

Comportement thermo-hydromécanique des poutres entaillées de Douglas et Sapin blanc en environnement extérieur exposé

M. ASSEKO ELLA ^{a, b}, C.F. PAMBOU NZIENGUI ^{a, b}, S. IKOGOUE ^c, R. MOUTOU PITTI ^{a, d}

a. Clermont Auvergne, CNRS, SIMA Clermont, Institut Pascal, Clermont Ferrand, France, Clermont-Ferrand, France, martian.asseko_ella@etu.uca.fr

b. Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), Libreville, Gabon, pclaudefeldman@gmail.com

c. Ecole Polytechnique de Masuku (EPM-USTM), ikogousamuel@yahoo.fr

d. CENAREST, IRT, Libreville, Gabon, rostand.moutou_pitti@uca.fr

Résumé :

Ce travail présente, une campagne expérimentale, de fluage en flexion 4 points, des poutres de bois de Sapin et de Douglas entaillées en ambiance extérieure non abritée. L'étude met en évidence les effets couplés des variations des conditions climatiques (l'humidité interne HI, de la température T, de l'humidité relative HR), de l'intensité de chargement et l'évolution des paramètres de fissuration (ouvertures des fissures OF et propagations des fissures PF) ; sur le comportement différé des poutres étudiées. Les résultats présentés dans cette étude, concernent les données obtenues durant la période de Mars à Mai 2018 (3 mois), 2 ans après le chargement initial des poutres en Juin 2016. Les résultats montrent qu'il y a un lien entre les effets thermo-hygro-mécaniques et la fissuration des poutres. D'autres analyses montrent également que la flèche relative des poutres est plus accentuée lors des phases d'humidification et moins lors des phases de séchage. Ces analyses mettent aussi en évidence un impact de la propagation des fissures et des ouvertures sur la déflexion des poutres.

Mots clefs : fluage, flexion 4 points, fissuration, comportement thermo-hydro-mécanique, effets environnementaux

Abstract:

This work presents, an experimental campaign, of creep in 4-point bending, of White fir and Douglas fir notched beams, in an unsheltered outdoor environment. The purpose of the study is to highlight the coupled of environments effects (moisture content MC, temperature T, relative humidity RH), loading intensity and crack parameters (crack opening CO and crack propagation CP) on the delayed behavior of the beams studied. The results presented in this study, concern the data obtained during the period from March to May 2018 (3 months), 2 years since the initial loading of the beams in June 2016. The results show that there is a link between the thermo-hygro-mechanical effects and cracking of beams. Other analyses show that the relative deflection of the beams is more accentuated during the humidification than during drying p. These analyses also highlight an impact of crack propagation and crack opening on the deflection of the beams.

Keywords: creep, 4-point bending, cracking, thermo-hydro-mechanical behavior, environmental effects

1 Introduction

Dans le cadre d'une gestion durable de l'environnement, l'utilisation des matériaux issus des produits naturels, tels que le bois, les fibres végétales, la bagasse de canne à sucre..., au détriment des matériaux dit lourds (béton, acier), dans le domaine de la construction, devient une nécessité planétaire. En effet, contrairement au béton et à l'acier, le bois se dégrade plus facilement et plus rapidement dans le temps, c'est un matériau facilement recyclable. Aussi grâce à sa faculté à capter le CO₂, le bois apparaît comme un matériau très intéressant pour la lutte contre le réchauffement climatique, mais le bois n'a pas que des caractéristiques intrinsèques avantageuses. Sur le plan structurel, par exemple, le bois présente des paramètres physico-mécaniques qui lui confèrent un comportement mécanique difficile à appréhender à cause notamment de ses propriétés d'hétérogénéité et d'anisotropie. L'état de l'art réalisé [1], [2] et [3] montre que l'étude de son comportement en structure est rendu complexe à cause de ses propriétés physiques qui varient en fonction des conditions du milieu dans lequel il se trouve. Dans cette optique et en vue de faciliter son utilisation en structure plusieurs études sur le comportement du bois sous variations climatiques et contraintes mécaniques permanentes sont menées [4].

