

Influence des conditions climatiques variables sur les propriétés mécaniques des structures en bois

UWIZEYIMANA Placide, PERRIN Marianne, EYMA Florent

Institut Clément Ader, IUT de Tarbes - Dépt GMP, 1 rue Lautréamont, 65000 Tarbes
placide.uwizeyimana@iut-tarbes.fr, marianne.perrin@iut-tarbes.fr, florent.eyma@iut-tarbes.fr

Mots clefs : Ouvrages en bois ; poutres lamellé-collées ; cycles d'humidification/séchage ; essais de flexion ; caractéristiques mécaniques ; durabilité.

Contexte et objectifs

Dans le domaine de la construction, le bois présente souvent quelques limites comme sa résistance mécanique, la longueur des éléments structuraux, les dimensions transversales des poutres, etc. en comparaison des matériaux classiquement utilisés dans le génie civil (béton, matériaux métalliques, ...). Néanmoins, du fait de son caractère écologique et naturel, le bois reste un des seuls matériaux structurels renouvelables et favorables aux problématiques de développement durable actuelles. Ainsi, au cours de ces vingt dernières années, la technique de fabrication des éléments en bois lamellé-collé (LC) a permis de développer des poutres de grande longueur et de très grandes sections transversales (plus de 1,5 m de large) qui finalement ont permis de construire des ouvrages d'art (OA) pouvant supporter le trafic de charges élevées (Franke et al. 2018). Cependant, depuis quelques années, des problèmes de durabilité ont été constatés sur ces OA en bois LC, limitant ainsi leur développement (SETRA 2006 ; Pousette et al. 2017). Plusieurs pathologies comme la fissuration, la délamination des poutres, ainsi que les attaques fongiques et d'insectes ont été constatées sur ces ouvrages en bois (SETRA 2006). Ces pathologies conduisent à une dégradation des propriétés mécaniques du matériau et peuvent parfois provoquer la rupture des poutres LC. La principale condition d'apparition de ces pathologies est généralement l'humidité excessive (souvent locale) du matériau, et plus particulièrement les cycles climatiques d'humidification/séchage (H/S) entraînant des mécanismes de retrait/gonflement répétitifs. Par ailleurs, l'impact de ces cycles H/S sur les propriétés mécaniques des structures en bois LC reste peu connu. L'objectif de ce travail expérimental est donc d'étudier l'influence des cycles H/S sur la tenue mécanique des poutres LC. Cela permettra à l'avenir d'établir des modèles de prédiction de la durée de vie résiduelle des ouvrages en bois LC afin d'optimiser les opérations de maintenance préventive.

Travaux réalisés

Des éprouvettes en bois LC ont été exposées à des cycles d'humidification/séchage, puis l'évolution des propriétés mécaniques en flexion a été évaluée. De façon à réduire la durée des essais, les cycles naturels étant généralement longs (Franke et al. 2019), les conditions d'un cycle H/S accéléré ont été définies de manière à s'approcher au plus près de la réalité c'est-à-dire obtenir des taux d'humidités équivalents à ceux présents dans les OA en bois exposés en extérieur. D'après la littérature (Koch et al. 2016 ; Franke et al. 2019), dans un ouvrage répondant aux normes de conception et de fabrication actuelles, le taux d'humidité du bois varie généralement entre 10% et 30%. Ainsi, une première phase de notre travail a consisté à identifier un cycle accéléré représentatif des conditions réelles de variations d'humidité d'un OA en bois. Ce cycle H/S est composé de trois phases. La première phase consiste à humidifier les éprouvettes en enceinte climatique à 98% HR et 35°C jusqu'à la stabilisation de masse. Dans la deuxième phase, les échantillons sont immergés dans l'eau à

température ambiante pendant 24 heures et enfin, la dernière phase de séchage consiste à remettre les échantillons en enceinte climatique à 50% HR et 35°C jusqu'à la stabilisation de masse.

