



HAL
open science

Modélisation rhéologique du comportement mécanosorptif et viscoélastique

Martian Asseko Ella, Rostand Moutou Pitti, Giacomo Goli, Joseph Gril

► To cite this version:

Martian Asseko Ella, Rostand Moutou Pitti, Giacomo Goli, Joseph Gril. Modélisation rhéologique du comportement mécanosorptif et viscoélastique. 11èmes journées du GDR 3544 “ Sciences du bois ”, Nov 2022, Nice, France. pp.54-57. <hal-04825015>

HAL Id: hal-04825015

<https://hal.science/hal-04825015v1>

Submitted on 7 Dec 2024

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.

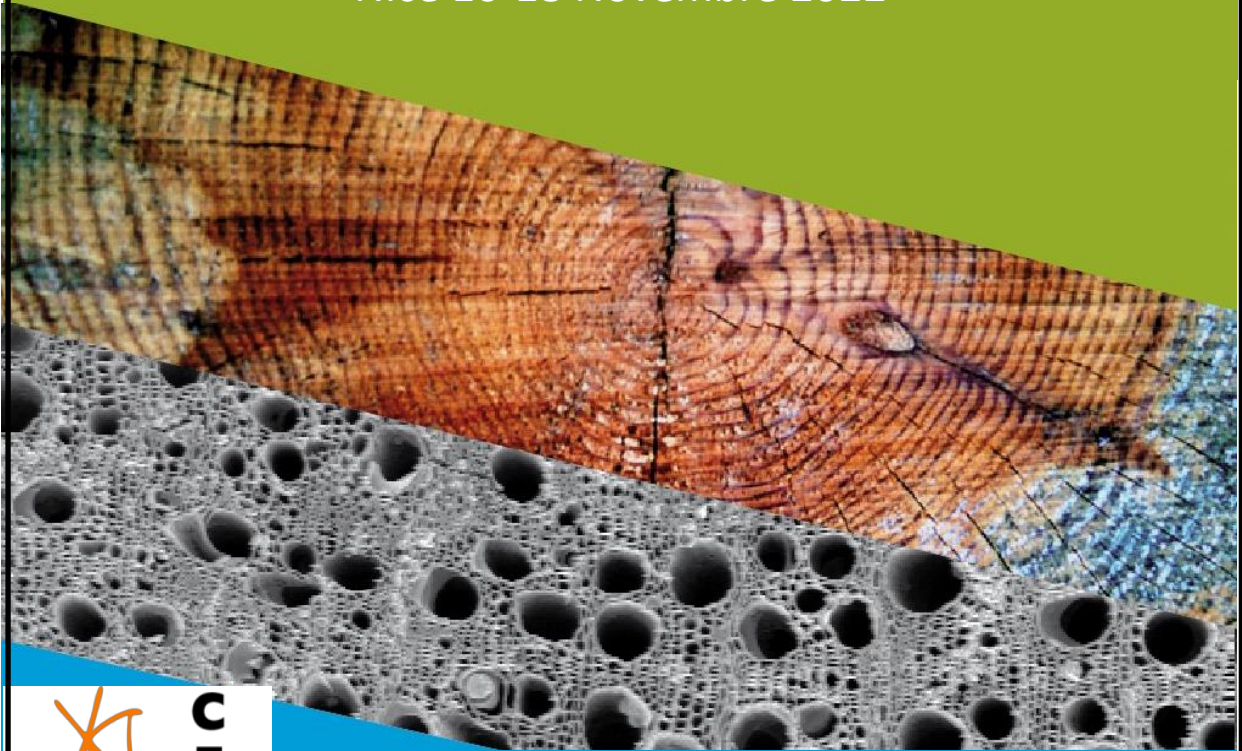
L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

11èmes Journées Scientifiques du GDR3544 Sciences du bois

Nice 16-18 Novembre 2022



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR 



GDR Groupement
de recherche
Sciences du bois

Actes

Coordination et édition: Eric Badel (PIAF), Joseph Gril (Institut Pascal), Isabelle Théry-Parisot (CEPAM)

