

Influence de l'effet mécanosorptif sur la fissuration du Padouk

ASSEKO ELLA Martian¹, GOLI Giacomo², MOUTOU PITTI Rostand^{1,4}, GRIL Joseph^{1,5},
Eric FOURNELY¹, IKOGOU Samuel³, GODI Gaël¹

¹Clermont Auvergne Université, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, F-63000
Clermont-Ferrand, France, martian.asseko_ella@etu.uca.fr

²University of Florence, DAGRI-Department of Agriculture, Food, Environment and
Forestry, 50145 Firenze, Italia

³USTM, Ecole Polytechnique de Masuku, BP 901 Franceville, Gabon

⁴CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon

⁵Université Clermont Auvergne, INRA, PIAF, F-63000 Clermont Ferrand, France

Mots clefs : Fluage ; fissuration ; mécanosorption ; viscoélastique, déformation, teneur en eau

Contexte et objectifs

Le bois, dans son utilisation en structures à long terme ou à court terme, est fortement sollicité par des facteurs environnementaux et mécaniques. Les interactions entre ces sollicitations peuvent fortement modifier le comportement mécanique de ces structures, ce qui complexifie leur mise en œuvre et peut hypothéquer leur durée de vie en service. Très peu d'études existent encore sur le couplage de l'effet de la teneur en eau, des paramètres de fissurations et du fluage dans le bois. Les travaux connus à ce jour dans ce domaine (Hamdi et al., 2018), ont permis d'étudier l'impact du couplage de ces 3 paramètres sur le bois notamment pour des essais de fluage en environnement variable et constant. Leurs travaux ont montré un réel impact en constatant que l'humidification favorisait l'augmentation des déformations tandis que la phase de séchage était propice à l'initiation et à la propagation de fissures (Pambou Nziengui et al., 2019). Ils n'ont toutefois pas permis de bien découpler la contribution de la teneur en eau et des effets mécaniques sur le processus de fissuration. L'objectif de ce travail est donc d'étudier l'influence des effets mécanosorptifs et viscoélastiques sur la fissuration du bois afin de mieux comprendre la contribution de la teneur en eau à la fissuration. Pour cela, nous avons effectué des essais de fluage combiné à la fissuration sur Okoumé, Sapin pectiné et Padouk sous des cycles d'humidité relative contrôlés et à température constante de 20°C. Ce document présente principalement les résultats obtenus sur Padouk.

Matériels et méthodes

Caractérisation des éprouvettes et choix du taux de déformation

Avant la réalisation des essais nous avons déterminé le module d'élasticité (E) des éprouvettes avec la méthode BING (Brancheriau 2007). Nous avons ensuite calculé les déformations maximales (ϵ) de la partie la plus sollicitée des éprouvettes, en considérant la flèche mesurée par le transducteur central de l'éprouvette, à partir de données d'essais préliminaires effectués en amont. Les valeurs moyennes des déformations obtenues sur Okoumé, Sapin et Padouk étaient respectivement de 0.35%, 0.31% et de 0.48%. Nous avons choisi le taux de déformation de 0.3% proche de l'essence ayant le taux de déformation le plus bas (le Sapin) avant de calculer les forces F à appliquer sur les éprouvettes, selon l'équation :

$$F = \frac{2H^2 b E \varepsilon}{3L_{ent}}$$

Equation 1

avec H la hauteur de la poutre, b son épaisseur, L_{ent} l'entraxe.

Le tableau 2 montre les modules d'élasticité et les forces calculées. Les essais ont été réalisés sur l'éprouvette P108.

Table 1. Modules d'élasticité et force appliquées des éprouvettes

Eprouvettes	Padouk											
	P100	P113	P112	P111	P110	P107	P108	P101	P102	P109	P100	P106
E(MPa)	12661	12661	15597	14515	12589	11490	13890	12409	11360	14098	15328	14880
Force (N)	172	172	212	197	171	156	189	168	154	191	208	202

Etude expérimentale

Nous avons effectué des essais de fluage en flexion 3 points sur des poutres entaillées (Fig.1a). Les éprouvettes sont de dimensions 160x12x6 mm et sont testées dans le sens L. La distance entre appuis est de 140mm. Au niveau des deux extrémités des poutres (A) et (B), nous avons effectué des entailles de longueur (L_r) de 20 mm et de hauteur h_R de 6mm correspondant à la moitié de la hauteur de la poutrelle. Nous avons également initié une longueur de fissure (a_0) de 2mm et une ouverture de fissure (O_c) de 0.3mm avec une lame de cutteur pour faciliter la propagation de la fissure.

