

## SUJET DE THESE

# Développement d'un outil numérique de modélisation des transferts thermiques entre un four et sa charge

### Formation/ Niveau d'études requis :

Ingénieur ou Master mécanique/énergétique

### Nature du travail

Modélisation et simulation numérique : identification de systèmes

### Contexte scientifique

La société Fives Cryo, basée à Golbey, est spécialisée dans la fabrication d'échangeurs de chaleur en aluminium à plaques et ondes brasées destinés au traitement des fluides cryogéniques. Ces échangeurs sont des empilements de pièces en aluminium dont la cohésion est assurée par un procédé d'assemblage exécuté à une température proche de la température de fusion du matériau utilisé. Il s'agit d'une opération de brasage pratiquée sur un ensemble de pièces (variant de 4000 à 7000 pièces) dont la maîtrise garantit la qualité de l'assemblage. L'ensemble est placé dans un four sous vide à l'intérieur duquel une série de panneaux radiants indépendants les uns des autres assurent la chauffe, l'homogénéité et le refroidissement de la charge jusqu'à l'obtention d'un bloc massif, appelé matrice. Sur celle-ci seront ensuite soudées les tuyauteries d'alimentation et de collecte des fluides amenés à échanger dans l'appareil.

Lors du brasage ces ensembles sont équipés de thermocouples de manière à renseigner le système de régulation en température du four. A partir de l'information fournie par ces thermocouples, une centrale de régulation modifie l'alimentation électrique des panneaux radiants pour maintenir ainsi que garantir l'homogénéité et la température de consigne de l'empilement. De la maîtrise de cette régulation dépendent les propriétés mécaniques finales de ces structures brasées. Cette régulation est fortement conditionnée par la qualité de l'information thermique fournie par les thermocouples, qui dans certains cas peuvent engendrer des lacunes de chaleur ou des surchauffes locales menant à une altération de la pièce.

### Objectif de la thèse

L'enjeu, très fort pour Fives Cryo, est de disposer d'un outil d'analyse prédictif, permettant d'une part de mieux discriminer les cycles de brasage, et d'autre part d'anticiper la réaction du four face à une nouvelle géométrie d'appareil. Cette modélisation plus fine que ne le permettent les outils disponibles actuellement dans l'entreprise doit permettre d'accéder à des données thermiques à une échelle mésoscopique sur des assemblages de plusieurs mètres cubes. In fine la méthode à développer doit permettre pour une même

géométrie de pièce de discriminer, à partir des données thermiques enregistrées, les matrices saines et défectueuses

### **Descriptif du sujet proposé :**

Le sujet de thèse proposé s'appuie sur les résultats acquis lors de thèses précédentes à l'école des Mines de Paris basées sur l'utilisation couplée du code THERMETTE (modélisation de systèmes thermiques décrits comme des réseaux de composants 0D) et du code MODRAY (modélisation des transferts radiatifs). Ce travail a permis d'une part de modéliser les transferts thermiques au sein de l'empilement dans le four au cours du brasage, et d'autre part une optimisation du procédé par la réduction du temps nécessaire au brasage d'un échangeur. Néanmoins cette modélisation ne suffit pas à garantir l'obtention de matrice saine. Ce modèle reste trop macroscopique et doit être affiné de façon à avoir une vision plus systématique des échanges thermiques entre la pièce et le four.

L'objectif est d'identifier les flux et les températures en tout point de l'échangeur (interpolation ou extrapolation des paramètres thermiques provenant des instruments de mesure) à partir des données des thermocouples implantés dans l'échangeur, cette étape peut se faire soit de façon expérimentale ou numérique. Les tâches à réaliser pour cela sont les suivantes :

- Identification des paramètres thermiques (flux, température) sur les zones stratégiques de l'échangeur à braser à partir des données de fonctionnement du four (température des thermocouples de régulation, positions des thermocouples, puissance individuelle des panneaux radiants, paramètres thermiques du système de refroidissement et paramètres optiques de la charge)
- Modélisation du champ de températures au sein de l'échangeur en cours de brasage en prenant en compte le caractère non homogène de l'assemblage, en particulier dans sa périphérie où les phénomènes métallurgiques sont exacerbés.
- Identification de modèles paramétriques (ex : ARX) et/ou convolutifs du four et pour différentes charges d'échangeur par méthode inverse (identification de systèmes) tout en prenant en compte la régulation de celui-ci.

### **Compétences requises :**

- Connaissances avancées en transfert thermique, plus particulièrement en transfert couplé rayonnement/conduction;
- Connaissances en méthodes inverses appliquées en transfert thermique (identification de système) ;
- Connaissances en métrologie thermique (mesure de température, flux et propriétés thermophysiques)
- Maîtrise d'outils numérique éléments finis (COMSOL, FLEXPDE) et MATLAB;
- Rigueur, méthodologie et capacité à communiquer dans un environnement industriel et universitaire

### **Entreprise d'accueil :**

Fives Cryo  
25 bis, rue du Fort BP 87  
88194 Golbey cedex – France  
Tél : 03 29 68 00 00

### *Présentation de la société :*

Au sein de l'entreprise Fives, le secteur d'activité Cryogenics | Energy est spécialisé dans la conception, la production, l'installation et l'entretien d'échangeurs de chaleur brasés, de boîtes froides, d'échangeurs de chaleur de type « core-in-drum », de pompes cryogéniques de la gamme Cryomec. Ces principaux produits sont développés pour la production de gaz et l'industrie de la transformation.

### **Laboratoire d'accueil**

LEMTA - UMR 7563 (CNRS – Université de Lorraine)  
ENSEM - 2 avenue de la Forêt de Haye  
TSA 60604 - 54518 VANDOEUVRE CEDEX

### *Présentation du laboratoire :*

Unité Mixte de Recherche de l'université et du CNRS, le LEMTA (Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée, UMR 7563) concentre ses recherches autour de la Mécanique et de l'Énergie. Les activités de recherche s'articulent autour de la mécanique des fluides, de l'énergie, des transferts thermiques et de la mécanique du solide. Organisé en trois groupes de recherche (Milieux fluides, réactifs, multiphasiques ; Mécanique des matériaux et structures ; Énergie et Transferts), le Laboratoire développe ses recherches autour de trois domaines d'excellence : la métrologie dans les milieux complexes, la modélisation multi-physique multi-échelle et les milieux multiphasiques.

La thèse se déroulera au sein du groupe Énergies et transfert. Les activités du groupe reposent sur l'analyse physique, la compréhension, la modélisation et la simulation des phénomènes de transfert. L'accent est mis sur le traitement des phénomènes couplés et le caractère hétérogène, multi-échelle ou multiphasique des milieux étudiés. La métrologie thermique y joue un rôle central. Le développement de modèles physiques réduits constitue ici une préoccupation majeure. Le groupe s'articule autour des thématiques scientifiques suivantes :

- Caractérisation thermique, techniques inverses
- Rayonnement thermique dans les milieux semi-transparents
- Transferts en milieux poreux
- Piles à combustible et systèmes

### **Encadrement et contact**

Directeurs de thèse : Benjamin Rémy (Pr UL) : [benjamin.remy@univ-lorraine.fr](mailto:benjamin.remy@univ-lorraine.fr)  
Vincent (MCF UL) : [vincent.schick@univ-lorraine.fr](mailto:vincent.schick@univ-lorraine.fr)