A ce jour, l'étude des interactions entre charges mécaniques et variations climatiques (effet thermo-hydrromécanique) sur les structures en bois reste toujours une grande problématique pour la communauté scientifique [5]. Cette étude s'avère encore plus complexe dans le cadre du couplage des effets thermo-hydrromécanique au processus de fissuration. Les travaux réalisés à ce jour pour l'étude du comportement thermo hydrromécaniques couplé au processus de fissuration du bois ; s'y sont attelés sur les structures de grandes dimensions en environnement extérieur [6], [7] et [8]. Ces travaux ont permis d'améliorer les connaissances actuellement connues de ce couplage.

La présente étude a pour but de mettre en évidence les effets couplés des variations des conditions climatiques (l'humidité interne, de la température, de l'humidité relative), de l'intensité de chargement et l'évolution des paramètres de fissuration (ouvertures des fissures OF et propagations des fissures PF) sur le comportement différé des poutres étudiées. Les poutres étudiées, ont des dimensions égales à 4000×180×60 mm. Les résultats présentés dans cette étude, concernent les données obtenues durant une période de 3 mois sur les poutres entaillées de Douglas et Sapin, 2 ans après leur chargement initial en Juin 2016.

2 Etude expérimentale

Les essais sont réalisés dans un environnement climatique extérieur, non abrité. Le dispositif expérimental est composé d'un banc d'essai, sur lequel sont effectués les essais de fluage en flexion 4 points. Le banc d'essai comprend une armature métallique servant de soutien aux deux poutres en bois entaillées aux extrémités (Fig. 1a et 1b). Ces poutres de Sapin blanc (Fig. 1a) et de Douglas (Fig. 1d) supportent de façon continue des charges initiales de masses respectives, 414 kg et 324 kg. Le dispositif est doté de capteurs de déplacements de type LVDT placés en-dessous et à mi travée des poutres (Fig. 1c). Ces capteurs relèvent automatiquement les flèches toutes les cinq minutes. Aux deux extrémités des fonds d'entailles de chaque poutre, nous avons placé deux comparateurs étanches Face A et Face C de la poutre (Fig. 1a, 1b et 1e) pour suivre l'évolution des ouvertures des fissures. Un trait gradué (Fig. 1e) de 1cm d'incrément, reliant les deux fonds d'entaille et placé sur tout le long des poutres, nous a permis de suivre l'évolution dans le temps de la pointe de fissure, apparue. La Fig. 1.e

présente également la configuration des poutres testées. Pour le suivi de l'humidité interne, nous avons placé deux poutres témoins une de Sapin et l'autre de Douglas (Fig. 1f) pour les prises quotidiennes de l'humidité interne (HI) avec un humidimètre de type EVO 25 de marque MERLIN (Fig. 1h). Sur le site expérimental, la température (T_{man}) et l'humidité relative (HR_{man}) étaient relevées manuellement par un thermo hygromètre de même marque (Fig. 1g). Une prise de donnée automatique de HR (HR_{aut}) et de T (T_{aut}) a été faite ; grâce au laboratoire de physique et de météorologie (Lamp) de l'université de Clermont-Ferrand, dont les installations se trouvent à 200 m du site d'essai. Sur les Fig. 2a et Fig. 2b on peut voir l'évolution globale des paramètres climatiques relevés manuellement et ceux transmis par le laboratoire de physique. Sur ces deux figures on remarque que l'évolution des paramètres climatique relevés manuellement n'est pas très différentes de celle des mesures automatiques.

