
Comportement au fluage de poutres hétérogènes Bois-BFUP assemblées par collage

Kanhchana KONG¹

¹ Université Lyon 1- LGCIE-site Bohr – Laboratoire de Génie Civil et Ingénierie Environnementale, 82 bd Niels Bohr, 69622 Villeurbanne cedex, kanhchana.kong@etu.univ-lyon1.fr;

Prix Jeunes Chercheurs « René Houpert »

RÉSUMÉ. Le fait de s'intéresser au bois, au BFUP et au PRFC est lié à la nécessité d'apporter une réponse à la problématique du comportement au fluage des matériaux composites constitués à partir des différentes propriétés rhéologiques de ces matériaux. La caractérisation mécanique de la "réponse" mécanique à court et à long terme de ce nouveau système de poutres hybrides Bois-BFUP a été réalisée à l'aide des approches expérimentales ainsi que des modélisations analytiques itératives. Les résultats montrent que les poutres hétérogènes Bois-BFUP apportent une optimisation de capacité portante ainsi que de la rigidité. Elles réduisent également la déformation occasionnée par le fluage des poutres en bois.

ABSTRACT. The fact of interest to wood, UHPFRC and CFRP is linked to the necessity to respond to the problem of creep behavior of composite structures made of different materials with different rheological properties. Identification the mechanical "responses" in the short and long term of Glulam-UHPFRC beams have been assessed by using experimental approaches and the iterative analytic modeling. The results show that heterogeneous Glulam-UHPFRC beams provide an improvement in both the strengthening and stiffness, and can also effectively reduce the creep deformation of wooden beams.

MOTS-CLÉS : Fluage, Bois Lamellé-Collé (BLC), Béton Fibré à Ultra-haute Performance (BFUP), Polymère à Renfort Fibre de Carbone (PRFC), Collage, Modélisation analytique itérative.

KEY WORDS: Creep, Glulam, Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC), Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP), Collage, Iterative analytical modelling.

1. Introduction

L'encouragement à utiliser le bois dans le domaine de construction initié par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie ainsi que la disponibilité des matériaux composites ont stimulé le développement de structures hybrides bois/composite avec un intérêt particulier pour l'utilisation du Polymère Renforcée de Fibres (PRF) dans le renforcement des éléments fléchis en bois, en particulier sur des poutres en bois lamellé-collé.

La première idée pour assurer une meilleure performance en flexion de poutre en bois est la combinaison avec d'autres matériaux tels que des éléments composites ou hybrides, comme suggérée par de nombreux chercheurs ([PHA 07], [GUT 08], [GAR 14]). Par ailleurs, selon [FER 09], il est nécessaire de développer des systèmes hybrides qui misent sur l'écologie, l'économie et la performance dans le produit final. Quelque soit le système de connexion utilisé dans la section multi-matériaux, les structures bois/béton présentent un intérêt vis-à-vis de l'augmentation des performances mécaniques des structures fléchies. Le développement récent du Béton Fibré Ultra-haute Performance (BFUP) montre des biens meilleurs caractéristiques que le béton ordinaire. Cette solution permet la réduction de la hauteur de poutre en bois et peut également augmenter la capacité portante ainsi que la rigidité de ces structures hybrides.

En vue d'améliorer le comportement mécanique en flexion pour des poutres de grandes portées ou avec des charges élevées, une des solutions correspond à l'ajout de Polymères Renforcés de Fibres de Carbone (PRFC) sur la partie tendue de la poutre en lamellé-collé. Les principaux avantages de l'utilisation de barres d'armatures composites par rapport aux armatures en acier sont leur résistance à la corrosion et leur légèreté rendant ces armatures PRFC fortement adaptées au renforcement de poutres en bois.

Cependant, dans la conception de la structure en bois, en dehors du critère de la capacité portante et de la rigidité, le critère de la déformabilité due au fluage du bois en particulier dans les éléments horizontaux est un critère de dimensionnement. De plus, la différence de réponse au fluage des composants de poutre peut causer le phénomène de redistribution de contrainte dans la section [SCH 04]. De nombreuses études sur la réponse au fluage de poutre mixte bois-béton ou bois-renforts notamment [KAN 12] et [YAH 11] ont montré que le fluage du bois était beaucoup plus important que celui des autres matériaux de renforcement.

