HAL
open science

Aspect inélastique du lin/époxy

Florian Gehring, Haomiao Yang, Fabrice Richard, Christophe Poilâne

To cite this version:

Florian Gehring, Haomiao Yang, Fabrice Richard, Christophe Poilâne. Aspect inélastique du lin/époxy. Journées Nationales sur les Composites 2017, École des Ponts ParisTech (ENPC), Jun 2017, 77455 Champs-sur-Marne, France. hal-01621567

HAL Id: hal-01621567

https://hal.science/hal-01621567v1

Submitted on 23 Oct 2017

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.

Aspect inélastique des composites lin/époxy

Inelastic behavior of flax/epoxy composite

Gehring Florian[1], Haomiao Yang[1], Richard Fabrice[2] et Poilâne Christophe[1]

1 : Université de Caen Normandie
CIMAP
Normandie Univ, ENSICAEN, UNICAEN, CEA, CNRS
14000 Caen, France
e-mail : florian.gehring@unicaen.fr et haomio.yang@unicaen.fr et christophe.poilane@unicaen.fr

2 : Université Bourgogne Franche-Comté
Institut FEMTO-ST
CNRS, UFC, ENSMM, UTBN
Département mécanique appliquée
F-25044 Besançon, France
e-mail : fabrice.richard@univ-fcomte.fr

Résumé

Les composites à renfort végétal ont en général un comportement mécanique qui présente deux domaines distincts. Un modèle viscoélastique a huit paramètres a été décrit pour simuler ce comportement[1]. Ce modèle a été validé en condition ambiante avec un composite quasi-unidirectionnel dont le renfort est du fil de lin torsadé. Nous analysons maintenant un composite lin totalement unidirectionnel et favorisons un comportement mécanique plus général en trois domaines apparents. Nous concluons de cette étude que l'introduction dans la modélisation d'un phénomène de rigidification par réorientation du renfort est nécessaire pour simuler le comportement particulier des composites à renfort végétal.

Abstract

Plant-based reinforced organic polymers often show a two-region mechanical behavior. We described a viscoelastoplastic model based on eight independent parameters to simulate this behavior[1]. This model has been validated by a flax twisted yarn composite at room condition. We analyse now a unidirectional flax composite to promote a three-apparent-region mechanical behaviour which is more general. We show that adding of strengthening phenomenon in the model taking in account a reorientation of the reinforcement is necessary to improve the simulation of the mechanical behaviour of plant fibre composite.

Mots Clés : Comportement mécanique, Composite lin, Modélisation
Keywords : Mechanic behavior, Flax composite, Model

1. Introduction

Le retour élastique complet d'une structure en lin/époxy après décharge n'est observé que pour des chargements relativement faibles. Au delà d'une sollicitation donnée, la structure présente en effet des déformations permanentes. Un essai de traction uniaxiale classique révèle un comportement qui présente deux domaines apparents D1 et D2 dont le premier, élastique, est très court. Ce comportement est visible aussi sur des résultats expérimentaux avec d'autres renforts végétaux (voir figure 2 référence [2]) et avec des polymères chargés de fibres végétales courtes distribuées aléatoirement (voir figure 7 référence [3]). Parmi la classe des matériaux composites à matrice organique, certains composites à renfort végétal ont donc un comportement mécanique macroscopique singulier. Ce comportement est lié à la structure même du renfort élémentaire : la fibre végétale. Cette dernière est multi-échelle, chaque échelle étant en soi assimilable à un matériau composite architecturé. La fibre de lin est multicouche au niveau microscopique ; les parois constitutives sont tubulaires concentriques et possèdent une orientation principale en hélice. Elle est constituée de microfibrilles de cellulose au niveau nanoscopique ; celles-ci comportent alternativement des arrangements « cristallins » et amorphes. Les fibres de lin sont en outre composées de plusieurs constituants – principalement

des pectines, des hémicelluloses et de la cellulose – dont certains sont hydrophobes et d'autres hydrophiles. Dans cette microstructure complexe, les pectines, très sensibles à l'humidité, jouent le rôle de matrice. La complexité du renfort élémentaire de lin justifie que l'on cherche à lui corréler le comportement macroscopique des composites associés.

