

## Mesure du fluage en cisaillement roulant dans la flèche des panneaux CLT

ALLEMAND Charlotte<sup>1,2</sup>, LEBEE Arthur<sup>1</sup>, PINOTEAU Nicolas<sup>2</sup>, FORÊT Gilles<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Navier, UMR 8205, Ecole des Ponts, IFSTTAR, CNRS, Université Paris Est, Champs-sur-Marne, France

<sup>2</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Université Paris Est – Marne la Vallée, France  
[charlotte.allemand@cstb.fr](mailto:charlotte.allemand@cstb.fr)

**Mots clés :** Fluage ; Bois Lamellé Croisé ; Cisaillement Roulant

### Contexte et objectifs

En 2024 le village olympique et paralympique sera en bois. Ce matériau sera imposé pour toutes les constructions de moins de 28 mètres et préconisé au-delà de cette hauteur. Les murs et les planchers seront conçus avec des panneaux de bois lamellé croisé (cross laminated timber, CLT). Il s'agit de panneaux composés de lames de bois croisées perpendiculairement. Ce projet reflète l'essor que connaît le bois, notamment le CLT, dans la construction ces dernières années.

En raison du croisement des couches, les déformations en cisaillement roulant jouent un rôle important dans la réponse mécanique des panneaux de CLT à court et à long terme. La valeur du module de cisaillement roulant  $G_{r,mean}$  à court terme, se situe entre 50 et 200 MPa (Ehrhart et al. 2018, Franzoni et al. 2016), ce qui est environ 200 fois inférieur au module d'Young longitudinal. Les grandes différences entre les études sont dues à la difficulté d'obtenir une contrainte de cisaillement pure et de représenter le comportement des couches croisées.

L'Eurocode ne prend pas en compte l'hétérogénéité des panneaux de CLT puisque la valeur de  $k_{def}$  est identique quelle que soit la direction considérée. De nouvelles recommandations sont en cours de rédaction. Il est cependant nécessaire d'avoir une connaissance plus précise du comportement à long terme des effets dus au cisaillement roulant.

Bien que l'on puisse trouver des expériences qui mesurent le fluage CLT (Pirvu et Karacabeyli 2014, Colling 2014), la caractérisation du fluage par cisaillement de roulement dans un environnement contrôlé sur une longue période est encore nécessaire. Un protocole expérimental pour mesurer la rigidité au roulement et le fluage des panneaux CLT et ses premiers résultats sont présentés ici.

### Matériel et méthodes

La méthodologie présentée a été développée par Perret et al (2018) pour des essais à court terme. Des essais de flexion 4-points sont réalisés sur des poutres sandwich de 800 mm de longueur et de section 40 mm sur 30 mm. L'âme de la poutre est constituée de plusieurs planches de bois et les couches supérieures et inférieures sont en tôle d'acier (Fig. 1). Afin d'appliquer le modèle des poutres sandwich on doit avoir  $E_a e_a \gg E_b e_b$ ,  $e_b \gg e_a$  ce qui est vérifié ici, avec  $E_a = 210$  GPa le module des peaux,  $e_a = 1.2$  mm leur,  $E_b = 0.43$  GPa le module de l'âme et  $e_b = 30$  mm son épaisseur Les tôles d'acier contribuent alors principalement à la rigidité en flexion D et l'âme de la poutre contribue seule à la rigidité en cisaillement F :

$$D = \frac{b(h^3 - e_b^3)}{12} E_a \quad (1)$$

$$F = \frac{b(e_b + e_a)^2}{e_b} G_{r,mean} \quad (2)$$

avec  $h = e_b + 2e_a$  l'épaisseur totale et  $b$  la largeur de la poutre.

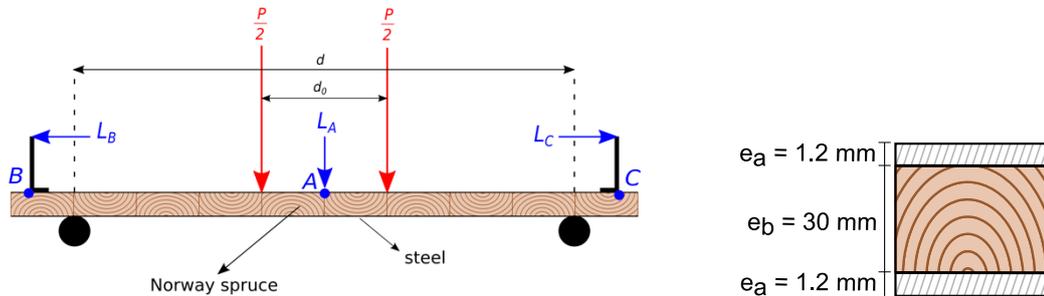


Fig. 1 : Essai de flexion 4-points sur une poutre sandwich

La poutre est simplement supportée sur une portée de  $d = 600$  mm et deux charges  $P/2$  sont appliquées à une distance  $d_0 = 200$  mm. On peut alors estimer la rigidité en flexion  $D$  à partir des rotations mesurées en  $B$  et  $C$ , notées  $\varphi_B$  and  $\varphi_C$  :

