

### Résumé

Dans cette étude, un modèle numérique basé sur la méthode des particules lissées (SPH) est utilisé pour simuler le champ de température et estimer les dimensions de la surface supérieure du bain de fusion lors du soudage au laser de tôles d'aluminium dans une configuration de joint à recouvrement. Cette approche est particulièrement adaptée pour effectuer des calculs tridimensionnels avec une résolution spatiale élevée tout en minimisant les coûts de calcul. Notre analyse se concentre spécifiquement sur le processus de soudage au laser des tôles d'aluminium 6061-T6, largement utilisées dans les secteurs de l'automobile et de l'aérospatiale. Nous examinons l'impact de la vitesse et de la puissance du faisceau laser sur les dimensions de la zone de fusion ainsi que sur la topographie de la surface du bain de fusion. De plus, nous évaluons comment ces paramètres de soudage influent sur le volume du bain de fusion. Les résultats numériques obtenus grâce à ce modèle concordent étroitement avec les données expérimentales.

### Introduction

La technologie du soudage laser est largement utilisée dans de nombreux domaines industriels. Le procédé de soudage laser offre un grand potentiel pour la conception de nouveaux produits [1]. Par rapport aux autres procédés de soudage comme :

- Soudage à l'arc,
- Soudage à l'état solide,
- Soudage par induction, etc.

Le soudage laser transmet moins de chaleur est transmise à la pièce à usiner, ce qui se traduit par une zone affectée thermiquement (ZAT) réduite. Les études sur les cycles thermiques, la distribution de la température et les dimensions du bain de fusion pendant le soudage sont cruciales, car les données sur les cycles thermiques constituent la base des nombreuses autres analyses, telles que la prédiction des microstructures de la soudure et de la zone affectée thermiquement (ZAT), et la susceptibilité de la soudure à la fissuration à chaud. Des recherches antérieures [2-4] ont suggéré que la géométrie de la zone de fusion (profondeur, largeur et la longueur de la soudure, forme générale de la soudure), ainsi que les attributs microstructuraux de la soudure (vitesse de refroidissement, gradient thermique), régissent la qualité et les propriétés de la soudure.

### Problématique

Le soudage laser, lorsqu'il est expérimenté de manière itérative, peut entraîner des coûts élevés et des délais considérables. De même, l'utilisation des modèles de simulation dans la littérature pour examiner ce processus exige des ressources informatiques importantes et est souvent liée à des résultats peu précis

### Objectifs

1. Valider l'évolution de la température calculée numériquement pendant le soudage au laser par des mesures expérimentales effectuées en divers points de la structure soudée à l'aide des thermocouples.
2. Calculer numériquement les dimensions de la surface supérieur du bain de fusion et les comparer aux dimensions expérimentales calculées à partir d'images prises par une caméra à grande vitesse.
3. Calculer numériquement l'évolution du volume du bain de fusion.

### Methodologies

- Des plaques de 200 mm sur 100 mm ont été fabriquées à partir d'alliages d'aluminium AA6061 de deux épaisseurs différentes : 1,6 mm et 2 mm.
- Les joints soudés ont été produits à l'aide d'un équipement comprenant une source laser Trumpf TruDisk de 10 kW, combinée à une tête de traitement laser oscillante Precitec YW52, et intégrée à un robot Fanuc M800iA d'une capacité de charge de 60 kg.
- Les expériences de soudage ont été réalisées dans des configurations de joints par recouvrement, le faisceau incident étant incliné à un angle de 5 degrés.
- Deux thermocouples ont été placés à une profondeur de 1,6 mm, à des distances respectives de 5 mm et 10 mm de la ligne de soudure.

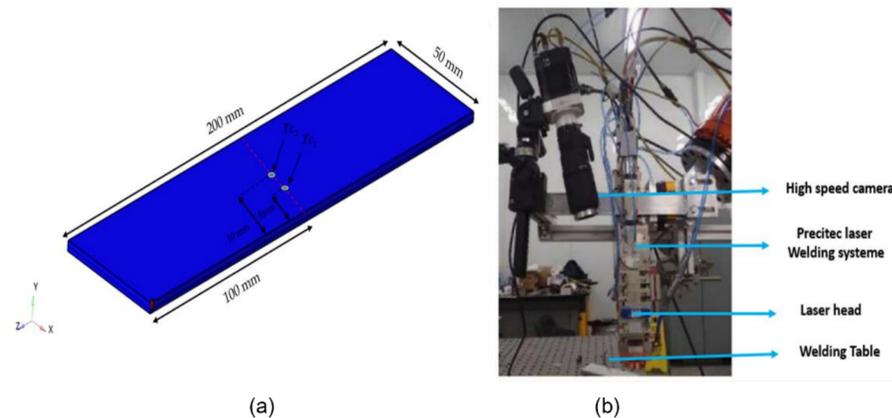


Figure 1 : (a) Modèle SPH utilisé pour les simulations, (b) Installation expérimentale de soudage de deux feuilles AA6061 dans une configuration de soudage par recouvrement en utilisant le soudage laser Precitec (YW52).