66 éprouvettes en bois de Douglas LC ont été fabriquées. Chaque éprouvette est composée de trois lamelles et mesure 480 mm de longueur (L) et 30 mm (R) x 30 mm (T) de section, dimensions définies suivant la norme NF EN 408 (AFNOR 2012). Parmi ces 66 éprouvettes, 60 sont utilisées pour la caractérisation mécanique en flexion au cours des cycles H/S et 6 servent d'échantillons témoins permettant à la fois le suivi des humidités et des déformations (Fig. 1). La méthode résistive par capteurs surfaciques intégrés a été utilisée pour le suivi d'humidité (Uwizeyimana et al. 2020) et des jauges pour le suivi de déformations (Uwizeyimana 2021). Au total, 17 cycles H/S accélérés ont été réalisés et les essais de flexion quatre-points ont été effectués au fur et à mesure en suivant le séquençement présenté dans le Tableau 1. La résistance à la rupture et le module d'élasticité en flexion ont été calculés après chaque séquence, selon la norme NF EN 408 (AFNOR 2012).

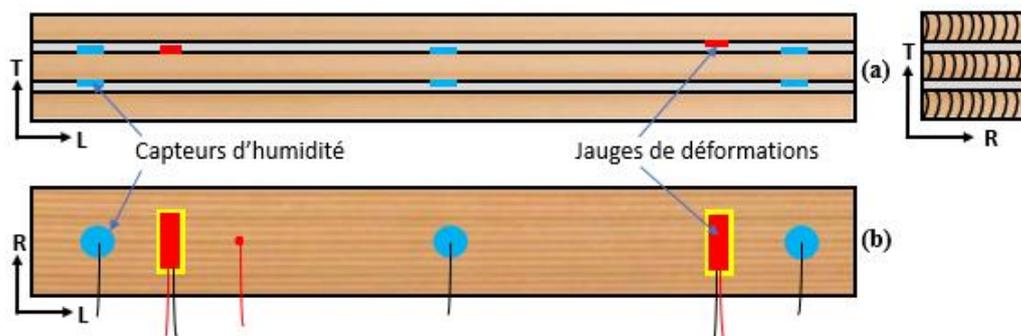


Fig. 1 : Représentation d'un échantillon LC instrumenté avec des capteurs d'humidité et des jauges de déformations : (a) vues sur le plan TL et TR ; (b) vue sur le plan RL

Tableau 1 : Séquençement des essais de flexion au cours des cycles H/S

Nombre de cycles	0	1	2	3	5	7	9	11	13	15	17
Numéro de séquence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nombre d'éprouvettes	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Résultats expérimentaux et discussion

La Fig. 2 présente l'évolution de la résistance à la rupture en fonction du nombre de cycles. Dans l'ensemble, les 17 cycles H/S provoquent un affaiblissement moyen de 43,5 % de la résistance en flexion par rapport à des éprouvettes non soumises aux cycles H/S (soit une diminution moyenne de 44,8 MPa). L'analyse de la variance a permis de constater que les diminutions sont beaucoup plus marquées après le 1er cycle et après le 7ème. Cet affaiblissement de la résistance à la rupture peut s'expliquer par des modifications microstructurales du matériau bois sous sollicitations hydriques cycliques. En effet, au cours des cycles H/S, nous avons constaté quelques microfissurations (Fig. 3) dans le matériau qui ont provoqué des endommagements irréversibles et donc l'affaiblissement de la résistance à la rupture. Par ailleurs, d'après nos résultats, aucune influence significative des cycles H/S n'a été constatée sur le module d'élasticité.

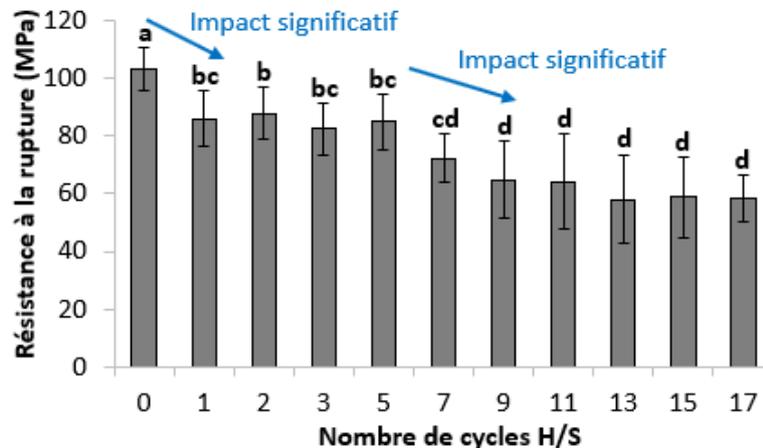


Fig. 2 : Evolution de la résistance à la rupture en fonction du nombre de cycles H/S