$$D = \frac{P(d^2 - d_0^2)}{16\Delta\varphi} \quad (3)$$

où  $\Delta\varphi = (\varphi_B + \varphi_C)$ .

La rigidité en cisaillement roulant  $F$  peut alors être exprimée comme une fonction de la flèche  $f_A$  et de la rigidité en flexion  $D$  :

$$\frac{1}{F} = \frac{4f_A}{P(d - d_0)} - \frac{1}{8D} \left( d^2 - \frac{1}{3}(d - d_0)^2 \right) \quad (4)$$

Cinq échantillons (poutres A à E) sont fabriqués selon un protocole précis et sont gardés à humidité constante dans le bois de  $H = 10.6 \pm 0.3$  % pendant toute la durée de l'essai. La limite viscoélastique a été principalement étudiée dans la direction longitudinale et a été déterminée à 40% de la charge limite. Cette valeur n'est à priori pas la même dans la direction de cisaillement roulant. De ce fait, les échantillons ont chacun été soumis à différentes charges ; de 27 à 52% de la charge limite.

L'essai est effectué dans une pièce à température et humidité constante avec  $T = 18.8^\circ\text{C} \pm 1.1^\circ\text{C}$  et  $HR = 58\% \pm 8\%$ . L'essai a été lancé le 13 mars 2020 et est toujours en cours à la date de soumission de ce papier.

## Résultats et discussion

La force  $P$  est tracée en fonction de la partie symétrique des rotations  $\Delta\varphi$ . Une régression linéaire sur la partie linéaire de cette courbe permet de retrouver le module de Young des peaux en acier. La même méthode est utilisée afin de déterminer le module de cisaillement instantané en traçant la force  $P$  en fonction de la flèche au centre  $f_A$ . Le Tab. 1 résume les résultats trouvés. L'erreur sur les peaux en acier est faible ce qui permet de valider le procédé. Le module de

cisaillement est  $G_{r,mean}^0 = 97.7$  MPa avec un coefficient de variation de 7.2% ce qui est cohérent avec les résultats trouvés dans Ehrhart et Brandner (2015).

Tab 1: Valeurs instantanées

Nom	A	B	C	D	E	Moyenne	CoV <sup>1</sup> (%)
$G_{r,mean}^0$ (MPa)	89.3	105	91.3	103	100	97.7	7.2
$E_a$ (GPa)	205	212	204	206	204	206	1.74

<sup>1</sup> Coefficient de variation

Sur la Fig. 2, le fluage relatif est tracé pour le cisaillement roulant de chaque poutre. Le fluage du bois a été modélisé à l'aide de lois empiriques (lois puissance) ou dérivées de la thermodynamique. Les modèles empiriques bien qu'ils n'aient pas de justification théorique permettent de mieux prédire le fluage du bois. La loi (1) utilisée ici a été développée par Youngs (1957) :

$$\frac{J(t)}{J_0} - 1 = mt^n \quad (5)$$

avec  $n$ ,  $m$  et  $J_0$  des paramètres expérimentaux et  $t$  le temps en secondes. C'est cette équation qui a été utilisée afin de modéliser le comportement dans la Fig. 2. La modélisation a été faite en prenant  $t_0 = 1$  s, ce qui correspond à la fin du chargement de l'échantillon.

L'Eurocode définit  $k_{def}$  une constante qui permet de calculer le fluage à 50 ans et de dimensionner les bâtiments en conséquence. La variable  $k_{def}^G$  est définie pour les déformations dues au cisaillement roulant et exprimée par :

$$G_{r,mean}^\infty = \frac{G_{r,mean}^0}{1+k_{def}^G} \quad (6)$$

avec  $G_{r,mean}^0$  le module instantané de cisaillement roulant et  $G_{r,mean}^\infty$  le module sécant à 50 ans.