Les nouveaux développements ont été continués (par exemple [FER 09] et [PRO 13]) afin d'améliorer encore les performances de la structure vis-à-vis de la capacité portante, la rigidité de la poutre en bois par intégration de fibre ultra-hautes performances en béton armé (BFUP) et d'armatures polymères renforcées des fibres de carbone (PRFC). Le fait de s'intéresser au bois, au BFUP et au PRFC est lié à la nécessité d'apporter une réponse à la problématique du comportement à long terme des poutres hybrides constituées développées à partir de ces matériaux.

Cet article présente les résultats expérimentaux ainsi que les modélisations analytiques itératives incrémentales menés sur le problème du fluage de poutres hétérogènes Bois-BFUP-PRFC afin d'étudier le comportement différé des poutres sous chargement de longue durée. Dans un premier temps les matériaux, les procédures et les programmes expérimentaux sont décrits. Ensuite, la méthode de calcul itérative est identifiée pour valider la réponse au fluage de poutre hybride. Enfin, la confrontation est quantifiée par une étude expérimentale et une modélisation.

2. Démarche expérimentale

2.1. Matériaux utilisés et préparation des éprouvettes

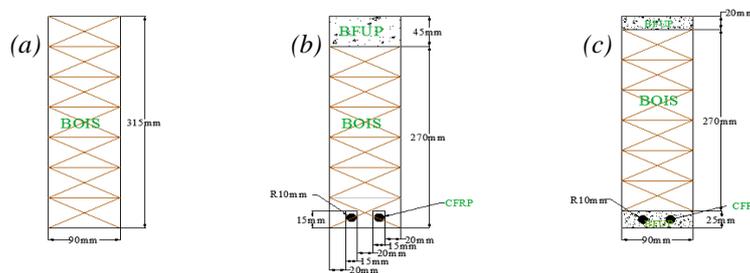
Les matériaux utilisés dans la fabrication des poutres composites sont le bois lamellé-collé (BLC), les bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP) type Ductal[®], les barres d'armature de polymère renforcé de fibres de carbone (PRFC) et une colle époxy de type Sikadur[®]-31 DW. Les propriétés mécaniques du bois, du BFUP et des PRFC sont présentées dans le Tableau 1.

Le bois, le BFUP et le PRFC sont assemblés par un joint époxy de faible épaisseur (environ deux millimètres). La fabrication s'est déroulée en trois étapes distinctes. La première était consacrée à la préparation des barres d'armature de PRFC, c'est-à-dire la pose des jauges de déformation sur les barres d'armatures. Ces barres sont ensuite positionnées dans une rainure sur l'intrados de la poutre en BLC, dite méthode NSM (Near-Surface-Mounted). La deuxième étape consiste à préparer les planches BFUP, le moulage des planches de BFUP et la préparation des surfaces de collage. La dernière étape comportait le collage des planches de BFUP sur l'extrados de la poutre BLC.

Tableau 1. Propriétés du bois lamellé-collé, BFUP et PRFC.

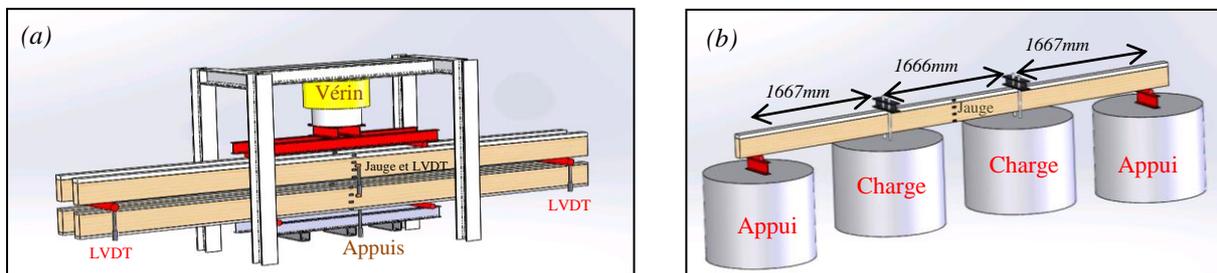
Propriétés	Unité	Bois	BFUP	PRFC
		GL24h	Ductal [®]	Φ10
Traction axiale	MPa	40	17	190
Compression axiale	MPa	24	130	-
Cisaillement	MPa	3,5	-	-
Module moyen d'élasticité	GPa	12,5	50	140
Module moyen de cisaillement	GPa	0,72	-	-
Masse volumique	kg/m ³	380	1025	1800

