



# Mastère Spécialisé

## Design des Matériaux et des Structures

(DMS)

### OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2024/2025

#### Encadrement

---

Sylvain Dépinoy (MINES PARIS), Luc Lacoste (SIRIUS Space Services)

#### Titre

---

**Optimisation d'un bi-matériau : traitement thermique et géométrie**

#### Contexte

---

Sirius Space Services est une start-up française qui développe une gamme de lanceurs durables et réutilisables, dédiée au lancement de petits satellites. L'objectif du lanceur léger SIRIUS est de faire bénéficier les acteurs internationaux de l'industrie des nano, micro et minisatellites d'un placement en orbite rapide et précis de leurs produits. Après des premiers essais moteurs réussis, Sirius Space Services accélère son développement sur la fabrication additive métallique au travers d'un master DMS centré sur l'optimisation métallurgique d'organes de combustion.

Le stage vise à optimiser une pièce bi-matériau (alliage base nickel déposé sur un alliage cuivreux) à travers (1) l'optimisation de sa microstructure via des traitements thermiques et (2) l'optimisation de la géométrie de la pièce, à savoir l'épaisseur de la couche d'alliage à base de nickel. Des caractérisations métallurgiques (MO, MEB, EDX, DRX, EBSD, dureté) permettront d'étudier l'effet des traitements thermiques sur la microstructure de la pièce. L'évolution du profil de composition chimique lié à l'interdiffusion ainsi qu'une éventuelle précipitation de phases à l'interface seront contrôlées, tout en assurant une microstructure optimale dans le reste du matériau. La tenue mécanique de l'interface sera étudiée grâce à des essais mécaniques dont la nature reste à déterminer. L'influence de la géométrie sur les contraintes résiduelles apparaissant lors du procédé de fabrication sera également étudié, de même que l'évolution de ces contraintes résiduelles après traitement thermique. Enfin, le traitement thermique et la géométrie optimaux seront définis grâce à des essais de timbrage, permettant de tester la pièce dans des conditions proches de celles d'usage.

La matière de base sera fournie par Sirius Space Services et consistera en un tube d'alliage cuivreux, non traité, sur lequel sera déposé un alliage base nickel. Différentes géométries, correspondant à des épaisseurs de couche d'alliage à base de nickel différentes, seront fournies. Les traitements thermiques, les caractérisations métallurgiques et les essais mécaniques seront effectués par le/la stagiaire au Centre des Matériaux. Les essais de timbrage seront effectués par le/la stagiaire chez Sirius Space Services. Toute ou une partie des usinages peut être effectué au Centre des Matériaux, en fonction des besoins et des spécificités des alliages étudiés.

#### Travail proposé

---

**Partie 1 : Effet des traitements thermiques sur la microstructure**

Cette partie s'appuiera sur les caractérisations métallurgiques du matériau brut de réception effectuées dans le cadre du projet DMS 2023-2024.

Les traitements thermiques seront effectués pour des températures comprises entre 500°C et 750°C, pour des durées à définir. L'état microstructural post-traitement thermique sera systématiquement caractérisé par microscopie optique et électronique à balayage ainsi que des profils de microdureté. Des analyses par DRX et des cartographies EBSD peuvent également être envisagées. Le but sera d'obtenir des microstructures relativement homogènes et optimales pour chaque matériau constitutif, tout en contrôlant l'interdiffusion. Ainsi, l'état de précipitation, la taille de grain, mais également la présence ou non de phases potentiellement néfastes liées à l'interdiffusion seront étudiés. Cette étude paramétrique se fera pour une seule épaisseur de couche d'alliage à base de nickel, mais les traitements thermiques prometteurs seront ensuite appliqués à toutes les géométries disponibles pour la suite de l'étude.

## **Partie 2 : Analyse des contraintes résiduelles**

L'effet de la géométrie ainsi que des traitements thermiques sur les contraintes résiduelles dans la pièce sera caractérisé. Deux méthodes sont retenues :

- La diffraction par Rayons X (DRX), sous réserve que la forte texturation cristalline du matériau reste compatible avec la méthode. Cette méthode permettra principalement de mesurer les contraintes résiduelles dans la couche d'alliage à base de nickel
- Une méthode dérivée de la méthode dite de la flèche. La déformation du matériau résultante d'une découpe transverse sera mesurée et permettra de remonter qualitativement aux contraintes résiduelles dans l'ensemble de la pièce.

Ces analyses permettront de privilégier une géométrie et/ou un traitement thermique particulier vis-à-vis des contraintes résiduelles dans le matériau.

## **Partie 3 : Propriétés mécaniques de l'interface et du bi-matériau**

Deux types d'essais mécaniques sont envisagés. Des essais de timbrage à Sirius Space Services permettront de tester des échantillons dans des conditions proches des conditions de services. D'autres essais, au Centre des Matériaux et dont la nature reste à définir, permettront de qualifier qualitativement la bonne tenue mécanique de l'interface. Ces deux types d'essais permettront de conclure sur le choix d'un traitement thermique et d'une épaisseur de couche de d'alliage à base de nickel optimaux vis-à-vis de l'utilisation finale.

## **Profil demandé**

---

Ce stage s'adresse à un(e) étudiant(e) de niveau M2 ou Bac+5 avec une forte motivation pour la recherche appliquée et pour le travail en partenariat avec l'industrie. Idéalement, le sujet conviendrait à un profil matériaux avec un goût prononcé pour le travail expérimental.

Conditions : Ingénieur et/ou Master recherche - Bon niveau de culture générale et scientifique. Bon niveau de pratique du français et de l'anglais. Bonnes capacités d'analyse, de synthèse, d'innovation et de communication. Qualités d'adaptabilité et de créativité, de la rigueur de l'autonomie et une grande force de proposition.