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

Nantes Université

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

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

Par
Adrien LE REUN

Etude thermo-mécanique multi-échelle de la consolidation de composites à matrice thermoplastique

Thèse présentée et soutenue à Nantes Université, le 04 décembre 2026
Unité de recherche : Laboratoire de thermique et énergie de Nantes (Lten), UMR 6607

Rapporteurs avant soutenance :

Valérie Nassiet	Professeure, LGP, Université de Technologie de Tarbes
Olivier De Almeida	Maître-assistant, ICA, IMT Mines Albi, Université de Toulouse

Composition du Jury :

Examinateurs :	Monica Pucci	Professeure, LMGC, IMT Mines Alès
	Laurent Orgéas	Directeur de recherche CNRS, 3SR, Université Grenoble Alpes
Dir. de thèse :	Steven Le Corre	Professeur, Lten, Nantes Université
Co-dir. de thèse :	Vincent Sobotka	Professeur, Lten, Nantes Université
Co-en. de thèse :	Arthur Lévy	Maître de conférences, Lten, Nantes Université

Invité

Henri-Alexandre Cayzac	Docteur-Ingénieur de recherche, Arkema

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

Nantes Université

Titre : Etude thermo-mécanique multi-échelle de la consolidation de composites à matrice thermoplastique

Mots clés : Composite, thermoplastique, porosité, tomographie à rayons X

Résumé : La mise en œuvre des composites haute performance à fibres de carbone continues repose sur l'enchaînement de plusieurs cycles thermo-mécaniques qui consistent à chauffer le matériau sous contrainte mécanique. L'objectif est d'atteindre en fin de processus un niveau de consolidation maximal, caractérisé notamment par un faible taux de porosité. Le coût financier et énergétique actuel de ces procédés limite leur développement industriel. Cette thèse s'intéresse donc à étudier la phénoménologie de la consolidation afin de mieux comprendre les mécanismes mis en œuvre pour optimiser les procédés. Ces travaux s'appuient sur deux dispositifs expérimentaux développés pour l'observation *in situ* du comportement du matériau : OVICAM et inCO2TO. Le banc d'essai OVICAM a permis de mettre en évidence une déformation macroscopique reliée à une hétérogénéité de propriétés microstructurelles. Le dispositif inCO2TO a été développé pour l'observation *in situ* des porosités par micro-tomographie à rayons X lors de cycles de consolidation. Ces essais ont montré l'intérêt des mesures *in situ* vis-à-vis de caractérisations post-process notamment par l'observation de phénomènes transitoires préjudiciables à la consolidation tels que la décompaction. Les résultats démontrent le caractère primordial de l'étape de pré-imprégnation et des conditions de mise en oeuvre sur la phase de consolidation. Ces deux dispositifs expérimentaux ont permis une description phénoménologique macroscopique et microscopique de la consolidation qui ouvre la voie à une modélisation plus fine, notamment des mécanismes d'évolution des porosités.

Title: Multi-scale thermo-mechanical study of the consolidation of thermoplastic composites

Keywords: Composite, thermoplastic, porosity, X-ray tomography

Abstract: Processing of high performance continuous carbon fibre composites is based on the sequence of thermo-mechanical cycles consisting of heating the material under mechanical constrain. The goal is to reach at the end of the process an excellent level of consolidation, especially given by a low void content. The current financial and energetic cost of these processes limits their industrial development. This thesis is thus interested in studying the phenomena involved in the consolidation in order to better understand the mechanisms to optimize the processes. This work relies on two experimental benches designed for the *in situ* observation of the material behaviour: OVICAM and inCO2TO. The bench OVICAM enabled to observe a macroscopical deformation linked to a hetereogeneity of microstructural properties. The bench inCO2TO has been developed for the *in situ* observation of porosities by micro-XCT during consolidation cycles. These tests showed the benefit of *in situ* measure regarding post-process characterizations especially by the observation of transitory phenomena that are detrimental to the consolidation such as the decompaction. The results demonstrate the importance of the pre-impregnation stage and processing conditions on the consolidation. These two benches enabled a macroscopical and microscopical phenomenological description of consolidation which opens the way to a finer modeling, especially of the evolution mechanisms of porosities.