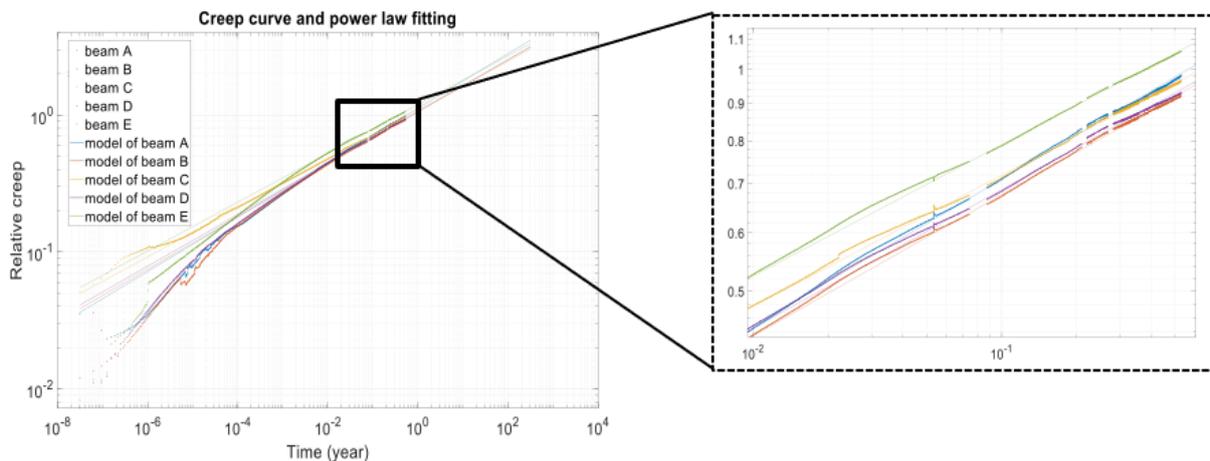


Fig. 2 : Modélisation de  $k_{def}$ .

Une régression linéaire a été effectuée sur les données logarithmiques. Cette régression est visible Fig. 2 où  $k_{def}^G$  (relative creep) est tracé en fonction du temps en échelle logarithme. La moyenne des valeurs de  $k_{def}^G$  trouvées est 2.3 avec un coefficient de variation de 7.5%.

Le niveau de charge semble ne pas avoir d'influence sur la valeur de  $k_{def}^G$  ce qui valide l'hypothèse de viscoélasticité faite.

### Conclusion et perspectives

La valeur du  $k_{def}^G$  trouvée de 2.3 est très élevée par rapport aux normes actuelles ( $k_{def} = 0.6$ ) mais n'est pas incohérente avec les précédents travaux portant sur sa caractérisation (Pirvu 2014, Colling 2014). En effet, la flèche des panneaux de CLT est composée d'une partie venant des déformations longitudinales et d'une seconde partie venant de celles en cisaillement. La contribution en cisaillement dans le fluage global dépend de l'élançement du panneau. Cette contribution varie de 30% pour des panneaux peu élançés à quelques pourcents pour des panneaux qui le sont plus. D'autres essais doivent être effectués afin de disposer de résultats statistiquement représentatifs. Si ces valeurs sont validées cela aura des conséquences pour le dimensionnement des panneaux de CLT et pourrait indiquer qu'il est nécessaire de différencier les directions de fluage dans les produits du bois.

### Références

- Colling F. (2014) Creep Behavior of Cross Laminated Timber in Service Class 2. In Technical Report, 10. Hochschule Augsburg, University of Applied Science.
- Ehrhart T., Frangi A., Schickhofer G., Brandner R. (2015) Rolling Shear Properties of Some European Timber Species with Focus on Cross Laminated Timber (CLT): Test Configuration and Parameter Study. ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010548168>.
- Ehrhart T., Brandner R. (2018) Rolling Shear: Test Configurations and Properties of Some European Soft- and Hardwood Species. Engineering Structures 172:554-72. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.118>.
- Franzoni L., Lebée A., Lyon F., Foret G. (2016) Influence of Orientation and Number of Layers on the Elastic Response and Failure Modes on CLT Floors: Modeling and Parameter Studies. European Journal of Wood and Wood Products 74 (5):671-84. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1038-x>.
- Perret O., Lebée A., Douthe C., Sab K. (2018) Experimental Determination of the Equivalent-Layer Shear Stiffness of CLT through Four-Point Bending of Sandwich Beams. Construction and Building Materials 186:1132-43. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.102>.
- Pirvu C., Karacabeyli E. (2014) Time-Dependent Behaviour of CLT, 2. World Conference on Timber Engineering.
- Youngs R.L. (1957) The Perpendicular-to-Grain Mechanical Properties of Red Oak as Related to Temperature, Moisture Content and Time. Ph. D. Thesis Yale Univ