Modélisation rhéologique du comportement mécanosorptif et viscoélastique

ASSEKO ELLA Martian¹, MOUTOU PITTI Rostand^{1,2}, GIACOMO Goli³, GRIL Joseph⁴

¹Université Clermont Auvergne, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France

²CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon

³University of Florence, DAGRI-Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry, 50145 Firenze, Italia

⁴Université Clermont Auvergne, INRAE, PIAF, F-63000 Clermont Ferrand, France
martian.asseko_ella@doctorant.uca.fr

Mots clefs : Modèle rhéologique ; Mécanosorption ; Viscoélastique ; Fluage ; Okoumé

Introduction

Les structures en bois exposées en environnement extérieur peuvent être sollicitées simultanément par des charges mécaniques et des variations de l'humidité relative. En tant que biopolymère poreux, hygroscopique et hétérogène, le bois est classé comme un matériau viscoélastique dont les propriétés mécaniques dépendent de la température et de la teneur en humidité (Genevaux et Guitard 1988). Dans le contexte de la durée de vie des structures en bois, les effets du fluage ne doivent pas être négligés dans la conception et la durabilité de ces structures. La cinétique du fluage résulte d'interactions entre l'état mécanique et la teneur en humidité, dont les variations provoquent une accélération du fluage. Un nombre considérable de travaux a été consacré à ce sujet depuis le début des années 1960 (Armstrong et Kingston 1960). Ce phénomène complexe, appelé mécanosorption est d'origine chimique et est partiellement corrélé au comportement des liaisons moléculaires ; cependant, le mécanisme réel n'a pas encore été bien établi. De nombreux modèles phénoménologiques ont été développés, bien qu'ils soient souvent validés uniquement pour des essais uniaxiaux et homogènes (charges de traction ou de compression) et ne sont pas facilement généralisables à d'autres conditions expérimentales. Nous avons appliqué un modèle rhéologique en 1D pour décrire le comportement viscoélastique et mécanosorptif des essais de fluage en environnement contrôlé. D'une part, le modèle prend en compte plusieurs effets notamment, l'expansion hydrique, l'élasticité sans effet de l'humidité et la viscoélasticité hygro activé de type Kelvin généralisé avec une activation mécanosorptive. D'autre part, le modèle prend également en compte les effets de la mécanosorption de type Kelvin mécanosorptif pour effet découplé de la viscoélasticité. Enfin, le modèle intègre l'effet viscoélastique hygro activé pour obtenir une déformation permanente après décharge. Ce document présente les résultats obtenus sur l'essence d'Okoumé pour des essais de fluage durant 14 jours.

Matériels et méthodes

Etude expérimentale

Les essais de fluage en flexion 3 points ont été effectués sur les éprouvettes d'Okoumé O3.1 et O3.2 à 10% de la contrainte à la rupture que nous avons déterminée préalablement. Les densités de ces éprouvettes sont 0,48 et 0,49 respectivement pour O3.2 et O3.1. La Fig.1a montre l'ensemble du dispositif expérimental et les bancs d'essais de fluage utilisés (Fig.1b). Chaque banc est composé de 3 transducteurs, deux aux extrémités et un au centre. Les transducteurs latéraux (T1, T3, T4, T6, T7, T9) permettent d'estimer le retrait-gonflement transversal le long de la hauteur de l'échantillon et de corriger la flèche centrale mesurée par les transducteurs au centre (T2, T5, T8). Les bancs sont placés dans une boîte hermétiquement fermée par une

fenêtre transparente de dimensions (750x450x450 mm) et équipée de deux capteurs thermo-hygromètres pour le contrôle de la température T et de l'humidité relative HR.

