

Comportement hystérétique des assemblages mécaniques de type tige

GOMEZ Dalmer¹, CUMUNEL Gwendal¹, BORNERT Michel¹, PEYRET Nicolas²,
CATTEROU Thomas³

¹Navier, Ecole des Ponts, Université Gustave Eiffel, CNRS, F-77455 Marne-la-Vallée, France

²Laboratoire Quartz, ISAE-Supmeca, 3 rue Fernand Hainaut, Saint-Ouen, 93400, France

³FCBA, Institut technologique du bois, Allée du Boutaut, Bordeaux, 33000, France

dalmer.gomez@enpc.fr

Mots clés : assemblage bois ; hystérésis

Contexte et objectifs

L'utilisation de l'assemblage de type tige est très répandue dans la construction en bois surtout pour les bâtiments de grande hauteur. Pour ces derniers le comportement vibratoire dissipatif est en partie gouverné par celui des assemblages (Boudaud 2012).

Lors d'un chargement cyclique, un comportement hystérétique est constaté pour ce type d'assemblage (Boudaud 2012, Reynolds et al. 2014). Ce comportement dépend de plusieurs paramètres liés au matériau mais aussi au chargement. Le but de cette étude est d'évaluer le comportement de l'assemblage de type broche soumis à une sollicitation cyclique.

Dispositif expérimental

Pour la constitution de l'assemblage, une plaque métallique de 1 cm d'épaisseur est utilisée ainsi qu'une poutre en bois lamellé-collé (de classe GL24) et des broches en acier galvanisé de 8 mm de diamètre.

La poutre en bois a une section de 12 cm de largeur par 8 cm d'épaisseur. En accord avec l'EN 383 et l'Eurocode 5, les perçages dans le bois sont espacés d'au moins cinq fois le diamètre d'une broche dans la direction du fil et d'au moins trois fois le diamètre parallèle au fil. Le diamètre de perçage est de 8 mm pour le bois et de 9 mm pour la plaque métallique. Une rainure de 1,2 cm de largeur est réalisée dans le bois, après perçages, afin de permettre la mise en place de la plaque (Fig. 1).

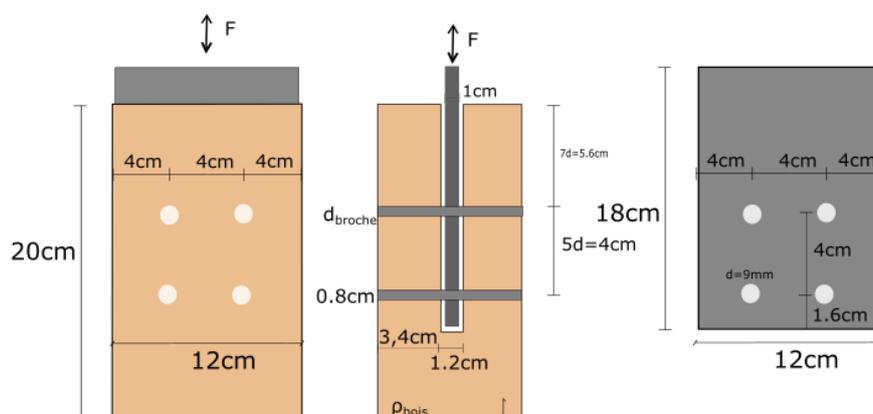


Fig. 1 : Dimensions des échantillons

Une fois l'échantillon usiné, un mouchetis est appliqué à la surface de celui-ci pour la corrélation des images obtenues lors du test. Les broches sont insérées en force à l'aide d'un marteau en posant l'échantillon sur une surface plane. L'échantillon est ensuite mis en place

sur le banc d'essai, dont la base est constituée d'un élément métallique ayant une surface plane. La plaque métallique de l'échantillon est connectée à la machine de compression (Instron 100 kN) par l'intermédiaire d'une pièce rigide, liée au capteur de force, comportant quatre perçages permettant de fixer la plaque de notre échantillon à l'aide de boulons. Une illustration de l'expérience est présentée sur la Fig. 2.

