



**HAL**  
open science

## **Caractérisation des matériaux pour RTM chargé dans des préformes fibreuses 3D**

Léonie Marchand, Sebastien Comas-Cardona, Christophe Binetruy, Alexandre Hautefeuille

► **To cite this version:**

Léonie Marchand, Sebastien Comas-Cardona, Christophe Binetruy, Alexandre Hautefeuille. Caractérisation des matériaux pour RTM chargé dans des préformes fibreuses 3D. Journées Nationales sur les Composites 2025, LMPS, Jun 2025, Gif-sur-Yvette, France. <hal-05360085>

**HAL Id: hal-05360085**

**<https://hal.science/hal-05360085v1>**

Submitted on 12 Nov 2025

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

## Caractérisation des matériaux pour RTM chargé dans des préformes fibreuses 3D

### *Material characterization for particle-filled RTM in 3D fibrous preforms*

L. MARCHAND<sup>1,2</sup>, S. COMAS-CARDONA<sup>1</sup>, C. BINETRUY<sup>1</sup> et A. HAUTEFEUILLE<sup>2</sup>

1 : Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR CNRS 6183  
Nantes Université, Centrale Nantes  
1 rue de la Noë, Nantes, 44321, France  
e-mail : leonie.marchand@ec-nantes.fr, sebastien.comas@ec-nantes.fr et christophe.binetruy@ec-nantes.fr

2 : ArianeGroup SAS  
Les Cinq Chemins, 5 Rue de Touban, 33185, Le Haillan, France  
e-mail : alexandre.hautefeuille@ariane.group

### Résumé

Appliqués dans le cas de charges thermomécaniques importantes, les matériaux composites de cette étude sont mis en œuvre par moulage par transfert de résine à partir d'un renfort fibreux 3D et de résine thermodurcissable chargée de particules.

Le défi consiste à contrôler ce procédé par la construction d'un modèle couplant l'écoulement en milieu poreux, la filtration des charges et l'évolution des propriétés matériaux due à la filtration des charges. Un tel modèle nécessite des propriétés matériaux liées à la rhéologie de la résine chargée de particules et à la perméabilité de la préforme fibreuse comme données d'entrée.

Des méthodes expérimentales ont été utilisées pour caractériser les matériaux de l'étude en prenant en compte l'architecture de la préforme fibreuse. Une première phase a consisté à caractériser le fluide chargé par essais rhéologiques et à déterminer la microstructure de la préforme par micro-tomographie. En second temps, une nouvelle méthode non-destructive a été développée afin de mesurer la perméabilité tridimensionnelle du renfort fibreux à l'aide d'un banc à écoulement d'air.

Les résultats de ce travail de caractérisation permettront d'alimenter le modèle couplé écoulement-filtration.

### Abstract

In the case of severe thermo-mechanical loads, the composite materials of this study are manufactured through Resin Transfer Molding process in which a particle-filled thermosetting resin is injected into a 3D fibrous preform.

The challenge is to control the process by building a model that couples flow in porous media, particle filtration, and material properties' evolution induced by the filtration phenomenon. Such a model requires material properties related to particle-filled resin rheology and fibrous preform permeability as inputs.

Experimental methods were used in order to characterize the materials of the study taking into account the fibrous preform architecture. An initial phase consisted in characterizing the particle-filled fluid with experimental tests and determining the preform microstructure with micro-tomography. In a second phase, a new non-destructive method was developed to measure the three-dimensional permeability of the fibrous reinforcement using an air-flow bench.

The material data generated from the characterization will further be implemented in the coupled flow-filtration model.

**Mots Clés :** renfort 3D, propriétés physiques, microstructure, filtration, rétention

**Keywords :** 3D reinforcement, physical properties, microstructure, filtration, retention

## 1. Introduction

Pour faire face à des charges thermomécaniques importantes, les matériaux composites constitués d'architectures fibreuses 3D sont souvent de bons candidats. Les composites 3D de cette étude sont mis en œuvre par moulage par transfert de résine (RTM) au cours duquel une résine thermodurcissable est injectée au travers d'une préforme fibreuse 3D (Fig. 1). Les composites 3D sont ensuite mis en œuvre de deux manières : (i) en ajoutant des charges à la résine et (ii) en contrôlant le taux de charges dans la préforme fibreuse. Par conséquent, le défi consiste à contrôler ce procédé, qui implique l'écoulement d'une résine chargée de particules à travers une préforme fibreuse tridimensionnelle.