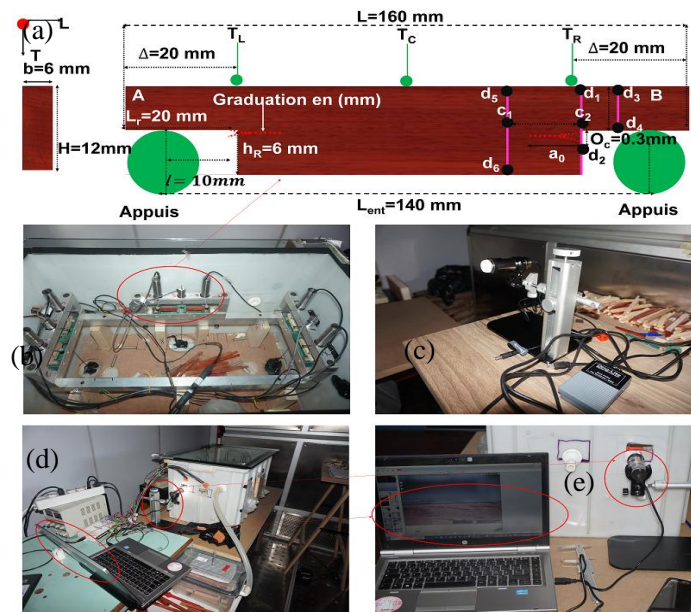


Fig. 1: Matériels utilisés (a) ; Géométrie des poutres testées (b) dispositif expérimental (c) ; microscope

La distance entre l'appui et le fond d'entaille de la poutre (l) est de 10 mm. Chaque extrémité de la poutre est graduée en mm et marquée par deux traits verticaux (d5d6) et (d1c2) distants de 10 mm (c1 c2) ; ces deux droites nous permettent de calibrer horizontalement les dimensions réelles de l'image en fonction du grandissement de l'image donnée par le microscope. L'estimation de l'ouverture de la fissure se fait en mesurant la variation de la distance (d1d2) proche du droit de l'entaille. L'ensemble du dispositif est composé de 3 bancs d'essai de fluage en flexion 3 points (Fig.1b). Chaque banc est composé de 3 transducteurs,

deux aux extrémités et un au centre. Les transducteurs latéraux (T_L , T_R), placés à 20 mm de l'extrémité de l'éprouvette, permettent d'estimer le retrait et le gonflement transversal le long de la hauteur de l'échantillon et de corriger la flèche centrale mesurée par les transducteurs centraux (T_C). Les bancs sont placés dans une boîte hermétiquement fermée par une fenêtre transparente, de dimension 750x450x450mm et équipée de deux capteurs pour le contrôle de la température (T) et de l'humidité relative (HR). Le suivi de la fissure s'est fait avec un microscope USB (Fig.1c) depuis la face extérieure de la boîte. Le contrôle (T, HR) se fait au moyen d'une pompe diffusant l'humidité régulée dans la boîte par un tuyau. Dans la boîte, nous avons également placé 5 éprouvettes témoins de chaque espèce de même taille afin d'estimer leur teneur en humidité (MC) par un suivi de masse. La boîte dispose également des trous sur chaque face (Fig.1d) pour la prise d'image au microscope (Fig.1e). Les éprouvettes testées ont été chargées à l'état humide sous contrainte constante sous un cycle hydrique de 45 à 75% HR.

Résultats et discussion

Dans cette partie nous montrons l'effet du comportement mécanosorptif et viscoélastique sur la fissuration de l'éprouvette de Padouk (Fig.2a). Parallèlement, nous présentons l'évolution de la teneur en eau des poutres témoins (Fig.2c et Fig.2d) et la contrainte appliquée (Fig.2e et Fig.2f).

