

Stage M2 – Ingénieur modélisation du soudage

Durée : 5-6 mois, à partir de Février/Mars 2026

Encadrants : A. BROSSE (FRA), R. LACROIX (FRA), Y. JIA (LAMIH)

Contact : Dr. yabo.jia@uphf.fr

Lieu principale : UPHF, CNRS, LAMIH, Valenciennes

Le soudage est un pilier de la fabrication et de la maintenance nucléaire, avec un impact direct sur l'intégrité des composants, la sûreté des installations et la durée de vie en service. Dans les cuves, générateurs de vapeur et tuyauteries du circuit primaire, chaque cordon influe sur les contraintes résiduelles, la stabilité dimensionnelle et l'inspectabilité—des facteurs clés pour la conformité réglementaire et la planification des arrêts. Comme les essais physiques sont coûteux et lents, la **simulation numérique du procédé de soudage** [1] est devenue essentielle pour prédire les cycles thermiques, la déformation plastique et les champs de contraintes avant toute mise à l'arc. Ces modèles orientent le choix de l'apport thermique, des séquences et du bridage afin de limiter les déformations, les reprises et de démontrer les marges vis-à-vis des codes. L'usage de **maillages tétraédriques** renforce ces bénéfices : ils épousent naturellement des géométries nucléaires complexes, facilitent le maillage automatique depuis la CAO, permettent un raffinement local précis dans les zones affectées thermiquement et passent à l'échelle sur de grands assemblages. À la clé : une préparation de modèles plus rapide, une meilleure couverture des détails (piquages, chanfreins de soudure, pénétrations). Les éléments tétraédriques linéaires (P1) sont séduisants pour modéliser des géométries de soudure complexes, mais ils peuvent présenter du **verrouillage volumique et/ou en cisaillement**. Ce stage explore des **formulations tétraédriques alternatives** afin d'améliorer la robustesse et la précision des simulations de soudage thermo-élasto-plastiques.

Formulations visées :

- **P1P1 (u-p, égal-ordre stabilisé)** : déplacement linéaire et pression linéaire, assortis d'une stabilisation appropriée.
- **Variantes P1 à intégration nodale (NI-FEM)** : atténuation du verrouillage via l'intégration au nœud/à un point et un contrôle des modes « hourglass » [2].
- **P1RNP0 (u-p)** : déplacement linéaire avec intégration réduite/sélective et pression (P0) [3].