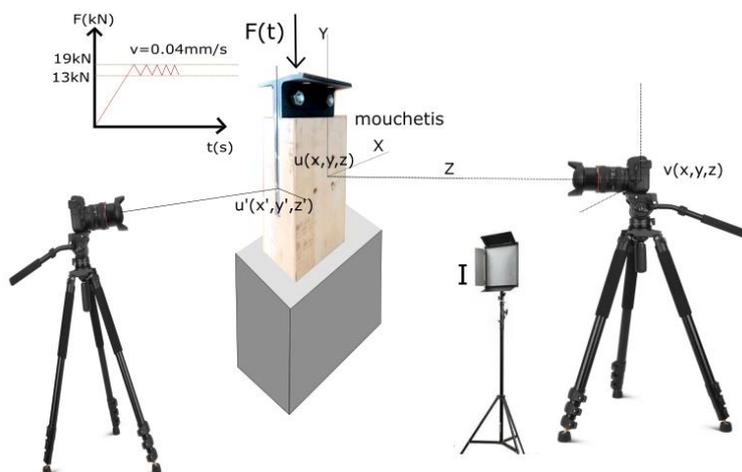


Fig. 2 : Montage des tests effectués

Deux caméras ont été utilisées pour les essais : la première capte les déplacements de la plaque dans sa longueur (pour valider l'hypothèse de faibles rotation, déplacement et déformation de la plaque) et la deuxième capte les déplacements des broches et de la plaque dans le bois. La fréquence d'acquisition était comprise entre 1 Hz et 10 Hz selon la durée du test, la vitesse de chargement et l'espace de stockage. Les images ont été analysées par corrélation d'images avec le logiciel CMV développé au laboratoire Navier. Une machine de compression Instron avec une capacité de 100 kN a été utilisée pour appliquer le chargement cyclique. La force maximale à atteindre selon l'Eurocode 5 est d'environ 30 kN, sans appliquer de facteurs modificateurs ni de coefficients partiels, et le mode II de déformation (rotule plastique) est attendu pour la broche. Pour tous les tests, les fibres du bois des échantillons testés sont parallèles au chargement.

Tab. 1 : Liste des tests effectués

N°	ρ (kg/m ³)	Chargement
OB1	414	5 cycles en déplacement de 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 et 4 mm de déplacement de la plaque (25 cycles au total)
OB2	393	5 cycles en déplacement de 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 et 4 mm de déplacement de la plaque (25 cycles au total)
OB3	484	6 cycles à 16 kN de précharge, 3 kN d'amplitude et une vitesse de 0,04 mm/s
OB4	435	6 cycles à 16 kN de précharge, 8 kN d'amplitude et une vitesse de 0,8 mm/s
OB5	406	6 cycles à 16 kN de précharge, 8 kN d'amplitude et une vitesse de 0,04 mm/s

Les tests OB1 et OB2 ont été effectués pour vérifier la répétabilité des essais et les tests OB3 à OB5 ont des paramètres communs : les tests OB3 et OB4 ont la même vitesse de chargement et les tests OB4 et OB5 ont la même amplitude de chargement. Pour ces tests, une précharge de 16 kN (force limite pour la mesure de la raideur « élastique » de l'assemblage) est appliquée à l'assemblage.

Résultats des essais

Grâce à la corrélation d'images, les déplacements effectifs, qui diffèrent des déplacements obtenus à partir de la machine de compression, sont déterminés. Ces déplacements effectifs correspondant aux glissements obtenus pour l'assemblage seront utilisés pour l'analyse des résultats. La déformation de l'élément bois est déduite tout comme le déplacement de la base métallique de la machine de compression.

Pour les tests OB1 et OB2, une différence nette de la courbe enveloppe du chargement est constatée, cependant les cycles ont la même allure (Fig. 3). Concernant l'hystérésis, l'énergie dissipée décroît avec le nombre de cycles, la partie la plus importante étant dissipée lors du premier cycle (Fig. 4).

