



NOTE DE RECHERCHE

DECEMBRE 2014 • N° 14.

STRUCTURE MIXTE BOIS ET BÉTON À HAUTE PERFORMANCE : APPROCHE SEMI-ANALYTIQUE POUR ASSURER LA DUCTILITÉ STRUCTURELLE

Les structures multiétagées et les ponts en bois émergent dans le marché nord-américain puisque le bois se présente comme un matériau environnemental et carboneutre. D'un point de vue de sécurité structurale, le comportement souhaité est une rupture ductile qui dissipe beaucoup d'énergie et achève une déformation ultime significative. Dans ce contexte, la ductilité est une propriété importante pour une structure, car elle garantit la redistribution des efforts internes et évite une rupture catastrophique. De plus, la ductilité permet une conception plus sécuritaire vis-à-vis les incertitudes des propriétés mécaniques du bois et de la modélisation. Nous présentons une méthode de calcul semi-analytique qui tient compte du comportement non linéaire du connecteur entre le bois et le béton. Cette méthode de calcul permet de prédire la ductilité de la structure en fonction de la perte d'action composite engendrée par la rupture des connecteurs. La méthode proposée permet aussi de concevoir l'espacement des connecteurs afin de maximiser la ductilité et la résistance d'une structure, un outil clé pour permettre aux ingénieurs civils d'utiliser le bois dans le secteur de construction non résidentielle.

INTRODUCTION

L'utilisation conjointe du bois et du béton pour des applications structurales est devenue un grand intérêt dans la dernière décennie depuis que les concepteurs misent plus d'attention à la performance améliorée des planchers vis-à-vis les impacts environnementaux et la durabilité des structures. Toutefois, les ingénieurs sont souvent craintifs vis-à-vis l'utilisation du bois à cause de son comportement fragile et variable et de ces déformations à long terme. Une action composite de la poutre de bois avec une dalle de béton permet de remédier à ces problèmes avec une approche intelligente à la conception. Dans la littérature actuelle, il est bien expliqué comment remédier aux problèmes de déformation grâce à l'action composite, mais il n'y a que très peu d'information sur les méthodes pour obtenir une rupture ductile d'une structure mixte bois/béton. En tenant pour acquis qu'il est possible d'avoir une rupture ductile d'une poutre composite en fonction de la perte d'action composite, il faut se demander quelles sont les variables de conception qui influencent la ductilité. Dans cette note de recherche, nous allons brièvement présenter les variables clés qui permettent d'obtenir une rupture ductile. La possibilité de garantir une rupture ductile pour une structure de bois favorisera l'utilisation de celle-ci dans le secteur non résidentiel.

I. MATÉRIEL ET MÉTHODE

• La différence entre une rupture fragile et une rupture ductile est que cette dernière achève une grande déformation juste avant la rupture (Figure 1). La ductilité d'une structure peut être quantifiée par le ratio de la flèche ultime sur la flèche élastique (eq. (1)).

$$ductilite = \frac{w_{ul}}{w_{el}} \quad (1)$$

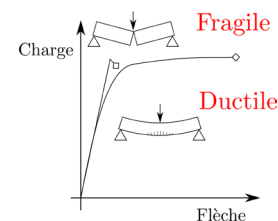


Figure 1. Différence entre une rupture fragile et une rupture ductile

• L'analyse est faite sur une poutre de 15 mètres de portée sous une charge uniformément répartie. Le bois choisi est du Nordic Lam de la classe 24F-ES/NPG. La dalle de béton est faite en béton fibré ultra performant (BFUP). Les propriétés et les dimensions des composantes sont indiquées sur la Figure 2.

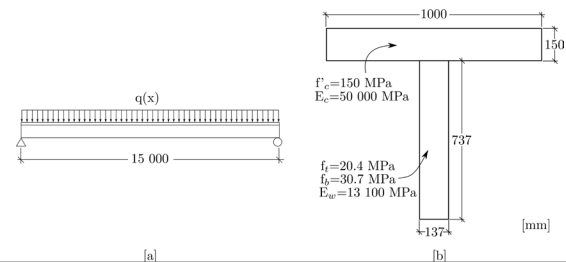


Figure 2. Dimensions et propriétés du bois et du béton pris pour l'analyse ([a] Vue en élévation [b] Vue de la section)

• La méthode de calcul utilisée pour évaluer les contraintes normales dans chacune des couches tout le long de la poutre est une équation différentielle développée par Newmark¹ (1951) (eq. (2)).

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{K} \frac{dN(x)}{dx} \right) - \frac{1}{C^*} \frac{EI_{\infty}}{EI_0} N(x) = -\frac{M(x)}{EI_0} d \quad (2)$$

¹ N.M Newmark, C.P. Siess and I.M Viest 1951., Tests and Analysis of Composite Beams with Incomplete Interaction, Proc. Society for Experimental Stress Analysis, 9, n.1

- L'équation différentielle est ensuite couplée avec l'équation de la théorie des poutres d'Euler-Bernoulli.

$$\frac{d^2}{dx^2}(EI_0 w''(x) + N(x)d) = q(x) \quad (3)$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{K} \frac{dN(x)}{dx} \right) - \frac{1}{C^*} N(x) + w''(x)d = 0$$

- L'équation couplée (3) est résolue par éléments finis en fonction de la relation entre la charge, le glissement (Figure 3) et l'espacement des connecteurs. La valeur de K_0 prise pour l'analyse est de 25 kN/mm et la valeur de δ_y est de 1 mm.

