



Projet de thèse IRDL-LGMGC :  
**T-FORM**  
**Optimisation des conditions  
opératoires pour la mise en  
forme en température  
d'alliages d'aluminium**



---

Lieux de la thèse : IRDL-UBS, Lorient (56) et LGCGM-INSA, Rennes (35)

Encadrement de thèse : Hervé Laurent (IRDL) et Lionel Leotoing (LGCGM-INSA)

**Contexte et objectifs** : La mise en forme en température améliore fortement la formabilité des alliages d'aluminium. Ces alliages de par leur résistance mécanique élevée et leur légèreté permettent de réduire le poids des véhicules et donc l'émission de gaz à effet de serre. Ce projet de thèse vise d'une part, à améliorer la prédiction des codes de calcul simulant la mise en forme en température de ces alliages. D'autre part, ce projet a pour objectif d'améliorer les connaissances du comportement thermomécanique de ces alliages sur des trajets de déformations multiaxiaux non conventionnels. À l'aide de deux moyens expérimentaux originaux de sollicitations biaxiales développées au LGCGM et à l'IRDL, il est proposé d'enrichir les bases de données existantes pour la définition des courbes limites de formage en température de ces alliages. Ces informations sont primordiales pour l'optimisation des outils de simulation de l'emboutissage, le but étant d'obtenir une formabilité maximale sur des pièces de forme complexe et performantes.

**Problématique scientifique abordée** : L'étude de la sensibilité du matériau aux conditions opératoires nécessite la mise en œuvre de dispositifs de caractérisation adaptées, capables de reproduire et de faire varier, pour différents états de déformation, les conditions de mise en température et les temps de cycle de mise en forme. La formabilité des tôles métalliques est généralement évaluée en traçant des courbes limites de formage (CLF), pour des états de déformation allant de la traction uniaxiale à la traction équi-biaxiale. Les essais conventionnels de caractérisation (de type Marciniak ou Nakajima) ne sont pas toujours adaptés à l'étude de l'influence des conditions de mise en forme (température, vitesse de déformation) ou au suivi de chemins de déformation complexes. Afin d'enrichir les bases expérimentales, des essais de caractérisation nouveaux ont été proposés ces dernières années. Parmi ces dispositifs « non conventionnels », le développement d'un essai de gonflement biaxial avec chauffage par effet Joule à l'IRDL et d'un essai de traction biaxiale plane avec chauffage par induction au LGCGM offrent des perspectives nouvelles de caractérisation. L'essai de gonflement permet une caractérisation de la formabilité dans le domaine de l'expansion à partir d'une tôle d'épaisseur constante. L'essai de traction biaxiale couvre une plage d'états de déformation plus étendue mais nécessite la réalisation d'éprouvettes complexes avec une réduction locale de l'épaisseur de la tôle. Pour des conditions identiques, la confrontation des résultats expérimentaux issus des deux dispositifs permettra notamment d'évaluer l'influence de la topologie de l'éprouvette. Ces deux essais présentent un fort potentiel, ils sont capables de reproduire des

conditions opératoires variées dont l'effet pourra être mesuré grâce au tracé des courbes limites de formage associées.

Le tracé de courbes limites de formage sur une plage étendue de conditions opératoires a pour objectif de fiabiliser les résultats des modèles prédictifs de limites de formabilité. Des modèles analytiques simples, comme le modèle M-K, ont été proposés pour prédire les limites de formabilité à striction mais l'intégration des conditions opératoires reste limitée. Le recours à des modèles numériques de prédiction, basés sur la méthode des éléments finis et sur l'implémentation de lois de comportement adaptées (thermo-viscoplasticité, endommagement, ...) est donc envisagé. La richesse de la base expérimentale doit également permettre d'envisager le développement d'un modèle issu de méthodes d'apprentissage automatique (Machine Learning) en s'affranchissant ainsi de la calibration de modèles de comportement phénoménologiques ou physiques. Grâce à ces modèles prédictifs, les conditions optimales de mise en forme pourront être définies pour le matériau étudié. L'intégration de la courbe limite de formage associée dans les outils de simulation numérique permettra un pilotage précis du procédé virtuel. Des préconisations pourront également être formulées (type et nombres d'essais, conditions) afin de généraliser la procédure de caractérisation.

**Principales étapes du projet :** Le projet s'articule autour des différentes étapes suivantes :

- Etude comparative des résultats issus des deux dispositifs de caractérisation étudiés pour des conditions opératoires données.
- Adaptation des dispositifs et des procédures (critère de détection des limites de formabilité, ...) pour fiabiliser la complémentarité des bases expérimentales
- Définition d'une plage de variation représentative des conditions opératoires et construction d'une base de données expérimentale de limites de formabilité
- Choix d'un modèle prédictif des limites de formabilité intégrant les conditions opératoires des procédés de mise en forme ciblés.
- Calibration du modèle prédictif et optimisation des conditions opératoires

**Profil recherché :** Niveau Master 2/ Ingénieur en mécanique des matériaux. Connaissances dans la simulation numérique sous Abaqus, Essais mécaniques, Lois de comportement des matériaux métalliques, Couplage thermo-mécanique.

**Date de début de thèse et durée :** Octobre 2024, pour un contrat de 36 mois.

**Pièces à fournir :** CV, lettre de motivation, relevés de notes, lettres de recommandations (si possible).

**Contacts :** [herve.laurent@univ-ubs.fr](mailto:herve.laurent@univ-ubs.fr) et [Lionel.Leotoing@insa-rennes.fr](mailto:Lionel.Leotoing@insa-rennes.fr)

**Dépôt candidature sur (confirmer le dépôt à l'équipe encadrante) avant 28/04/2024 :**  
<https://amethis.doctorat-bretagne-ouest.fr/amethis-client/prd/consulter>