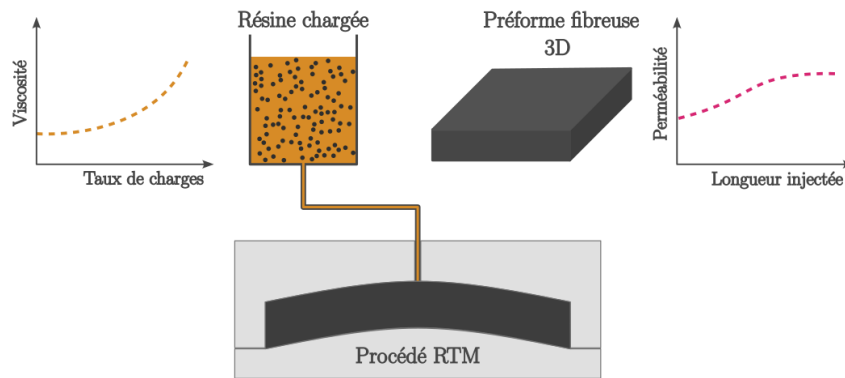


Fig. 1. Schéma du procédé étudié et des évolutions de propriétés des constituants

Afin de contrôler le taux de charges durant l'injection, il est nécessaire de construire un modèle (Fig. 2) couplant l'écoulement en milieu poreux, la filtration des charges et l'évolution des propriétés matériaux (e.g., la viscosité et la perméabilité) induite par le phénomène de filtration [1], [2], [3], [4]. Un tel modèle nécessite des propriétés matériaux liées à la rhéologie de la résine chargée de particules et à la perméabilité de la préforme fibreuse comme données d'entrée.

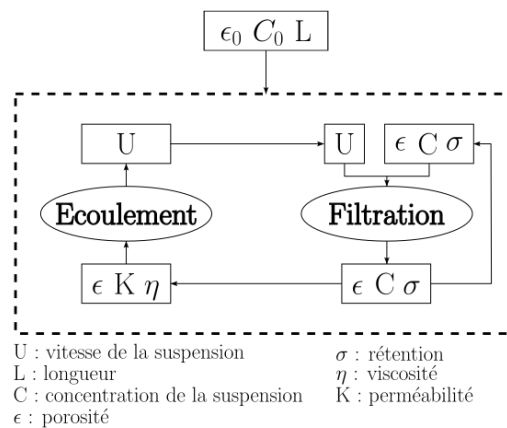


Fig. 2. Couplage entre écoulement et filtration pour l'injection de résine chargée dans un renfort fibreux [4]

La littérature montre que la viscosité de la résine augmente avec le taux de charges. Du fait de l'addition de charges, le fluide chargé de particules peut présenter des comportements différents de ceux du fluide pur [1], [4]. De précédentes études ont développé différentes méthodes expérimentales pour la mesure de la perméabilité de renforts fibreux. Ces méthodes sont souvent destructives et appliquées à des renforts 2D [5].

Ces travaux visent élargir la compréhension du comportement de l'écoulement et de l'architecture des géométries tridimensionnelles du réseau fibreux au cours du procédé. Des méthodes expérimentales ont été utilisées pour caractériser les matériaux de l'étude en prenant en compte l'architecture de la préforme fibreuse.

## 2. Méthode

Une phase initiale des travaux a consisté à caractériser le fluide chargé et à déterminer la microstructure de la préforme. La rhéologie de la résine chargée a été analysée afin de déterminer l'influence du taux de charges sur la viscosité. Puis, des essais de micro-tomographie ont été réalisés pour analyser l'architecture de la préforme fibreuse 3D, illustrée en Fig. 3.

