

# THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

*Sciences pour l'Ingénieur*

Spécialité : Génie Mécanique

Par

**Anna Maria EL BAYSSARI**

**Etude de l'état des contraintes et des déformations résiduelles dans les composites à matrices thermoplastiques fabriqués par dépose de bandes**

Thèse présentée et soutenue à Saint-Nazaire le 07/09/2022

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

## **Rapporteurs avant soutenance :**

Philippe Olivier : Professeur des Universités, Université Paul Sabatier Toulouse III  
Gilles Regnier : Professeur des Universités, ENSAM Paris

## **Composition du Jury :**

	Prénom Nom	Fonction et établissement d'exercice (8)
Président :	Christian Hochard	Professeur des Universités, Aix Marseille université
Examineurs :	Christophe Bois	Maître de conférences HDR, Université de Bordeaux
	Mael Péron	Maître de conférences, Nantes Université
Dir. de thèse :	Frédéric Jacquemin	Professeur des Universités, Nantes Université
Co-dir. de thèse :	Federica Daghia	Maître de conférences HDR, ENS Paris-Saclay
Co-encadrante :	Anais Barasinski	Maître de conférences HDR, Université de Pau et Pays de l'Adour

---

**Titre :** Etude de l'état des contraintes et des déformations résiduelles dans les composites à matrices thermoplastiques fabriquées par dépose de bandes

**Mots clés :** matériaux composites, contraintes résiduelles, dépose de bande, caractérisations expérimentales, simulations numériques, analyses multi-échelles

**Résumé :** Les procédés de fabrication des structures à base de matériaux composites tels que la dépose de bande et l'enroulement filamentaire sont inévitablement accompagnés par la formation de contraintes et déformations résiduelles. Les conditions du procédé et la présence de ces contraintes influent directement le comportement de la structure finale.

Deux campagnes expérimentales ont été menées. La première visait le comportement du matériau après le procédé et l'influence de la température du mandrin sur ce comportement. Dans ce but, différents essais de caractérisation mécanique et physico-chimique ont été menés sur des stratifiés obtenus avec un mandrin froid et un autre mandrin chauffé. La deuxième campagne expérimentale était dédiée à la mesure des courbures de différents échantillons. Ensuite, une méthodologie a été

présentée pour simuler la formation des contraintes et des déformations résiduelles lors du procédé. Un premier volet numérique a permis d'obtenir l'histoire thermique que subit le matériau durant le procédé et l'éventuelle variation de sa cristallisation. Les résultats des modèles thermiques et de cristallisation servaient comme données d'entrées au modèle de calcul des contraintes et déformations résiduelles lors du procédé. Les résultats de ce modèle montraient l'occurrence d'un moment de flexion suite aux gradients de contraintes conduisant à une courbure lors du démoulage. Ce modèle a été validé en comparant les courbures obtenues numériquement à celles expérimentales. Une fois le modèle validé, une étude de sensibilité est menée pour déterminer les facteurs du premier ordre influençant la formation des contraintes résiduelles.

---

**Title :** Study and comprehension of the residual stresses and strains state in thermoplastic composite materials manufactured by tape placement

**Keywords :** composite materials, residual stresses, tape placement, experimental characterizations, numerical simulations, multi-scale analyzes

**Abstract:** The manufacturing processes of composite materials structures such as tape placement and filament winding are inevitably accompanied by the formation of residual stresses and strains. The process conditions and the presence of these stresses directly influence the behavior of the final structure.

Two experimental campaigns were carried out. The first aimed to understand the behavior of the material after the process and the influence of the mandrel temperature on this behavior. For this purpose, various mechanical and physical characterization tests were carried out on laminates processes with a cold and a heated mandrels. The second experimental campaign focused on measuring the curvatures of different samples. Then, a methodology was presented

In order to simulate the formation of residual stresses and strains during the process. First, the thermal history was obtained in addition to the variation of crystallinity during the process. The results of the thermal and crystallization models served as input data to simulate the residual stresses and strains during the process. The results of this model showed the occurrence of a bending moment as a result of stress gradients leading to curvature during demoulding. This model was validated by comparing the curvatures obtained numerically with the experimental ones. Once the model was validated, a sensitivity study was carried out to determine the first-order factors influencing the formation residual stresses.