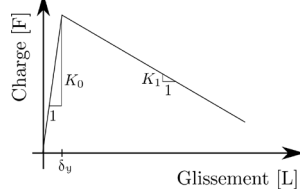


Figure 3. Loi du connecteur pris pour l'analyse

II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

- Selon les résultats présentés sur la Figure 4, l'espacement des connecteurs a une grande influence sur la ductilité de la poutre. La valeur de la pente régressive du connecteur (K_1) peut permettre d'augmenter la ductilité d'environ 20%, cependant, une fois une certaine valeur dépassée, il peut y avoir une perte importante de ductilité.

- En ce qui concerne l'espacement des connecteurs, il est observé que plus celui-ci est grand, plus la rupture est ductile. Pour choisir un espacement optimal, il faut faire un compromis entre la ductilité et la résistance. Il fut démontré dans la littérature que la ductilité minimale qui permet la redistribution des efforts dans une structure hyperstatique est de trois²; cette valeur peut donc être un bon compromis.

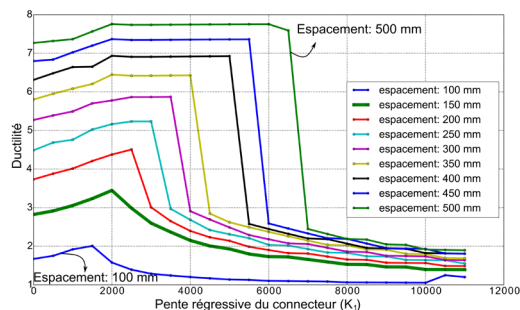


Figure 4. Analyse de sensibilité sur la variable K_1 et l'espacement

² Ezio Giuriani 2002., ICAR/09 Tecnica delle costruzioni, Université de Brescia

- La Figure 5 présente l'analyse de la flèche selon la charge uniformément répartie. On peut constater que la valeur de K_1 a une influence importante sur le comportement de la poutre. Il est également observé que le plateau de la courbe est presque constant pour une valeur de K_1 égale à 2000 N/mm, soit la valeur optimale pour maximiser la ductilité pour un espacement de 150 mm (cf. Figure 4).

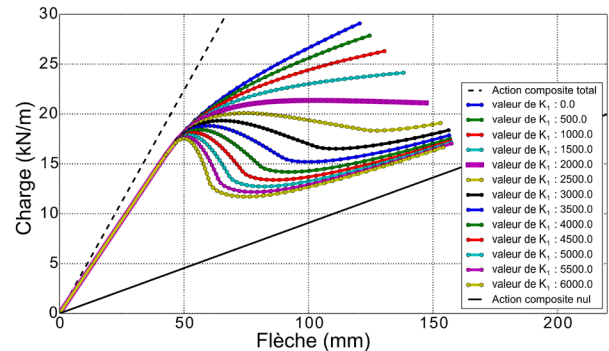


Figure 5. Flèche de la poutre selon la charge et le comportement du connecteur pour un espacement de 150 mm

III. CONCLUSIONS

- En analysant la flèche de la poutre selon l'équation différentielle de Newmark couplée avec la théorie des poutres, il est possible de modéliser une rupture ductile de la structure par la perte d'action composite.

- L'espacement des connecteurs a une grande influence sur la ductilité de la poutre causée par le fait qu'il est nécessaire que le connecteur plastifie avant la rupture du bois ou du béton.

- Des connecteurs présentant un comportement ductile adoucissant permettent de maximiser la ductilité. Il est tout de même important que le connecteur ne soit pas trop fragile.

IV. LISTE DES SYMBOLES

C^*	Paramètre de rigidité axiale de la poutre composite
d	Distance entre le centre de rigidité de la dalle et de la poutre
EI_0	Rigidité flexionnelle de la poutre avec une action composite nulle
EI_∞	Rigidité flexionnelle de la poutre avec une action composite infiniment rigide
K	Rigidité de l'interface bois/béton
M	Moment interne de la poutre composite
N	Effort normal agissant sur chacune des couches
q	Charge uniformément répartie sur la poutre
W	Flèche de la poutre

Auteurs: Samuel Cuerrier Auclair, Luca Sorelli Ph.D., Alexander Salenikovich Ph.D.

Pour plus d'informations: Luca Sorelli, professeur titulaire

luca.sorelli@gci.ulaval.ca ; (418) 656-3060

Centre de recherche sur les matériaux renouvelables, Pavillon Gene-H.-Kruger,
2425 rue de la Terrasse, Université Laval, Québec, Qc, Canada G1V 0A6

<http://www.materiauxrenouvelables.ca>