

Caractérisation expérimentale du comportement statique d'une connexion innovante par encoches pour les planchers mixtes bois – béton

Adham AL RAHIM¹, Piseth HENG¹, Clémence LEPOURRY^{1,2}, Lucile GERARD^{1,2}, Hugues SOMJA¹

¹ Université Européenne de Bretagne - INSA de Rennes, LGCGM/Structural Engineering Research Group, 20 avenue des Buttes de Coësmes, CS 70839, F-35708 Rennes Cedex 7, France

² INGENOVA, Civil Engineering Office, 5 Rue Louis Jacques Daguerre, 35136 Saint-Jacques-de-la-Lande, France

RESUME

Dans le cadre du développement de nouvelles typologies de structures, économiquement et environnementalement performantes, l'utilisation du bois a considérablement augmenté au cours de ces dernières années. Dans le cas des planchers, l'association au matériau béton permet à la fois de maximiser la portée capable, et d'atteindre des performances acoustiques et vibratoires satisfaisantes. Afin d'assembler les deux matériaux, il est de plus en plus fait recours à la réalisation d'encoches dans le bois, remplies de béton, associées à des vis métalliques. Ce mode d'assemblage présente l'avantage d'être très rigide, mais la mise en place de ces éléments métalliques est coûteuse. Une connexion innovante, par encoches, mais sans connecteur métallique, a été développée, dans le cadre de la chaire REEXPERIENCE. Le rôle structurel de cet élément est non seulement de transférer la charge entre les deux matériaux, mais également d'avoir une résistance suffisante au soulèvement entre le bois et le béton. Dans cet article, les essais push out statique menés pour étudier le comportement de cette connexion sont présentés. Il est montré que les grandes raideurs et résistances des connexions par encoche sont maintenues, sans soulèvement excessif. Par ailleurs, le mode de rupture, par compression localisée du bois, apporte une ductilité remarquable au système.

Mots-clefs Structures mixtes bois-béton, connecteurs, encoches, soulèvement, rigidité, ductilité, push out

I. INTRODUCTION

L'intérêt de la mixité des éléments de structures des bâtiments est aujourd'hui bien connu. Plusieurs types de structures mixtes sont d'usage courant : acier/béton, bois/acier, et bois/béton. En France, la nouvelle réglementation environnementale RE2020 [1] impose pour les nouvelles constructions des critères de performance environnementale. Dès lors le recours aux solutions associant le bois à d'autres matériaux s'intensifie, et de nombreuses solutions innovantes voient le jour (par exemple [2,3]).

Dans ce contexte, un système de plancher composite bois-béton, avec une connexion spécifique par encoches, sans élément métallique vissé ou cloué dans le bois, a été développée à l'INSA de Rennes, dans le cadre de la chaire REEXPERIENCE. Ce système est destiné soit à être préfabriqué, soit à être coulé sur chantier. Dans ce dernier cas, le système est pensé de fonctionner de la même façon qu'un plancher béton à entrevous classique.

Une large gamme de systèmes de connexion, développée dans différentes régions du monde, peut être trouvée dans la littérature. La connexion peut se faire par collage, par l'ajout de renforcements en métal, de taquets en bois ou des encoches réalisées dans le bois et remplies de béton. A titre d'exemple, un treillis en acier collé et fendu dans le bois a été développé par Clouston et al [4]. Ce dernier a montré une action composite complète de la section (presque 100%). Brunner et al [5] ont étudié l'assemblage par collage par résine époxy. Ce type d'assemblage demande un contrôle de qualité rigoureux et peut montrer une certaine complexité de l'usage sur chantier. Un système de connexion nommé (Perfobond), formé de plaques en acier perforées, ainsi qu'un autre basé sur des goupilles, ont été imaginés par Miotto et Dias [6]. La connexion par goupilles a montré une ductilité plus importante par rapport aux plaques qui ont fragilisé le système. Kuhlmann et Aldi [7] ont utilisé des armatures collées et positionnées à 45° par rapport à la surface en bois. En 2007, Fragiaco et al [8] ont développé une connexion par goujons, solidarisés par vissage au bois.

