

Retour sur les travaux de l'atelier structure ADIVbois

Fluage longitudinal du bois et raideur d'assemblages

Jordi CORNUDELLA
Setec tpi
Paris, France



Xavier DAVY
Egis
Rennes, France



1. Introduction

En continuité de la feuille de route de la commission technique d'ADIVbois, l'atelier structure a poursuivi ses travaux en vue de conclure sur ses différentes actions.

L'objectif principal de l'atelier est d'accompagner ADIVbois, et plus largement la filière construction bois dans toutes les phases des projets en apportant des réponses à des verrous scientifiques, techniques ou réglementaires.

2. Rappel des points critiques

Pour rappel, le déroulé des actions de l'atelier a connu trois temps forts principaux :

1. Lancement d'une étude de parangonnage, ainsi que des études de cas, afin de pouvoir détecter les points critiques de la construction bois de grande hauteur.

Ces études ont permis d'un côté la rédaction d'un guide de conception (*Vadémécum des immeubles à vivre bois*); et de l'autre de détecter les points critiques pour la construction des démonstrateurs.

2. Accompagnement et développement des acteurs pour la levée des points de difficultés dans la conception et la construction des immeubles bois à plusieurs niveaux.

En partant des points critiques détectés lors des études de cas et, en concertation avec les équipes de conception et membres de l'atelier, l'atelier a mené des études et des essais pour lever les freins existants.

3. Synthèse et clôture des thématiques

En cette année 2022, l'action de la phase 01 d'ADIVbois touche à sa fin et les actions sont en passe de se terminer.

Comme l'ont mis en exergue les études préliminaires, l'action de l'atelier a porté sur trois thématiques principales, développées ci-dessous.

3. Sollicitations par le vent et confort

La maîtrise du confort vis-à-vis des sollicitations de vent devient un critère important dès que la construction tend à dépasser la dizaine de niveaux de superstructure.

L'enjeu ici est double :

- mieux appréhender le cadre normatif relatif à la limitation des accélérations en tête de bâtiment
- mieux caractériser le coefficient d'amortissement des constructions bois

À ce titre, l'atelier a publié deux études :

- une étude de parangonnage, réalisée par le groupement Egis Concept/Elioth et FCBA, qui fournit des recommandations sur les critères d'évaluation et le choix du coefficient d'amortissement ;
- une étude de mesure d'amortissement sur immeubles bois existant, réalisée par l'ESB de Nantes, qui précise les coefficients d'amortissement mesurés, variant en fonction des typologies constructives et des modes de vibrations

Ces deux études sont disponibles sur l'Extranet ADIVbois :



4. Fluage longitudinal du bois

Les échanges préliminaires au sein de l'atelier ont pointé du doigt les limites actuelles des textes de références. Aujourd'hui le fluage est pris en compte dans la valeur de k_{def} , avec des valeurs provenant d'essais de flexion où le cisaillement entre fibre intervient.

Dans le cas des immeubles de grande hauteur, les éléments sollicités longitudinalement se superposent sur plusieurs niveaux, cumulant ainsi les déformations de long terme à chaque étage. De plus, le niveau de contrainte atteint dans les poteaux est fréquemment important du fait de l'optimisation des structures, ce qui est fondamental dans l'aboutissement des opérations. Pour cette raison, le fluage longitudinal est un élément important dont l'ingénieur se doit de tenir compte.

Dans le cas des structures mixtes assez fréquentes, il est nécessaire de pouvoir appréhender l'évolution des déformations pendant toute la durée de vie de l'ouvrage et en particulier pendant la phase chantier. Il apparaît fondamental de maîtriser le différentiel de tassement entre les matériaux pour limiter les problématiques de dénivellation relative sur un même niveau.

La Plate-Forme Technologique PFT Bois-Construction du Limousin a été sélectionnée par ADIVbois pour mener à bien les essais de fluage en sollicitation longitudinal.



Image 1 : Illustration du dispositif expérimental pour les essais de fluage en compression

La déformation différée d'un élément en bois peut dépendre des facteurs suivants :

- L'évolution de l'humidité dans l'élément bois,
- Le taux de contraintes,
- L'essence du bois,

L'étude est réalisée dans des conditions de laboratoire qui diffèrent de la situation d'un projet réel dans le sens où les conditions environnementales sont maîtrisées :

- L'humidité dans l'enceinte climatique est fixée à des conditions correspondant à la classe de service 1, soit $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et $65\% \text{HR} \pm 5\% \text{HR}$,
- La taille de l'éprouvette est limitée à $10 \times 20 \times 75$ (hauteur) cm, limitée pour la capacité de la presse. Ces dimensions sont largement inférieures aux dimensions des poteaux prévus dans les projets BBGH,
- Le taux de contraintes est fixé au 30 % de la valeur caractéristique en compression (7.2 MPa),
- Les 5 éléments bois sont en Epicéa,

À l'issue de cette étude, plusieurs constats et recommandations peuvent être tirés :