La configuration retenue pour les poutres possède une section constante sur toute la longueur (L) de la poutre égale à 5500 mm et les valeurs base x hauteur de la section sont de 315x90mm. Les poutres hybrides ont été fabriquées en deux configurations. Les poutres de configuration-1 sont constituées d'une couche supérieure de 45 mm de BFUP, d'une poutre en BLC qui a été renforcée par deux barres de PRFC (BLC-P45-C). La configuration-2 est composée d'une couche supérieure de 20 mm de BFUP, d'une poutre en BLC et d'une couche inférieure de 25 mm de BFUP renforcée par deux barres d'armature de PRFC (BLC-P20-PC25), elles sont connectées par collage. Toutes les sections transversales des trois types de poutres hybrides étudiées sont illustrées par la Figure 1.

**Figure 1.** Coupes transversales des poutres (a) BLC (référence), (b) BLC-P45-C, (c) BLC-P20-PC25.

2.2. Protocole expérimental

Onze poutres en total ont été testées : trois poutres sous sollicitation statique et huit poutres sous chargement constant de 20% à 40% de la charge de rupture de poutres renforcées. Parmi les huit poutres, cinq poutres ont été examinées dans l'environnement contrôlé du laboratoire Figure 2(a). Les trois autres poutres ont été testées en environnement extérieur au laboratoire Figure 2(b). Toutes les poutres sont testées en flexion 4 points selon la norme ASTM D4761 (2002). Tout au long des essais, les flèches à mi-portée, les déformations dans les couches de béton, de bois et du composite PRF sont mesurées. L'humidité relative et la température, ont été surveillées en permanence. La flèche à mi-portée a été mesurée à l'aide d'un LVDT et les déformations ont été mesurées par des jauges d'extensomètre ayant une longueur grille de 30 mm et une résistance de 120 Ohms. Le relevé des résultats a été effectué deux fois par jour pendant plus d'un an.

**Figure 2.** Dispositifs d'essai fluage (a) en environnement contrôlé et (b) environnement extérieur.

3. Comportement en statique des poutres hétérogènes Bois-BFUP

Les résultats expérimentaux des comportements de poutre hybride par rapport à celles de la poutre de référence sont présentés sous la forme des courbes de la Figure 3. Cette figure illustre également le comportement quasi linéaire de la structure, du début du chargement jusqu'à une valeur de 70% du point de rupture. La flèche a augmenté de façon plus prononcée lorsque le chargement a atteint 85% de la charge de rupture. Puis, la première rupture survient par dépassement de la résistance en compression du BFUP. Cette rupture peut être observée par la discontinuité de la courbe charge-flèche. Au-delà de cette première rupture, la collaboration entre le bois et le béton disparaît, le système se comporte alors comme la poutre en BLC renforcée par les barres d'armature en PRFC. La rupture finale de la poutre hybride intervient par un dépassement de la contrainte de traction dans la fibre inférieure tendue de la section de la poutre.

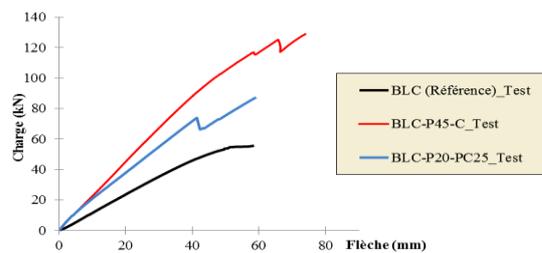


Figure 3. Courbe Charge-Flèche à mi-portée

De manière générale, les poutres renforcées ont démontré une rigidité en flexion et une résistance à l'ultime plus élevées que la poutre référence en BLC. Un autre point commun pour les poutres hybrides était la rupture brutale similaire (voir Figure 4), aucun glissement à l'interface BLC/BFUP au cours de l'essai. La remarque finale est que, toutes les premières ruptures de poutre hybride se trouvent dans les planches supérieures de BFUP de la poutre.