2. Un modèle phénoménologique pour simuler un comportement en deux domaines

Pour ce faire, nous avons engagé il y a quelques années la modélisation phénoménologique d'un lin/époxy quasi-unidirectionnel (renfort unidirectionnel constitué de fils de lin torsadés) prenant en compte l'élasticité, la viscoélasticité, et la viscoplasticité [1]. Les essais choisis pour l'identification sont des chargements répétés progressifs, du fluage, et de la relaxation. Ces essais ont été conduits à l'ambiante dans un premier temps. Huit paramètres permettent de simuler très correctement le comportement du matériau : le module instantanné et la rigidité viscoélastique, le seuil «d'écoulement» initial, les paramètres de viscosité élastique et plastique, un terme de durcissement cinématique, et deux autres paramètres de durcissement (un paramètre de linéarité et un paramètre de non linéarité). La figure 1 montre les contributions élastiques, viscoélastiques et viscoplastiques en chargement répété progressif en traction et en fluage. Le premier domaine, D1, est viscoélastique avec des contribu-

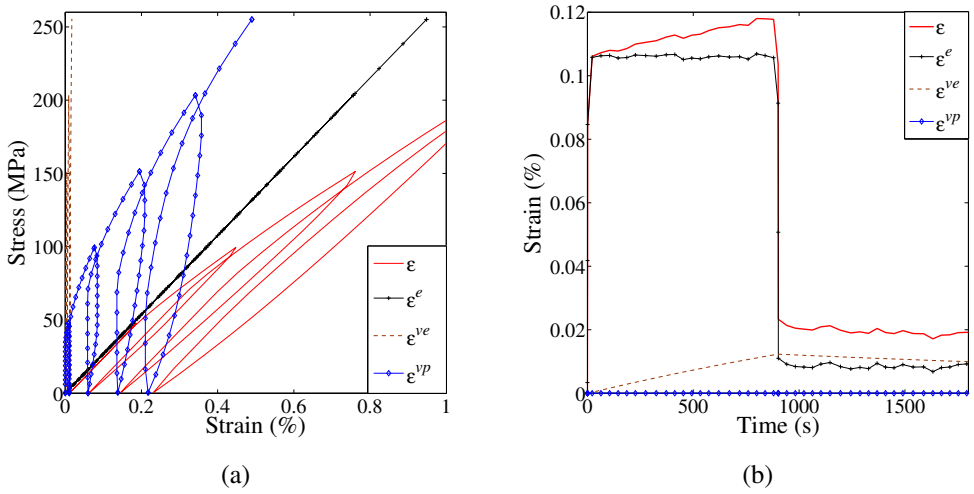
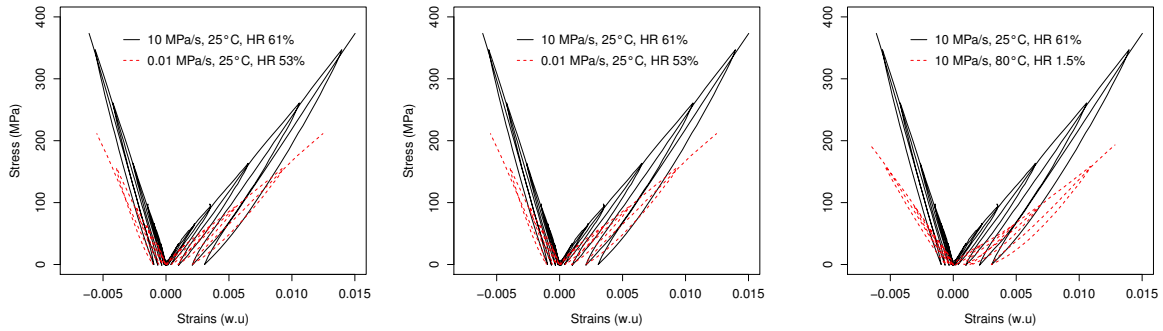


