

Contexte et objectifs

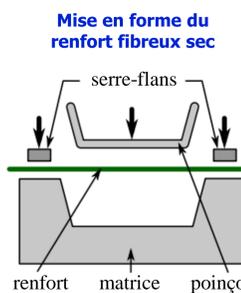
Fabrication de pièces en matériaux composites à renforts biosourcés par procédé RTM : une mise en œuvre difficile à maîtriser

Exemples de renforts fibreux biosourcés utilisés dans le procédé RTM

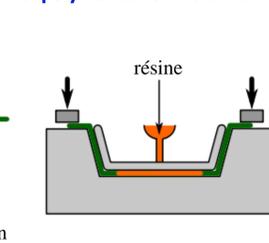


[F. Martoia, 2015]

Procédé RTM

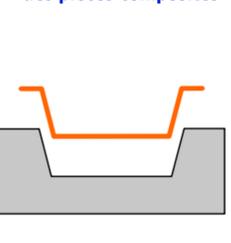


Mise en forme du renfort fibreux sec



[S. Mathieu, 2014]

Injection (phase d'imprégnation) et polymérisation de la matrice



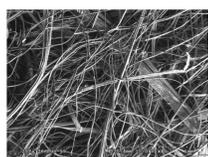
Exemples de pièces composites à renforts biosourcés



[http://www.kairos-jourdain.com]

[Baley et al., Tech. De l'ing., 2014]

Difficultés rencontrées



Architecture fibreuse complexe des renforts biosourcés

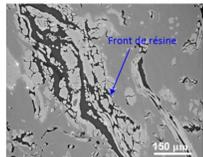
Matériaux hétérogènes et multi-échelles
Sensibles à l'humidité et à la température



Défauts lors de la mise en forme d'un renfort sec

[Ouagne et al., Comp. Part A 2013]

Le drapage des renforts fibreux peut induire des défauts (p. ex. pli, boucles, déchirements, etc.) dus à leur comportement mécanique complexe



Défauts d'imprégnation

[F. Martoia, 2015]

Présence de porosités à différentes échelles (inter- ou intra-mèche)

Retrait, gauchissement, piqûres, etc.

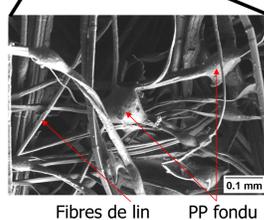
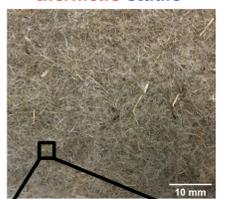
Objectifs de l'étude : caractérisation et modélisation des propriétés de perméabilité de mats de fibres de lin

- Quantifier les propriétés de perméabilité de mats de fibres de lin au cours de leur compaction
- Etudier l'évolution de la microstructure de ces renforts fibreux en utilisant des images 3D obtenues par micro-tomographie à rayons X
- Estimer les propriétés de perméabilité (i) par simulation numérique à partir des images 3D de la microstructure fibreuse et (ii) à partir de modèles analytiques dont les paramètres sont identifiés à partir d'images 3D de la microstructure fibreuse.

Matériaux

Essais in situ en μ -tomographie aux RX

Mat de fibres de lin thermolié étudié



Fibres de lin PP fondu

Mico-dispositif de compression installé sur le microtomographe de la ligne ID19 de l'ESRF (Grenoble, France).

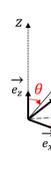
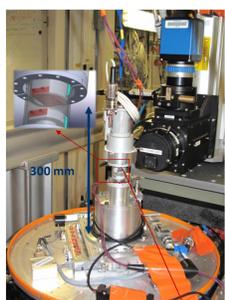
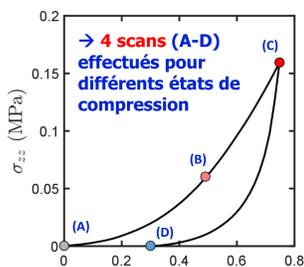


Image 3D (3.08 x 3.08 x 0.8 mm³) du mat de fibres de lin à l'état initial
Taille d'un voxel de l'image : (2.8 μ m)³

Courbe de compaction



→ 4 scans (A-D) effectués pour différents états de compression

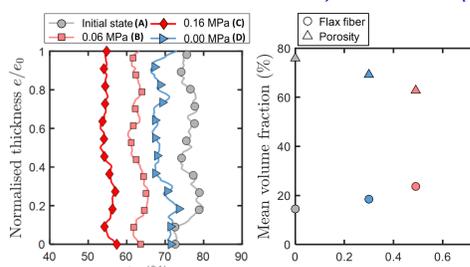
Réseau de fibres de lin

Réseau de PP fondu

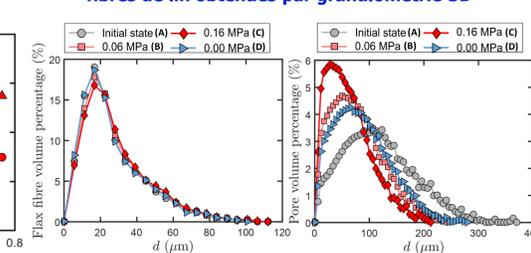
Mat constitué de :
- fibres de lin (90% en masse)
- fibres de polypropylène (10% en masse)
Grammage : 241 g.mm⁻²
Épaisseur : 0.8 mm (mesurée sous une contrainte de 0.8 kPa)

