

Avis de Soutenance

Madame Zeinab DIAB

Génie Civil

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Application d'outils numériques à l'analyse probabiliste de la constructibilité et à l'optimisation du procédé d'impression 3D en béton

dirigés par Monsieur Duc Phi DO et Monsieur Sébastien REMOND

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : LaMé - Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé

Soutenance prévue le **vendredi 08 décembre 2023** à 10h00

Lieu : École polytechnique de l'université d'Orléans Site Vinci (Polytech Orléans), 8 Rue Léonard de Vinci, 45100
ORLÉANS

Salle : Amphi CABANNES

Composition du jury proposé

| | | |
|-------------------------|---|-----------------------|
| M. Duc Phi DO | Université d'Orléans | Directeur de thèse |
| Mme Catherine DAVY | Établissement Arts et Métiers Paristech, Ecole nationale supérieure d'arts et Métiers | Examinatrice |
| M. SIAVASH GHABEZLOO | Ecole des Ponts ParisTech, Laboratoire Navier | Rapporteur |
| M. Abdelhak KACI | CY Cergy Paris Université | Rapporteur |
| M. Sébastien REMOND | Université d'Orléans | Co-directeur de thèse |
| M. Dashnor HOXHA | Université d'Orléans | Co-directeur de thèse |

Mots-clés : Impression 3D en béton, Outils numériques, Quantification d'incertitude, Approche de fiabilité, Analyse structurelle, Optimisation de la conception

Résumé :

Au cours de la dernière décennie, le procédé d'impression 3D en béton a connu une expansion significative, ouvrant la voie à des applications potentielles tant dans le domaine académique qu'industriel. Cette technologie, basée sur l'empilement automatisé de couches de béton frais par un robot, présente les avantages d'une construction rapide, sans besoin de coffrage, avec moins de déchets matériels et surtout une plus grande liberté de géométrie par rapport aux méthodes de construction traditionnelles. Cependant, l'absence de coffrage engendre la nécessité d'analyser la performance structurelle à l'état frais du béton. Le matériau frais doit être suffisamment rigide pour supporter le poids des couches successives et éviter toute défaillance structurelle au cours de l'impression résultant de l'interaction de deux mécanismes: le flambement élastique et l'effondrement plastique. Toute maîtrise du comportement structurel à l'état frais exige une connaissance approfondie des propriétés du béton au jeune âge et de leur évolution au cours du procédé d'impression. Cette compréhension est étroitement liée à la géométrie de l'objet imprimé et aux divers paramètres du procédé, notamment la vitesse d'impression, les dimensions des couches et les conditions environnementales. Actuellement, aucune méthode expérimentale universelle ou procédure standard n'est disponible pour caractériser les propriétés mécaniques du béton imprimable à l'état frais. La difficulté réside non seulement de leur évolution rapide dans le temps, mais aussi de la nature hétérogène du matériau, générant une incertitude significative de ces propriétés qui influe sur la précision de la prédiction de la réponse structurelle lors d'impression. En particulier dans le cadre du projet européen Interreg CIRMAP, axé sur le développement d'une nouvelle méthodologie pour la conception de structures imprimées en 3D avec des mortiers à base de sables recyclés, les défis et les incertitudes associés à la caractérisation des propriétés mécaniques présentent une importance considérable. Outre l'incertitude liée au comportement du matériau, le procédé d'impression lui-même contribue à d'autres sources d'incertitude, telle que celle liée à la géométrie (dimensions de la section transversale des couches déposées et excentricité entre les couches), qui dépende de la stratégie et des paramètres choisis du procédé. En tant que partie du projet Cirmap, l'objectif principal de ce travail de thèse est de présenter et de vérifier l'applicabilité de l'approche probabiliste à l'analyse structurelle et à l'optimisation de la

conception des structures en béton pendant le procédé d'impression 3D, par le biais de la modélisation numérique. Une procédure complète est présentée, dont le but de prendre en compte l'effet de l'incertitude des propriétés mécaniques du béton imprimable et les imperfections géométriques dans les simulations de la constructibilité des structures par impression 3D. La méthode bien connue de l'inférence bayésienne est d'abord adoptée dans un premier temps pour quantifier l'incertitude des propriétés du béton à l'état frais utilisant les données d'essai de laboratoire. Par la suite, les analyses fiabilistes basées sur le métamodèle de Krigeage, permettent d'élucider le rôle important et la nécessité de la prise en compte ces incertitudes. Finalement, la combinaison de cette technique de méta-modélisation avec la méthode d'optimisation basée sur le calcul de quantile permet d'optimiser les paramètres du procédé (vitesse d'impression, largeur de couche déposée) en minimisant la quantité du béton et la durée d'impression 3D. L'applicabilité et l'efficacité de la procédure proposée sont démontrées sur les différentes géométries de l'objet imprimé et stratégies d'impression.