

## Proposition de Sujet de postdoc

**Unités de recherche : Institut des Matériaux Jean Rouxel (IMN, UMR 6502) – Institut de recherche Dupuy de Lôme (IRDL, UMR 6027)**  
**Localisation : IMN Université de Nantes - IRDL Université Bretagne Sud**  
**Lorient**

### **« Estimation de caractéristiques thermophysiques – Application aux métaux aux états solide et liquide »**

*Porteur de projet (IMN) : P. Paillard – pascal.paillard@univ-nantes.fr*  
*Co-porteur de projet (IRDL) : P. Le Masson - philippe.le-masson@univ-ubs.fr*

Le cadre de ce projet s'inscrit dans la poursuite du travail engagé sur la caractérisation à hautes températures des matériaux et concerne les domaines du soudage et de la fabrication additive. Ce travail se positionne donc à l'interface des départements « Matière Matériaux » et « industrie ». L'étude des procédés et surtout leur impact sur la tenue en service (tenue mécanique, tenue à la corrosion) est relativement complexe en raison du nombre important de paramètres pouvant varier mais surtout en raison du caractère multiphysique du soudage. En effet, les procédés de soudage et de fabrication additive font appel à l'électricité, à la thermique, à la mécanique des fluides et des milieux solides mais aussi à la métallurgie. Une étude expérimentale est généralement, de ce fait, coûteuse en temps et en moyens financiers. C'est pour ces raisons que des simulations numériques adaptées sont de plus en plus développées. Ainsi, si l'on souhaite que ces simulations soient les plus proches de la réalité et donc fortement prédictives, les données d'entrée de ces modèles doivent reposer sur des données expérimentales fiables. Or, si de nombreuses études font état de mesures sur la zone où le métal se transforme mais reste à l'état solide, peu de données sont accessibles sur le métal à l'état liquide, à l'état vapeur ou encore dans le plasma entre le procédé et le matériau. De ce fait, les modèles actuels reposent bien souvent sur un certain nombre de paramètres d'entrée qui doivent être ajustés pour reproduire correctement les formes de bain observées, ce qui limite fortement le caractère prédictif de ces simulations.

Plusieurs études sont menées actuellement aux laboratoires IMN et IRDL sur la simulation numérique des mouvements de métal fondu et sur le développement d'expériences de caractérisation et autour des procédés. Ces études impliquent la connaissance de plusieurs paramètres à hautes températures indispensables à de bonnes simulations et la validation de ces simulations exige des mesures expérimentales complexes. En particulier, l'estimation de la diffusivité thermique de métaux fondus à hautes températures en lévitation aérodynamique *via* une méthode inverse est l'un des objectifs visés dans le présent projet. Le développement de ce travail passe dans un premier temps par la mise en place d'un modèle mathématique descriptif des différents phénomènes physiques en présence, dans un second temps par l'analyse de sensibilité et la détermination des paramètres optimaux (temps de chauffage, densité de flux, position de la surface visée par le pyromètre...), et dans un troisième temps par une étape d'inversion, où modèle et mesures sont utilisés de manière synergique pour l'estimation de la diffusivité thermique.

Les travaux en développement ont permis la mise en place d'un modèle mathématique associé à l'expérience de la méthode flash pour le cas d'une bille de métal à l'état solide initialement

à une température élevée. Les observables du pyromètre multispectral étant des flux, l'approche développée intègre la fonction de transfert du pyromètre dans le modèle théorique. Le problème ainsi formulé est défini autour de la conduction de chaleur bidimensionnel avec symétrie axiale et pertes de chaleur par rayonnement et convection, les flux théoriques étant calculés à partir de la fonction de transfert du pyromètre. La solution du problème est obtenue avec le logiciel d'éléments finis COMSOL Multiphysics®. En parallèle, une solution analytique par transformation intégrale du problème avec condition de contour linéarisée est développée afin de vérifier la solution numérique du problème et de s'assurer du bon choix des paramètres de maille spatiaux et temporels. L'analyse de sensibilité suggère la possibilité d'estimer simultanément la diffusivité thermique et la conductivité thermique de la bille de métal à condition que les paramètres du laser (éclairage, diamètre du faisceau, durée du pulse) et les pertes thermiques soient bien connus, puisque ceux-ci sont les paramètres les plus sensibles du modèle et ils sont corrélés (travaux présentés lors d'un congrès en 2017 : 9th International Conference on Inverse Problems in Engineering (ICIPE), University of Waterloo, Canada, May 23-26 2017).

Le projet de post doctorat est de travailler en fonction des candidats sur deux axes :

- Le premier consiste à poursuivre les modèles d'estimation de l'émissivité à l'aide du pyromètre multispectral et se décompose en plusieurs points : Etude bibliographique : comment évolue l'émissivité en fonction de la température, de la longueur d'onde, de l'état de surface pour les métaux à l'état solide et à l'état liquide ? Définition du modèle théorique adapté à la nouvelle expérience (coordonnées sphériques) ; Définitions des modèles d'émissivité, du type d'observable : flux (ou température) ; Etude de sensibilité, paramétrique ; Mise en place du modèle d'estimation de paramètres ; Estimation sur un modèle bruité et estimation sur mesures expérimentales ; mise en place des méthodes bayésiennes ; Le candidat devra avoir des compétences dans le domaine de l'analyse thermique radiative et dans la modélisation des transferts radiatifs. Des compétences en méthodes inverses seraient souhaitées.
- Le second s'appuie sur le besoin de créer des modèles de connaissances et est orienté principalement sur la simulation numérique. Il s'agira de développer des méthodes numériques à l'aide du code de calcul Comsol Multiphysics pour traiter l'apport de matière et de chaleur. L'objectif est de simuler les champs de température lors de la construction 3D d'un dépôt multicouche. Il s'agira donc de mettre en œuvre une méthode de suivi d'interfaces adaptée et d'identifier des fonctions analytiques appropriées pour décrire correctement l'apport de matière et l'apport de chaleur. Le post-doctorat disposera de modèles multiphysiques et de données expérimentales disponibles au sein du laboratoire afin de valider ses développements. Ce travail pourra se poursuivre avec l'implémentation de lois de comportement métallurgiques et mécaniques en vue de prédire les transformations de phase et les contraintes et déformations lors de la construction de la pièce par fabrication additive. Le candidat devra avoir des compétences en méthodes numériques permettant de traiter des frontières mobiles. Une expérience dans le code de calcul Comsol Multiphysics serait souhaitée.

**Mots-clés :**

Modélisation, Mesures Thermiques et Métrologie, Simulation numérique, Méthodes Inverses.

**Financement :**

Ce travail s'inscrivant dans la poursuite des collaborations entre l'IMN et l'IRDL, le financement proposé est construit avec un budget UBL (50%), IMN (25%) et IRDL (25%).