

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

M. Reda LAKRAIMI

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

Spécialité : Génie Mécanique

Le Samedi 21 Juin 2025 à 10h30 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

Contribution to the Thermomechanical Modeling of Selective Laser Sintering: Numerical Approaches using DEM and FEM

Président :

Pr. Mohamed SALLAOU, PES, ENSAM, Université Moulay Ismail, Meknès

Directeur de thèse :

Pr. Mourad TAHA JANAN, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Co-Directeur de thèse :

Pr. Hamid ABOUCHADI, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Mohammed RADOUANI, PES, ENSAM, Université Moulay Ismail, Meknès

Pr. Khalid ZARBANE, PES, EST, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Mohammed AIT EL FQIH, PES, ENSAM, Université Hassan II, Casablanca

Examineur :

Pr. Mohammed Zeriab ES-SADEK, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Résumé: Face à l'évolution rapide des technologies et aux défis de compétitivité, la fabrication additive (FA) est devenue un pilier de l'innovation industrielle, permettant de produire des pièces complexes avec une grande liberté de conception. Le frittage sélectif par laser (SLS) constitue l'un des procédés de FA les plus prometteurs, mais il reste confronté à des défis liés à l'optimisation des paramètres de procédé et à la maîtrise des phénomènes thermomécaniques. La présente thèse se concentre sur le développement de modèles avancés pour améliorer la compréhension du SLS, en mettant l'accent sur le Polyamide 12 (PA12). Elle présente plusieurs contributions significatives à travers l'utilisation de la Méthode des Éléments Discrets (DEM) et de l'analyse par éléments finis (FEA) avec ABAQUS. Un cadre de modélisation DEM spécifique à la FA a été conçu, offrant une nouvelle approche pour simuler les interactions complexes à l'échelle des particules dans les matériaux en poudre. Pour soutenir cette modélisation, un code Python personnalisé a été développé, permettant une simulation précise et flexible adaptée aux défis uniques de la FA. De plus, cette thèse introduit une méthode innovante d'activation et de désactivation des éléments dans ABAQUS, qui n'est pas naturellement dédié à la FA. Cette méthode permet de simuler de manière réaliste les cycles thermiques et les changements de phase propres au SLS, apportant une précision accrue dans la modélisation des effets thermomécaniques. Les simulations effectuées ont permis d'établir les distributions de température, les déformations et les contraintes résiduelles, des paramètres cruciaux pour la qualité et la fiabilité des pièces produites. Les résultats obtenus fournissent des recommandations claires pour l'optimisation des paramètres de procédé, permettant de minimiser les défauts courants tels que les déformations et d'améliorer la densité et l'intégrité mécanique des pièces. Ces contributions élargissent l'applicabilité de la FA dans l'industrie et renforcent la compréhension fondamentale des mécanismes qui influencent la performance du SLS.

Mots-clés: Balayage laser, code Python, fabrication additive (FA), frittage sélectif par laser (SLS), impression 3D, méthode des éléments discrets (DEM), méthode des éléments finis (FEM), modélisation thermomécanique, polyamide 12 (PA12), simulation ABAQUS, simulation numérique.

Abstract:

Amid the rapid evolution of technologies and increasing competitiveness, additive manufacturing (AM) has become a cornerstone of industrial innovation, enabling the production of complex parts with significant design freedom. Selective Laser Sintering (SLS) stands out as one of the most promising AM processes, but still faces challenges related to process parameter optimization and thermomechanical phenomena control. The present thesis focuses on the development of advanced models to enhance the understanding of the SLS process, with a particular emphasis on polyamide 12 (PA12). It presents several

significant contributions through the use of the Discrete Element Method (DEM) and Finite Element Analysis (FEA) with ABAQUS. A DEM modeling framework specifically designed for AM was developed, providing a novel approach to simulate complex particle-scale interactions in powder materials. To support this modeling, a custom Python code was created, offering a precise and flexible simulation tool tailored to the unique challenges of AM. Additionally, this thesis introduces an innovative element activation and deactivation method within ABAQUS, a software not inherently designed for AM. This method realistically simulates the thermal cycles and phase changes specific to the SLS process, enhancing the accuracy of thermomechanical modeling. The simulations enabled the determination of temperature distributions, deformations, and residual stresses, which are crucial parameters for the quality and reliability of produced parts. The results offer clear recommendations for optimizing process parameters, helping minimize common defects such as warping and improving parts' density and mechanical integrity. These contributions extend the applicability of AM in industry and strengthen the fundamental understanding of the mechanisms that influence SLS performance.

Keywords: 3D Printing, Additive Manufacturing (AM), ABAQUS Simulation, Discrete Element Method (DEM), Finite Element Method (FEM), Laser Scanning, Numerical Simulation, Polyamide 12 (PA12), Python Code, Selective Laser Sintering (SLS), Thermomechanical Modeling.