- Les résultats des essais montrent que l'effet de fluage, spécialement à court terme, est difficilement dissociable d'autres phénomènes comme le retrait/gonflement hydrique ou l'état des contraintes dans la section,
- L'essai a été réalisé dans des conditions de laboratoire dites « idéales » ce qui ne correspond pas aux situations réelles de chantier. Dans des conditions réelles, un grand nombre de facteurs doit être pris en compte tels que la répartition des contraintes dans le poteau, l'hétérogénéité du bois dans la section, les variations d'humidité. Tous ces facteurs sont pris en compte de façon forfaitaire par l'Eurocode, mais ne peuvent pas être approchés par l'essai réalisé,
- Les essais confirment l'existence d'un fluage des éléments soumis à un effort de compression axiale. En prenant en compte les alertes indiquées précédemment, le fluage des éléments comprimés en bois pourrait être inférieur aux valeurs indiquées dans l'Eurocode 5 (estimation faite lors de l'étude à $k_{\text{def}} = 0,30$)

Les résultats de cet essai ne sont pas à considérer comme normatifs. Cependant ces résultats permettent de confirmer l'existence d'un phénomène de fluage pour les éléments en bois soumis à un effort de compression axiale et donner des pistes pour l'appréhender.

Les concepteurs doivent définir les hypothèses de fluage les plus adéquates selon les particularités de chaque projet, sur la base d'une analyse de risques et avec l'appui et le conseil des contrôleurs techniques.

L'intégralité des résultats est fournie dans le livrable de l'étude, disponible sur l'Extranet ADIVbois :



5. Raideur des assemblages

Lors de la construction des immeubles de moyenne et grande hauteur, la raideur de la structure est un paramètre clé pour la bonne modélisation et la justification du projet. La prise en compte des raideurs élastiques dans les connexions entre éléments en bois est indispensable pour rendre compte du comportement global de la structure. Pour cela, l'ingénieur se doit de disposer de la valeur de la raideur des assemblages la plus précise possible.

Actuellement, l'Eurocode 5 propose une méthode de calcul de la raideur de ces assemblages très approximative, peu adaptée aux configurations possibles des immeubles de grande hauteur (avec un nombre d'organes important), transmettant éventuellement des moments ou encore faisant appel à des montages moins répandus (CLT, vissage à 30° ou 45°). Ces outils ne permettent pas d'assurer le calcul et rend difficile la maîtrise du comportement de ces structures bois de grande hauteur.

En conséquence, l'atelier structure a considéré nécessaire de mener des essais d'assemblages bois pour définir une méthodologie permettant de cibler une valeur de raideur la plus proche de la réalité possible, en fonction de différents paramètres tel que la nature des organes d'assemblages, la nature des pièces bois assemblées ou encore la disposition du montage dans son ensemble.

Les membres de l'atelier ont élaboré un protocole expérimental visant à déterminer des valeurs de raideurs d'assemblages « type » retrouvés dans les structures de moyenne et grande hauteur :

- assemblage de barres bois soumise à d'importants efforts de traction (diagonales d'exosquelette) imposant un nombre important d'organes en cisaillement et une rigidité importante (minimisation des jeux d'assemblages notamment)
- assemblage de barres bois soumise à d'importants efforts de compression (poteaux et diagonales) en exploitant, pour les éléments jamais décomprimés, la transmission directe bois sur bois, bois/acier/bois ou bois/mortier de calage.
- assemblage de planchers CLT assurant le couturage entre panneaux ou contre noyau pour fonctionnement structural de diaphragme
- assemblage soumis à des sollicitations alternées de faible charge (cas type d'un plancher soumis à des efforts de vent ELS)
- assemblage par vis perpendiculaires (90°) ou inclinées (45°) pour éléments en lamellé-collé ou CLT.

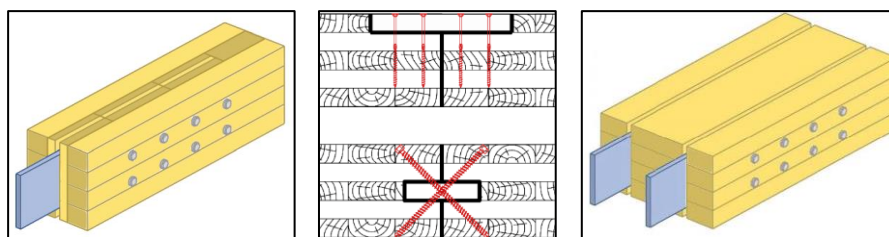


Image 2 : Différentes typologies d'assemblages : CLT avec plat intérieur, couturage de plancher CLT, barre lamellé-collé à âmes multiples

Le groupement LERMAB - CRITT Bois hébergé à l'ENSTIB a été retenu pour mener les essais et études sur cette thématique.