Figure 4. Modes de rupture de la poutre renforcée (a) la rupture de la planche de BFUP (b) la fissure de BLC (c) la rupture de l'armature PRF en sous face

4. Modélisation analytique du comportement au fluage des poutres Bois-BFUP

Le modèle développé dans cette étude pour prédire la réponse au fluage de la poutre hybride multi-matériaux est basé sur une procédure itérative. Une analyse de section transversale de poutre été utilisée initialement pour développer une relation moment-courbure approprié pour les sections composites. Ce modèle d'analyse est basé sur la compatibilité de déformation, de l'équilibre des forces internes dans la section et des modèles rhéologiques des matériaux. Ce modèle peut simuler le comportement à long terme de la poutre multi-matériaux. Les déformations sont calculées dans la hauteur de la section. Une distribution de déformation linéaire, l'hypothèse de Bernoulli sur la section transversale et l'adhérence parfaite sont assumées. Le glissement entre bois et BFUP n'est pas prise en compte.

4.1. Méthode d'analyse

La méthode analytique itérative a été développée pour analyser le comportement au fluage des poutres en bois renforcées de BFUP et PRFC, à partir des caractéristiques à court et à long terme des composants individuels. Cependant, étant donné que les niveaux de contraintes dans le PRFC étaient relativement plus faibles que la résistance ultime du PRFC, la déformation de fluage du PRFC a été négligée. Lorsque les contraintes sont inférieures à 40% de la résistance à court terme, le bois peut être considéré comme un matériau viscoélastique linéaire à condition d'être en environnement contrôlé, alors que dans un environnement variable extérieur, le comportement viscoélastique du bois devient non linéaire.

Un tel modèle pour analyser le comportement à long terme bois-béton a été proposé par l'approche analytique simplifiée classique de [CEC 95] selon Eurocode 5 – Partie 1-1 et 2 [CEC 03]. Cette approche a été améliorée par [FRA 06] en tenant compte des phénomènes mécano-sorptif, du retrait du béton. Le coefficient de fluage

dépend de la teneur en humidité, la variation de la température et l'humidité relative de l'environnement. Le comportement global de fluage est pris en compte en utilisant la méthode du module effectif par les remplacements des modules élastiques du bois E_{Bois} et du béton E_{BFUP} avec les modules efficaces du bois $E_{Bois,eff}(t)$ et du béton $E_{BFUP,eff}(t)$. Le fluage viscoélastique du BFUP selon [LOU 96] est inséré dans le calcul de la rigidité flexionnelle, l'équation [1].

$$E_{BFUP,eff}(t) = \frac{E_{BFUP}}{1 + \phi_{BFUP}(t, t_i)} \quad [1]$$

En outre, le fluage viscoélastique et mécano-sorptif du bois est également impliqué dans la forme du modèle rhéologique développé par [TOR 92].

$$E_{Bois,eff}(t) = \frac{E_{Bois}}{1 + \phi_{Bois}(t, t_i)} \quad [2]$$

Où ϕ_{BFUP} et ϕ_{Bois} sont les coefficients de fluage du béton et du bois. L'évolution dans le temps du coefficient de fluage du béton ϕ_{BFUP} peut être calculée en utilisant les formules des recommandations provisoires de l'AFGC [AFG 02]. Pour le bois, la version actuelle de l'EC5 suggère la valeur finale (pour la durée de chargement de 50 ans) de coefficient de fluage ϕ_{Bois} , qui est notée K_{def} , pour différentes classes de service.

- La dépendance du coefficient de fluage de la teneur en humidité

Lorsque l'effet mécano-sorptif est pris en compte, la dépendance explicite du coefficient de fluage de la teneur en humidité du bois est supposée selon le modèle de [TOR 92] :

$$\phi_{Bois}(t, t_i) = \left(\frac{t - t_i}{t_d} \right)^m + \phi^\infty \left[1 - e^{-\frac{2\Delta u(t-t_i)}{100\Delta t}} \right] \quad [3]$$

Où t_d , m , ϕ^∞ et c sont des paramètres des matériaux pris égal à 29500 jours, 0,21, 0,7 et 2,5, respectivement. Δu est l'amplitude de la teneur en humidité pendant la période de temps Δt . $(t-t_i)$ est la durée de chargement.

