

---

# Simulation multi-échelle de la problématique thermique avec changement de phase du procédé de Fabrication Additive SLMP

Romain Ruysen<sup>\*1</sup>, Andrea Barbarulo<sup>†2</sup>, and Hachmi Ben Dhia<sup>‡3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de mécanique des sols, structures et matériaux (MSSMat) – CNRS : UMR8579, Ecole Centrale Paris – 3 Rue Joliot Curie, 91190 Gif-sur-Yvette, France

<sup>2</sup>Laboratoire de mécanique des sols, structures et matériaux (MSSMat) – CNRS : UMR8579, Ecole Centrale Paris – Grande voie des vignes 92295 CHATENAY MALABRY CEDEX, France

<sup>3</sup>Laboratoire de mécanique des sols, structures et matériaux (MSSMat) – CNRS : UMR8579, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay – France

## Résumé

Par son principe singulier d'addition de matière solide à de toutes petites échelles, la Fabrication Additive (FA) permet une inégalable liberté de création. Il existe deux procédés principaux de FA de pièces métalliques, utilisant un laser comme source de chaleur : le "Direct Laser Melting Process" (DLMP) et le "Selective Laser Melting Process" (SLMP). Ce travail est focalisé sur le SLMP, même si les deux procédés partagent bon nombre de points physiques.

Quand bien même l'intérêt pour le SLMP ne cesse de croître, l'utilisation des pièces ainsi créées reste marginale pour non respect fréquent du cahier des charges par ces pièces ; la cause étant encore le manque de maîtrise du procédé. Les procédures expérimentales visant à déterminer les paramètres optimaux du procédé, comme par exemple la vitesse et la puissance du(es) laser(s) ou encore le diamètres des particules de poudre. Dans ce contexte, la simulation numérique du SLMP devient un outil extrêmement avantageux, pouvant, sinon relayer, au moins être mis en synergie avec les essais expérimentaux.

Le problème issu de la modélisation du procédé SLMP est d'une complexité telle que son approximation met à mal les méthodes de simulation classiques. Cette complexité provient, en particulier, de la nature des phénomènes multi-physiques extrêmement localisés, dans la poudre, aux voisinages des impacts des puissantes sources de chaleur évoluant rapidement dans le temps. Phénomènes liés aux transformations de phase: du granulaire, au fluide, puis au solide en passant par des mélanges. De nombreux travaux ont été réalisés pour modéliser le SLMP (voir [1] et [2]).

Pour la problématique thermique, point focal de notre communication, plusieurs se concentrent sur l'échelle macroscopique et s'inspirent de techniques déjà développées dans le cadre du soudage. Ils utilisent des modèles de poudre homogénéisés, prennent parfois en compte le changement de phase grâce à des méthodes simplifiées de type capacité thermique

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: andrea.barbarulo@centralesupelec.fr

‡Auteur correspondant: hachmi.ben-dhia@centralesupelec.fr

équivalente, par exemple, et cherchent à obtenir l'évolution du champ thermique total. Tous ces modèles partent de l'hypothèse de couplage faible entre la mécanique et la thermique.

Pour rendre compte efficacement de la localisation évolutive des phénomènes, la première difficulté numérique à traiter est celle de l'évolution du maillage. En effet à cause d'un aspect multi-échelle évolutif du procédé, nous devons être capable de simuler la génération de couches de quelques dizaines de micro-mètres d'épaisseur pour créer des pièces de plusieurs dizaines de centimètres d'envergure. Ainsi des milliers de couches sont nécessaires, et la simulation monolithique de l'historique thermique à l'échelle de la couche avec itération de conception est totalement impossible avec les moyens numériques actuels d'un point de vue temps de calcul ingénieur. Une seconde difficulté vient des gradients thermiques qui apparaissent sous le laser et qu'il faut correctement capter. Par ailleurs, le laser se déplaçant à des vitesses très élevées, des méthodes permettant des remaillages flexibles deviennent indispensables. De plus la non-linéarité du phénomène de changement de phase, situé dans le sillage du laser, est elle aussi très localisée et renforce le besoin d'un raffinement local ciblé.

Utilisant le cadre de modélisation Arlequin, avec un aspect patchs multi-niveaux et évolutifs, nous développons une stratégie de modélisation multi-échelle et additive, adaptée à la problématique thermique avec changement de phases, du procédé SLMP, permettant de réduire significativement les coûts de calcul et ouvrant la possibilité d'introduire des méthodes de réduction de modèle aux différentes échelles.

- Meier, Penny, Zou, Gibbs, Hart, Thermophysical Phenomena in Metal Additive Manufacturing by Selective Laser Melting: Fundamentals, Modeling, Simulation and Experimentation, 2017.

- Dai, Shaw, Thermal and mechanical finite element modeling of laser forming from metal and ceramic powders, Acta Materialia, vol. 52, no. 1, pp. 69-80, 2004.

**Mots-Clés:** Fabrication Additive, Selective Laser Melting Process, Multi, échelle, Thermique, Changement de phase, Cadre Arlequin