

CY Cergy Paris Université

Ecole doctorale n°417 : Science et Ingénierie (SI)

Laboratoire Quartz

Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil

ECAM EPMI de Cergy Pontoise

Laboratoire de Recherche en Eco-Innovation Industrielle et
Energétique

Université de Nouakchott Al Aasriya

Faculté des Sciences et Techniques

Ecole Doctorale Sciences et Technologies

Unité de Recherche en Nouvelles Technologies de
l'Énergie et Systèmes Thermo-Fluides

THESE DE DOCTORAT EN COTUTELLE INTERNATIONALE

Présentée en vue de l'obtention du grade de

Docteur en Physique de CY Cergy Paris Université

Spécialité : Énergétique, Génie des Procédés

Et

Docteur en Physique de l'Université de Nouakchott Al Aasriya

Spécialité : Mécanique et Science des Matériaux

**Études expérimentales et numériques d'un habitat
bioclimatique et durable : cas de la valorisation du *Typha*
Australis en matériau de construction biosourcé**

Labouda BA

Soutenance prévue le 04 Décembre 2021 devant le jury de thèse composé de :

Ahmedou Mahmoud	Président du jury	Professeur à l'Université de Nouakchott Al Aasriya
Nahla Bouaziz	Rapporteur	Professeur à l'Université de Tunis El Menar
Jean Castaing-Lavignottes	Rapporteur	Professeur à l'Université de la Réunion
Laurent Arnaud	Examineur	Professeur à l'ENTPE de Lyon
Diouma Kobor	Examineur	Professeur à l'Université Assane Seck de Ziguenchor
Ikram DARCHERIF	Directrice de thèse	Professeur à ECAM EPMI-Directrice Générale ECAM EPMI de Cergy Pontoise
Mamoudou NDONGO	Co-Directeur de thèse	Professeur à l'Université de Nouakchott Al Aasriya
Cheikh Sidi Ethmane Kane	Encadrant de thèse	Maitre de conférence-HDR à l'Université de Nouakchott Al Aasriya

Résumé

L'objectif de cette thèse est de contribuer à la conception d'un habitat bioclimatique et durable en valorisant le *Typha Australis* comme matériau de construction. Ce matériau jouera le rôle d'un isolant thermique dans le bâtiment. Ce travail est divisé en deux principales parties :

Une première partie expérimentale qui consiste à concevoir et caractériser de nouveaux matériaux à base du *Typha Australis* en utilisant l'argile et /ou le ciment comme liant et d'étudier différents aspects qui influent sur leurs caractéristiques thermiques et mécaniques.

Une seconde partie de simulation numérique qui quant à elle s'accentuera sur l'évaluation de la performance énergétique de ce type de matériaux sur un bâtiment en utilisant TRNSYS qui est un logiciel de simulation thermique dynamique. En effet, l'un des objectifs spécifiques est d'allier le confort thermique de ce type de bâtiment et la réduction de la facture énergétique tout en préservant l'environnement.

D'une part, nous avons étudié les propriétés des matériaux (l'argile, le ciment et le *Typha Australis*) utilisés dans ce travail. Les deux premiers matériaux sont utilisés comme des liants et le dernier comme un granulats. Après cette étude, nous avons mis en place plusieurs formulations en utilisant dans un premier temps l'argile comme liant ensuite l'argile stabilisée avec 25% du ciment. Le *Typha Australis* a été rajouté par substitution au liant pour des pourcentages allant de 0 à 55% avec un pas de 15%. Une étude de l'influence de la longueur et la teneur des fibres sur les propriétés thermiques et mécaniques du matériau composite argileux renforcé par le *Typha Australis* a été effectuée. Les résultats montrent que l'augmentation de la teneur et de la longueur des fibres impactent significativement les propriétés thermiques et mécaniques. Cette étude a été précédée par une analyse hydrique qui comprend la détermination du coefficient d'absorption d'eau du *Typha Australis* qui a permis de montrer le caractère hydrophile du *Typha Australis* et la perte de masse en fonction du temps a également été déterminée. La stabilisation de l'argile avec 25% du ciment a donné des résultats prometteurs sur l'amélioration des caractéristiques thermiques et mécaniques des composites. Et d'autre part, Une simulation thermique dynamique par le logiciel TRNSYS a été effectuée. Les résultats montrent que l'utilisation de ce type de matériau comme paroi ou panneau isolant dans le bâtiment permet de réduire la consommation énergétique. Afin de trouver un meilleur compromis entre les propriétés thermiques et mécaniques, l'influence du rapport eau sur liant a été consciencieusement évaluée. Enfin, une modélisation analytique a été réalisée. Dans un premier temps la modélisation auto cohérente a été adoptée puis un modèle mathématique a été proposé et validé.

Mots clés : Argile, Bâtiment durable, Ciment, Matériau biosourcé, Propriétés mécaniques, Propriétés thermiques, Simulation numérique, Trnsys, *Typha Australis*.....

Abstract

This thesis seeks to contribute to the development and realization of a bioclimatic and sustainable habitat through the valorization of *Typha Australis* as a biosourced building material. This material will play the role of a thermal insulator in the building. To this end, the study is divided into two major parts: In the experimental part, we design and characterize new materials based on *Typha Australis* using clay and/or cement as a binder, then we subsequently study different aspects that influence the thermal and mechanical characteristics; In the numerical part, we evaluate the energetic performance of this type of materials on a building through TRNSYS, which is a dynamic thermal simulation software. The ultimate objective is to combine the thermal comfort and the reduction of the energy bill while preserving the environment.

First, we studied the characteristics of the raw materials which are clay, cement and *Typha Australis*. The first two are binders and the last is an aggregate. After this characterization, we adopt formulations using initially the clay as a binder, then the clay stabilized with 25% of cement as a binder. *Typha Australis* was added by substitution to the binder for different percentages ranging from 0 to 55% with a step of 15%. Then, we studied the influence of the length and the content of the fibers on the thermal and mechanical properties of the material of the clay composites reinforced by *Typha Australis*, and the results showed that the increase of the content and the length of the fibers impact significantly the thermal and mechanical properties. This study was preceded by a hydric analysis which included the determination of the water absorption coefficient of *Typha Australis* which showed the hydrophilic character of *Typha Australis*, and we evaluated the mass loss as a function of time. The stabilization of the clay with 25% of the cement gave promising results on the improvement of the thermal and mechanical characteristics of the composites. Then, we conducted a dynamic thermal simulation by TRNSYS which demonstrated the interest of using this type of material as wall or insulating panel in the building, by quantifying the energy savings. Finally, in order to find a better trade-off between the thermal and mechanical properties, we evaluated the influence of the E/L ratio and developed an analytical model. Primarily, self-consistent modeling was established and then a mathematical model was proposed and validated.

Keywords: Bio-Based Material, Clay, Cement, Mechanical Properties, Numerical Simulation, Sustainable Building, Thermal Properties, Trnsys, *Typha Australis*,