

Sujet de thèse LaBoMaP – ENSAM Cluny (71)

Développement de produits lamellés issus du déroulage de douglas pour des ponts et autres solutions constructives mixtes bois-béton collés

Domaine : Mécanique / Génie mécanique / Génie Civil
Mots-clés : Bois, Modélisation, Mécanique, Lamibois, Génie Civil
Lieu de travail : Site [Arts et Métiers ParisTech](#) de [Cluny \(71\)](#)
Début : Impérativement avant fin décembre 2018
Contact : Guillaume Pot
E-mail : Guillaume.Pot@ensam.eu
Téléphone : 03 85 59 53 79
Équipe : Matériau et Usinage Bois ([MUB](#))
Laboratoire : Laboratoire Bourguignon des Matériaux et Procédés ([LaBoMaP](#))

Contexte :

La majorité des 260 000 ponts routiers français est construite en maçonnerie ou en béton. Pour 92% de ces ouvrages, ce sont les collectivités locales qui ont la responsabilité de leur entretien. L'âge et l'état de ce patrimoine vont imposer leur remplacement progressif ce qui constitue un enjeu économique et social d'envergure pour le développement des territoires.

Ce projet a pour but le développement de produits innovants tirant meilleur parti des propriétés du béton et de produits bois issus du déroulage de douglas pour répondre à la problématique du remplacement des ponts de moyenne et courte portée (Figure 1). Le doctorant sera accueilli au sein de l'équipe matériau et usinage bois (MUB) du LaBoMaP (ENSAM de Cluny, 71), mais sera aussi amené à collaborer avec le Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) d'Autun. Le CEREMA est un laboratoire public ayant l'expérience des solutions constructives mixtes bois/béton [1, 2].



Figure 1 : Pont bois-béton de l'aire de Chavanon (Corrèze)

L'équipe MUB est reconnue internationalement pour ses travaux consacrés au déroulage du bois et au développement de produits bois issus du déroulage (contreplaqué, lamibois, ...) [3-6]. Ces matériaux sont constitués de feuilles de placages d'environ 3 mm d'épaisseur obtenus par déroulage et collés entre elles pour former un matériau composite multi-plis (figure 2). Ce type de matériau présente des performances mécaniques accrues comparées au bois massif et au bois lamellé-collé et surtout une forte stabilité

dimensionnelle face aux changements hydriques. L'utilisation de lamibois de douglas dans un pont mixte bois-béton présente des atouts techniques majeurs. Le lamibois permet de limiter les déformations hydriques facilitant le collage avec le béton, présente des propriétés mécaniques plus élevées et plus homogènes comparativement au bois massif ou au bois lamellé-collé. La durabilité du produit fini est naturelle par l'utilisation de duramen (partie centrale de l'arbre résistante aux agressions biologiques) tout en assurant un rendement matière optimal de l'utilisation de ce duramen grâce au procédé de déroulage. Enfin, il est possible d'optimiser la composition du multiplis vis-à-vis des contraintes mécaniques spécifiques à un usage de type pont ce qui constituera un des développements majeurs du travail de thèse.



Figure 2 : Éléments structurels en LVL

Objectifs de la thèse / travail à réaliser :

Cette thèse vise à optimiser le multiplis bois en termes de composition, de lamellation et de forme, vis-à-vis des contraintes mécaniques et déformations hygroscopiques lors d'une application de type pont bois/béton collé. Inclue dans un projet plus large avec plusieurs laboratoires du domaine du génie civil, le doctorant devra participer pleinement au projet et avoir des interactions régulières avec le CEREMA, mais également d'autres laboratoires comme le GC2D (laboratoire d'Egletons).

Le doctorant devra tout d'abord bien étudier les questions relatives au calcul de structure sur les ponts en application des Eurocodes, en s'appuyant notamment sur les compétences du CEREMA. Au sein d'un pont mixte bois-béton, la partie bois doit faire face à des états de contraintes relativement complexes : la partie béton soutient les efforts de compression longitudinale et transversale (ce qui constitue l'état de contrainte où le béton possède des propriétés optimum) ; la partie bois doit, elle, résister à la traction longitudinale et aussi, au niveau des appuis du pont, à la compression transverse et au cisaillement. La conception sur mesure en lamibois, avec renforts locaux à l'instar des matériaux composites, représente donc une solution pertinente du point de vue mécanique mais aussi économique.