### Résultats

Tableau 1 : Variables d'entrée expérimentales pour le processus de soudage au laser

Identification	Laser power (kW)	Robot speed (m/min)	Focal position (mm)	Nominal spot size (mm)	Laser angle (°)
P1	5,50	5,0	+10	0,4	5
P2	6,75	6,5	+10	0,4	5
P3	8,25	8,0	+10	0,4	5

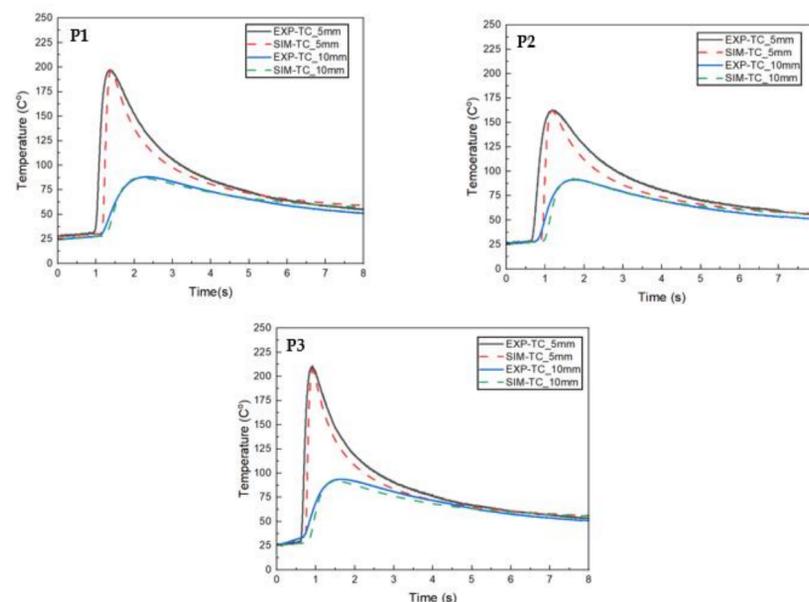


Figure 2 : Résultats expérimentaux et numériques à différents endroits de la soudure

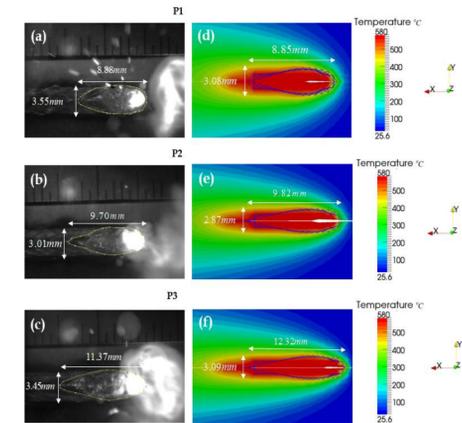


Figure 3 : Comparaison des morphologies de la surface supérieure de la zone de fusion entre les images expérimentales de la caméra à grande vitesse et les simulations numériques pour différentes configurations (P1), (P2) et (P3).

Tableau 2 : Effet de la vitesse de soudage (a) et de la puissance laser (b) sur les dimensions du bain de soudure

ID	Laser power (kW)	Robot speed (m/min)	Length (mm)	Width (mm)
<b>(a)</b>				
Cas 1	5	3	11,18	3,45
Cas 2	5	4	9,82	2,94
Cas 3	5	5	8,65	2,64
<b>(b)</b>				
Cas 4	3	4	4,56	2,33
Cas 5	3,5	4	5,80	2,45
Cas 6	4	4	7,04	2,53

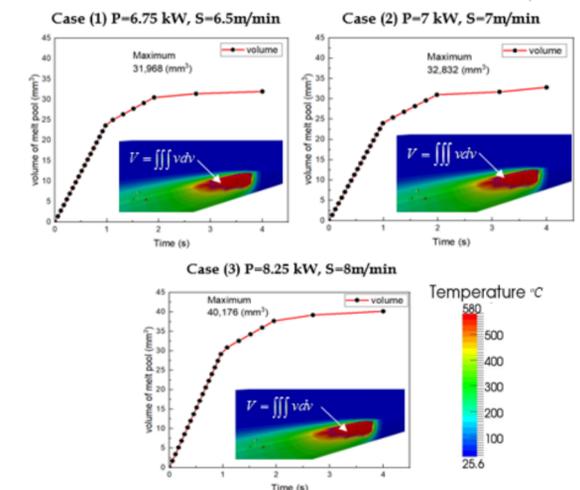


Figure 5 : Évolution du volume du bain de fusion en fonction des paramètres de soudage

### Conclusion

L'analyse comparative des résultats expérimentaux et numériques a démontré la validité et la fiabilité de l'approche numérique utilisée.

- Cela renforce la confiance dans l'utilisation de la simulation numérique comme outil de prédiction et d'optimisation du soudage au laser.
- L'étude a révélé l'impact significatif des paramètres de soudage, tels que la vitesse et la puissance du laser, sur les caractéristiques de la zone de fusion.
- Comme perspective, ce modèle de simulation pourrait être utilisé pour anticiper et prévenir les défauts potentiels, tels que les fissures à chaud, en déterminant les paramètres de soudage les plus efficaces.

### Références

- 1: Çam, G. and G. İpekoğlu, Recent developments in joining of aluminum alloys. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. 91(5): p. 1851-1866.
- 2: Garavaglia, M., et al., Fiber laser welding of AA 5754 in the double lap-joint configuration: process development, mechanical characterization, and monitoring. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020. 111: p. 1643-1657.
- 3: Kabasakaloglu, T.S. and M. Erdogan, Characterisation of figure-eight shaped oscillation laser welding behaviour of 5083 aluminium alloy. Science and Technology of Welding and Joining, 2020. 25(7): p. 609-616
- 4: Abderrazak, K., et al., Numerical and experimental study of molten pool formation during continuous laser welding of AZ91 magnesium alloy. Computational Materials Science, 2009. 44(3): p. 858-866.