

# THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ÉCOLE DOCTORALE N° 602  
*Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes*  
Spécialité : *Énergétique-Thermique-Combustion*

Par

**Mohammad Jawad BERRO**

**Recyclage par Reformage de Composites à Matrice Polyester**

Thèse présentée et soutenue à l'Icam Ouest, Site de Nantes, le 07/11/2025  
Unité de recherche : UMR\_C 6607 Laboratoire de Thermique et Énergie de Nantes

## Rapporteurs avant soutenance :

Olga Klinkova  
Jean-Luc Bouvard

Professeur des universités, Isae-Supméca  
Professeur des universités, Mines ParisTech

## Composition du Jury :

Président : *(à préciser après la soutenance)*

Examineur : Joël Bréard

Professeur des universités, Université de Caen Normandie

Dir. de thèse : Jean-Luc Bailleul

Co-dir. de thèse : Eric Le Gal La Salle

Co-encadrante : Juliana Preisner

Professeur des universités, Université de Nantes  
Enseignant chercheur, Icam Ouest Site de Nantes  
Enseignant chercheur, Icam Ouest Site de Nantes

## Invitée

Ghinwa El Hajj Sleiman

Enseignant chercheur, Icam Ouest Site de Nantes



**Titre :** Recyclage par Reformage de Composites à Matrice Polyester

**Mots clés :** Composite polyester/verre, recyclage, reformage, relaxation, tribologie

**Résumé :** L'utilisation excessive de composites génère des quantités importantes de déchets. Les protocoles de recyclage disponibles (mécaniques, thermiques et chimiques) sont donc remis en question en raison de leurs inconvénients. Dans le cadre du projet européen RECREATE, qui vise à améliorer l'économie circulaire des composites, ce travail présente une méthode de recyclage originale, le reformage du polyester renforcé de fibres de verre par laminage à chaud pour transformer la géométrie d'une pièce courbe en une pièce plate. Introduite dans la thèse de Nouigues en 2021, cette méthode a prouvé la faisabilité en se concentrant principalement sur les composites utilisés dans les éoliennes et les

coques de bateaux de plaisance. Le présent travail s'inscrit dans la continuité des travaux de Nouigues et présente une caractérisation thermomécanique complémentaire de la résine polyester et de son composite en fibre de verre. Il introduit une analyse du comportement viscoélastique du polyester et une modélisation numérique de sa réponse à l'aide d'un modèle mathématique original. Il présente une étude du comportement tribologique du polyester à l'aide d'un nouveau banc d'essai permettant d'évaluer son coefficient de frottement sous friction glissante contre l'acier. Enfin, les connaissances acquises sont mises à profit pour fabriquer un prototype préindustriel de la machine de recyclage.

**Title :** Recycling by Reforming of Composites Made With a Polyester Matrix

**Keywords :** Polyester/glass composite, recycling, reforming, relaxation, tribology

**Abstract :** The excessive use of composites generates significant amounts of waste. The available recycling protocols (mechanical, thermal and chemical) are therefore being called into question due to their drawbacks. As part of the European RECREATE project, which aims to improve the circular economy of composites, this work presents an original recycling method: the reforming of glass fiber-reinforced polyester by hot rolling to transform the geometry of a curved part into a flat part. Introduced in Nouigues' thesis in 2021, this method has proven its feasibility by focusing mainly on composites used in wind turbines and pleasure boat hulls. The present work is a continuation of Nouigues' work and presents a

complementary thermomechanical characterization of polyester resin and its fiberglass composite. It introduces an analysis of the viscoelastic behavior of polyester and a numerical modelling of its response using an original mathematical model. It presents a study of the tribological behavior of polyester using a new test bench to evaluate its coefficient of friction under sliding friction against steel. Finally, the knowledge acquired is used to manufacture a pre-industrial prototype of the recycling machine.

