

**Proposition de projet de mastère spécialisé**  
**Design des Matériaux et des Structures**  
**Année 2017-2018**

**Société partenaire**

---

Safran Tech

**Lieu du stage**

---

Centre des Matériaux (CdM) et Safran Aircraft Engines

**Encadrement**

---

Virginie Jaquet, Amar Saboundji, Jérémy Rame, Niane Taha (Safran Tech), Vincent Maurel, Charles-André Gandin et Vladimir Esin (Centre des Matériaux MINES ParisTech)

**Titre**

---

Caractérisation et modélisation de l'évolution de microstructures des revêtements aluminieux déposés sur un superalliage monocristallin

**Mots-clés**

---

Diffusion, superalliage base Ni, transformations de phases, barrière thermique, durée de vie, modélisation, aubes de turbine

**Contexte de l'étude**

---

Dans un réacteur d'avion, les aubes de turbine haute pression sont des pièces soumises à un environnement extrêmement sévère : elles sont en contact avec des gaz chauds, dont la température dépasse la température de fusion du matériau base nickel utilisé et subissent des efforts centrifuges liés à des vitesses de rotation dépassant 20000 tr/min. Pour résister à de telles sollicitations on utilise des superallages à base de Ni solidifiés sous forme monocristalline et protégés par des barrières thermiques. Cette barrière thermique est constituée, depuis la surface du revêtement vers le substrat en matériau base nickel,

- d'une couche céramique qui permet de limiter les températures atteintes dans le substrat au cours des transitoires thermiques, d'un film d'oxyde imperméable au flux d'oxygène provenant des gaz brûlés et qui se construit au cours de la vie de l'aube,
- d'une sous-couche métallique servant de réservoir d'aluminium et de couche dite d'accrochage de la barrière thermique.

L'adhérence de la céramique est tributaire de l'état microstructural (phases, compositions, quantité) de la sous-couche dont la rugosité et la microstructure évoluent en fonction du chargement thermomécanique subi par la pièce, limitant la durée de vie du revêtement.

La tenue mécanique du système repose également sur la stabilité microstructurale du super alliage ainsi que du couple superalliage / sous-couche.

### **Objectif et travail proposé**

---

Cette étude vise à comprendre l'évolution de microstructure en cours de vieillissement à haute température ( $T \geq 1100$  °C) du système substrat-sous-couche métallique dépourvu de couche céramique. Cette analyse suivra celles développées par Sallot [1], Lecardonnel [2] et dans un projet DMS 2016-2017.

- Caractérisation expérimentale des transformations de phases dans le revêtement et dans le substrat. Des vieillissements isothermes et anisothermes seront effectués à différents temps et températures. Une caractérisation de l'évolution de microstructure sera réalisée par microscopie électronique à balayage (MEB), des analyses semi-quantitative (EDS) et quantitative (microsonde de Castaing) des compositions en espèces chimiques de la sous-couche et du substrat.
- Simulations de changement de phases en utilisant le logiciel DICTRA ou autre. L'objectif de cette partie sera de déterminer le potentiel et les limites de l'outil utilisé pour la prédiction de l'évolution de la microstructure de la sous-couche.

Le stage se déroulera essentiellement au Centre des Matériaux pour la partie caractérisation expérimentale et sur le site de Safran Aircraft Engines à Gennevilliers pour la partie simulation numérique.

### **Profil demandé**

---

Solides connaissances en diffusion et métallurgie, goût prononcé pour l'analyse expérimentale et la simulation numérique.

### **Références**

---

- [1] P. Sallot, *Modélisation de la durée de vie d'un revêtement aluminoforeur en conditions de sollicitations thermo-mécaniques*, thèse, MINES ParisTech CDM, 2012.
- [2] R. Lecardonnel, *Modélisation de la diffusion dans les alliages métalliques multicomposés*, stage MINES ParisTech CEMEF, 2015.

### **Contact**

---

[Vladimir.Esin@mines-paristech.fr](mailto:Vladimir.Esin@mines-paristech.fr)

[Vincent.Maurel@mines-paristech.fr](mailto:Vincent.Maurel@mines-paristech.fr)