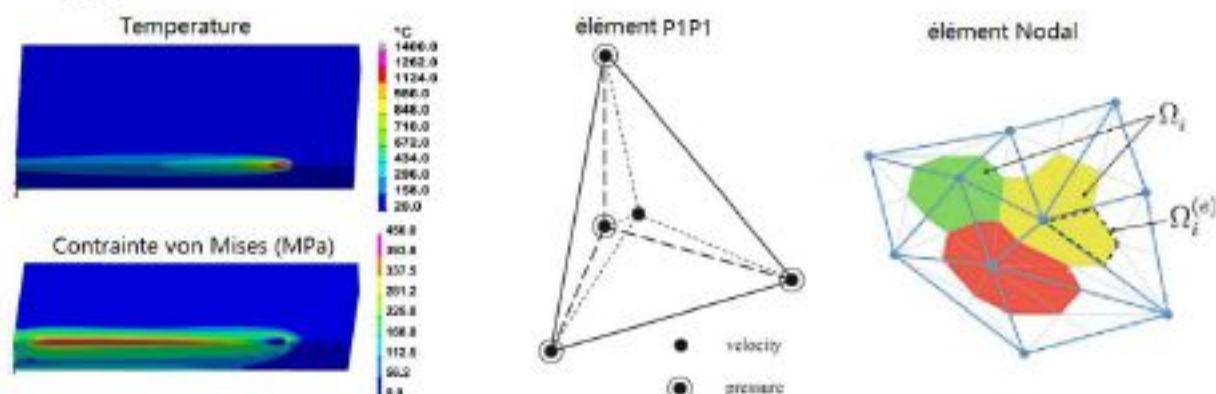


Figure 1 : simulation du procédé soudage et les éléments envisagés

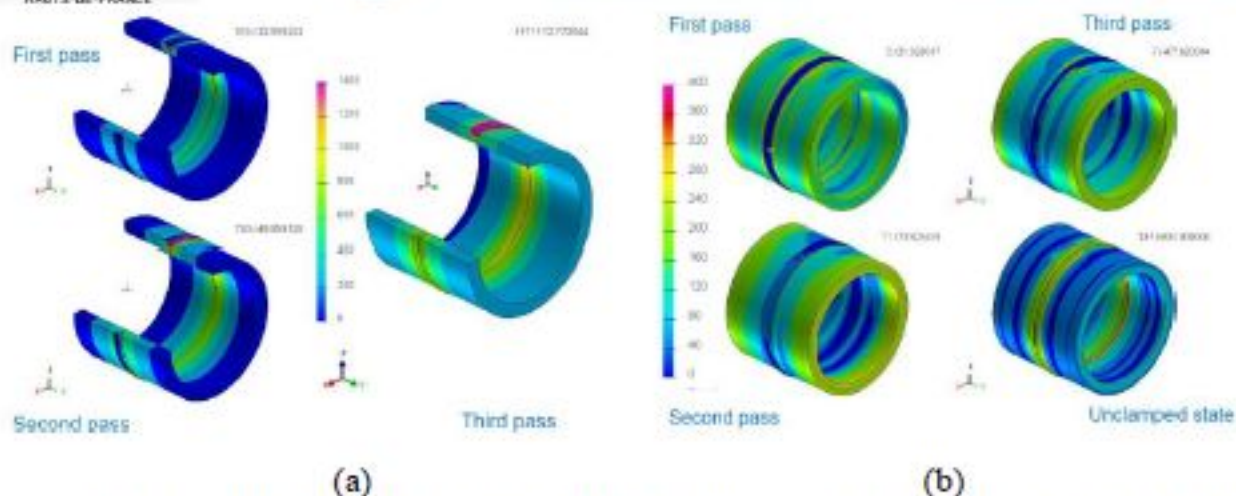


Figure 2 : simulation du procédé soudage multi-passe circonférentiels : (a) distribution température, (b) Von Mises stress (MPa)

Vos missions principales seront les suivantes :

- Etude bibliographie sur la modélisation du procédé soudage à différentes formulations, les méthodes pour calibration d'une source de chaleur, ainsi les enjeux scientifiques ;
- S'approprier les méthodes de simulation du procédé et différents types de loi de comportements
- Prendre en main un logiciel de simulation numérique (SYSWELD) ;
- Comparaisons des résultats numériques données par différentes formulations.

Profil de candidat(e) :

- Master 2 ou équivalent, spécialité en mécanique matériau ou mécanique numérique.
- Maîtrise des outils de simulation numérique et des méthodes des éléments finis,
- Connaissance en simulation numérique du procédé soudage, simulation de transfert de chaleur et contrainte résiduelle, appréciées
- Autonomie, rigueur, capacité d'analyse et de synthèse.

Bibliographies:

- [1] Sébastien Gallée, Pierre-Olivier Barrioz, Florence Gommez, Alexandre Brosse, An Experimental and Numerical Modelling for Submerged Arc Welding, ASME 2025 Pressure Vessels & Piping Conference July 20–25, 2025 Montreal, Quebec, Canada
- [2] JIA, Yabo, BERGHEAU, Jean-Michel, LEBLOND, Jean-Baptiste, et al. A new nodal-integration-based finite element method for the numerical simulation of welding processes. Metals, 2020, vol. 10, no 10, p. 1386.
- [3] Feulvarch, E., Brosse, A., & Vincent, Y. (2023). An LBB-stable P1/RNP0 finite element based on a pseudo-random integration method for incompressible and nearly incompressible material flows. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 124(24), 5558-5573.