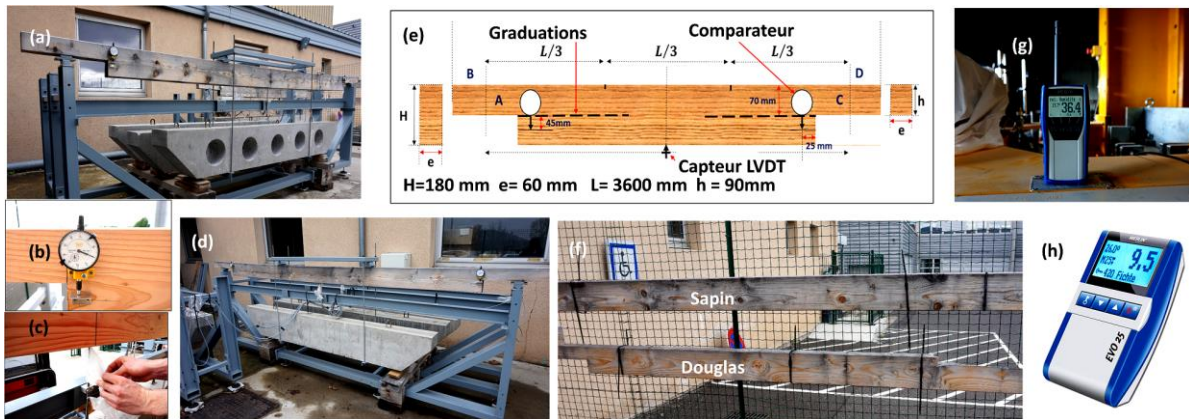


Figure 1 : dispositif expérimental (a) ; chargement poutre sapin blanc (b) ; comparateur (c) ; capteur LVDT (d) ; chargement poutre sapin blanc et Douglas (e) ; configuration des poutres testées (f) ; poutre témoins pour le suivi de (HI) (g) ; thermo hygromètre (e) ; humidimètre (h)

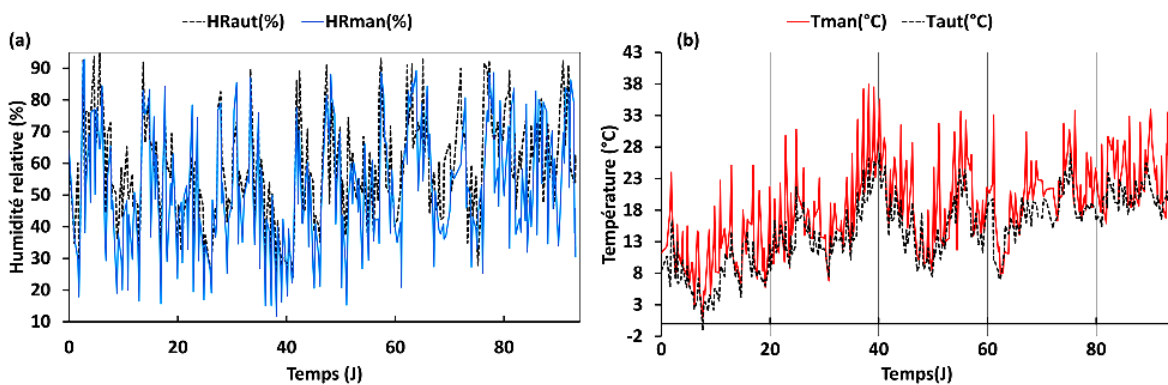


Figure 2 : Evolution globale des données climatiques manuelles et automatiques (a) ; humidités relatives (b) ; températures

3 Résultats et analyses

3.1. Évolution de la flèche en fonction de l'humidité interne (HI)

Les Figs. 3a et 3b présentent respectivement, les effets des variations dans le temps de l'humidité interne (HI) sur la déflexion des poutres de Douglas (D6) et de Sapin (S12). Les résultats montrent que la variation de (HI) du bois a un impact assez important sur la déflexion des poutres. En effet, sur les différentes courbes on observe que la déflexion relative observée (F) des poutres, augmente pendant les phases d'humidification et diminue lors des phases de séchage. Toutefois cette déflexion se produit

avec un temps de latence après une variation hydrique. On peut remarquer, en effet que sur les Fig. 3a et Fig. 3b, qu'il y a de légers décalages temporels entre la réponse au fluage mis en évidence ici par les zones encadrées (déflexion) et les variations hydriques. Le léger temps de latence observé sur la déflexion des poutres après une variation hydrique peut s'expliquer par les effets de diffusion consécutifs à la taille relativement importante des poutres. En effet, il faudrait un certain temps pour que les effets des variations hydriques puissent avoir un impact sur la déflexion des poutres.