Caractéristiques microstructurales

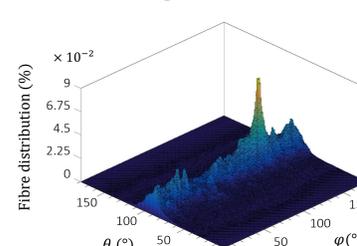
Fractions volumiques des fibres ϕ_f et des pores ϕ_p



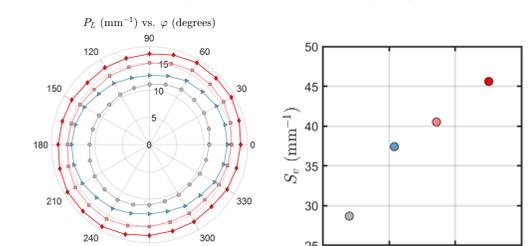
Distributions des tailles de pores et des diamètres des fibres de lin obtenues par granulométrie 3D



Distribution d'orientation des fibres de lin obtenue par la méthode des gradients de niveaux de gris



Surface spécifique S_v obtenue par stéréologie (méthode des intercepts)



Tenseur d'orientation : $\underline{A} = \begin{bmatrix} 0.482 & -0.054 & 0.003 \\ -0.054 & 0.454 & 0.004 \\ 0.003 & 0.004 & 0.064 \end{bmatrix}_{(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)}$

$S_v = 2\langle P_L \rangle$ [Saltykov, 1958]

P_L : nombre d'intercepts par unité de longueur

Estimation de la perméabilité

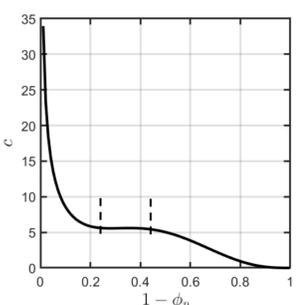
Approche analytique

Modèles de Kozeny-Carman modifié par Koponen et al. pour les réseaux de fibres isotropes transverses: [Koponen et al., 1998]

$$K_{zz} = \frac{\phi_p^3}{c S_v^2}$$

$$c = 3.5 \phi_p^3 \left[\frac{1 + 57(1 - \phi_p)^3}{(1 - \phi_p)^{0.5}} \right]$$

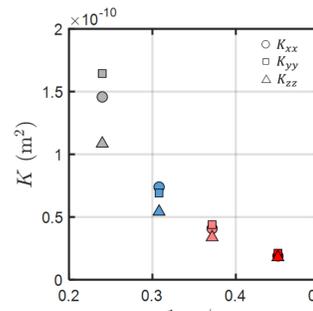
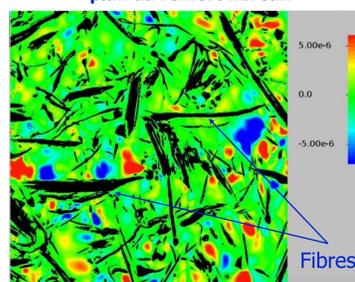
Pour le mat biosourcé étudié, la fraction volumique de la phase solide ($1 - \phi_p$) varie de 0.22 à 0.45 au cours de la compression.



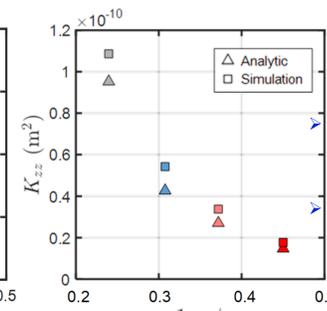
Approche numérique

Simulations numériques effectuées avec le solveur FlowDict du logiciel Geodict. Ce solveur itératif permet de résoudre les équations de Stokes (fluide newtonien incompressible) par la méthode des volumes finis.

Évolution de la composante v_x du champ de vitesse du fluide dans le plan du renfort fibreux



Comparaisons entre le modèle analytique et les simulations numériques



Le modèle de Kozeny-Carman modifié donne une bonne estimation de la composante K_{zz} du tenseur de perméabilité. En revanche ce modèle ne permet pas d'estimer K_{xx} et K_{yy} .

Conclusion

- Cette étude permet de mieux comprendre les mécanismes de déformation des mats biosourcés soumis à des sollicitations de compression.
- Les propriétés de perméabilité hors plan des renforts fibreux estimées par le modèle de Kozeny-Carman (dont les paramètres ont été mesurés au moyen des images 3D obtenues par microtomographie à rayons X) sont proches de celles estimées par simulations numériques.
- En revanche, le modèle de Kozeny-Carman ne permet pas d'estimer finement les propriétés de perméabilité dans le plan des renforts → les paramètres de ce modèle doivent être enrichis afin de mieux prendre en compte l'anisotropie de la microstructure poreuse de ces milieux fibreux biosourcés.