

## Fluage des structures mixtes : applications aux ponts Bois / Béton collés

QUINTERO Christian, SAUVAT Nicolas, DUBOIS, Frédéric, MILLEN Anne

GC2D, Univ. Limoges, Egletons  
[christian.quintero-reyes@etu.unilim.fr](mailto:christian.quintero-reyes@etu.unilim.fr)

**Mots clefs :** Viscoélasticité ; Comportement différé ; Structures mixtes ; Bois – Béton ; Pont

### Introduction et contexte

La majeure partie des ponts de faible portée (inférieure à 25 m) est gérée par des collectivités territoriales. Nombre de ces ouvrages construits en maçonnerie ou en béton présentent des pathologies et leur remplacement apparaît parfois comme inévitable. Des solutions mixtes bois-béton ont déjà été mises en œuvre, avec des connexions mécaniques (Pont du Riou ou de Lure). Une liaison collée par époxy permettrait de profiter au mieux de la mixité des matériaux (Loulou 2013). Mais le comportement au fluage des matériaux constitutifs étant différent, il convient dans un premier temps d'évaluer la possible perturbation au cours du temps de l'équilibre des contraintes dans la section.

Nous présentons ici un cas d'étude de prédimensionnement (CEREMA 2020). Des lois de fluage simples et réglementaires sont appliquées pour une simulation sur 100 ans. La flèche centrale et la distribution des contraintes normales dans la section sont étudiées.

### Cas d'étude

#### *Prédimensionnement*

A la demande du Conseil département de Haute Saône, le remplacement du pont de Tillouzot sur la Grosne, à Massilly, a été étudié avec une version bois béton collée (Fig. 1).

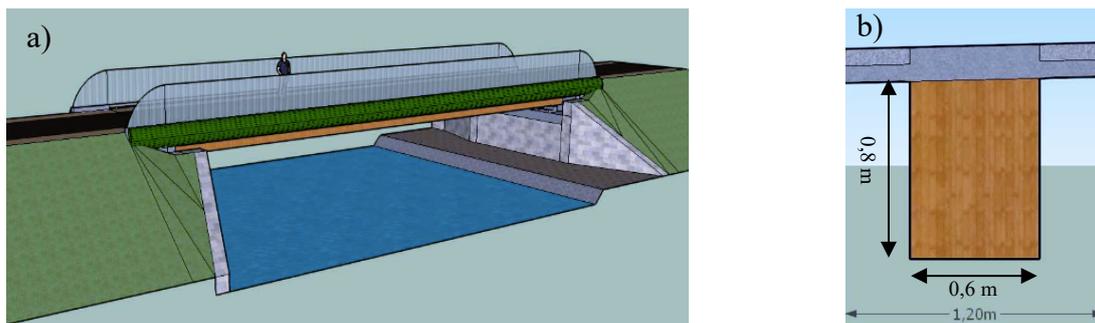


Fig. 1 : Pont de Tillouzot : a) Vue d'ensemble , b) Section sur une nervure

L'ouvrage présente une portée de 21 m. Il est supporté par 4 poutres en bois lamellé. Ces poutres sont reconstituées par collage sur la hauteur de 3 éléments de 0,2 m de large. La largeur de la nervure est donc de 0,60 m, pour une hauteur de 0,80 m. Le tablier en béton-armé a une épaisseur de 0,20 m.

#### *Propriétés des matériaux.*

Les poutres sont en Douglas GL24h. Le béton du tablier est en classe C35/45, avec un module d'élasticité 34 000 MPa, résistance caractéristique à la compression.

### Charges

Cet ouvrage étant sur une piste cyclable, seules les charges de poids propres sont retenues dans cette modélisation. Elles génèrent une charge linéique pondérée (ELU  $\gamma_G = 1,35$ ) de 9,4 KN/m.

### Modèle

#### Maillage et conditions limites

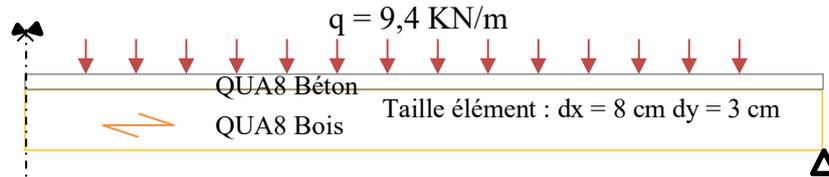


Fig. 2 : Maillage, conditions limites et force appliquée

Le maillage (Fig. 2) est constitué de 4128 éléments de type QUA8 dont 3354 éléments (jaunes) sont du bois et 774 éléments (noirs) du béton. Le pont est modélisé comme une poutre bi appuyée. Le maillage correspond à la demi-portée.