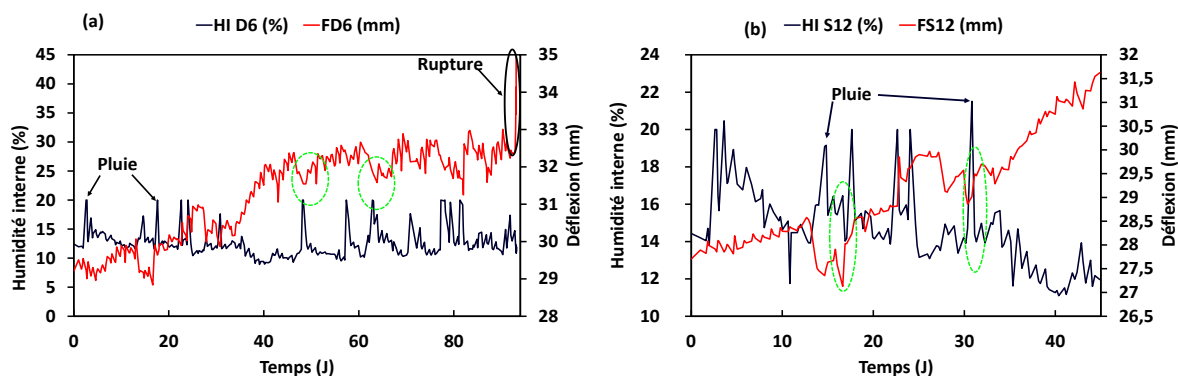


Figure 3 : Impact de l'humidité interne sur la déflexion (a) ; poutre D6 (b) poutre S12

3.2. Impacts de l'ouverture et de la propagation des fissures sur la déflexion

Les Fig. 4a et Fig. 4b suivantes, présentent le comportement en fluage des poutres D6 et S12 en fonction des ouvertures des fissures. Les courbes des ouvertures des fissures ont été obtenues en considérant la valeur moyenne des données relevées par les comparateurs. On remarque sur ces deux courbes qu'il y a une forte corrélation entre l'évolution de l'ouverture de la fissure et la flèche comme le montrent les zones encadrées. En effet, on remarque qu'une augmentation des ouvertures des fissures entraîne également une augmentation de la déflexion de même que la fermeture des fissures conduit à une diminution de la déflexion.

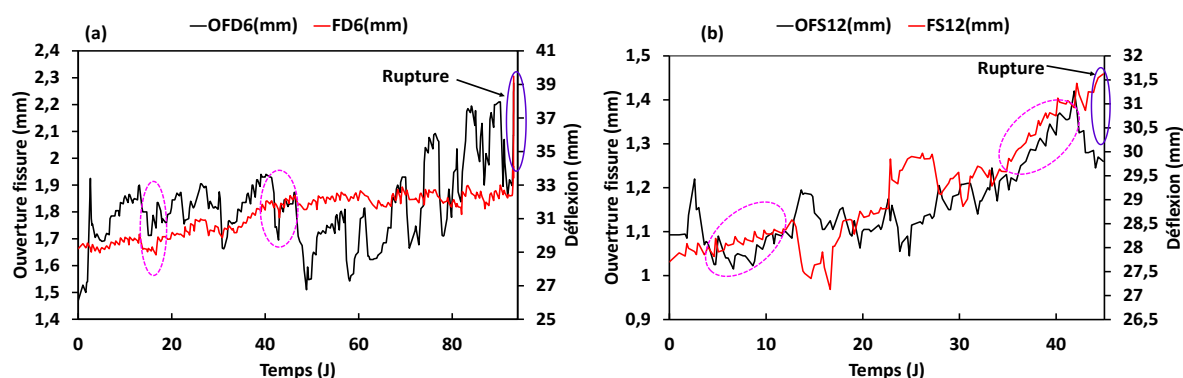


Figure 4 : Impact de l'ouverture de la fissure sur la déflexion (a) ; poutre D6 ; (b) poutre S12

Tout comme l'ouverture de la fissure, des Fig. 5a et Fig. 5b suivantes ; on observe que la propagation de la fissure influence l'évolution de la déflexion des poutres. On remarque en effet qu'à chaque départ de fissure, pendant le séchage et certaines phases d'humidification que la déflexion des poutres augmente également (Fig. 5a), ce qui accroît le risque de rupture. Les départs de fissures observés pendant les phases d'humidification peuvent être attribués aux effets du chargement mécanique (Fig. 5a). Avant le départ d'une fissure, on peut remarquer qu'il peut y avoir plusieurs phases de variations de la déflexion

induites par un séchage ou une humidification sous chargement mécanique sans entrainer de fissuration. Sur la (Fig. 5b), on peut remarquer que les initiations de fissures semblent plus se faire aux moments du séchage. Après ces différents départs de fissure, on peut déduire que les phases de propagation de fissures qui suivent entraînent dans la plupart des cas une augmentation de la déflexion ainsi que son amplitude.