- L'effet de retrait

Le retrait de séchage du BFUP est très faible, cependant, il est important de prendre en compte l'effet de retrait du béton dans l'analyse de comportement à long terme de poutre mixte. La solution hydro-viscoélastique à cause du retrait du béton est évaluée avec la formule élastique en utilisant le module efficace donné par l'équation [1], avec :

$$\Delta \varepsilon_n = -\varepsilon_{cs}(t) + \varepsilon_{cs}(t_s) \quad [4]$$

$$E_{BFUP,eff}(t) = \frac{E_{BFUP}}{1 + \phi_{BFUP}(t, t_s)} \quad [5]$$

Où ε_{cs} étant la déformation de retrait du béton à un temps t à partir du coulage du béton t_s . Le retrait du béton peut être évalué selon les formules proposées par les recommandations de l'AFGC sur les BFUP [AFG 02].

Le retrait effectif selon l'équation [5] considère la différence entre le fluage provoqué par une charge externe constante et une variation de l'humidité.

4.2. Algorithme d'analyse

Les lois de comportement du bois, BFUP et PRFC ainsi que les informations géométriques de la section, de la portée, du chargement constant, de la teneur en humidité ainsi que la durée de chargement sont des données d'entrée. Les variables géométriques pertinentes sont la hauteur, la largeur de la poutre, la quantité de PRF, l'épaisseur des plaques BFUP, la portée et la position des charges externes. Pour lancer la procédure de calcul, la valeur initiale ($t = 0$) est donnée. Une courbure φ et une position de l'axe neutre Z_g sont affectées arbitrairement ou on peut également prendre une valeur φ_0 et Z_0 de calcul selon la théorie élastique.

Les modules d'élasticité du béton, du bois en fonction du temps sont obtenus à partir des équations [1] et [2]. La déformation est calculée à chaque incrément de pas de temps et la contrainte est déduite en utilisant la relation contrainte-déformation pour chaque matériau. La multiplication de la contrainte par l'aire de la couche de matériaux donne les forces de compression et de traction d'une section. Une fois que toutes les forces sont calculées, l'équilibre de la section est contrôlé avec l'équation suivante.

$$\sum F(t) = 0 = F_{PRFC} + F_{BFUP}(t) + F_{Bois}(t)$$

$$= A_{PRFC} E_{PRFC,eff} \varepsilon_{PRFC} + \sum_{i=1}^n A_{BFUP}(i) E_{BFUP,eff}(t) \varepsilon_{BFUP}(i) + \int_0^h A_{Bois} E_{Bois,eff}(t) \varepsilon_{Bois}(z) dz \quad [6]$$

où A_{BFUP} , A_{Bois} et A_{PRFC} sont les sections transversales du béton, du bois et PRFC. Le moment et la courbure interne sont déterminés pour comparer avec le moment externe.

$$\sum m(t) = m_{ext} = m_{BFUP}(t) + m_{Bois}(t) + m_{CFRP} = F_{BFUP}(t) a_{BFUP} + F_{Bois}(t) a_{bois} + F_{PRFC} a_{PRFC} \quad [7]$$

Si les conditions d'équilibre ne sont pas satisfaites, la position de l'axe neutre (Z_g) est déplacée vers le haut et le processus est répété jusqu'à ce que les équations [6] et [7] soient vérifiées. Dès que la procédure itérative a convergé vers un équilibre, les distributions des déformations et de la flèche d'une poutre sont déterminées. Un schéma de la procédure de calcul est représenté sur la Figure 5. Le calcul est effectué dans un environnement Matlab.

