

Titre : Couplage hydro-mécanique dans un renfort fibreux à double échelle de porosité : des caractérisation et modélisation mésoscopiques à la simulation du procédé d'infusion de résine liquide

Mots clés : Procédé d'infusion, Microstructure, Double-échelle de porosité, Expérimental, Modélisation

Résumé : L'un des objectifs de l'industrie éolienne est de produire de grandes pièces de structure à moindre coût. Dans ce contexte, la fabrication de pièces composites à partir de renforts quasi-unidirectionnels (quasi-UD NCF) avec le procédé d'infusion est compétitive tant sur le plan mécanique que financier.

Le procédé d'infusion engendre un phénomène de décompaction dû à la flexibilité de la bâche à vide. De plus les NCF présentent un écoulement à double échelle pendant leur imprégnation. La modélisation des deux phénomènes est souvent réalisée en supposant que la préforme fibreuse est un milieu continu à perméabilité variable. Néanmoins, la perméabilité est influencée par la répartition et la taille des mésopores, qui dépendent de l'état de compaction. Le but de cette thèse est de caractériser expérimentalement l'évolution d'un quasi-UD lors de l'infusion et d'évaluer l'impact de la réorganisation microstructurale sur des quantités macroscopiques

d'intérêt, tels que la perméabilité et le temps de remplissage des pièces.

Des infusions ont été réalisées à l'intérieur d'un tomographe pour capter l'évolution d'une même microstructure avant et après infusion. Un modèle simplifié a été proposé pour prédire la perméabilité dans le plan et ainsi évaluer l'influence de la réorganisation microstructurale sur celle-ci. De plus, un outil numérique a été développé pour prendre en compte un écoulement double échelle dans un milieu fibreux déformable bidisperse. L'impact de la décompaction sur le temps de remplissage des pièces a été établi. Une étude mécanique expérimentale du comportement de la mèche tout au long de l'infusion a également été réalisée afin de mieux comprendre le comportement du quasi-UD. Un modèle hyperélastique a finalement été proposé pour prédire le comportement mécanique 3D des mèches pendant la phase de chargement à sec, avant l'infusion.

Title: Hydro-mechanical coupling in a deformable dual-scale fibrous reinforcement:

from mesoscale characterization and modeling to liquid resin infusion process simulation

Keywords: Infusion process, Microstructure, Dual-scale porosity, Experimental, Modelling

Abstract: A current aim of wind turbine industries is to produce large structural parts at reduced costs. In this context, manufacture composite blades made of quasi-unidirectional non-crimp fabrics (quasi-UD NCF) using the infusion process is competitive on both mechanical and cost aspects.

The infusion process involves an unloading phenomenon due to the vacuum bag flexibility. Additionally, during the impregnation, NCFs exhibit a dual-scale flow. Usual modeling of both phenomena assumes that the fibrous preform is a continuous medium with a varying permeability. Nonetheless, the permeability is affected by the meso-pores size and spatial distribution, which depend on the compaction state.

The goal of this thesis is thus to characterize experimentally the flow-induced microstructural evolution of a quasi-UD NCF during the infusion process, and to quantify the impact of this microstructural reorganization on relevant

macroscopic parameters, such as modelled in-plane permeability as well as computed filling time of parts.

In situ infusion process has been conducted inside X-ray Computed Tomography device to capture a dual-scale fibrous microstructure prior and after the infusion process. Additionally, a simplified model has been proposed to predict the in-plane permeability and thus to evaluate the influence of the microstructural reorganization on it. Then, a numerical tool has been developed to account for dual-scale flow in a bidisperse deformable fibrous media. The impact of the dual-scale unloading on the macroscopic filling time of parts has been established. A mechanical investigation of the tow behavior during the infusion process has been additionally carried out experimentally to better understand the quasi-UD NCF behavior. From these results, a hyperelastic model has been proposed to predict the 3D mechanical behavior of tows during the dry loading phase, prior to the infusion process.