#### Lois de comportement en fluage

Les Eurocodes proposent une prise en compte du fluage par un coefficient multiplicateur du déplacement instantané. Pour les structures en bois, l'Eurocode 5 (NF EN 1995-2 2005) propose le coefficient  $k_{def}$ , dépendant de la classe de service. Le comportement différé peut être exprimé par un modèle de Kelvin-Voigt généralisé (Dubois 1997). Un coefficient  $a_{cls}$  peut être ajouté comme un accélérateur du fluage pour couvrir les 3 classes de service (Eq. 1),  $J(t)$  est la fonction de fluage,  $E_0$  représente le comportement élastique instantané du système.  $A_i$  et  $\lambda_i$  représentent la raideur et la viscosité de la  $i^{ème}$  cellule de Kelvin Voigt. Les valeurs obtenues de  $a_{cls}$  pour les classes de service 1, 2 et 3, CS1, CS2 et CS3, sont respectivement 0,133, 1 et 1000, pour un  $k_{def}$  à 50 ans de 0,6, 0,8 et 2.

$$J(t) = \frac{1}{E_0} \cdot \left[ 1 + \sum_{i=1}^8 A_i \cdot (1 - e^{-\lambda_i \cdot a_{cls} \cdot t}) \right] \quad (1)$$

La loi de fluage du béton est celle proposée dans l'Eurocode 2, section 3.1.4. Cette loi est impactée par l'humidité relative extérieure ; deux cas sont retenus ici : HR = 70% et HR = 80%. Les lois de fluage sont illustrées Figure 3.

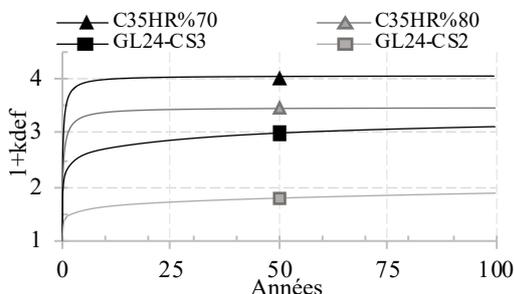


Fig. 3 : Coefficient multiplicateur de déplacement instantané

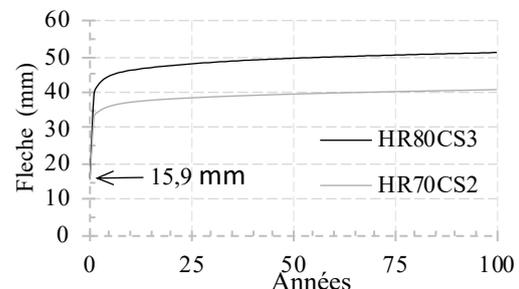


Fig. 4 : Flèche maximale de la nervure

Si le bois flue plus dans une ambiance humide, le béton au contraire est plus sensible à une ambiance plus sèche. L'équilibre hydrique du bois des conditions extérieures nous conduit à un équilibre interne pouvant aller de la CS2 à la CS3. Nous retenons 2 cas dans ce résumé :

- Cas 1 : Bois en CS2 et fluage béton calculé pour HR = 70%,
- Cas 2 : Bois en CS3 et fluage béton calculé pour HR = 80%,

## Résultats

### Flèche

Comme illustrée à la figure 4, le cas 2 conduit à une flèche finale est 51 mm à 100 ans, soit un rapport à la portée de  $L / 410$ . Pour le cas 1, la flèche finale de 40 mm donne un rapport de 525.

### Profils des contraintes

Les profils de contraintes normales  $\sigma_{XX}$  sur la hauteur de la section sont présentés Fig. 5 et Fig. 6 pour les 10 premières années. Les valeurs maximales sont inférieures aux résistances pour un calcul instantané. Les variations les plus importantes apparaissent dans la première année de vie de l'ouvrage. Ensuite le comportement se stabilise et n'évolue quasiment plus. Le fonctionnement de la section mixte est donc en sécurité car le béton reste toujours en compression.