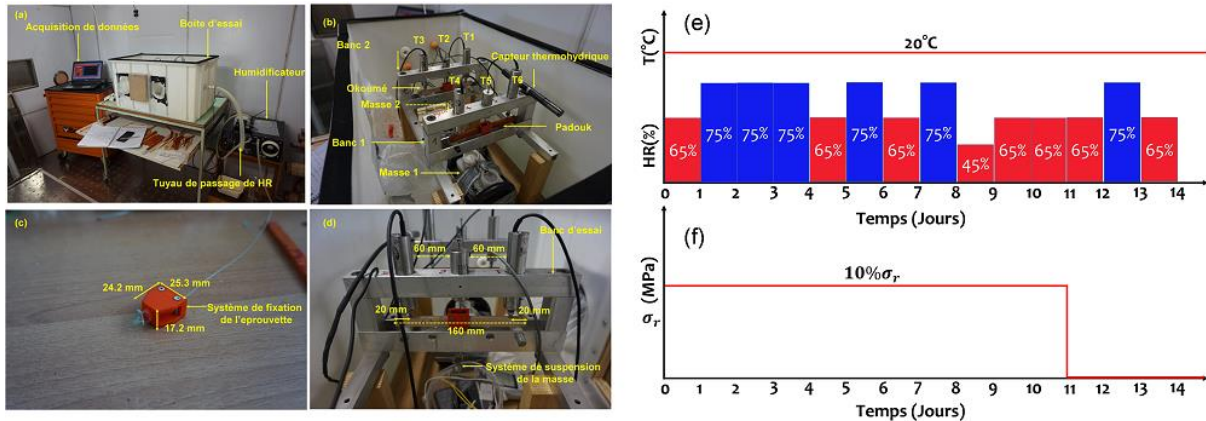


Fig.1 : Dispositif expérimental pour les essais de fluage de 14 jours :
 (a) dispositif expérimental global ; (b) vue de la paire de bancs de fluage ;
 (c) support plastique de la charge sur la poutre ; (d) banc d'essai ;
 (e,f) histoire de chargement hydrique et mécanique des éprouvettes des essais de 14 jours.

Le contrôle de HR se fait au moyen d'une pompe à humidité (système d'humidification). La pompe diffuse l'humidité dans la boîte par un tuyau. Ces essais ont été réalisés pendant 14 jours, sous température et contrainte constantes et cycle hydrique variable. La Fig.1c montre le support en plastique pour fixer la charge sur les éprouvettes pendant le chargement, réalisé à l'aide d'une imprimante 3D. La Fig.1d montre les dimensions du banc d'essai : la longueur totale est de 160 mm et le bras de levier (L/2) de 70 mm. La distance entre les transducteurs est de 60 mm, de sorte que l'écart entre la position de chaque transducteur latéral et le support de chargement correspondant est de 10 mm. La Fig.1e et la Fig.1f présentent l'histoire de chargement hydrique et mécanique. Les cycles de sorption ont été fixés à un jour et varient entre 45, 65 et 75% HR en partant d'un état sec de 65% HR à un état humide de 75% HR correspondant au premier changement d'humidité.

Modèle rhéologique

Afin d'analyser plus profondément le comportement viscoélastique et mécanosorptif et d'obtenir de façon valable les paramètres viscoélastiques et mécanosorptifs des essences testées, nous avons appliqué un modèle rhéologique en 1D pour décrire le comportement viscoélastique et mécanosorptif des poutres.

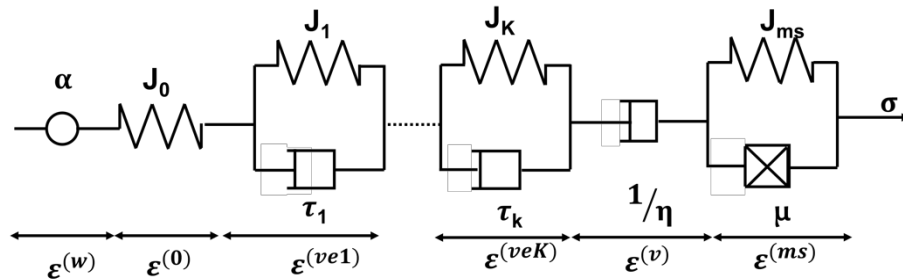


Fig.2 : Modèle rhéologique avec les paramètres viscoélastiques et mécanosorptif ($k=1,2,3,4$).