Ces différents exemples montrent que la plupart des systèmes de connexions existants demandent beaucoup de temps pour leurs mises en place. Le système de connexion développé sur base d'une retombée de béton enserrant la solive bois, dans laquelle des encoches de forme trapézoïdale sont réalisées. La poutrelle de bois et implicitement les encoches sont donc noyées dans le béton armé (Figure 1a). Ces dernières empêchent le soulèvement du béton par rapport au bois. La présence du béton autour de l'encoche et d'un ferrailage dans cette dernière, permet de maximiser la résistance des modes de ruine de la connexion associés au cisaillement du béton.

Cet article vise à présenter les essais expérimentaux push out statique qui ont permis de déterminer les propriétés de cette connexion.

II. PROTOCOLE D'ESSAI

La campagne expérimentale a porté sur 3 essais nommés, S1, S2, et S3, afin de déterminer la résistance et la rigidité de la configuration retenue. Dans la présente étude, la configuration expérimentale et la procédure d'essai sont inspirées de l'EN 26891 [9] et de l'annexe B de l'Eurocode 4, partie 1-1, relative à l'essai push out des connecteurs acier-béton [10].

L'évaluation du comportement de la connexion est réalisée par un dispositif de chargement push out symétrique sur un banc d'essai à vérin vertical (Figure 1c-d). L'élément bois est en pin massif, de classe C24, de hauteur 1020 mm et de largeur 360 mm. La résistance moyenne en compression a été déterminée expérimentalement et a pour valeur 34.30 MPa, avec un écart type de 3.19 MPa. Le béton est de classe C25/30. La dalle présente une épaisseur de 80 mm, et les dimensions de la retombée sont données sur la Figure 1a-b. La résistance réelle moyenne vaut 27.7 MPa, avec un écart type de 1.58 MPa. Les encoches sont renforcées par des armatures de classe B500B, en forme U, de diamètre 6 mm.

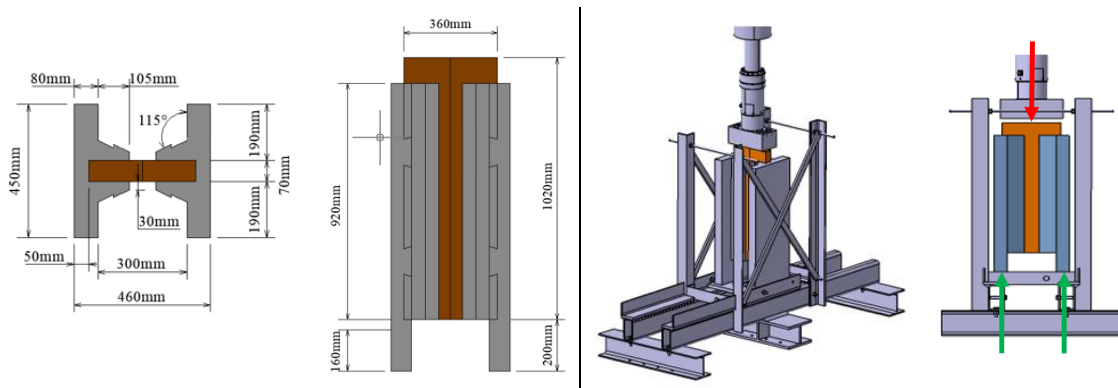


FIGURE 1. Dimensions du spécimen (a), Dispositif d'essai (b). Les couleurs gris et marron représentent le béton et le bois, respectivement.

Le spécimen est équipé de 8 capteurs de glissement, d'amplitude de 25 mm, 8 capteurs de soulèvement, dont 6 d'amplitude de 6 mm, et 2 d'amplitude de 2.5 mm. Les capteurs de glissement et de soulèvement ont pour objectif de mesurer le déplacement relatif et le soulèvement relatif du béton par rapport au bois, au niveau des connecteurs.

La procédure de chargement statique monotone est issue de la norme EN 26891 [9]. Elle comporte une première montée en charge jusqu'à 40% de la charge de ruine, estimée à 188 kN, suivie d'une décharge puis d'une rampe monotone croissante. Le chargement doit se poursuivre jusqu'à la ruine ou jusqu'à un glissement de 15 mm soit obtenu. En passant de 0 à $0.4F_{max}$ et de $0.4F_{max}$ kN à $0.1F_{max}$, la vitesse de chargement est fixée à 2 mm/min, et puis à 1 mm/min jusqu'à la ruine.

