



Comprendre et modéliser le comportement des structures composites bois-béton

Vulgarisation scientifique : Truong-Thanh Nguyen, candidat au doctorat – Université Laval

Article vulgarisé: *An Analytical Method to Predict the Structural Behavior of Timber-Concrete Structures With Brittle-to-Ductile Shear Connector Laws* [1]

Auteurs : Truong-Thanh Nguyen, Luca Sorelli, Eugen Brühwiler

Date de publication : Octobre 2020

Journal : Engineering Structures

DOI : 10.1016/j.engstruct.2020.110826

ISSN : 01410296

Introduction

Au cours de la dernière décennie, il y a eu un regain d'intérêt pour les structures composites bois-béton (CBB en français ou TCC en anglais), car elles permettent de tirer pleinement profit des caractéristiques des deux matériaux, soit la légèreté et la résistance du bois, et la rigidité et le plus faible coût du béton. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, ci-dessous, présente un échantillon typique d'une structure composite bois-béton, avec (i) la dalle de béton qui subit la compression sur la face supérieur, (ii) la poutre de bois qui supporte la traction et la flexion à l'intérieur et (iii) le système de connexion, qui joint les deux composantes et augmente la rigidité et la résistance globale de la structure composite.

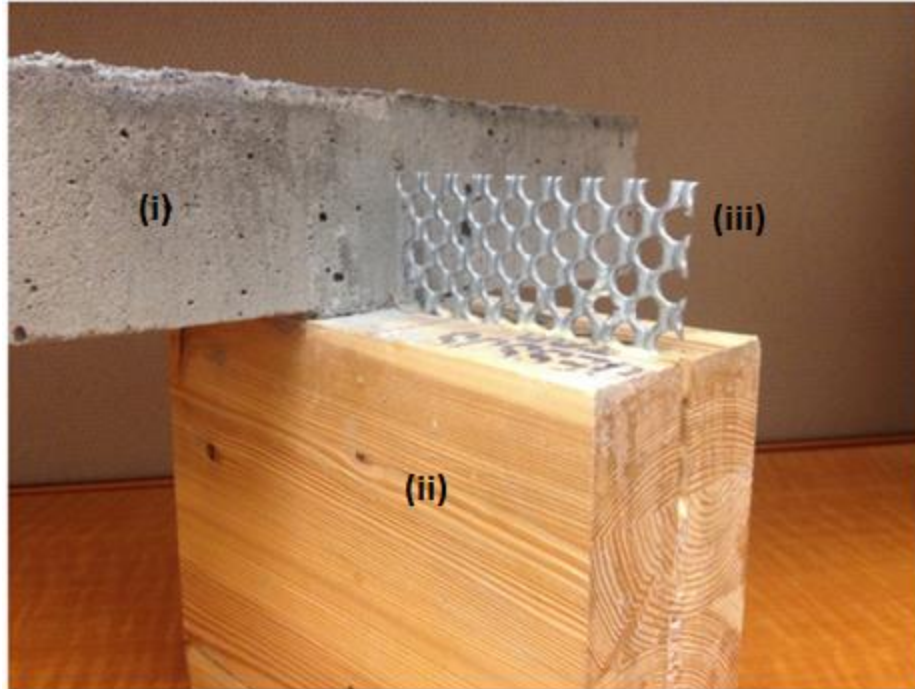


Figure 1: Connecteur GLULAM-BN-HBV de Benoit Gendron [2]

Ces structures sont de plus en plus performantes quant à leur comportement vibratoire, leur isolation acoustique, leur résistance au feu et leurs impacts environnementaux en termes d'énergie intrinsèque et d'émission de carbone [3]. Du point de vue de la conception, des méthodes simplifiées sont disponibles dans les codes de conception pour les structures CBB dont le connecteur a un comportement linéaire [4], [5]. Cependant, seuls des modèles semi-analytiques ou numériques existent pour les structures CBB avec des connexions non linéaires [6]–[8]. Le but de ce travail est de développer un modèle analytique pour prédire le comportement structurel complet des structures ductiles CBB. Ce modèle considère la loi de cisaillement simplifié des connecteurs ductiles en se basant sur la méthode semi-analytique itérative de Bazant et Vitek [9].

