

# Contribution à l'étude du comportement visco-élastoplastique d'un composite structural lin/époxy

**Titlu:** Contribuții la studiul comportamentului visco-elastoplastic al unui compozit structural fibră de in / rășină epoxy

**Cuvinte cheie:** Fibră de in, Biocompozit, Viscoelasticitate, Viscoplasticitate, Fluaj

**Abstract:** Studiul prezentat se încadrează în contextul larg al dezvoltării de noi materiale, cu o amprentă ecologică scăzută. Dintre posibilitățile analizate (în special în Europa), compozitele armate cu fibră de in sunt cele mai promițătoare. Datorită densității scăzute și proprietăților mecanice ridicate, se alimentează ideea utilizării în materiale compozite, ca alternativă la fibra de sticlă. Aceste compozite sunt deja implementate în diverse aplicații. Cu toate acestea, câteva necunoscute, în special legate de comportamentul lor în timp, limitează utilizarea în condiții de sarcini ridicate.

Teza propune studiul comportamentului în timp al compozitelor armate cu fibra de in, pe direcția armării. Deși răspunsul materialului este demonstrate ca fiind viscoelastic și viscoplastic, puține studii sunt dedicate analizei sale.

Drept urmare, teste repetate de fluaj/revenire, cu tensiune și durate de fluaj variabile au permis determinarea dependenței comportamentului de în raport cu cei doi parametri. De asemenea, a fost determinată o limită pentru apariția deformațiilor plastice, care au fost asociate comportamentului viscoplastic.

Rezultate au permis, pe urmă, să se propună o lege de comportament, compusă din modelul de viscoelasticitate al lui Schapery și cel de viscoplasticitate al lui Zapas-Crissman. Parametrii legii au fost identificați cu ajutorul testelor de fluaj/revenire.

Modelul este capabil să prezică răspunsul materialului în deformație atât pentru teste de fluaj/revenire cât și pentru teste de încărcare/descărcare. Simulările au arătat și abilitatea modelului de a reproduce efectele vitezei de încărcare cât și comportamentul neliniar, specific acestor materiale compozite.

**Titre :** Contribution à l'étude du comportement visco-élastoplastique d'un composite structural lin/époxy

**Mots clés :** Fibre de lin, Biocomposite, Viscoélasticité, Viscoplasticité, Fluage

**Résumé :** L'étude présentée dans ce manuscrit s'inscrit dans le contexte global du développement de nouveaux matériaux, ayant une empreinte environnementale réduite. Parmi les possibilités actuellement explorées (notamment en Europe), les composites à renfort de fibres de lin sont une solution prometteuse. En effet, la faible densité et les propriétés mécaniques élevées des fibres de lin, ainsi que leur faible coût énergétique, permettent d'envisager leur utilisation dans des composites structuraux, en remplacement des fibres de verres. Ces composites biosourcés font déjà l'objet de plusieurs applications. Cependant, plusieurs verrous scientifiques et techniques, notamment leur comportement à long terme, limitent leur utilisation dans des conditions sévères de chargement.

La thèse propose d'étudier le comportement en fluage des matériaux composites à renfort de lin unidirectionnel, dans la direction des fibres. En effet, même si le comportement viscoélastique et viscoplastique de ces composites est bien avéré, peu d'études ont été consacrés à ce type de chargement.

Ainsi, des essais cyclés de fluage/recouvrance à durée et à contrainte variable ont permis de déterminer la dépendance en temps et contrainte du comportement.

Ces essais ont également permis de montrer l'existence d'un seuil en contrainte pour l'apparition de déformation non-recouvrable assimilée à des déformations viscoplastiques.

Les résultats ont permis ensuite de proposer une loi de comportement, composée d'un modèle viscoélastique non-linéaire de Schapery et d'un modèle viscoplastique de Zapas-Crissman. Les paramètres de la loi ont été identifiés à partir des essais de fluage/recouvrance. Ce modèle permet de rendre compte de manière satisfaisante de la déformation du composite lors d'essais de fluage/recouvrance et lors d'essais de traction cyclés. Par ailleurs, ce modèle a également permis de simuler des essais de traction monotone à différentes vitesses de chargement et de reproduire le comportement non-linéaire caractéristique de ces matériaux.

**Title:** Contributions to the study of the Visco-elastoplastic behavior of a flax fiber – epoxy resin structural composite

**Keywords:** Flax fiber, Biocomposite, Viscoelasticity, Viscoplasticity, Creep

**Abstract:** The study presented in the manuscript is positioned in a large context of development of new materials, with a reduced environmental impact. From the possibilities currently under scrutiny (especially in Europe), flax fiber reinforced composites are the most promising. Thanks to their low density and high mechanical properties, as well as their low energy costs, fuel the idea of their usage in structural composites, by replacing glass fibers. These biocomposites are already implemented in numerous applications. However, several scientific and technical unknowns, especially their long-term behavior, are hindering their use in domains of high load conditions.

The thesis proposes to study the time dependent behavior of unidirectional reinforced composites, on the fiber direction. Even though it is largely accepted that the material behavior is viscoelastic and viscoplastic, few studies are dedicated to its analysis.

Thus, multi cycled creep/recovery tests with variable creep stress and durations have allowed to determine the behavior's dependence on stress and time. These tests have also allowed to determine the existence of a stress limit for plastic deformation appearance. They have been associated with the viscoplastic behavior.

The results have, afterwards, allowed to propose a behavior law, composed of Schapery's model for non-linear viscoelasticity and Zapas-Crissman's model for viscoplasticity. The law parameters have been identified with the help of the creep/recovery tests. The model is capable of predicting the material response in deformation for creep recovery tests as well as load/unload tests. Simulations have also shown the model's capability to reproduce traction tests with different loading speeds and to reproduce the nonlinear behavior specific to these composite materials.