COLLEGE DOCTORAL PAYS DE LA LOIRE | SCIENCES DE L'INGENIERIE ET DES SYSTEMES

Nantes Université

# THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602
*Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes*
Spécialité : « *Génie Mécanique* »

Par

**« Melissa Said »**

## « Contribution to the localization of water content and modeling of the coupled hygromechanical behavior in composites with hydrophilic constituents: Case study of natural fiber reinforced composites

**Thèse présentée et soutenue à « Saint-Nazaire », le « date »**
**Unité de recherche : Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique – GeM (UMR CNRS 6183)**

### Rapporteurs avant soutenance :

Marco Gigliotti Professeur des Universités – Université de Pise
Joël Bréard Professeur des Universités – Université de Caen Normandie

### Composition du Jury :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Président : | Prénom Nom | Fonction et établissement d'exercice | *(à préciser après la soutenance)* |
| Examinateurs : | Pascal Casari | Professeur des Universités – Nantes Université | |
| | Antoine Gédéon | Professeur des Universités – Université La Sagesse | |
| | Marwa Abida | Maître de Conférence – Université de Lorraine | |
| Dir. de thèse : | Sylvain Fréour | Professeur des Universités – Nantes Université | |
| Co-dir. de thèse : | Georges Challita | Professeur des Universités – Université Libanaise | |
| Co-encandrante de thèse : | Amandine Célino | Maître de Conférence – Nantes Université | |

COLLEGE SCIENCES
DOCTORAL DE L'INGENIERIE
PAYS DE LA LOIRE ET DES SYSTEMES

Nantes Université

Titre : Contribution à la localisation de la teneur en eau et à la modélisation du comportement hygromécanique couplé de composites à constituants hydrophiles : Étude de cas de composites renforcés par des fibres naturelles

**Mots clés :** couplage hygromécanique, modélisation multi-échelle, diffusion de l'eau, composites

**Résumé :** La gestion du comportement hygro-élastique des composites à matrice polymère reste un défi, surtout lorsqu'ils sont exposés à des environnements humides. L'absorption d'humidité par les constituants hydrophiles provoque un gonflement des fibres, générant des contraintes internes multi-échelles qui menacent l'intégrité mécanique et la longévité du produit final.

Pour répondre à cette problématique, la thèse poursuit deux objectifs principaux. Le premier repose sur la validation d'un cadre numérique innovant développé à l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM). Ce cadre combine deux approches couplées pour analyser les phénomènes de couplage hygromécanique dans les composites à matrice polymère renforcée par des fibres hydrophobes. L'outil numérique multi-échelles intègre des modèles existants qui traitent de la variation des propriétés mécaniques locales et de l'évolution des paramètres de diffusion en fonction de la teneur en eau.

Le second objectif est d'étendre l'applicabilité du modèle aux composites hydrophiles, tels que le lin/époxy. Une nouvelle approche de modélisation est introduite, localisant les teneurs en eau dans les constituants hydrophiles en fonction de la teneur en eau macroscopique. Cette extension permettra une meilleure compréhension du comportement des composites dans des conditions environnementales sévères, optimisant ainsi leurs performances et leur durabilité.

**Title:** Contribution to the localization of water content and modeling of the coupled hygromechanical behavior in composites with hydrophilic constituents: Case study of natural fiber reinforced composites

**Keywords:** hygromechanical coupling, multi-scale modeling, moisture diffusion, composites

**Abstract:** The management of the hygro-elastic behavior of polymer matrix composites remains a challenge, especially when exposed to humid environments. The absorption of moisture by hydrophilic constituents causes fiber swelling, generating multi-scale internal stresses that threaten the mechanical integrity and longevity of the final product.

To address this issue, the thesis pursues two main objectives. The first focuses on validating an innovative numerical framework developed at the Institute of Civil and Mechanical Engineering Research (GeM). This framework combines two coupled approaches to analyze hygromechanical coupling phenomena in polymer matrix composites reinforced with hydrophobic fibers. The multi-scale numerical tool integrates existing models that address the variation of local mechanical properties and the evolution of diffusion parameters with water content.

The second objective aims to extend the model's applicability to hydrophilic composites such as flax/epoxy. A new modeling approach is introduced to locate water content within hydrophilic constituents based on macroscopic water content. This extension will enhance understanding of composite behavior under severe environmental conditions, optimizing their performance and durability.