Le comportement charge – glissement (V_H -s) d'un connecteur est déterminé par un essai de cisaillement et il est décrit par la rigidité linéaire (K_s), la charge maximale (V_{max}) et la ductilité (D_s) du connecteur. La ductilité désigne la capacité d'un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre. Donc, la haute ductilité d'un connecteur permet d'augmenter la sécurité d'une structure en évitant sa rupture brusque et catastrophique. La Figure 2 ci-dessous présente les comportements de connecteurs de faible ductilité comme les joints collés et les plaques métalliques, ainsi que ceux de connecteurs de plus haute ductilité comme les entailles, les plaques à ongles ou l'attache de type cheville.

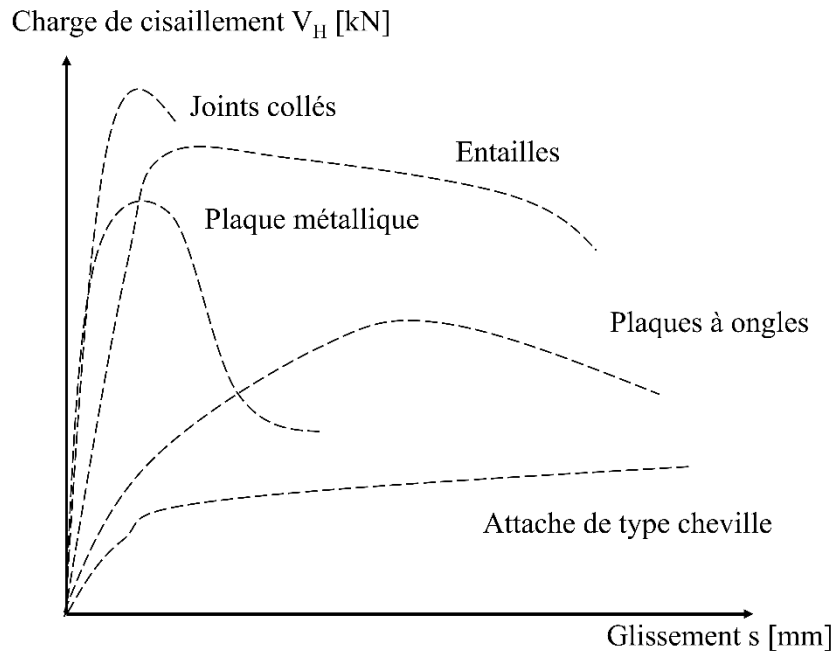


Figure 2: Comportement charge - glissement de quelques connecteurs typiques selon A. Ceccotti [3]

Modèle analytique simplifié

Méthode semi-analytique itérative de Bazant et al.

Sur la base des hypothèses d'une poutre composite, le comportement structural de celle-ci peut être décrit par une équation différentielle gouvernante appelée l'équation de Newmark [10]. Avec la loi du connecteur non linéaire, Bazant et al. ont proposé un comportement charge - cisaillement simplifié à quatre segments (1, 2, 3 et 4), tel que présenté à la figure 3a. Cependant, cette méthode nécessite des calculs itératifs de manière semi-analytique pour déterminer les paramètres principaux.

Comportement simplifié de la loi de cisaillement du connecteur

Dans ce travail, la loi de cisaillement du connecteur est simplifiée par une représentation du comportement en deux segments (figure 3b) appelé comportement élasto-plastique général (GEP), où les segments (1) et (2) présentent respectivement les phases élastique et plastique du connecteur. Ce comportement est limité par deux cas : (i) le comportement parfaitement élasto-plastique (figure 3c - EPP) où la force de cisaillement augmente à V_{h0} (segment 1) et reste à cette valeur dans la phase plastique (segment 2), et (ii) le comportement fragile-élastique (figure 3d - BE) où la force de cisaillement descend à 0 après avoir atteint la valeur maximale V_{h0} .

