

# THESE DE DOCTORAT

**NANTES UNIVERSITE**

ECOLE DOCTORALE N° 602

SCIENCES DE L'INGENIERIE ET DES SYSTEMES

SPECIALITE : GENIE CIVIL

**imeng JI**

**« 3D printing of building materials - application to the construction of the structural walls of buildings »**

Thèse présentée et soutenue à Saint Nazaire, le 11/12/2024

Unité de recherche : UMR 6183, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM)

## **Rapporteurs avant soutenance :**

Sebastien REMOND, Professeur des Universités, Université d'Orléans

Arnaud PERROT, Professeur des Universités, Université de Bretagne Sud

## **Composition du Jury :**

Président :

Examineurs : Ammar YAHIA, Professeur des Universités, Université de Sherbrook, Canada

Abdelhak KACI, Maître de Conférences HDR, CY Cergy Paris Université

Elodie PAQUET, Maître de Conférences, Nantes Université

Zaïd RABENANTOANDEO, BATIPRINT3D

Dir. de thèse : Nordine ali LEKLOU, Professeur des Universités, Nantes Université

Co-dir. de thèse : Philippe POULLAIN, Maître de Conférences, Nantes Université

**Titre :** Impression 3D de matériaux de construction - application à la construction des murs structurels des bâtiments

**Mots clés :** Impression 3D de terre, classification des sols, limite d'élasticité, performance d'impression, propriétés mécaniques anisotropes, liant de terre

**Résumé :** L'impression 3D du béton est considérée depuis de nombreuses années comme une solution potentielle à la faible productivité du secteur de la construction. Néanmoins, l'impact environnemental induit par l'utilisation du ciment reste un problème persistant et incontournable. La terre étant l'un des matériaux de construction les plus anciens avec un impact environnemental relativement faible, l'objectif de cette thèse est d'explorer l'impression 3D utilisant la terre.

Pour faciliter la sélection ultérieure des matériaux en terre imprimables, une procédure de sélection systématique et progressive a été initialement étudiée. Ce processus est divisé en deux composantes principales : la sélection des matériaux de terre à des fins de construction et l'évaluation des performances d'impression des formulations de matériaux de terre imprimables.

Par la suite, une évaluation des sols d'origine plus locale a été réalisée afin d'obtenir davantage d'informations sur les terres adaptées à l'impression, ainsi que de vérifier et d'améliorer les résultats obtenus dans le cadre de la procédure de sélection.

En outre, il est essentiel de mettre l'accent sur l'aspect constructible en raison de l'absence de coffrage, des études expérimentales et analytiques ont été menées pour examiner l'impact des paramètres d'impression sur le flambage élastique et l'effondrement plastique, respectivement. En outre, l'anisotropie mécanique des composants en terre imprimés causée par le processus de dépôt a été calculée. La dernière étude s'est concentrée sur l'impact des liants pour améliorer l'imprimabilité et le durcissement rapide du matériau de terre.

**Title :** 3D printing of building materials - application to the construction of the structural walls of buildings

**Keywords :** 3D earth printing, soil grading, yield stress, printing performance, anisotropic mechanical properties, earth binder

**Abstract :** As a potential solution to the low productivity of the construction industry, concrete 3D printing has been examined for many years. Nevertheless, the environmental impact induced by the use of cement is still a persistent and inescapable issue. Considering earth is one of the oldest building materials with a relatively low environmental impact, the goal of this thesis is to explore 3D printing employing earth.

To facilitate the subsequent selection of printable earth materials, a systematic and progressive selection procedure was initially investigated. This process is divided into two primary components: the selection of earth materials for construction purposes and the printing performance evaluation of printable earth material formulations.

Following that, an assessment of more locally sourced soils was performed to obtain further information on earth suitable for printing, as well as verify and improve the achievement outlined in the selection procedure.

Moreover, it is essential to emphasize the buildability aspect due to the lack of formwork, hence experimental and analytical investigations to examine the impact of printing parameters on elastic buckling and plastic collapse were conducted, respectively. Furthermore, the mechanical anisotropy of printed earth components caused by the deposition process was figured out. The final investigation focused on the impact of binders to improve printability and enhance the fast hardening of the earth material.