

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DMAS-2025-03**

(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Châtillon

Département/Dir./Serv. : DMAS/LEM et SIAM

Tél. : 01 46 73 45 92

Responsable(s) du stage : Yann Le Bouar et
Louise Toualbi

Email. : yann.lebouar@cnr.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Matériaux structuraux innovants

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4

Intitulé : Stabilité thermique et optimisation du durcissement d'un alliage modèle d'aluminium élaboré par L-PBF

Sujet : L'avènement des procédés de Fabrication Additive (FA) ces dernières années a permis d'accéder à des pièces de géométrie complexe difficilement usinables par les voies d'élaboration conventionnelles. Toutefois, l'élaboration par FA conduit à des microstructures et états métallurgiques différents de ceux obtenus par les procédés conventionnels. A l'heure actuelle, l'objectif des industriels est de pouvoir utiliser les matériaux aéronautiques traditionnels et de mettre en œuvre des traitements thermiques d'homogénéisation post-élaboration, afin de s'assurer que les propriétés mécaniques sont proches de celles obtenues par les procédés conventionnels. Cependant, la définition de nouvelles nuances d'alliage dédiées à la FA peut permettre de bénéficier des spécificités de ces procédés d'élaboration. Ainsi, le procédé L-PBF, pour Laser Powder Bed Fusion, qui est un procédé par fusion successive de couches de matériau à l'état de poudre via le passage d'un laser, induit des interactions très courtes entre la matière première (poudre) et le laser, ce qui occasionne des vitesses de solidification et de refroidissement très rapides. Dans le cas du système binaire Al-Fe, l'élaboration par L-PBF induit la précipitation de phases durcissantes et l'apparition de dislocations dues à l'écrouissage thermique, phénomènes qui se produisent de façon concomitante et qui confèrent à cet alliage un durcissement remarquable. On peut alors s'interroger sur la stabilité thermique de cette microstructure brute de fabrication, notamment dans l'objectif d'utiliser ces nouvelles nuances d'alliage pour des applications de type réparation de pièces par des procédés de FA.

Ce travail de stage fait suite à quatre années d'étude menées en collaboration avec Constellium sur l'alliage modèle binaire Al-Fe. Les résultats ont montré que la microstructure brute d'élaboration est caractérisée par un durcissement remarquable qu'il est possible de moduler par une modification des paramètres de fabrication (essentiellement la vitesse de balayage du laser et la température du plateau de fabrication). L'objectif de ce stage est double : qualifier la stabilité thermique de ce durcissement hérité de la FA, et optimiser la réponse mécanique du matériau par la proposition d'un traitement thermique post-fabrication. En effet, les caractérisations microstructurales réalisées en Sonde Atomique Tomographique ainsi qu'en Microscopie Electronique en Transmission ont montré une teneur du Fe en solution solide non négligeable, et potentiellement disponible pour durcir davantage le matériau sous forme de précipités nanométriques.

La travail de stage comportera plusieurs volets complémentaires, principalement de nature expérimentale :

- 1) Caractérisation d'échantillons traités thermiquement par Microscopie Electronique à Balayage (MEB) et en transmission (TEM), détermination des phases en présence, de leur taille et de leur fraction volumique par analyse d'images et par diffraction de rayons X (DRX).
- 2) Evaluation de l'impact des traitements thermiques sur le durcissement du matériau par une caractérisation en micro-dureté, en s'attachant notamment à la description des mécanismes de durcissement à l'échelle des cellules de solidification.
- 3) Caractérisation microstructurale après sollicitation mécanique d'échantillons bruts de FA et traités thermiquement. Une attention particulière sera portée sur les évolutions microstructurales éventuelles suite

à des essais mécaniques réalisés en température (principalement à 250°C) ;

4) Réalisation d'essais de traction in situ dans un MEB, permettant le suivi des champs de déformation par corrélation d'images. Ces essais micromécaniques seront réalisés à température ambiante et à 250°C et permettront un couplage avec une analyse EBSD du matériau. Il s'agira d'analyser, à l'échelle des bains de fusion, les différences de comportement local dues à la microstructure sous-jacente. L'analyse de ces résultats se fera en regard de la caractérisation de l'évolution microstructurale du matériau suite aux différents traitements thermiques et aux sollicitations mécaniques en température.

5) Selon l'avancement du travail de stage, la simulation par Eléments Finis du comportement du matériau à l'échelle des bains de fusion pourra être envisagée, afin de confronter les champs de déformation simulés à ceux obtenus expérimentalement, et d'estimer l'impact des traitements thermiques appliqués sur les hétérogénéités microstructurales héritées de l'élaboration par FA.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? **Non**

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : **Oui**

Durée du stage : Minimum : 6 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : à partir de février 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis : Science des matériaux. Projet de fin d'études d'Ecole ou de Master	Ecoles ou établissements souhaités : Ecoles d'ingénieur, Master Science des matériaux
---	--