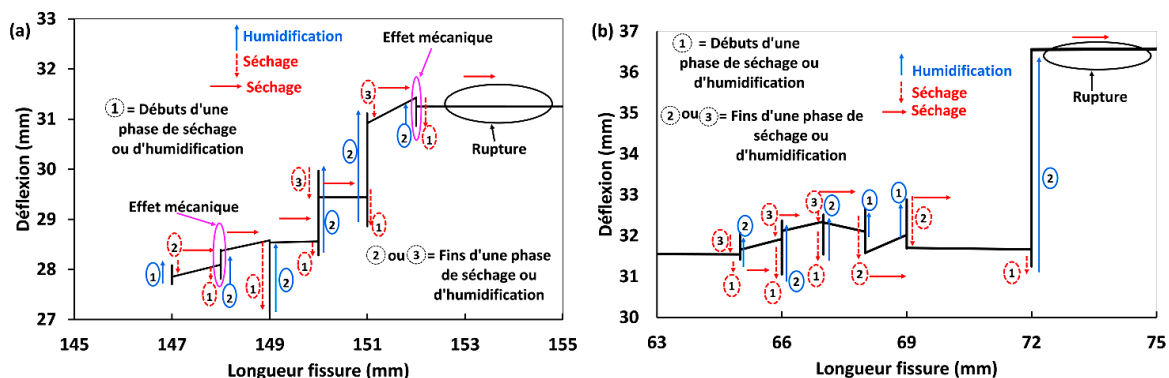


Figure 5 : effets de propagation de fissure sur la déflexion (a) ; poutre S12 (b) ; poutre D6

3.3. Evolution des fissures en fonction des ouvertures des fissures

Après avoir observé les effets de fissuration sur le fluage, nous avons souhaité analyser les effets des ouvertures de fissure sur la propagation de fissures. Ainsi, les Fig. 6a et Fig. 6b présentent l'évolution de la longueur de fissure des poutres S12 et D6 en fonction de l'ouverture. Sur ces différentes courbes, les chiffres (1, 2 et 3) encadrés autour des paliers représentent soient les débuts ou les fins d'une phase de séchage ou d'humidification. Il apparaît que l'évolution des ouvertures des fissures n'entraîne pas systématiquement la propagation d'une fissure et qu'elle ne se fait pas de façon continue, elle a tendance à évoluer en palier. Sur les deux poutres étudiées, on constate sur les (Fig. 6a) et (Fig. 6b) des phases d'ouverture de fissures sur chaque palier sans qu'il n'y ait propagation de fissure. Cela peut s'expliquer par les phénomènes de retrait gonflement des poutres sur les zones entaillées, qui provoquent des variations des (OF) sans propagation significative de fissures.