L'étude de la composition optimisée du multiplis représente l'objectif majeur que devra atteindre le doctorant recruté. Les voies d'optimisation sont triples :

- premièrement, dans l'orientation de chaque feuille de placage dans le multiplis, variant en fonction de la position dans l'épaisseur et la longueur de la poutre (notamment vis-à-vis de la problématique des appuis) ;
- deuxièmement, dans la prise en compte de la qualité de chaque lamellation du multiplis : pour garantir les propriétés mécaniques tout en valorisant au mieux la ressource en douglas naturellement hétérogène, il convient de caractériser les placages grâce à un scanner mesurant l'orientation des fibres des placages. Ce point, ambitieux, repose sur des développements récents de l'équipe MUB [7-10] ;
- troisièmement, sur la forme globale des poutres multi-plis : le fait de travailler avec des feuilles de placages qui sont assemblées permet d'imaginer une découpe optimisée et donc un gain de rendement matière. La poutre devra ensuite être taillée pour obtenir sa forme finale grâce à un centre d'usinage, avec une réflexion à mener sur la zone d'interface avec le béton.

Une ou plusieurs validations expérimentales seront nécessaires, avec divers essais à prévoir : flexion mais aussi cisaillement, vieillissement (vis-à-vis des chargements hydriques). Le doctorant devra donc fabriquer des corps d'épreuve à échelle réduite (longueur 3 m) en partant du déroulage jusqu'à la taille de la poutre

(utilisation des moyens de la plateforme Equipex Xylomat du LaBoMaP), et en collaboration avec les partenaires du projet (notamment pour la partie béton). Afin de valider les choix techniques dans les zones problématiques où à la fois l'état de contrainte et le matériau seront hétérogènes, il conviendra de mesurer les champs de déformations sur toute la surface de la poutre ce qui pourra se faire avec un équipement de mesure de champs par corrélation d'images.

Profil du candidat :

Un profil de type mécanique et/ou génie civil semble adapté. Le travail principal du doctorant sera la modélisation du comportement mécanique, mais la partie expérimentale est aussi très importante et le candidat devra donc avoir une appétence pour ces deux aspects. Il est donc essentiel d'être un bon mécanicien (théorie des poutres, méthode des éléments finis, ...) et d'être à l'aise avec des logiciels scientifiques type MATLAB. Le candidat devra aussi être capable de faire preuve d'autonomie dans l'utilisation de machines et matériels d'essai, et une implication forte dans le développement de ces matériels de laboratoire est attendue (avec le support de l'équipe technique). Le candidat devra faire preuve de dynamisme et de volontarisme pour s'intégrer dans un projet plus large et communiquer avec les différents partenaires.

Références :

- [1] Loulou L. (2013) Durabilité d'un assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique. Doctorat Navier.
- [2] CEREMA (à paraître) Guide de conception - Ponts-routes à tablier mixte bois/béton à nervures sous chaussée - Conception d'un ouvrage type.
- [3] Viguier J., Marcon B., Girardon S., and Denaud L. (2017) Effect of Forestry Management and Veneer Defects Identified by X-ray Analysis on the Mechanical Properties of Laminated Veneer Lumber Beams Made of Beech. *BioResources*, 12(3), 6122–6133.
- [4] Darmawan W., Nandika D., Massijaya Y., Kabe A., Rahayu I., Denaud L., and Ozarska B. (2015) Lathe check characteristics of fast growing sengon veneers and their effect on LVL glue-bond and bending strength. *Journal of Materials Processing Technology*, 215, 181–188.
- [5] Girardon S., Denaud L., Pot G., and Rahayu I. (2016) Modelling the effects of wood cambial age on the effective modulus of elasticity of poplar laminated veneer lumber. *Annals of Forest Science*, 73(3), 615–624.
- [6] Pot G., Denaud L. E., and Collet R. (2015) Numerical study of the influence of veneer lathe checks on the elastic mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) made of beech. *Holzforschung*, 69(3), 247–316.
- [7] Viguier J., Bourgeay C., Rohumaa A., Pot G. Denaud L. (2018) An innovative method based on grain angle measurement to sort veneer and predict mechanical properties of beech laminated veneer lumber. *Construction and Building Materials*, (in press).
- [8] Viguier J., Bourreau D., Bocquet J.-F., Pot G., Bléron L., and Lanvin J.-D. (2017) Modelling mechanical properties of spruce and Douglas fir timber by means of X-ray and grain angle measurements for strength grading purpose. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(4), 527–541.
- [9] Viguier J., Jehl A., Collet R., Bléron L., and Meriaudeau F. (2015) Improving strength grading of timber by grain angle measurement and mechanical modeling. *Wood Material Science & Engineering*, 10(1), 145–156.
- [10] Daval V., Pot G., Belkacemi M., Meriaudeau F., and Collet R. (2015) Automatic measurement of wood fiber orientation and knot detection using an optical system based on heating conduction. *Optics Express*, 23(26), 33529–33539.