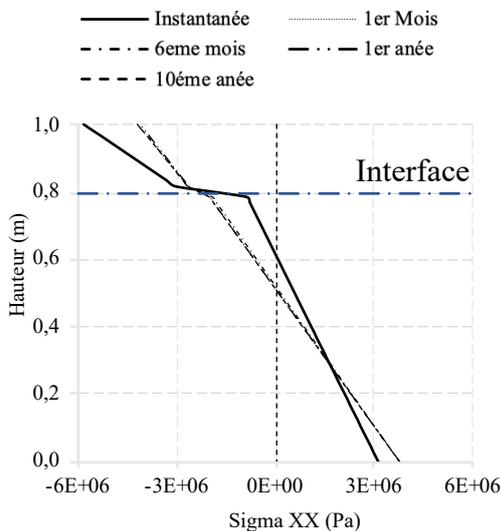


Fig. 5 : Contraintes normales à la classe de service 2 HR 70%

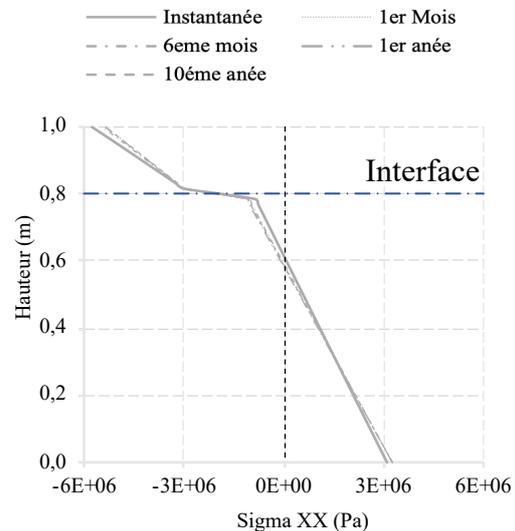


Fig. 6 : Contraintes normales à la classe de service 3 HR 80%

### Cinétique de la poutre

Le fluage différentiel des matériaux béton et bois est donc uniquement visible dans les premières années de fonctionnement de l'ouvrage. La Fig. 7 représente l'évolution de l'axe neutre sur la hauteur. Seul un léger rapprochement de l'interface est visible dans les premiers mois du cas 2. Cette évolution peut être anticipée par une représentation du ratio des lois de fluage des deux matériaux comme proposé en Fig. 8.

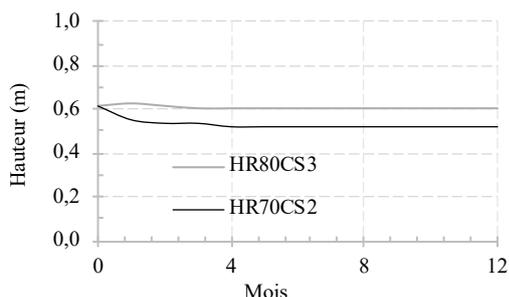


Fig. 7 : Evolution de la position de l'axe neutre dans la première année

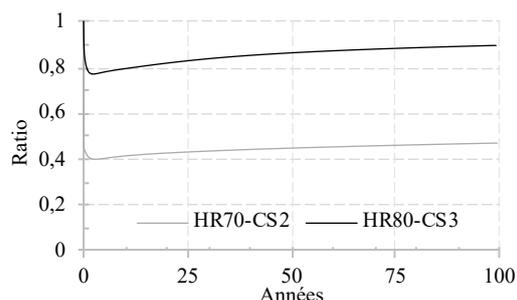


Fig. 8 : Ratio des coefficients multiplicateur de déplacement instantané du bois divisé par celui du béton

### Conclusions et perspectives

L'application des lois de fluage régulières et réglementaires, c'est-à-dire non dépendantes de la température et de l'humidité, à des structures mixtes ne fait pas apparaître de modification notable de la distribution des contraintes au cours du temps. Cependant, le modèle reste largement perfectible par la détermination des profils réels de température et d'humidité dans les matériaux (Varnier 2019), et l'introduction de lois de fluage dépendantes de l'humidité et/ou de la température. Enfin, l'introduction d'éléments de joints pour modéliser l'interface collé permettra d'inclure un caractère endommageable de la liaison. En effet les variations dimensionnelles différentielles liées aux variations de température et d'humidité sont susceptibles de générer un phénomène de fatigue hydrique tendant à diminuer la qualité de la liaison dans le temps.

### Remerciements

Le financement de ce doctorat est assuré par une bourse de la région Nouvelle Aquitaine. L'application au pont de Tillouzot est faite en partenariat avec le LABOMAP et le CEREMA.

### Références

- CEREMA (2020) Étude des scénarios de réparation du tablier de l'ouvrage vs démolition / Reconstruction par un pont mixte bois-béton à interface collé.
- Dubois F. (1997) Modélisation du comportement mécanique des milieux viscoélastiques fissures, Université Limoges
- Loulou L. (2013) Durabilité d'un assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique, Doctorat Université Paris-Est (direction de thèse : laboratoire Navier).
- NF EN 1995-2 (2005) Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois partie 2 : Ponts Annexe nationale.
- Varnier M. (2019) Comportement thermo-hygro-mécanique différé des feuillus, Université Limoges.