Fig. 1. Simulation des contributions élastiques, viscoélastiques et viscoplastiques a) en chargement répété progressif et b) en fluage à 29 MPa *pour un composite quasi-unidirectionnel dont le renfort est du fil de lin torsadé[1].*

tions visqueuses négligeables à l'ambiante pour les vitesses de sollicitation explorées. La viscoplasticité s'exprime au delà d'un seuil de déformation à environ 0.2 %, qui définit le second domaine, D2. Ce seuil pourrait être lié à un début de réorientation des microfibrilles de cellulose mais ceci n'est pour l'instant pas démontré expérimentalement à l'échelle du composite. Par ailleurs, le modèle initial ne nécessite pas de paramètre de renforcement du composite par réorientation. La prise en compte d'une contraction du domaine élastique durant le chargement a par contre été nécessaire pour simuler correctement le comportement du matériau. [1].

3. Simulation du troisième domaine

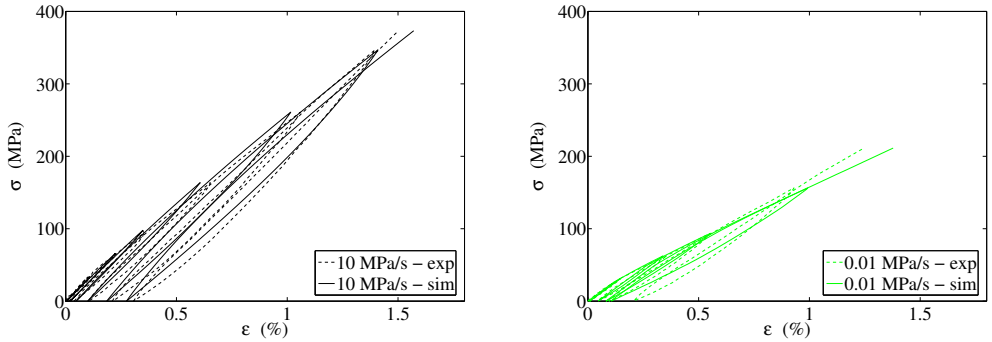
Lorsque le matériau est sollicité à faible vitesse de déformation, à température élevée, ou sous fort taux d'humidité, un troisième domaine, D3, apparaît dans la réponse du matériau à une sollicitation uniaxiale (figure 2). Notre travail actuel consiste à enrichir le modèle initial pour prendre en compte ce fait expérimental. Un stratifié lin/époxy totalement unidirectionnel est analysé sous plusieurs températures et plusieurs vitesses de sollicitation. Les premiers résultats obtenus confirment que le troisième domaine ne peut pas être modélisé sans enrichir le modèle viscoélastique-viscoplastique (VEVP).



(a) (b) (c)

Fig. 2. Influence a) de la vitesse de sollicitation b) de l'humidité et c) de la température sur le comportement d'un composite lin unidirectionnel en chargement répété progressif en traction.