Ainsi l'approche est basée sur un modèle de Kelvin -Voigt constitué de 5 blocs en série donc 4 blocs pour décrire les déformations induites par le comportement viscoélastique (ϵ^{ve}) et un bloc pour la description des déformations dues au comportement mécanosorptif (ϵ^{ms}). Les 4 blocs viscoélastiques sont constitués chacun d'un ressort de complaisance viscoélastique (J^{veK}) et

d'un amortisseur de temps caractéristique (τ_k). Le dernier bloc est constitué d'un ressort de complaisance mécanosorptive (J^{ms}) et de temps de relaxation mécanosorptive μ . L'ajout d'un ressort en série de complaisance instantané J_0 permet de mettre en évidence le comportement instantané qui est défini par la déformation instantanée $\varepsilon^{(0)}$. Quant à l'expansion hydrique, nous avons ajouté un élément en série pour traduire la déformation hydrique ($\varepsilon^{(w)}$). Afin de prendre en compte les déformations permanentes après décharge, nous avons également ajouté un amortisseur en série. Cet amortisseur permet d'estimer une déformation visqueuse permanente (ε^v). Dans la littérature, plusieurs auteurs ont supposé que tous les ressorts et les propriétés des amortisseurs ont une dépendance à la teneur en eau (Bažant 1985, Hunt 1999).

Equations du modèle

En se basant sur la répartition de notre modèle, la déformation totale ε due aux comportement viscoélastique et mécanosorptif mécanosorptif (Toratti et Morlier 1995) est donnée par :

$$\varepsilon = \varepsilon^w + \varepsilon^0 + \varepsilon^{veI} \dots + \varepsilon^{veK} + \varepsilon^v + \varepsilon^{ms} \quad (1)$$

La déformation ε^0 instantanée en fonction de J_0 la complaisance instantanée est introduite par :

$$\varepsilon^{(0)} = J_0 \sigma(t) \quad (2)$$

La déformation due à l'expansion hydrique avec prise en compte des phénomènes de pseudo recouvrance et du pseudo fluage est traduite :

$$\varepsilon^{(w)} = (\alpha - \beta \varepsilon(t))(w - w_0) \quad (3)$$

avec α est le coefficient de dilatation hydrique, w_0 est la teneur en eau initiale et β est une constante. La déformation mécanosorptive est définie par l'équation différentielle :

$$d\varepsilon^{(ms)}/dt = (J^{(ms)} \sigma - \varepsilon^{(ms)})/\mu |dw/dt| \quad (4)$$

où μ est le temps de relaxation mécanosorptive et J^{ms} la complaisance mécanosorptive. Le fluage viscoélastique est donnée par les 4 éléments de Kelvin-Voigt avec des temps caractéristiques différents et se met sous la forme de l'Eq.5 suivante :

$$d\varepsilon^{(veK)}/dt = (J^{(veK)} \sigma - \varepsilon^{(veK)})/\tau^K \quad (5)$$

où τ^K est le temps caractéristique d'un K-élément de Kelvin-Voigt et est défini par l'expression suivante :

$$\text{Log} \tau^K = \text{Log} \tau_0^K - a w \quad (5)$$

La déformation visqueuse permanente donnée par l'amortisseur en série est définie par :

$$d\varepsilon^{(v)}/dt = \sigma/\eta \quad (6)$$

avec $1/\eta = 1/(\eta_0 10^{-aw})$. L'amortisseur que nous avons ajouté en série est équivalent à un K+1 élément de Kelvin de complaisance J_{K+1} et temps caractéristique η/J . Dans l'ensemble, le modèle comporte 9 paramètres principaux à ajuster ($J_0, J_v, J_{ms}, \mu, \alpha, \eta, a, \eta_0$ et τ). Ces 9 paramètres ont été déterminés grâce au solveur du logiciel Excel. En réalité il y a 15 paramètres et on a diminué leur nombre en imposant des valeurs des τ_i et en supposant tous les J_v égaux ou variant de manière affine impliquant une même influence de l'humidité pour tous.