III. RESULTATS

Pendant les trois essais push out statique S1, S2, et S3, aucune fissuration n'a été détectée ni dans le bois ni dans le béton. Un sciage du béton a posteriori a permis d'observer un écrasement local du bois au niveau des connecteurs (Figure 2).

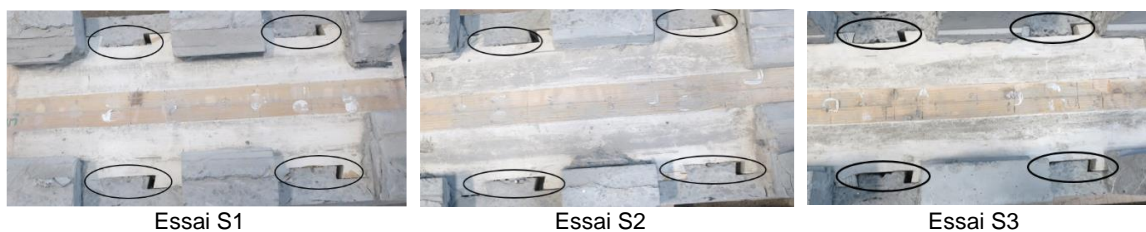


FIGURE 2. Tassement du bois autour des connecteurs

A partir des valeurs mesurées par les capteurs, les courbes de glissement, et de soulèvement moyens, en fonction de l'effort du vérin, sont tracées (Figure 3). Une ductilité remarquable de la connexion, liée au mode de ruine par écrasement du bois, est constatée.

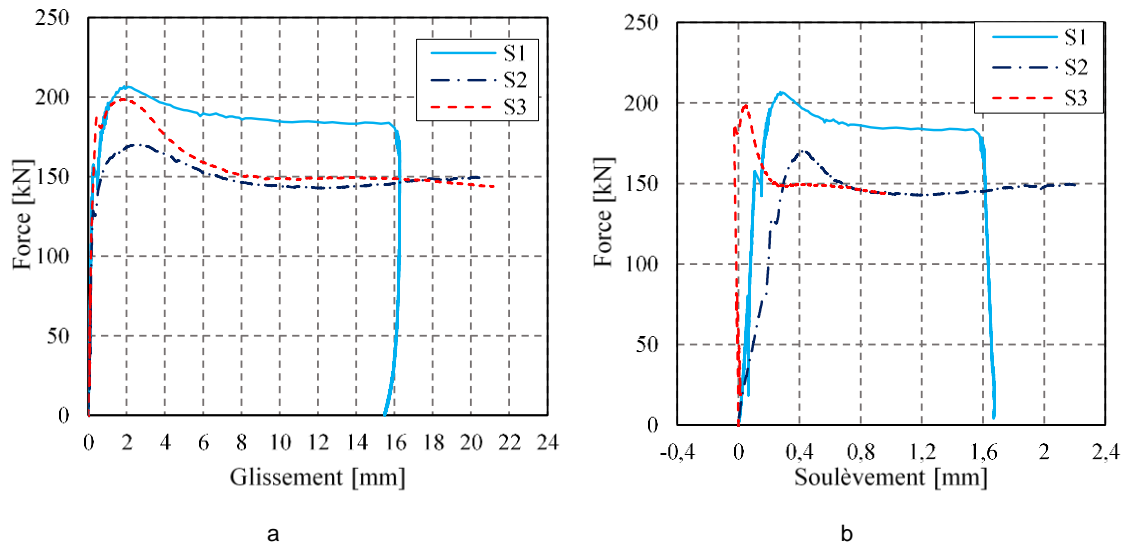


FIGURE 3. Courbes glissement moyen (a), Soulèvement moyen (b)

A partir des courbes glissement moyen des essais S1, S2, et S3, la rigidité des connecteurs, à l'état limite de service K_s , et à l'état ultime K_u , est déterminée selon deux méthodes : BNTEC [11] et Ario CECCOTI [12]. Les résultats obtenus sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 Rigidité des connecteurs obtenues par deux méthodes BNTEC et A.CECCOTI.

