

## Proposition de sujet de thèse CIFRE :

### **Refusion à l'arc sous vide de superalliages à base nickel : analyse de la dynamique de l'arc et simulation tridimensionnelle du procédé**

Les superalliages à base nickel sont des matériaux incontournables dans l'industrie aéronautique (notamment comme éléments des moteurs) en raison de leurs hautes performances mécaniques, qu'ils conservent à température élevée et de leur bonne résistance à la corrosion. Toutefois, l'obtention de ces propriétés exceptionnelles nécessite une très bonne homogénéité chimique et physique du matériau, ce qui impose la mise en œuvre de procédés d'élaboration sophistiqués comme le procédé de refusion à l'arc sous vide (VAR = Vacuum Arc Remelting). Le principe du procédé VAR, illustré sur la figure 1, consiste à fondre sous un vide poussé (0,1 à 1 Pa) une électrode consommable à la nuance pour former un lingot secondaire, grâce à l'énergie fournie par un arc électrique créé entre l'électrode et le sommet du lingot.

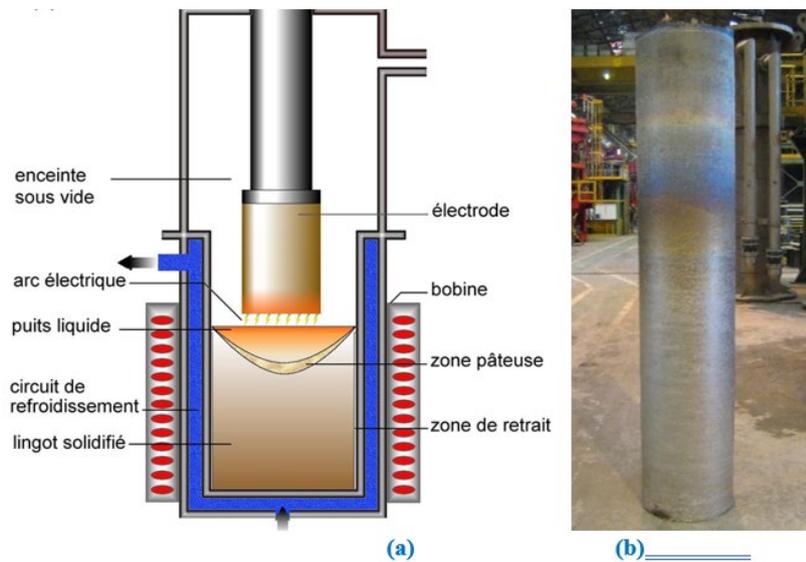


Figure 1. Procédé de refusion à l'arc sous vide VAR : (a) schéma de principe, (b) démoulage d'un lingot en superalliage à base nickel.

L'Institut Jean Lamour à Nancy mène depuis de nombreuses années, en partenariat avec plusieurs industriels français dont la société Aubert&Duval, des travaux expérimentaux et de modélisation afin de mieux comprendre et prédire le lien entre les leviers opératoires et la qualité des lingots produits par le procédé VAR. Il a acquis ainsi une expertise reconnue sur ce procédé, qui s'est concrétisée par le développement de codes de calcul (2D axisymétrique et plus récemment 3D) simulant la croissance et la solidification du lingot.

L'objectif du sujet de thèse proposé est d'aller plus loin dans la compréhension du fonctionnement et l'optimisation d'un four VAR, et d'améliorer la qualité des lingots de superalliages à base nickel obtenus par ce procédé. La thèse vise en particulier à établir une cartographie détaillée des zones de fonctionnement permettant la production d'un produit sain, exempt de défauts de solidification majeurs. La démarche proposée comporte deux axes principaux associant une approche expérimentale et un travail de simulation numérique.

1) Le premier axe concerne l'étude expérimentale sur site industriel du comportement dynamique de l'arc électrique qui conditionne l'apport de chaleur et de matière au sommet du lingot et joue de ce fait un rôle essentiel sur les conditions de solidification du métal et les propriétés du lingot final. Cette étude s'appuiera sur un dispositif expérimental spécifique original installé sur un four de production d'Aubert&Duval, permettant, grâce à des mesures de champ magnétique, d'évaluer la position et le mouvement du centroïde de l'arc en cours de refusion (et d'analyser son décentrage éventuel). Le lien

entre le comportement de l'arc et la formation de défauts de solidification au sein des lingots refondus, ainsi que l'influence des conditions opératoires (notamment le centrage de l'électrode), seront en particulier étudiés.

2) Le second axe vise à poursuivre le développement de la modélisation tridimensionnelle du procédé (basée sur le logiciel OpenFoam) et à affiner notamment la prédiction du risque de formation de défauts de solidification. Un axe d'amélioration important de la modélisation sera la formulation, à partir des résultats expérimentaux obtenus, de conditions aux limites thermique et électrique plus complètes que celles utilisées actuellement, rendant compte des différents comportements d'arc observés (notamment les éventuelles asymétries de la distribution de l'arc). Le modèle sera utilisé afin de dégager les paramètres opératoires les plus influents permettant la production d'un produit sain.

**Lieu de travail :** Le travail se déroulera en grande partie à l'Institut Jean Lamour à Nancy (Equipe de recherche "Procédés d'Elaboration") avec suivi de campagnes d'essais sur le site industriel de la société Aubert&Duval au Ancizes (63).

**Financement :** Bourse CIFRE – Aubert&Duval

**Profil recherché :** ingénieur ou master 2 avec des compétences avérées dans un ou plusieurs des domaines suivants : génie des procédés, phénomènes de transport, mécanique des fluides numérique, science et ingénierie des matériaux. Une bonne connaissance du C++ voire de OpenFoam serait un plus.