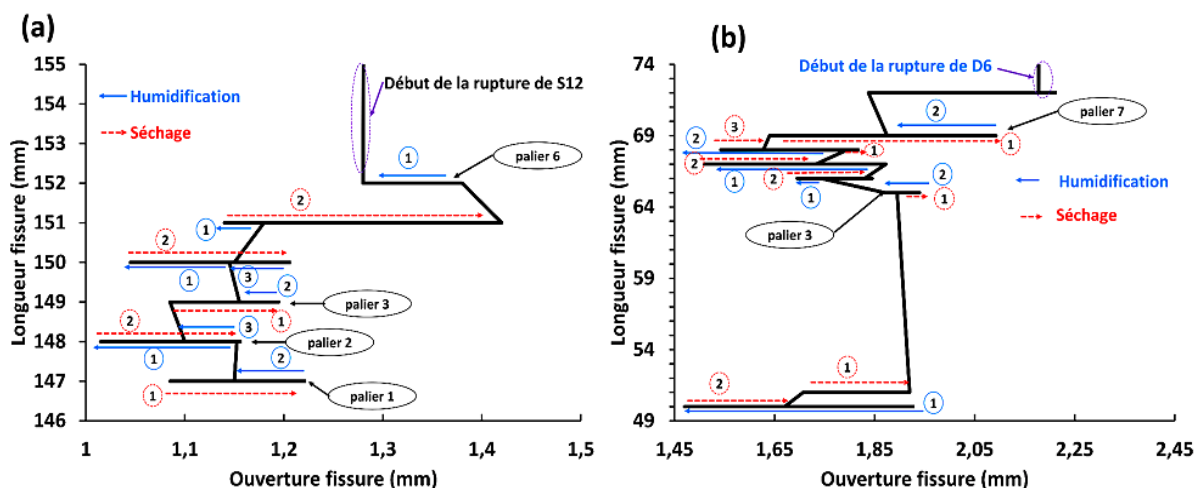


Figure 6 : Comportement à la fissuration des poutres en fonction des ouvertures des fissures (a) ; poutre S12 (b) ; poutre D6

Sur les deux figures on observe une fois de plus de cas de départs de fissure lors de l'humidification ; notamment sur les paliers (1, 2, 3, et 6) de la (Fig. 6a) et sur les paliers (3, et 7) de la (Fig. 6b). Ces cas

de départ et de propagation des fissures durant la phase d'humidification peuvent être dus uniquement aux effets du chargement mécanique.

4 Conclusion

Les différents résultats et analyses issues de cette étude viennent compléter et renforcer les informations sur les effets des variations hydriques et thermiques sous chargement mécanique couplés au processus de fissuration des poutres de structure. Ainsi, il a été remarqué que les effets thermomécaniques ont un impact considérable sur le processus de fissuration. Le couplage de ces deux effets est favorable dans certains cas à l'ouverture des fissures d'une part et d'autre part aux départs et à la propagation des fissures. Des phases d'humidification ont tendance à fermer les ouvertures des fissures, et à réduire le risque de propagation des fissures. Il a été également observé que la déflexion était fortement accentuée par le processus de fissuration et par l'humidification.

Remerciements

Les auteurs voudraient par cette occasion remercier l'Agence Nationale des Bourses du Gabon (ANBG) pour le support financier pour le déroulement des travaux. Nous remercions également le CNRS qui a en partie soutenu financièrement ce travail via le projet PEPS "Ingénierie verte" RUMO.

Références

- [1] H. Randriambololona., Modélisation du comportement diffère du bois en environnement variable. Thèse de doctorat Université de Limoges, 2003.
- [2] N. Manfoumbi Boussougou N. Sauvat N, Dubois F. (2012). Experimental decoupling of wood elements under variable mechanic and hydro loads. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* 16(10):1168-1186
- [3] S. Merakeb. Modélisation des structures en bois en environnement variable. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2006. xiii, 17, 36, 82
- [4] M. Meite. Caractérisation des paramètres de fissuration par un couplage corrélation d'images et éléments finis. Thèse de Doctorat, Limoges, 2012. xiii, 33, 34
- [5] C. Montero, Caractérisation du comportement viscoélastique asymptotique du bois thèse de doctorat. Université de Montpellier 2, 2011.
- [6] C. F. Pambou Nziengui, R. Moutou Pitti , Fournely E, Gril J, Godi G, Ikogou S, Notched-beam creep of Douglas fir and white fir in outdoor conditions: Experimental study , *Construction and Building Materials*, p 659-671, 2018.
- [7] M. Chaplain, T. Dethan, P. Castera. Effects of climatic conditions changes on crack growth. In 9th World Conference on Timber Engineering, WCTE, Portland, USA, 2006. 35
- [8] N. Angellier, F. Dubois, R. Moutou Pitti, M. Diakhaté, R. Spero Adjovi Loko, Influence of hydrothermal effects in the fracture process in wood under creep loading, *Engineering Fracture Mechanics* 177 (2017) 153–166.