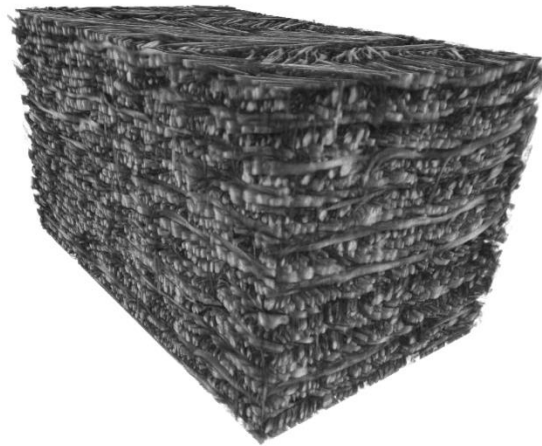


Fig. 3. Micro-tomographie de la préforme fibreuse 3D

Dans un second temps, une méthode non-destructive originale a été développée afin de mesurer la perméabilité tridimensionnelle du renfort fibreux à l'aide d'un banc à écoulement d'air transitoire. Afin de contrecarrer les effets de bords (étanchéité entre la préforme et le moule), un volume est volontairement laissé libre et pris en compte par la suite de l'exploitation des résultats. Ceci génère un écoulement d'air complexe qui permet de mettre en évidence les différents termes du tenseur de

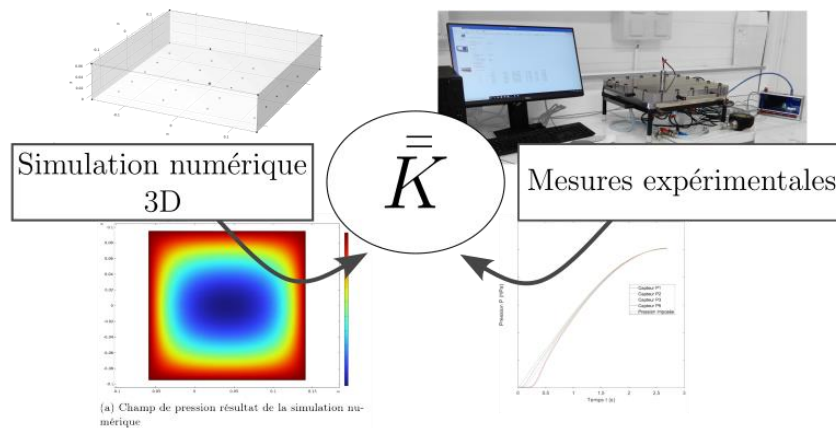


Fig. 4. Principe de la méthode de mesure de perméabilité 3D des préformes fibreuses

perméabilité du textile. Par méthode inverse, le tenseur de perméabilité 3D de la préforme est déterminé à partir des résultats expérimentaux et de simulations numériques.

### 3. Conclusion

Ces travaux proposent une méthode originale de caractérisation de la perméabilité de textiles 3D très épais par écoulement 3D transitoire d'air qui s'affranchie des difficultés d'étanchéité entre la préforme et les bords de moule. Les propriétés rhéologiques et de perméabilité issues de la caractérisation seront ensuite intégrées à un modèle couplé écoulement-filtration simulant l'injection de résine chargée au sein du textile 3D.

### Remerciements

Cette étude est conduite dans le cadre d'une thèse CIFRE ArianeGroup en collaboration avec l'institut GeM (Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique). Cette recherche est soutenue financièrement par le Ministère des Armées - Agence de l'innovation de défense.

### Références

- [1] S. P. Fernberg, E. J. Sandlund, et T. S. Lundstrom, « Mechanisms Controlling Particle Distribution in Infusion Molded Composites », *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 25, n° 1, p. 59-70, 2006, doi: 10.1177/0731684406055455.
- [2] N. A. A. Siddig, « Experimental and numerical modeling of the impregnation of fibrous media by suspensions in LCM processes », PhD thesis, Université Le Havre Normandie, 2021.
- [3] H. A. Barnes, J. F. Hutton, et K. Walters, *An Introduction to Rheology*. Elsevier, 1989.
- [4] D. Lefèvre, « Étude expérimentale, modélisation et simulation de la filtration lors de l'écoulement d'une résine chargée de particules à travers un renfort fibreux dans les technologies LCM », PhD thesis, Ecole des Mines de Douai, 2007.
- [5] Y. Hou, S. Comas-Cardona, C. Binetruy, et S. Drapier, « Gas transport in fibrous media: Application to in-plane permeability measurement using transient flow », *J. Compos. Mater.*, vol. 47, n° 18, p. 2237-2247, août 2013, doi: 10.1177/0021998312455676.