

# Développement d'alliages métalliques à gradient de composition pour l'exploration combinatoire des microstructures

**Imed-Eddine BENRABAH**

Sous la direction de A. Deschamps et H. Van Landeghem

**Vendredi 8 janvier 2021 à 10h00**

SIMaP/Visioconférence

## **Jury :**

Mme Sabine Denis : Professeur des universités, Université de Lorraine, Présidente

M. Yannick Champion : Directeur de recherche, CNRS, Examineur

M. Frédéric Prima : Professeur des universités, Chimie PariTech, Rapporteur

M. Mohamed Gouné : Professeur des universités, Université de Bordeaux, Rapporteur

M. Hatem Zurob : Professeur des universités, McMaster University, Examineur

M. Frédéric Bonnet : Ingénieur de recherche, ArcelorMittal, Invité

**Résumé :** La transformation de l'austénite en ferrite dans les aciers présente un intérêt considérable pour le contrôle des propriétés finales des aciers, en particulier des aciers à haute résistance (AHSS) tels que l'acier dual phase (DP). Malgré les efforts considérables déployés pour comprendre les mécanismes qui contrôlent la cinétique de formation de la ferrite, le rôle des éléments substitutionnels pendant la croissance de la ferrite et leur interaction avec l'interface de migration  $\alpha/\gamma$  restent peu clairs. Plusieurs modèles ont été développés pour décrire la cinétique de croissance de la ferrite dans les systèmes ternaires et les systèmes d'ordre supérieur. Les modèles 'solute drag' ont été utilisés avec succès pour prédire la cinétique de transformation pour plusieurs solutés et à de nombreuses compositions et températures dans les systèmes ternaires. Cependant, l'extension de ce modèle aux systèmes d'ordre supérieur a mis en évidence un comportement complexe de l'interaction entre les différents éléments interstitiels et substitutionnels à l'interface. La validation des modèles développés nécessite une étude expérimentale de l'effet de la composition et de la température sur la cinétique de croissance. L'objectif de cette contribution est de présenter une méthodologie combinatoire à haut débit complète pour accélérer l'étude l'effet de la concentration des solutés sur la transformation austénite-ferrite. Il convient toutefois de noter que cette nouvelle méthodologie pourrait être utilisée pour étudier toute autre transformation de phase dans tout autre alliage métallique. L'essence de la méthodologie est de fabriquer des matériaux avec des gradients de composition macroscopiques, et d'effectuer des expériences in situ de diffraction des rayons X à haute énergie, résolues dans le temps et dans l'espace, pour enregistrer la cinétique de transformation de phases austénite-ferrite en de nombreux points de l'espace de composition. Des couples de diffusion contenant des gradients de soluté à l'échelle millimétrique et une teneur en carbone presque constante ont été générés en utilisant la présente méthodologie et utilisés pour étudier la cinétique de croissance de la ferrite à des températures intercritiques en utilisant des expériences in situ de diffraction des rayons X à haute

énergie. Pendant 4 jours d'expériences, plus de 1500 cinétiques ont été mesurées pour différentes compositions et à différentes températures. Cet ensemble de données d'une taille sans précédent a été utilisé pour valider une version modifiée du modèle 'three-jump solute drag' pour les systèmes ternaires et quaternaires. Les calculs du modèle correspondent parfaitement à la cinétique de transformation expérimentale à toutes les températures étudiées et sur presque toutes les plages de composition étudiées de Si, Cr, Mn, Ni et Mo, contrairement aux résultats des modèles de para-équilibre (PE) et de partitionnement négligeable à l'équilibre local (LENP). En outre, il a été démontré que l'étalonnage des paramètres thermodynamiques dans les systèmes ternaires reste valable dans les systèmes quaternaires, ouvrant la voie à la modélisation de la transformation dans les systèmes d'ordre supérieur.