	Rigidité pour un connecteur (BNTEC P21A N376 NF EN 26891)				Rigidité pour un connecteur (Ario Ceccotti)			
	S1	S2	S3	Valeurs Moyennes	S1	S2	S3	Valeurs Moyennes
K_s (kN/mm)	189.52	151.11	192.17	177.6	193.37	162.71	198.32	184.8
K_u (kN/mm)	190.08	148.44	185.54	174.68	180.05	150.08	171.82	167.32
K_u/K_s	1	0.98	0.96	0.98	0.93	0.92	0.87	0.91

Divers types de connexions ont été testés dans une campagne expérimentale menée par D. Yeoh et al. [13]. Dans cette étude, pour une connexion B1, de type encoche rectangulaire, de 150 mm de longueur, de 50 mm de profondeur, et de 63 mm de largeur, les raideurs K_s et K_u , ont pour valeurs 80.2 kN/mm et 75.4 kN/mm, respectivement. Les raideurs de cette dernière, de même géométrie, renforcée par des tirefonds (connexion A1), de 16 mm de diamètre, ont pour valeurs 104.7 kN/mm et 59.3 kN/mm, respectivement. Les spécimens testés dans ce présent article montrent des raideurs similaires, légèrement supérieures.

IV. CONCLUSIONS

Cette première campagne expérimentale push-out a permis de démontrer le grand potentiel du nouveau système de connexion, en terme de raideur, résistance, et ductilité. Il fera l'objet d'un essai de flexion 6 points appliqué sur un élément de 6.85 m de longueur, afin de

confirmer ce potentiel en configuration réelle, et d'étudier les bénéfices possibles de la grande ductilité de la connexion.

REFERENCES

- [1] Ministère de la transition écologique et Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, "RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS NEUFS (RE2020)," 2020.
- [2] ATEx n°2856-v1. Plancher mixte bois béton HYBRIDA : <https://evaluation.cstb.fr/fr/appreciation-technique-expertise-atex/detail/2856-v1/>
- [3] Vanthet Ouch, Piseth Heng, Quang Huy Nguyen, Hugues Somja, Thierry Soquet. A notched connection for CLT-concrete composite slabs resisting to uplift without metallic connectors: experimental investigation. Fib Symposium 2021: Concrete Structures: New Trends for Eco-Efficiency and Performance, Jun 2021, Lisbon, Portugal
- [4] Clouston P, Bathon L, Schreyer A (2005) Shear and bending performance of a novel wood-concrete composite system. J Struct Eng ASCE 131(9) 1404-1412
- [5] Brunner M, Romer M, Schnüriger M (2007) Timber-concrete-composite with an adhesive connector (wet on wet process). J Materials and Structures RILEM 40(1) 119-126.
- [6] Miotto J, Dias A (2008) Glulam-concrete composite structures: experimental investigations into the connection system. In: Proceedings of the 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki (Japan), CD copy.
- [7] Kuhlmann U, Aldi P (2008) Fatigue of timber-concrete-composite beams: characterization of the connection behaviour through push-out tests. In: Proceedings of 10th World Conference on Timber Engineering. Miyazaki (Japan), CD copy.
- [8] Fragiaco M, Amadio C, Macorini L (2007a) Short- and long-term performance of the "Tecnaria" stud connector for timber-concrete composite beams. J Materials and Structures RILEM 40(10) pp 1013-1026.
- [9] AFNOR, *NF EN 26891, Structures en bois : assemblages réalisés avec des éléments mécaniques de fixation*, 1991.
- [10] Eurocode 4, *EN 1994-1-1:2005/Calcul des structures mixtes acier-béton*, AFNOR, 2005.
- [11] Bureau de normalisation (BNETC), *BNETEC P21A N376 Projet final TS Mixte Bois béton*, BNETEC, 2020.
- [12] C. ARIO, *Structures en bois aux Etats Limites - STEP 2, Chapitre VII-4 : Structures Bois-Béton*. Paris : SEDIBOIS / union nationale Française de Charpente, Menuiserie, Parquets, 1997.
- [13] D. Yeoh, M. Fragiaco, A. Buchanan and C. Gerber, "Preliminary research towards a semi-prefabricated LVL-concrete composite floor system for the Australasian market," Australian Journal of Structural Engineering, vol. 9, pp. [225-240](#), 2009