

Avis de Soutenance

Monsieur Zakariae EL-ALAMI

Génie Mécanique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Simulation à l'échelle mésoscopique de l'apparition de défauts de mise en forme de renforts tissés

Travaux dirigés par Monsieur Gilles HIVET

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : LaMé - Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé

Soutenance prévue le **vendredi 19 juin 2026** à 9h00

Lieu : Laboratoire de Mécanique, site de Chartres, Campus Eure-et-Loir, 21 Rue de Loigny la Bataille, 28000 Chartres

Salle : Amphithéâtre

Composition du jury proposé

M. Gilles HIVET	Professeur des universités	Université d'Orléans	Directeur de thèse
Mme Emmanuelle VIDAL-SALLÉ	Professeure des universités	LaMCoS - INSA Lyon	Rapporteuse
M. Emmanuel DE LUYCKER	Maître de conférences	Université de Technologie Tarbes Occitanie Pyrénées - UTTOP	Rapporteur
M. Laurent GUILLAUMAT	Professeur des universités	Campus Arts et Métiers d'Angers	Examineur
M. Samir ALLAOUI	Professeur des universités	Université de Reims Champagne-Ardenne	Examineur
M. Alain GASSER	Professeur des universités	Université d'Orléans	Examineur
Mme Audrey HIVET	Maîtresse de conférences	Université d'Orléans	Co-encadrante de thèse

Mots-clés : Mise en forme, boucles, TEXTILES, Simulation, défauts mésoscopiques, glissement

Résumé :

La fabrication de pièces en matériaux composites présentant des formes complexes constitue un enjeu majeur pour les secteurs du transport comme ceux, de l'automobile, des constructions navales et de l'aéronautique. La complexité géométrique recherchée peut engendrer des défauts sur les pièces lors des procédés actuels de mise en forme. Avec l'automatisation croissante de ces procédés, il devient indispensable de prévenir l'apparition de ces défauts afin de réduire le nombre de pièces non conformes, de limiter les pertes et d'optimiser la rentabilité industrielle. Cette étude porte sur les matériaux composites à renforts fibreux, en particulier les renforts tissés secs, c'est-à-dire avant l'injection de résine. La mise en forme de ces matériaux a révélé expérimentalement l'apparition de défauts à la fois à l'échelle macroscopique et à l'échelle mésoscopique. Si la phénoménologie des défauts macroscopiques est aujourd'hui relativement bien comprise, les défauts mésoscopiques restent encore peu étudiés. Plusieurs mécanismes, mis en évidence expérimentalement, sont supposés être à l'origine de l'apparition de ces défauts, mais ils doivent encore être confirmés, approfondis ou complétés par d'autres mécanismes. Dans ce contexte, ce travail se concentre sur l'étude de l'apparition des défauts de boucles et de leur couplage avec un autre défaut mésoscopique, le glissement. Cette analyse est réalisée à l'aide d'un modèle par éléments finis développé sous ABAQUS/EXPLICIT, permettant de simuler le comportement des renforts tissés dans le cadre d'un essai expérimental de type Pull-out, conçu pour faire apparaître ces défauts expérimentalement. Une stratégie numérique de développement et de validation de ce modèle est présentée dans ce travail. Une étude paramétrique est ensuite menée à l'aide de ce modèle afin de comprendre l'influence de certains paramètres matériaux et procédés sur l'apparition

des défauts mésoscopiques. Cette étude paramétrique permet également d'identifier, parmi les paramètres étudiés, les plus prédominants, en vue de leur intégration dans des critères prédictifs de l'apparition des défauts mésoscopiques lors de la mise en forme des matériaux composites à renforts fibreux. L'élaboration de tels critères constitue une étape clé vers le développement d'un futur modèle numérique prédictif capable d'anticiper et de prévenir ces défauts. Le présent travail s'inscrit ainsi comme une contribution intermédiaire à cet objectif. L'aboutissement de ce modèle nécessitera toutefois des avancées dans la description précise de la géométrie, la compréhension du comportement multi-échelles des renforts fibreux, ainsi que l'analyse de leurs interactions avec les outillages de mise en forme. Ces problématiques font actuellement l'objet de recherches actives au sein de la communauté scientifique. Ainsi, cette étude contribue à l'intégration future de critères d'apparition des défauts dans des outils numériques de prédiction de la mise en forme, tout en participant à un effort collectif visant à améliorer la maîtrise des procédés de fabrication des composites à géométrie complexe.

Summary:

The manufacturing of composite parts with complex geometries represents a major challenge for transportation industries, including automotive, shipbuilding, and aerospace. Such geometric complexity often leads to defects during current forming processes. As these processes become increasingly automated, it is crucial to anticipate and prevent these defects in order to reduce the production of non-conforming parts, minimize material waste, and improve overall industrial efficiency. This study focuses on fiber-reinforced composites, and more specifically on dry woven reinforcements, i.e., prior to resin injection. Experimental observations have shown that forming these materials can generate defects at both the macroscopic and mesoscopic scales. While macroscopic defects are now relatively well understood, mesoscopic defects remain less explored. Several mechanisms have been experimentally identified as potential causes of these defects, but they still require further validation, deeper analysis, and possibly the identification of additional contributing factors. Within this framework, the present work investigates the formation of buckle defects and their interaction with another mesoscopic defect, namely yarn sliding. This analysis relies on a finite element model developed in ABAQUS/EXPLICIT, which simulates the behavior of woven reinforcements under a Pull-out test specifically designed to reproduce these defects experimentally. A numerical strategy for developing and validating the model is presented in this study. The model is then used to carry out a parametric study aimed at assessing the influence of various material and process parameters on the occurrence of mesoscopic defects. This study also highlights the most influential parameters, with the objective of incorporating them into predictive criteria for defect initiation during forming processes. The development of such criteria is a crucial step toward building a predictive numerical model capable of anticipating and preventing defect formation. This work therefore represents an intermediate contribution toward that goal. Achieving this model will require further advances in the accurate description of geometry, a better understanding of the multiscale behavior of fiber reinforcements, and a detailed analysis of their interactions with forming tools. These challenges are currently the focus of active research within the scientific community. Ultimately, this study contributes to the integration of defect prediction criteria into numerical forming simulations, as part of a broader effort to enhance control over the manufacturing of complex composite structures.