Cette étude a comporté plusieurs temps forts :

- étude bibliographique et état de l'art
- rédaction de notes de calcul pour déterminer les raideurs théoriques, en se basant sur les valeurs réelles des matériaux (résistance des broches, portance locale des bois, etc.)
- réalisation des éprouvettes et exécution des essais de raideur, en poussant les essais jusqu'à la rupture en fin de cycle
- production des rapports d'essais et interprétation des résultats

Ces démarches visent à la fois à produire des données pour consolider des modèles analytiques d'ingénierie, et à confirmer des principes et pratiques couramment observées dans la construction.

Les principaux enseignements sont les suivants :

- les protocoles expérimentaux ont permis efficacement de limiter la distorsion hors plan des éprouvettes, les frottements entre plans, etc. Cela permet d'assurer la fiabilité des résultats par la reproductibilité des protocoles,

- la mobilisation de l'effet de corde dans les organes d'assemblages (typiquement sur des configurations d'assemblages de panneaux CLT entre eux sur des planchers) n'est réelle que sur des assemblages présentant un contact parfait. Cela impose donc une maîtrise fine de la mise en œuvre sur chantier si celle-ci doit être prise en compte
- les vis disposées à 90° du plan de cisaillement conduisent à des raideurs faibles. Les configurations à vis inclinées permettent un gain substantiel de rigidité.
- sous sollicitations alternées, il est observé une perte de raideur significative dans le cas de vis disposées à 90° du plan de cisaillement. À l'inverse, les vis inclinées ne subissent qu'une perte de raideur très faible.
- la raideur des assemblages augmente généralement en fonction du rapport « t/d » (t = épaisseur du bois ; d = diamètre de l'organe) ;

Les modélisations permettent d'approcher de façon très précise la raideur des assemblages bois lorsque les conditions de perçage sont maîtrisées. Ceci constitue un levier potentiel d'optimisation des structures bois et du dimensionnement des assemblages de constructions.

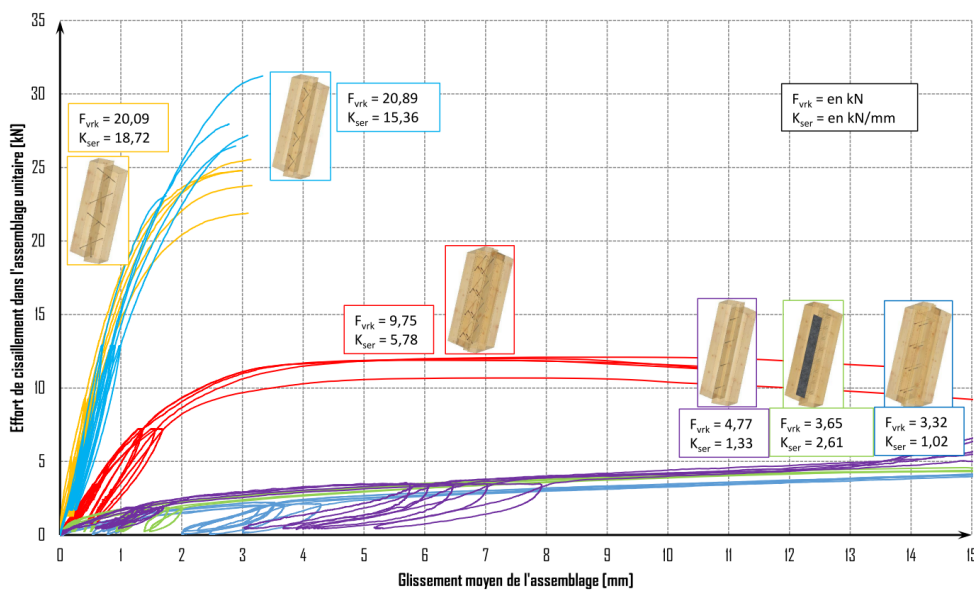


Image 3 : Évolutions des efforts de cisaillement dans l'assemblage unitaire en fonction du glissement d'assemblage – assemblages de panneau CLT par vis

Enfin, il est à noter que ces essais ont été poursuivis jusqu'à rupture des assemblages et constituent également une base de données exploitable pour l'appréhension des phénomènes de renforcements par vissage (fretage) et de rupture de bloc, en lien avec les travaux de révision de l'Eurocode 1995-1-1.

Le rapport complet de l'étude, comportant les notes de calcul, la définition des protocoles et les rapports d'essais, sera publié d'ici l'été 2022 et mis à disposition sur l'Extranet ADIVbois une fois les conclusions validées par l'ensemble des membres de l'atelier Structure.

6. Bilan

Ces études ont permis de faire évoluer des points critiques sur la base d'études de paragonnage, d'analyse de l'existant mais aussi d'études expérimentales poussées.

Les connaissances scientifiques ont été enrichies sur le domaine du fluage longitudinal ainsi que de la raideur des assemblages.

Ces travaux ne sauraient être repris de façon directe dans un processus de conception et de dimensionnement des structures, mais peuvent alimenter les réflexions des ingénieurs pour le design des bâtiments en bois.