Etude comparative du vieillissement du bois lamellé collé sous cycles accélérés et en conditions naturelles

GREFFIER Guilhem[1], ESPINOSA Luis[1], EYMA Florent[1], PERRIN Marianne[1]

[1] Institut Clément Ader (ICA), CNRS UMR 5312, Université de Toulouse, IUT de Tarbes, UPS, France
guilhem.greffier@iut-tarbes.fr

Mots clefs : Durabilité ; Bois Lamellé Collé ; Ouvrages d'arts ; Mécanismes de rupture

Introduction

Aujourd'hui, l'utilisation du bois et particulièrement du lamellé collé (LC) comme alternative aux matériaux de constructions dits « traditionnels » tels que le béton et l'acier permet de diminuer l'impact environnemental de la construction d'ouvrages d'arts (Hill 2019, Hurmekoski 2017). Le bois LC est constitué de lamelles de bois aboutées et collées entre elles, permettant de créer des portées et des sections adaptées à la plupart des ouvrages d'arts de petite longueur (inférieure à 50m) (Glulam Handbook 2018, Le Roy 2013)

S'il existe des études sur le comportement à long terme du bois massif basées sur le modèle de la courbe de madison (Wood 1947) pour les classes d'emploi 1 ou 2 au sens de la norme EN 335 (AFNOR 2013) qui ont permis de définir les exigences des codes de calcul, le comportement à long terme du bois LC, particulièrement en extérieur, n'est pas suffisamment documenté (Ehrhart et al. 2021). Les coefficients de sécurité appliqués au bois lamellé-collé dans l'Eurocode 5 sont issus d'études sur du bois massif (AFNOR 2005a, 2005b, Racher et al. 1996) et ne prennent donc pas en côté la spécificité de ce matériau avec la présence de joints de colle.

Dans ce contexte, des essais accélérés ont été réalisés à l'Institut Clément Ader (Uwizeyimana 2021). Ces essais ont mis en évidence un affaiblissement des propriétés mécaniques en flexion du bois LC de l'ordre de 43.5% après 17 cycles d'humidification séchage (H/S) (Uwizeyimana et al. 2023). Ces résultats ont conduit à la réalisation d'essais en condition naturelle avec des éprouvettes instrumentées, chargées et non chargées, exposées en extérieur sur le site de l'IUT de Tarbes. L'objectif de ce travail est donc d'identifier l'impact des cycles H/S naturels combinés aux effets du chargement sur l'évolution des propriétés mécaniques du bois LC, et de les comparer aux résultats obtenus avec les cycles accélérés. Dans ce cadre, des essais en cisaillement sur les joints de colle et des essais de flexion statique sur les éprouvettes en bois LC ont été réalisés tous les 6 mois.

Matériel et méthodes

Vieillissement du bois LC

Une campagne d'essais en extérieur a été initiée en août 2020 pour une durée de 5 ans. 198 éprouvettes en bois LC constituées de trois lamelles de Douglas collées avec de la colle polyuréthane ont été fabriquées. Le Douglas a été l'essence choisie car elle fait partie des plus courantes dans l'industrie du lamellé collé pour une utilisation en structure extérieure.

Les éprouvettes mesurent 480mm de long pour une section de 30x30mm. Ces sections ont été définies selon la norme EN408 (AFNOR, 2012). Trois scénarios de vieillissement distincts sont étudiés, 66 éprouvettes sont exposées en conditions extérieures avec une charge de 60 daN en

flexion 4 points, 66 éprouvettes sont exposées à l'extérieur sans chargement et 66 éprouvettes sont conservées dans une pièce à température et humidité régulée à 20° et 40% HR comme référence. 6 éprouvettes de chaque série sont équipées du système d'instrumentation développé dans notre laboratoire (Uwizeyimana et al. 2020) permettant d'avoir un suivi de l'humidité et des déformations dans le bois LC.

Essais de flexion

Pour chaque série d'essais ; 5 éprouvettes de chaque condition de vieillissement sont sélectionnées pour réaliser des essais en flexion 4 points (Fig. 3). Le dispositif d'essai est basé sur les recommandations de la norme NF EN 408 (AFNOR 2012).