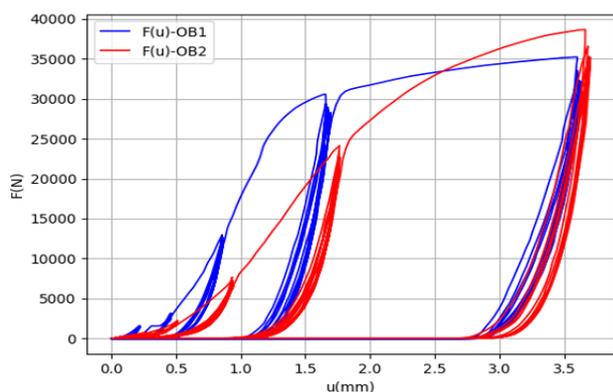


Fig. 3 : Courbes de chargement pour les essais OB1 et OB2

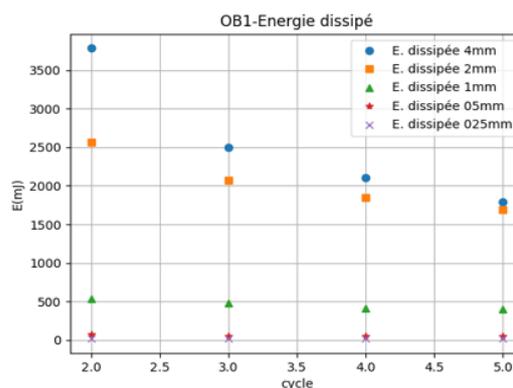


Fig. 4 : Energie dissipée par cycle pour le test OB1

L'analyse post-mortem montre des déformations localisées du bois et une plastification des broches (Fig. 5), l'angle des broches dû à la plastification étant quasiment identique pour les 4 broches. Pour le bois, un micro flambement est constaté au niveau du contact avec la broche (Fig. 6).

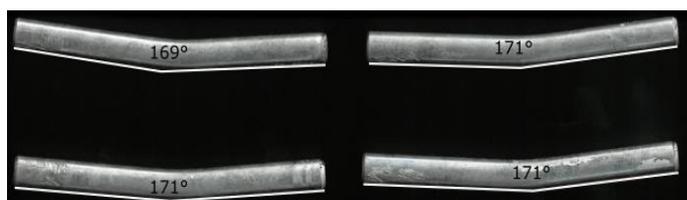


Fig. 5 : Déformation des broches pour l'essai OB1

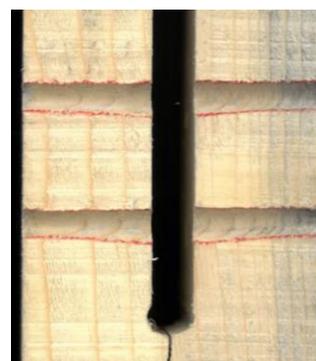


Fig. 6 : Vue longitudinale après test OB1

Pour les tests OB3 à OB5, la dissipation d'énergie est d'autant plus importante que l'amplitude du cycle est importante. La pente de la courbe OB3 est plus élevée (Fig. 7) car cet échantillon est le plus dense. Les tests OB4 et OB5 sont similaires, cependant les résultats obtenus pour le test OB4 sont limités dû à la vitesse de chargement appliquée (0,8 mm/s, la limite de la machine étant de 1 mm/s).

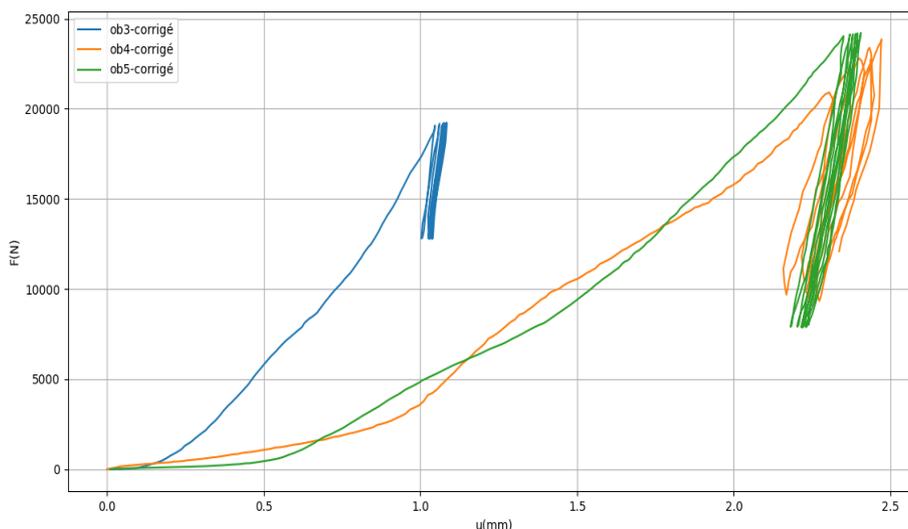


Fig. 7 : Résultat des tests OB3 à OB5

L'énergie partielle dissipée (Fig. 8) diminue avec le nombre de cycles jusqu'à atteindre des valeurs stables après 3 ou 4 cycles.