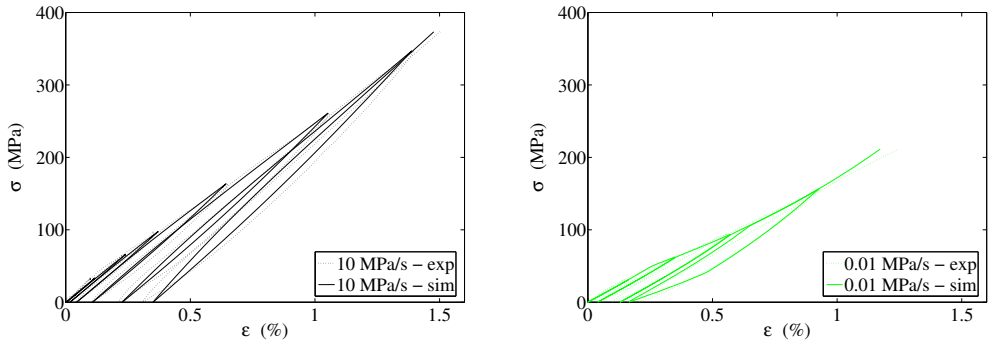
Ceci est par exemple visible sur les résultats de la figure 3 pour l'essai conduit à 0.01 MPa s^{-1} pour lequel le domaine D3 est bien exploré lors de l'essai expérimental mais pas lors de la simulation. Comme attendu, une rigidification apparente est observée sur les résultats expérimentaux lorsque l'on diminue la vitesse de sollicitation. Nous supposons dès lors que l'introduction d'un phénomène de renforcement par réorientation dans le modèle phénoménologique [1] peut offrir une solution pour améliorer la simulation du comportement mécanique des composites à fibre végétale. En guise d'illustration, la figure 4 montre la confrontation expérience/simulation avec un modèle respectant cette contrainte. Les données utilisées pour l'identification sont les mêmes que pour la figure 3. La corrélation expérience/simulation est visiblement améliorée dans le cas des faibles vitesses de chargement.



(a) (b)

Fig. 3. Confrontation simulation/expérience pour un composite lin unidirectionnel en chargement répété progressif à une vitesse a) de 10 MPa s^{-1} *et b) de* 0.01 MPa s^{-1}*, modèle sans phénomène de rigidification par réorientation du renfort.*

Bien que cette approche conduisant à un nouveau modèle phénoménologique ne sois pas encore tout à fait validée à la date des JNC20, elle offre une solution intéressante pour simuler le comportement mécanique des composites à renfort végétal. En effet il est tout à fait tentant de rapprocher le phénomène de rigidification observé pour les composites à renfort lin dans le domaine D3 aux phénomènes connus de réorientation des microfibrilles de cellulose qui ont lieu à une échelle inférieure au micron, et qui sont démontrés expérimentalement dans les cas de la traction des fibres unitaires et des faisceaux de fibres.



(a) (b)

Fig. 4. Confrontation simulation/expérience pour un composite lin unidirectionnel en chargement répété progressif à une vitesse a) de $10\,\mathrm{MPa\,s^{-1}}$ *et b) de* $0.01\,\mathrm{MPa\,s^{-1}}$*, modèle avec phénomène de rigidification par réorientation du renfort.*

4. Conclusion

Un premier modèle phénoménologique a été mis en œuvre pour prédire le comportement mécanique des composites lin. Ce modèle est fonctionnel dans un cas général mais il est montré qu'il doit être enrichi pour pouvoir simuler correctement le comportement du matériau en fin d'essai. L'écart expérience/simulation est particulièrement mis en évidence dans le cas chargement à faible vitesse de déformation, à température élevée, ou sous fort taux d'humidité. Nos premiers résultats montrent que la prise en compte d'un phénomène de type réorientation est une bonne piste pour simuler le comportement observé expérimentalement. À long terme, la validation d'un modèle phénoménologique pertinent nous permettra de mieux étudier les relations entre phénomènes microscopiques (observés à une échelle plus petite que la fibre) et comportement macroscopique (observés à l'échelle du composite) dans le cas des composites à renfort végétal.

Remerciements

Le China Scholarship Council (CSC) est remercié pour le support financier apporté à la thèse de Haomiao Yang.

Références

[1] C. Poilâne, Z. E. Cherif, F. Richard, A. Vivet, B. Ben Doudou, J. Chen « Polymer reinforced by flax fibers as a viscoelastoplastic material », *Composite Structures* Vol. 112, pp. 100–112, 2014.

[2] N. Suizu, T. Uno, K. Goda, J. Ohgi « Tensile and impact properties of fully green composites reinforced with mercerized ramie fibers », *J Mater Sci* Vol. 44, pp. 2477–2482, 2009.

[3] H. L. Bos, J. Müssig, M. J. A. Van den Oever « Mechanical properties of short-flax-fibre reinforced compounds », *Compos Part A-Appl S* Vol. 37, pp. 1591–1604, 2006.