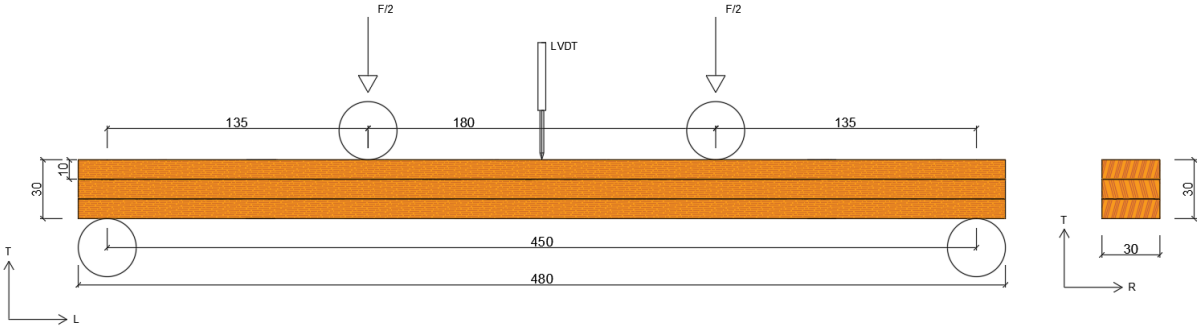

Fig. 1 : Dispositif d'essais en flexion 4 points

Les essais sont réalisés à l'aide d'une machine d'essai électromécanique MTS100 avec une cellule de chargement de 100 kN. La mesure de déformation au centre de l'éprouvette est réalisée par l'intermédiaire d'un capteur LVDT Solartron AX5S. Les essais mécaniques sont filmés par une caméra standard pour permettre une analyse à posteriori des mécanismes de rupture.

La contrainte maximale est déterminée d'après la norme NF EN 408 (AFNOR 2012)

Résultats

Evolution des propriétés mécaniques

Les essais mécaniques réalisés après les essais accélérés (Fig. 2) ont mis en évidence une diminution importante des propriétés mécaniques dès le premier cycles H/S, puis une diminution graduelle des propriétés entre les 7ème et 13ème cycles. Ensuite les propriétés ne diminuent plus jusqu'au 17ème cycle (Uwizeyimana et al. 2023).

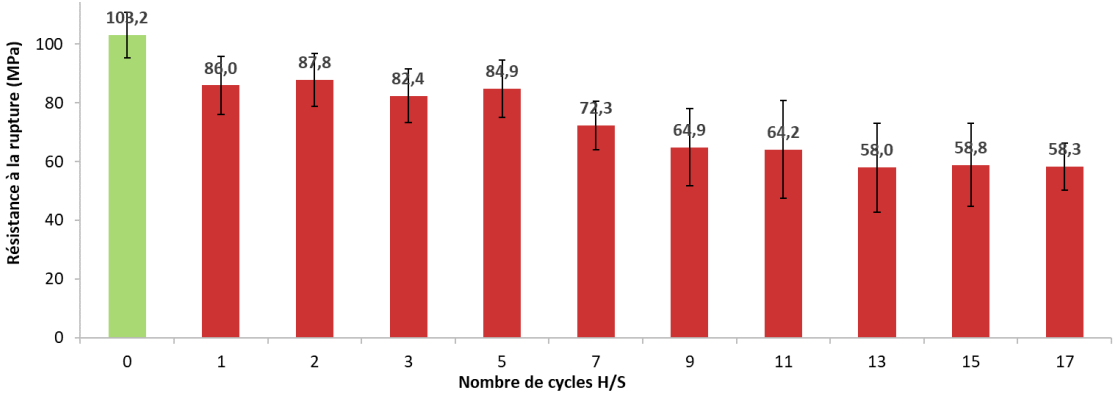

Fig. 2 : Evolution de la résistance à la rupture en fonction du nombre de cycle H/S (Uwizeyimana et al., 2023)

Lors des essais en conditions extérieures (Fig. 3), les propriétés mécaniques obtenues après 6 mois sont du même ordre de grandeur que celles obtenues après 1 cycle H/S accéléré.