Résultats

Ici, nous présentons les résultats obtenus pour les essais effectués sur l'Okoumé durant 14 jours. Les Fig.3a et 3b comparent le modèle rhéologique aux résultats expérimentaux de la déformation maximale en traction à mi travée de la poutre pour les trois essences testées. En ce qui concerne les déformations expérimentales, elles ont été calculées selon :

$$\varepsilon^0 = 6h(V_0 - V_a) / ((1 - \varphi + \omega)L^2) \quad (7)$$

avec V_0 , et V_a , la flèche mesurée par le transducteur du centre et latéral. Les paramètres φ et ω prennent en compte l'effet mécanique mesuré par le transducteur latéraux et l'effet du cisaillement ; h et L sont la hauteur et l'entraxe de la poutre. On observe de façon globale que le modèle permet d'approcher de manière satisfaisante le comportement viscoélastique et mécanosorptif des mesures expérimentales notamment. Plus précisément, le modèle reflète une augmentation du fluage viscoélastique lors de la première humidification suivi du phénomène de pseudo-fluage ou de pseudo-recouvrance lors des phases de sorption.

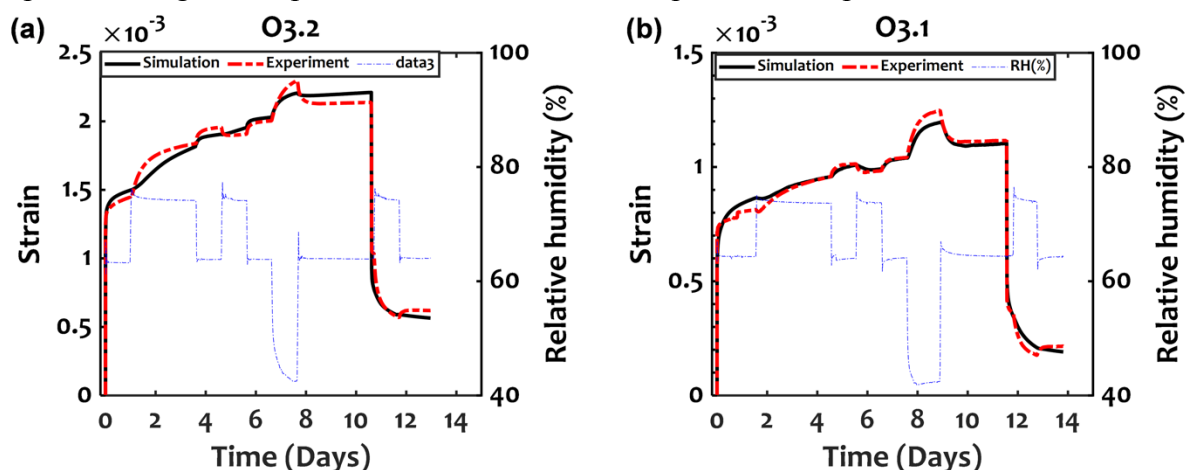


Fig.3 : Modélisation du fluage-recouvrance des éprouvettes de l'Okoumé : (a) essai 1 ; (b) essai 2 ; pointillés, courbe expérimentale ; ligne, modélisation.

Références

- Armstrong L.D., Kingston R.S.T. (1960) Effect of moisture changes on creep in wood. *Nature* 185, 862–863.
- Bazant Z.P. (1985) Constitutive equation of wood at variable humidity and temperature. *Wood science and Technology*, 159–177.
- Genevaux J.M., Guitard D. (1988) Anisotropie du comportement différé : essai de fluage à température croissante d'un bois de peuplier, pp. 155–166. Groupement Scientifique Rhéologie du Bois, Bordeaux.
- Hunt D.G. (1999) A unified approach to creep of wood. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 455(1991), 4077–4095.
- Toratti T., Morlier P. (1995) Fluage à long terme du bois fléchi en grandeur structurale. *Materials and structures*, 284–292.