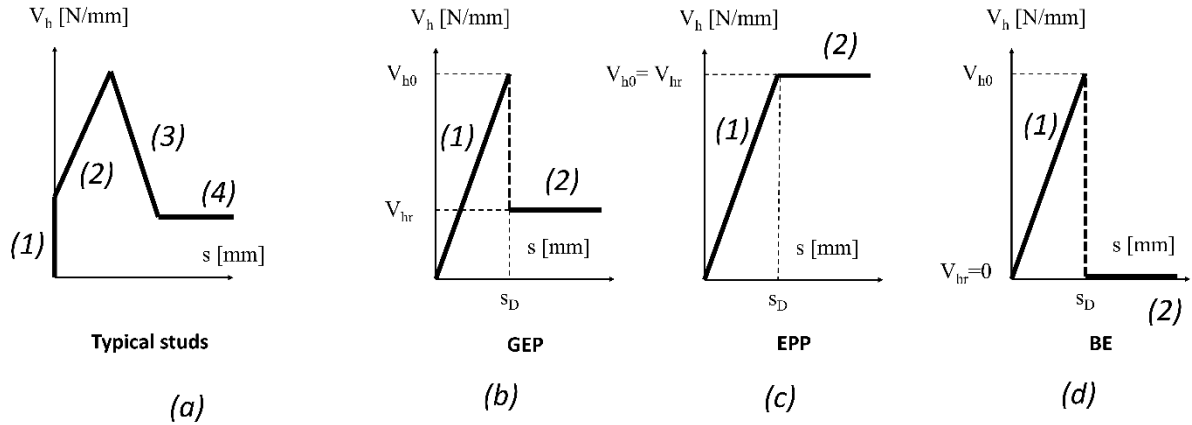


Figure 3: (a) Loi de cisaillement de connecteur V_h - s par Bažant et al.; Loi généralisée considérée dans ce travail avec (b) $V_{hr} < V_{h0}$; (c) $V_{hr} = V_{h0}$ et (d) $V_{hr} = 0$

Ainsi, tel que représenté à la figure 4, la poutre CBB est divisée en deux zones correspondant à ces deux segments de la loi de cisaillement du connecteur, soit:

- (i) la zone élastique en poutre médiane;
- (ii) la zone plastique aux extrémités de la poutre.

Pour chacune des zones, le comportement de l'action composite est résolu par une solution analytique. Simultanément, les conditions de continuité aux extrémités de chaque zone sont rencontrées. Une équation approximative permettant de simplifier les calculs a également été proposée.

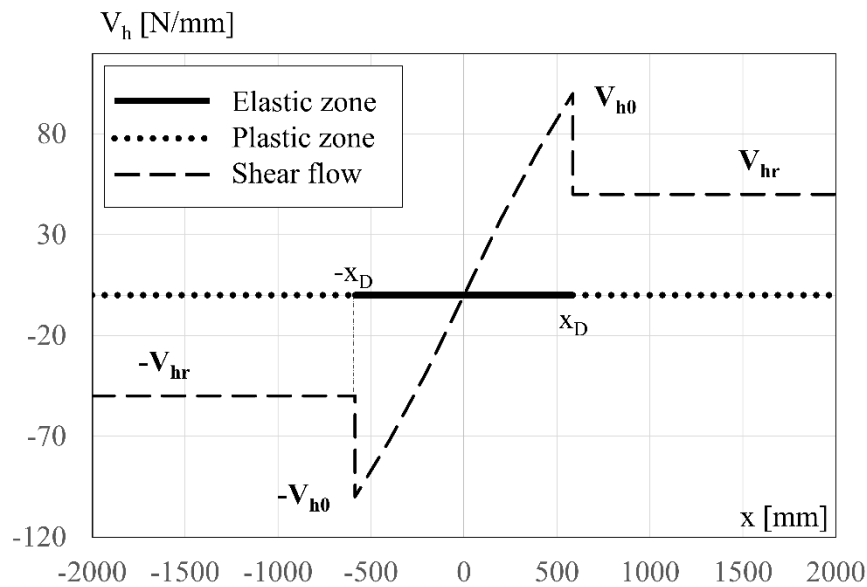


Figure 4: Comportement du connecteur (V_h , en N/mm) relativement à la position sur la longueur de la poutre CBB (x , en mm) où le point x_D indique la division entre la zone élastique et la zone plastique selon le comportement GEP du connecteur.