Une tendance à la baisse des propriétés est observée pour les échantillons testés après 12 mois en extérieur avec un résistance moyenne proche de celle obtenue après le 7 ème cycle accéléré avec une diminution de l'ordre de 20% de la contrainte à la rupture en flexion.

Les écarts types entre les éprouvettes restent importants au regard des pertes de propriétés mesurées.

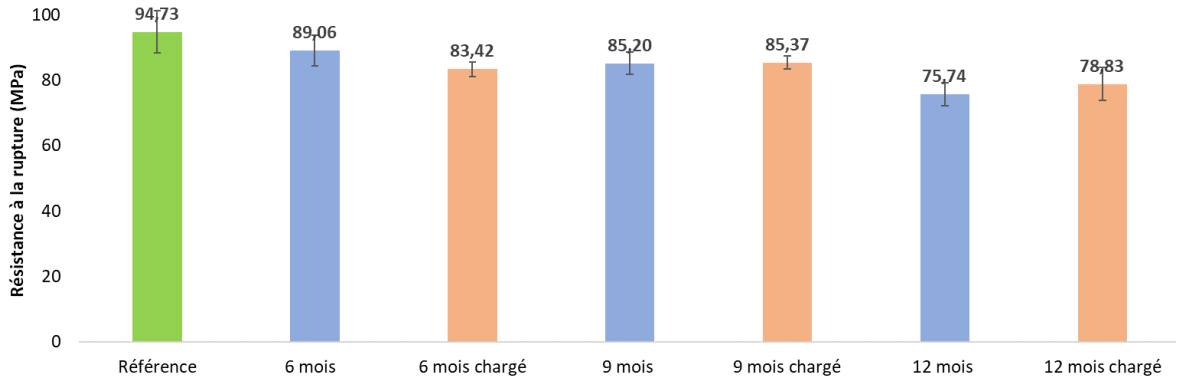

Fig. 3 : Evolution de la résistance à la rupture en fonction de la durée d'exposition en extérieur

Nous n'observons cependant pas de variance significative de résistance entre les éprouvettes chargées et non chargées.

Au-delà de la diminution des propriétés mécaniques, nous observons lors des essais de flexion une évolution des mécanismes de rupture.

Evolution des mécanismes de rupture

Lors des essais en flexion nous observons quatre principaux mécanismes de rupture (Fig. 4).

Le mécanisme de rupture de type A présente une courbe force déformation caractéristique avec plusieurs chutes de charge correspondant à des ruptures successives de cernes. Ce type de rupture est séquentiel avec la ruine de l'éprouvette qui intervient après la rupture de tous les cernes.

Le mécanisme de rupture de type B se caractérise par une rupture de l'éprouvette avec un éclatement de sa partie inférieure. Le mécanisme de rupture de type C se caractérise lui par une rupture de l'éprouvette avec une rupture nette perpendiculaire au fil du bois de la partie inférieure. Les ruptures de type B et C sont brutales, tous les cernes cassent de manière simultanée.

Le mécanisme de rupture de type D correspond à une rupture en cisaillement du joint de colle.

L'apparition des mécanismes de rupture en cisaillement s'explique par une diminution nette des propriétés en cisaillement des joints de colle des éprouvettes liés notamment à des délaminations qui ont pu être mesurées. Ce mécanisme de rupture n'a pas été détecté lors des essais sur des éprouvettes soumises à des cycles accélérés.