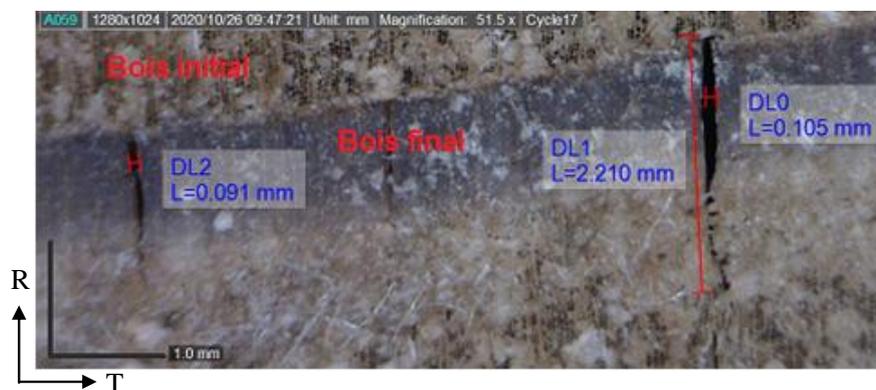


Fig. 3 : Microfissures radiales dans le plan RT après 17 cycles H/S (grossissement = 51,5)

Conclusions et perspectives

Les résultats expérimentaux ont montré que l'exposition du bois à des variations d'humidité avait une influence significative sur la résistance à la rupture en flexion alors qu'elle n'avait pas sur le module d'élasticité. Qui plus est, le suivi des mécanismes de retraits/gonflements nous a permis de constater que les cycles H/S induisent des endommagements dans le matériau expliquant ainsi l'affaiblissement de la tenue mécanique des poutres LC. D'autres travaux sont actuellement en cours au laboratoire mais ils sont menés cette fois dans des conditions réelles, en extérieur. Cela permettra non seulement de valider la démarche scientifique utilisée lors des essais accélérés mais aussi de mettre en évidence l'impact des conditions climatiques naturelles sur la tenue mécanique des structures en bois. Par la suite, un modèle de prédiction de la durée de vie résiduelle des structures en bois sera établi afin d'optimiser les opérations de maintenance des ouvrages en bois.

Remerciements

Ce travail de recherche a été financé par la Région Occitanie, la Communauté d'Agglomération Tarbes-Lourdes-Pyrénées et l'Institut Universitaire de Technologie de Tarbes. Les auteurs souhaitent également remercier Emmanuel Laügt pour sa contribution au développement des appareils de mesure. Merci également à Pierre Larricq et Frédéric Leroy pour leur contribution dans la réalisation des montages d'essais.

Références

- AFNOR (2012) NF EN 408 Structures en bois - Bois de structure et bois lamellé-collé - Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques.
- Franke B, Schiere M, Franke S (2018) Stress developments in large timber cross sections in relation to geometry and encountered climate. In: World Conference on Timber Engineering, August 20-23, Seoul, Korea.
- Franke, B., Franke, S., Schiere, M. and Müller, A. (2019) Moisture content and moisture-induced stresses of large glulam members: Laboratory tests, in-situ measurements and modelling. *Wood Material Science & Engineering* 14: 243–252.
- Koch J, Simon A, Arndt RW (2016) Monitoring of Moisture Content of Protected Timber Bridges. In Proceedings of WCTE 2016 (World Conference on Timber Engineering), Vienna, Austria.
- Pousette A, Malo K, Thelandersson S, Fortino S, Salokangas L, Wacker J (2017) Durable timber bridges – final report and guidelines, pp 142–149. SP Report 25. Research Institutes of Sweden RISE, Skellefteå.
- SETRA (2006) Les Ponts en Bois : Comment Assurer leur Durabilité. SETRA (Service d'Etudes Technique des Routes et Auto-routes), France, ISBN : 9782110946553.
- Uwizeyimana P, Perrin M, Eyma F (2020) Moisture monitoring in glulam timber structures with embedded resistive sensors: study of influence parameters. *Wood Sci. Technol.* 54: 1463–1478.
- Uwizeyimana P (2021) Suivi de la santé structurale des infrastructures en bois par intégration de capteurs. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse.