

# THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

**ECOLE DOCTORALE N° 602**

*Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes*

Spécialité : Génie Mécanique et Robotique

Par

**Ali EL HAGE**

**Potentiel de la Fabrication Additive Grande Dimension pour  
l'Optimisation Mécanique, Économique et Environnementale de  
Structures Immégrées en Béton**

Thèse présentée et soutenue à Saint-Nazaire, Nantes Université, le 16 Juin 2025

Unité de recherche : GeM- Institut de recherche en génie civil et mécanique-UMR CNRS 6183

LS2N - Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes – UMR CNRS 6004

## Rapporteurs :

<b>Hélène CHANAL</b>	Professeur des Universités, Clermont Auvergne INP
<b>Arnaud PERROT</b>	Professeur des Universités, Université de Bretagne Sud

## Composition du Jury :

<b>Président :</b>	(à préciser après la soutenance )
<b>Examinateurs :</b>	<b>Jean-François CARON</b> Professeur des Universités, École des Ponts ParisTech
<b>Directeur de thèse :</b>	<b>Nordine LEKLOU</b> Professeur des Universités, Nantes Université
	<b>Philippe POULLAIN</b> Maître de conférences, Nantes Université
	<b>Elodie PAQUET</b> Maître de conférences, Nantes Université

## Invités :

<b>Thibault NEU</b>	Responsable Technique Senior – SEGULA Technologies
<b>David GUYOMARC'H</b>	Directeur R&D – SEGULA Technologies

**Titre :** Potentiel de la Fabrication Additive Grande Dimension pour l'Optimisation Mécanique, Économique et Environnementale de Structures Immersionnées en Béton

**Mots clés :** Fabrication additive, chaîne numérique, fabrication robotisée

**Résumé:** La fabrication additive grande dimension avec du béton est une technologie prometteuse pour la construction de structures maritimes, notamment là où les méthodes traditionnelles rencontrent des limites liées à la complexité géométrique et à l'accessibilité.

Cette thèse étudie l'utilisation de l'impression 3D béton pour des applications offshore, en prenant la structure REMORA offshore comme étude de cas. L'objectif principal est d'évaluer la faisabilité mécanique et le potentiel pratique de la construction robotisée à grande échelle.

Une chaîne numérique a été développée pour relier la conception paramétrique, la simulation structurelle, le tranchage et la fabrication robotisée. Cette approche permet une coordination fluide entre la conception et la production, en adaptant la géométrie et les paramètres de procédé en fonction des performances structurelles.

Des modèles analytiques et numériques ont été élaborés pour simuler le comportement mécanique des éléments imprimés au cours du processus de fabrication. Ces modèles permettent d'identifier les risques de déformation ou de flambement, et d'orienter les décisions afin de garantir l'intégrité de la structure imprimée.

Les résultats obtenus suggèrent que l'impression 3D robotisée présente un fort potentiel pour la réalisation de composants précis et mécaniquement stables, adaptés aux environnements offshore. Des démonstrateurs à échelle réduite ont été réalisés pour tester et illustrer les méthodes proposées, constituant une première étape vers une construction automatisée et efficace dans le secteur maritime.

**Title:** Potential of Large-Scale Additive Manufacturing for the Mechanical, Economic, and Environmental Optimization of Submerged Concrete Structures

**Keywords:** Additive manufacturing, digital chain, robotic fabrication

**Abstract:** Large-scale additive manufacturing with concrete is a promising technology for building maritime structures, especially where traditional construction methods face challenges related to geometry. This thesis explores the use of 3D concrete printing for offshore applications, using the REMORA offshore structure as a case study. The main goal is to assess the mechanical feasibility and practical potential of robotic construction at a large scale. A digital workflow was developed to connect parametric design, structural simulation, slicing, and robotic fabrication. This approach allows smooth coordination between design and production, making it possible to adapt geometry and process parameters based on structural performance.

Analytical and numerical models were created to simulate the mechanical behavior of printed elements during the fabrication process. These models help identify risks such as deformation or buckling and guide decisions to ensure the integrity of the printed structure.

The results suggest that robotic 3D printing holds strong potential for producing precise and mechanically stable components suitable for offshore environments. Scaled demonstrators were developed to test and illustrate the proposed methods, providing a first step toward efficient and automated construction in the marine sector.