

## Sujet de thèse : « Simulation multi-échelle du soudage laser »

**CONTEXTE :** Les progrès incessants des technologies laser ont amplifié l'intérêt du soudage pour l'assemblage des pièces métalliques. Les sources laser actuelles permettent une grande variété dans le choix des longueurs d'onde et des distributions énergétiques afin de garantir des soudures de qualité. Néanmoins, la grande diversité des paramètres complexifie la recherche des conditions opératoires optimales pour éviter l'apparition de certains défauts. L'objectif de cette thèse est de développer une approche numérique multi-échelle afin de prédire à l'échelle mésoscopique la formation de défauts induits par les instabilités du bain liquide (porosités) et à l'échelle de la pièce les défauts liés aux contraintes et déformations. Cette approche numérique reposera sur l'utilisation de modèles multiphysiques permettant de comprendre les conditions opératoires minimisant les défauts et ainsi permettra de réduire le nombre de tests expérimentaux pour définir les paramètres optimaux. Une réflexion sera également menée pour proposer un outil numérique convivial couplant ces approches multi-échelles et multiphysiques au sein d'un même logiciel pour une utilisation industrielle facilitée.

**MOYENS :** Les développements numériques se baseront sur les travaux précédents réalisés au sein de l'IRD (modèle thermohydrodynamique de soudage laser) et d'IREPA LASER (modèle thermomécanique en fabrication additive) avec le logiciel COMSOL Multiphysics®. Il s'agira de comprendre le comportement du bain de fusion en fonction des différents paramètres opératoires : distribution énergétique (gaussienne, top hat, annulaire, ...), oscillation du faisceau (amplitude, fréquence). Différentes configurations de soudage pourront être étudiées (bord à bord, transparence), ainsi que des cas de soudage hétérogène. Cette étude visera à identifier les conditions opératoires minimisant les instabilités du bain (humping, porosité). Le calcul du champ de température à l'échelle du bain (méso) servira de données d'entrée d'un modèle macroscopique thermomécanique pour prédire les distorsions et contraintes sans avoir recours à des étapes de calibration de sources. En parallèle, des campagnes d'essais seront menées en vue de valider le côté prédictif des modèles. La mesure des propriétés matériaux sera également envisagée pour obtenir des modèles fiables.

**DEROULEMENT DE LA THESE CIFRE ET LOCALISATION :** Cette thèse CIFRE débutera au sein du laboratoire IRDL (Institut de Recherche Dupuy de Lôme) à Lorient rattaché à l'Université Bretagne Sud pour les développements des modèles, et la mesure de données matériaux nécessaires aux modèles. La thèse se poursuivra à IREPA LASER près de Strasbourg, pour mener des campagnes d'essais et valider le modèle à l'aide de maquettes instrumentées.

**COMPETENCES REQUISES :** Vous êtes issu(e) de formation de type ingénieur généraliste ou équivalent universitaire avec une spécialisation en mécanique, thermique. Vous avez des compétences en simulation numérique par éléments finis idéalement sous COMSOL Multiphysics. Une connaissance des procédés de soudage ou fabrication additive métallique serait un plus. Vous êtes autonome et curieux/se. Vous avez une aptitude à vous intégrer dans une équipe et une capacité de dialogue. Vous maîtrisez l'anglais.

**DATE DE DEBUT DE THESE :** octobre 2023

**ENCADRANTS DE THESE :** Muriel CARIN (PR), Mickaël COURTOIS (MCF), Stephen CADIOU (MCF), Vaibhav NAIN (IREPA LASER), Frédérique MACHI (IREPA LASER)

**LOCALISATIONS :** Institut de Recherche Dupuy de Lôme Lorient (50 %) et IREPA LASER (50%)

**CONTACT ET ENVOI DES CANDIDATURES :**

[stephen.cadiou@univ-ubs.fr](mailto:stephen.cadiou@univ-ubs.fr) et [myjob@irepa-laser.com](mailto:myjob@irepa-laser.com)

## Thesis Topic: « **Multi-scale simulation of laser welding** »

**CONTEXT:** The constant progress of laser technologies has amplified the interest in welding for the assembly of metal parts. Current laser sources allow a wide variety in the choice of wavelengths and energy distributions in order to guarantee quality welds. Nevertheless, the great diversity of parameters complicates the search for optimal operating conditions to avoid the appearance of certain defects. The objective of this thesis is to develop a Multi-Scale numerical approach in order to predict at the mesoscopic scale the formation of defects induced by the instabilities of the liquid pool (porosity) and at the part scale the defects related to stresses and deformations. This numerical approach will be based on the use of Multiphysics models allowing us to understand the operating conditions minimizing the defects and thus will make it possible to reduce the number of experimental tests to define the optimal parameters. A reflection will also be carried out to propose a user-friendly digital tool coupling these multi-scale and multi-physical approaches within the same software for easier industrial use.

**RESOURCES:** The numerical developments will be based on previous work carried out within the IRDL (thermo-hydro-dynamic model of laser welding) and IREPA LASER (thermo-mechanical model in Additive Manufacturing) with COMSOL Multiphysics® software. The first step will be to understand the behavior of the melt pool according to the different operating parameters: energy distribution (Gaussian, top hat, annular, etc.), and beam oscillation (amplitude, frequency). Different welding configurations can be studied (edge to edge, transparency), as well as cases of heterogeneous welding. This study will aim to identify the operating conditions minimizing melt pool instabilities (humping, porosity). The calculation of the temperature field at the melt pool scale (Meso) will serve as input data for a Macroscopic thermomechanical model to predict distortions and stresses without resorting to source calibration steps. At the same time, experiment/test campaigns will be conducted to validate the predictive side of the models. The measurement of material properties will also be considered to obtain reliable models.

**PROGRESS OF THE CIFRE THESIS AND LOCATION:** This CIFRE thesis will begin within the IRDL laboratory (Institut de Recherche Dupuy de Lôme) in Lorient attached to the Université Bretagne Sud for the development of the models, and the measurement of material data necessary for the models. The thesis will continue at IREPA LASER near Strasbourg, to conduct experiment/test campaigns and validate the model using instrumented models.

**REQUIRED SKILLS:** You have a general engineering or university equivalent education with a specialization in mechanics and heat transfer. You have skills in numerical simulation by Finite Elements ideally with COMSOL Multiphysics. Knowledge of welding processes or metal additive manufacturing would be a plus. You are autonomous and curious. You have an aptitude for integrating into a team and a capacity for dialogue. You are fluent in English.

**THESIS START DATE:** October 2023

**THESIS SUPERVISORS:** Muriel CARIN (PR), Mickaël COURTOIS (MCF), Stephen CADIOU (MCF), Vaibhav NAIN (IREPA LASER), Frédérique MACHI (IREPA LASER)

**LOCATIONS :** Institut de Recherche Dupuy de Lôme Lorient (50 %) and IREPA LASER (50%)

**CONTACT AND SENDING APPLICATIONS:**

[stephen.cadiou@univ-ubs.fr](mailto:stephen.cadiou@univ-ubs.fr) and [myjob@irepa-laser.com](mailto:myjob@irepa-laser.com)