Validation de modèle proposé

Les résultats de notre modèle ont été comparés à **(i)** un modèle numérique basé sur la méthode des éléments finis qui a été validé suite à plusieurs essais expérimentaux sur des structures CBB [2], [11], [12], sur **(ii)** des modèles analytiques couramment utilisés dont l'applicabilité est limitée par la linéarité présumée de la loi de cisaillement d'assemblage [5], [13] et sur **(iii)** un modèle analytique qui a été validé pour les connecteurs ductiles dans un travail antérieur [6]. Notre méthode a présenté de meilleurs résultats pour estimer le comportement des structures CBB que les méthodes analytiques existantes, mais elle a toutefois moins bien performé que le modèle numérique.

Remarques importantes

Sur la base des résultats présentés, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

1. Pour la première fois, nous avons obtenu une solution analytique permettant de calculer la réponse d'une structure CBB en prenant en considération le comportement non linéaire de la connexion.
2. La qualité de notre solution analytique a été comparée aux méthodes linéaires et à l'analyse numérique de la méthode des éléments finis. Notre méthode sous-estime légèrement la réponse élastique de la réponse structurelle de la poutre CBB, mais la prédiction de la phase plastique est très satisfaisante.
3. Le modèle analytique proposé peut être utilisé pour concevoir des structures CBB avec la ductilité structurelle souhaitée.

Références

- [1] T.-T. Nguyen, L. Sorelli, et E. Brühwiler, « An Analytical Method to Predict the Structural Behavior of Timber-Concrete Structures With Brittle-to-Ductile Shear Connector Laws », *Eng. Struct.*, vol. 221, p. 110826, oct. 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110826.
- [2] B. Gendron, « Ponts composites bois-béton en portée simple : théorie, essais et conception », Université Laval, Québec, Canada, 2016.
- [3] A. Ceccotti, « Composite concrete-timber structures », *Prog. Struct. Eng. Mater.*, vol. 4, n° 3, p. 264-275, juill. 2002, doi: 10.1002/pse.126.
- [4] A. Ceccotti, M. Fragiacomio, et R. M. Gutkowski, « Design of timber-concrete composite structures according to EC5-2002 version », présenté à Meeting thirty-five of the Working Commission W18 - Timber Structures, 2002.
- [5] European Committee for Standardisation, *Eurocode 5 : Design of timber structures - Part 1-1 : General - Common rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization, 2004.
- [6] C. Zhang et P. Gauvreau, « Timber-Concrete Composite Systems with Ductile Connections », *J. Struct. Eng.*, vol. 141, n° 7, p. 04014179, juill. 2015, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001144.
- [7] S. C. Auclair, L. Sorelli, et A. Salenikovich, « Simplified nonlinear model for timber-concrete composite beams », *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 117, p. 30-42, oct. 2016, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2016.07.019.

- [8] M. R. Salari, E. Spacone, P. B. Shing, et D. M. Frangopol, « Nonlinear Analysis of Composite Beams with Deformable Shear Connectors », *J. Struct. Eng.*, vol. 124, n° 10, p. 1148-1158, oct. 1998, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:10(1148).
- [9] Z. P. Bazant et J. L. Vitek, « Compound Size Effect in Composite Beams with Softening Connectors. I: Energy Approach », *J. Eng. Mech.*, vol. 125, n° 11, p. 1308-1314, nov. 1999, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9399(1999)125:11(1308).
- [10] N. M. Newmark, C. P. Siess, et I. M. Viest, « Test and analysis of composite beams in complete interaction », *Proc. Soc. Exp. Stress Anal.* 9, p. 75-92, 1951.
- [11] N. Naud, L. Sorelli, A. Salenikovich, et S. Cuerrier-Auclair, « Fostering GLULAM-UHPFRC composite structures for multi-storey buildings », *Eng. Struct.*, vol. 188, p. 406-417, juin 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.02.049.
- [12] S. C. Auclair, L. Sorelli, et A. Salenikovich, « A new composite connector for timber-concrete composite structures », *Constr. Build. Mater.*, vol. 112, p. 84-92, juin 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.025.
- [13] F. Renaudin, « Etude d'une poutre mixte bois - béton présentant une raideur de connexion finie ». Cerema, mars 2016.