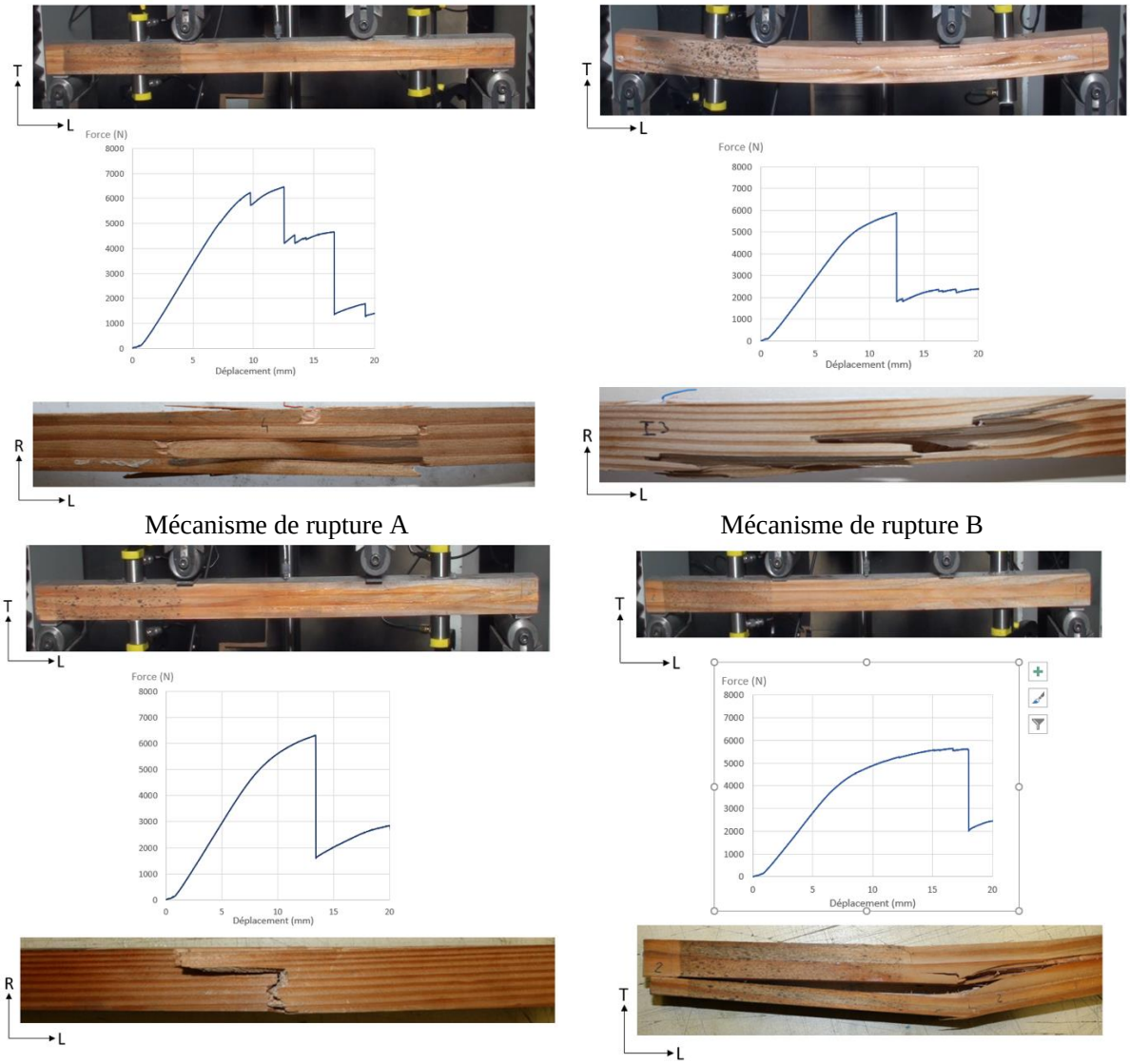

Fig. 4 Identification des différents mécanismes de rupture

Lors des essais il a été observé que les éprouvettes stockées à température et humidité constante ont tendance à rompre selon le mécanisme de rupture A, plus de 50% des éprouvettes pour les éprouvettes de référence des campagnes d'essais accélérés et 60 % pour les éprouvettes référence de la campagne d'essais en extérieur. Après vieillissement le comportement des éprouvettes tend vers des ruptures brutales de type B ou C. Après 17 cycles accélérés toutes les ruptures sont de type B ou C. Après 12 mois d'exposition en extérieur les ruptures de type A ne représentent plus que 20% de l'ensemble des ruptures. La proportion entre les ruptures B, C et D varie en fonction des séries d'essais. Nous n'observons pas d'effet significatifs du chargement sur les mécanismes de rupture.