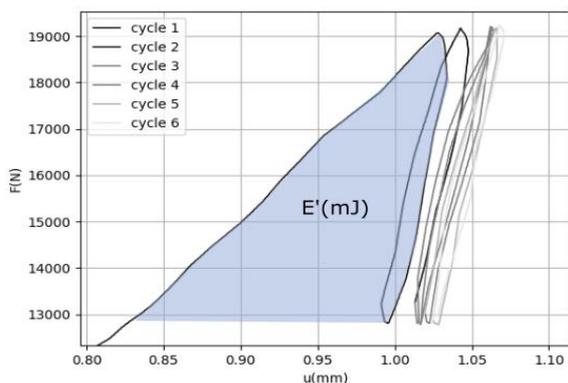


Fig. 8 : Courbes de chargement du test OB3

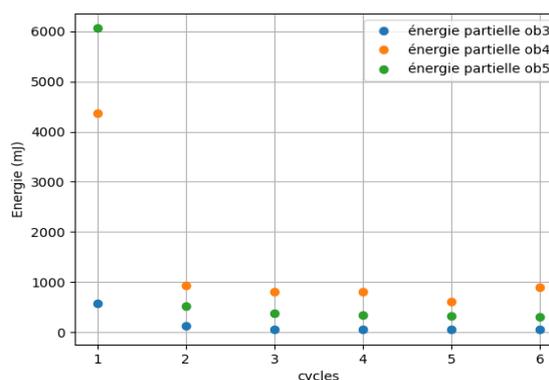


Fig. 9 : Energie dissipée lors des cycles

Pour le test OB4, l'énergie dissipée varie entre les cycles 4 et 6 (manque de précision du capteur de force). L'énergie dissipée du test OB5 est plus importante que celle du test OB3 (Fig. 9). Cela est dû à la différence d'amplitude de chargement entre ces deux tests et, dans une moindre mesure, aux caractéristiques différentes des échantillons.

Conclusion

Les différences entre deux tests cycliques seraient dues aux caractéristiques mécaniques du bois et à l'hyperstatisme du contact (1 ou 4 contacts en début du chargement) entre la broche, la plaque métallique et le bois. Les courbes force-déplacement et l'énergie dissipée se stabilisent après 3 ou 4 cycles.

Une perte de résistance est constatée lors des cycles, que ce soit en déformation ou en force imposée. La dissipation d'énergie la plus importante est obtenue lors du premier cycle et décroît ensuite en fonction du nombre de cycles. Cela implique qu'un comportement cyclique stabilisé existe pour une amplitude de chargement donnée une fois qu'une fraction du métal et/ou du bois a plastifié.

Finalement, l'impact de l'amplitude du chargement s'observe en termes de quantité d'énergie dissipée. Les essais n'ont cependant pas permis d'identifier une influence de la vitesse de

chargement dans la gamme de vitesse testée. Dans la littérature, l'assemblage a un comportement visqueux (Girhammar et Andersson 1988), néanmoins cela peut être négligé pour de faibles vitesses de chargement, ce qui est le cas dans cette étude.

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire Navier à l'École des Ponts Paristech dans le cadre du projet DynaTimberEyes (AAPG 2021) financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et en partenariat avec l'ISAE Supméca et le FCBA.

Références

Boudaud C. (2012) Analyse de la vulnérabilité sismique des structures à ossature en bois (Doctoral dissertation, Université de Grenoble).

Reynolds T., Harris R., Chang W.S. (2014) Stiffness of dowel-type timber connections under pre-yield oscillating loads. *Engineering Structures*, 65, 21-29.

Girhammar U.A., Andersson H. (1988) Effect of loading rate on nailed timber joint capacity. *Journal of Structural Engineering*, 114(11), 2439-2456.