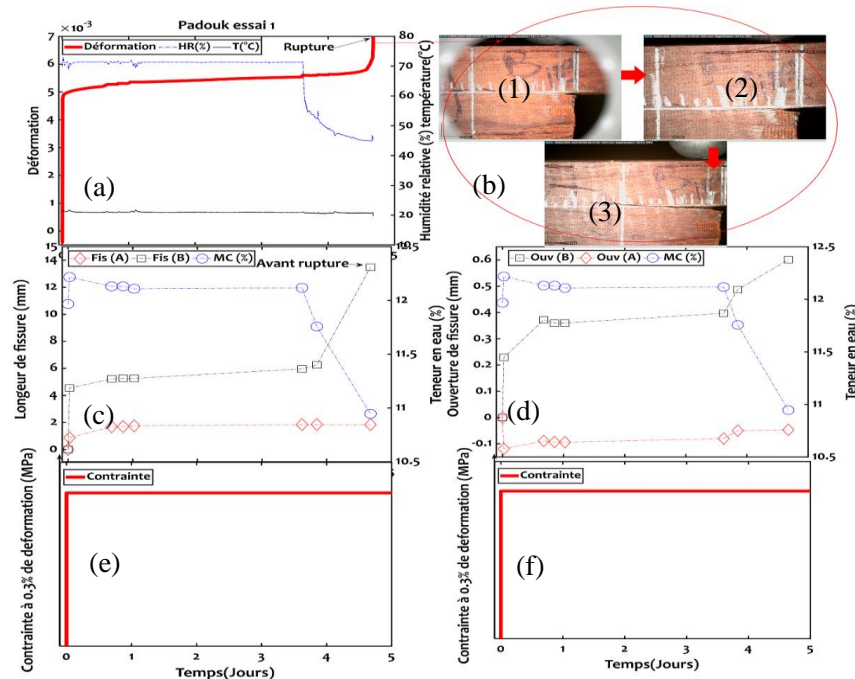


Fig. 2: Effet du comportement mécanosorptif sur la fissuration : (a) déformation ; (b) éprouvette fissurée ; (c) longueur de fissure ; (d) ouverture de fissure ; (e, f) contraintes

La Fig. 2c montre la propagation de la fissure sous les effets du comportement viscoélastique et mécanosorptif de l'éprouvette du Padouk pour un cycle de sorption. Ce cycle de sorption est composé d'une phase d'humidification à 75% HR de 3,5 jours, d'une phase de séchage à 45% HR de 4,5 jours et d'une phase de réhumidification à 75% HR de 3 jours. Les déformations viscoélastiques et mécanosorptives ont été calculées par l'équation (2) suivante.

$$\varepsilon_{ent} = 2 \cdot 3 \cdot h \cdot (V_o - V_a) \cdot (L_{ent}^2) / [(1 - \varphi) \cdot (1 + 7 \cdot \lambda^3)] \quad \text{Equation 2}$$

avec $\varphi = V_a/V_o$ et $\lambda = 2l/L_{ent}$

φ est un paramètre correctif des effets mécaniques sur les mesures des transducteurs des cotés par rapport aux traducteurs centraux, il est déterminé expérimentalement aux premiers instant du chargement. V_a est la moyenne des flèches mesurées par les transducteurs des côtés et V_o est la flèche au centre mesurée par le transducteur central. On remarque que la fissure a tendance à évoluer majoritaire sur un côté de la poutre pendant qu'elle reste quasiment constante sur le côté opposé. Après le chargement le bois présente un comportement viscoélastique. Durant cette phase la longueur et l'ouverture de fissure restent presque constante ; en revanche après le premier séchage le bois présente un comportement mécanosorptif, la longueur et l'ouverture de fissure ont tendance à augmenter jusqu'à la rupture de la poutre. Sur la Fig.2b on peut voir les photos d'une éprouvette de Padouk avant et après le chargement et avant la rupture. Ce constat montre que le séchage favorise la propagation des fissures contrairement à l'humidification où il n'y a pas fissuration. Les ouvertures de fissure observées au début de l'essai sont dues au chargement instantané.

Remerciements

Les auteurs remercient les universités de Florence et de Clermont-Ferrand, pour l'accueil et le financement de la mobilité internationale via le programme CAP 20-25 WOW !

Références

Brancheriau Loïc, Paradis Sébastien. 2007. Bing 9 - Beam Identification by Non-destructive Grading. Montpellier: CIRAD, 2p.

Pambou Nziengui, C. F. et al. (2019) 'Notched-beam creep of Douglas fir and white fir in outdoor conditions: Experimental study', Construction and Building Materials. Elsevier Ltd, 196, pp. 659–671.

Ngoc Anh Phan. 2016). Simulation of time-dependent crack propagation in a quasi-brittle material under relative humidity variations based on cohesive zone approach: application to wood. Mécanique des matériaux. Université de Bordeaux, 1-239 Pages