Conclusion

Ces résultats permettent de conclure sur la sévérité des cycles accélérés, car le premier cycle H/S semble avoir un effet comparable à 6 mois d'exposition en extérieur. Cependant, concernant les essais en extérieur, compte tenu du faible nombre d'échantillons testés et des écarts types mesurés, il est difficile à ce jour de corréler l'évolution des propriétés mécaniques mesurées avec la durée d'exposition. Les résultats à plus long terme permettront de préciser les

tendances observées à ce jour. Ainsi, la pertinence des cycles accélérés pour simuler une exposition à long terme en extérieur pourra être évaluée.

Le taux de chargement des éprouvettes en conditions extérieures chargées semble trop faible pour avoir un effet significatif sur les propriétés mécaniques en flexion après seulement un an d'exposition en extérieur.

L'évolution des mécanismes de rupture semble indiquer une modification dans la structure du matériau qui favorise la propagation des fissures entre les cernes. Cependant, à ce stade, nous n'avons pas pu identifier avec certitude l'origine de la modification des mécanismes de rupture en fonction du vieillissement des éprouvettes.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier l'agglomération de Tarbes Lourdes Pyrénées, L'IUT de Tarbes et la Région Occitanie pour leur support financier, ainsi qu'Emmanuel LAUGT pour son soutien technique et ses précieux conseils dans le cadre du développement du système de suivi.

Références

AFNOR (2005a) NF EN 1995-1-1 : Eurocode 5—Conception et calcul des structures en bois—Partie 1-1 : Généralités—Règles communes et règles pour les bâtiments.

AFNOR (2005b) NF EN 1995-2 : Eurocode 5—Conception et calcul des structures bois—Partie 2 : Ponts.

AFNOR (2012) NF EN 408+A1, Structures en bois—Bois de structure et bois lamellé-collé—Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques.

AFNOR (2013) NF EN 335 : Durabilité du bois et des matériaux à base de bois — Classes d'emploi : définitions, application au bois massif et aux matériaux à base de bois.

Ehrhart T, Grönquist P, Schilling S, Steiger R, Frangi A (2021) Mechanical properties of European beech glulam after 32 years in a service class 2 environment. In 8th International Network on Timber Engineering Research Meeting 54. https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000506091

Glulam Handbook (2018) Volume 1—Histoire et développement du bois lamellé. https://handbook.glulam.org/volume-1-1-histoire-et-developpement-du-bois-lamelle-2/

Hill CAS (2019) The Environmental Consequences Concerning the Use of Timber in the Built Environment. Frontiers in Built Environment, Volume 5.
https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2019.00129

Hurmekoski, E. (2017) Comment la construction en bois peut-elle contribuer à réduire la dégradation de l'environnement ? European Forest Institute, ISBN 978-952-5980-34-9.

Le Roy R (2013) Ouvrages d'art en bois—Perspectives de développement en France. Présentation aux 2èmes Journées Scientifiques du GDR 3544 Sciences du bois.

Racher P, Biger JP, Rouger F, Sagot G, Vidon G (1996) Structures en bois aux états limites : Introduction à l'Eurocode 5. STEP 1. Matériaux et bases de calcul. Eyrolles.

Uwizeyimana P, Perrin M, & Eyma F (2020). Moisture monitoring in glulam timber structures with embedded resistive sensors : Study of influence parameters. Wood Science and Technology, 54(6), 1463-1478. https://doi.org/10.1007/s00226-020-01228-8

Uwizeyimana P (2021) Suivi de la santé structurale des infrastructures en bois par intégration de capteurs, thèse de l'Université Toulouse III.. http://thesesups.ups-tlse.fr/4906/

Uwizeyimana, P., Perrin, M., Laügt, E., Larricq, P., & Eyma, F. (2023). Strain measurement in glulam timber for bridges with embedded strain gauges and detection of moisture-variation effects. Wood Material Science & Engineering, 0(0), 1-11. https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2165147

Wood L.W. (1947). Behavior of wood under continued loading. US Department of Agriculture, Forest Service.