expérimental tant que numérique, capacité à travailler en équipe, un bon relationnel.

#### MODALITES PRATIQUES

Thèse financée sur projet ANR-PRCE « HERIA » à partir de l'automne 2019. Inscription en thèse à l'Université de Nantes.

**Type de contrat**: Contrat doctoral du CNRS.

**Contacts** : Franck Tancret (directeur de thèse, [franck.tancret@univ-nantes.fr](mailto:franck.tancret@univ-nantes.fr)), Anna Fraczkiewicz (co-directrice de thèse, [anna.fraczkiewicz@emse.fr](mailto:anna.fraczkiewicz@emse.fr)).



## PhD studentship

### Design and experimental assessment of high strength “complex concentrated alloys” (HEA/CCA)

Contrarily to classical metallic materials that are based on a single major chemical element, “high entropy alloys” (HEAs) or “complex concentrated alloys” (CCAs) contain at least five chemical elements, in similar proportions. Such compositions sometimes allow to stabilise a single solid solution displaying unique properties: for instance, the so-called “Cantor alloy”, CoCrFeMnNi, exhibits a simultaneous increase in yield stress and ductility when temperature decreases, associated to a higher impact resistance than that of conventional stainless steels. The original properties of HEAs/CCAs allow to envision applications in highly demanding domains like aeronautics or nuclear industry.

The PhD thesis project aims at designing and developing (through both computational and experimental approaches) new cobalt-free CCAs for nuclear applications. In particular, the PhD student will look for original chemical compositions that will allow an efficient precipitation hardening of a metallic matrix (based on Fe, Ni, Cr and Mn) by one/several minor phase(s) rich in Nb, V, Ti, Al.

Computational alloy design (IMN, Nantes) will put to work a combination of tools, like genetic algorithm optimisation, physical models, data mining models (machine learning) and predictive thermodynamics. For pre-selected chemical compositions, alloys will be cast at laboratory-scale (LGF, St-Étienne). Microstructural optimisation of alloys and their advanced characterisation (SEM, XRD, EBSD, TEM; compression and tensile testing) will allow to assess the consistency of the numerical approach. The final validation of proposed compositions will also involve corrosion and stress-corrosion-cracking tests, performed in conditions resembling those of their expected use.

The first part of the PhD project, with a duration of approximately one year, will be performed in Nantes (Institut des Matériaux de Nantes, Université de Nantes – CNRS). The rest of the work, of an approximate duration of two years, will take place in St-Étienne (Laboratoire Georges Friedel, Mines Saint-Étienne - CNRS).

#### **Candidates looked for:**

Education: Master in Materials Science or Mechanics of Materials.

Requested skills: Physical metallurgy (phase transformations, relations between microstructure and mechanical behaviour of materials). Good bases in computer programming.

#### **Information**

Expected start during fall 2019.

Registration as a PhD student at the University of Nantes.

Contacts: Franck Tancret (supervisor, [franck.tancret@univ-nantes.fr](mailto:franck.tancret@univ-nantes.fr)), Anna Fraczkiewicz (co-supervisor, [anna.fraczkiewicz@emse.fr](mailto:anna.fraczkiewicz@emse.fr)).