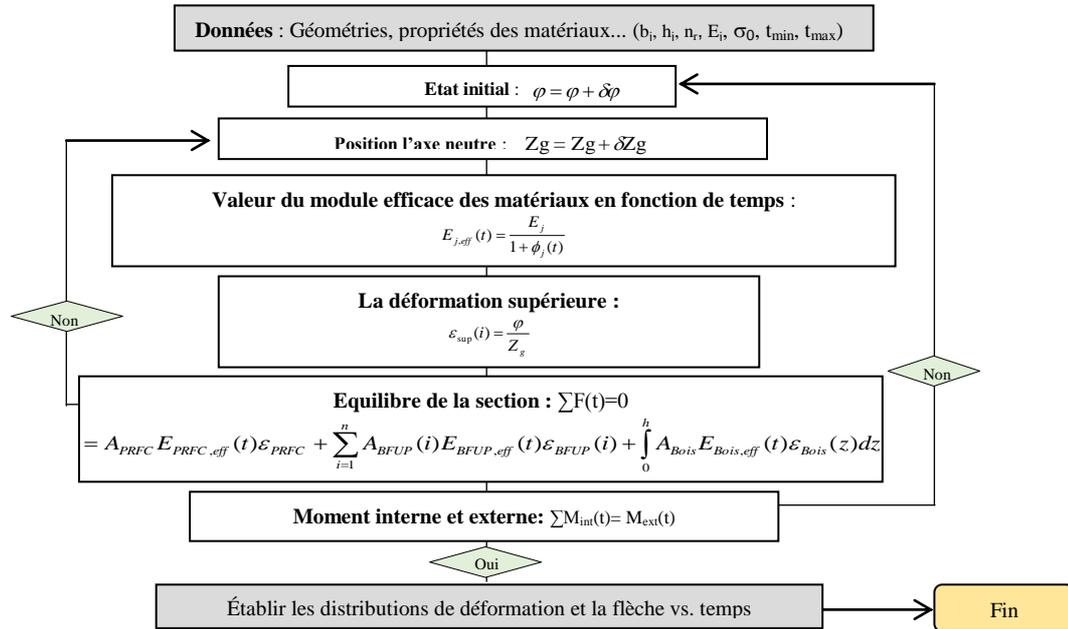


Figure 5. Schéma d'algorithme d'analyse du comportement au fluage des poutres hétérogènes

La flèche à mi-portée en fonction du temps d'une poutre hybride Bois-BFUP est donnée par l'équation [8].

$$f(t) = \frac{3L^2 - 4a^2}{24} \left[\frac{M_{ext}}{EI_{eff}(t)} \right] + \frac{M_{ext}}{(G_{Bois} \cdot A_{Bois})} \quad [8]$$

où L est la longueur de portée, a est la distance d'appui aux point de chargement, G_{bois} est le module de cisaillement du bois et $EI_{eff}(t)$ est la rigidité flexionnelle homogénéisée, est obtenue à partir de l'équation suivante.

$$EI_{eff}(t) = E_{BFUP,eff}(t) I_{BFUP} + E_{Bois,eff}(t) I_{Bois} + E_{CFRP,eff} I_{PRFC} + E_{BFUP,eff}(t) A_{BFUP} a_{BFUP}^2 + E_{Bois,eff}(t) A_{Bois} a_{Bois}^2 + E_{CFRP,eff} A_{CFRP} a_{PRFC}^2 \quad [9]$$

Où I_{BFUP} , I_{Bois} et I_{PRFC} sont les moments d'inertie du BFUP, bois et PRFC respectivement. a_{BFUP} , a_{Bois} et a_{PRFC} sont les distances entre le centre de gravité du béton, du bois, du PRFC et l'axe neutre de la poutre.

5. Résultats expérimentaux et modélisations du comportement au fluage des poutres Bois-BFUP

5.1. Essai de fluage en environnement contrôlé

La principale mesure effectuée lors de cet essai est la flèche à mi-travée de la poutre qui a été provoquée par la charge constante dans un environnement contrôlé avec une température d'ambiance de 20-25°C et une humidité relative comprise entre 40 et 60%. La charge était égale à 18 kN pour la poutre en bois non renforcée et 24 kN pour les poutres renforcées soit près de 30% de leur charge de ruine (voir Figure 3). La Figure 6 décrit

l'évolution de la flèche en fonction du temps d'après les mesures et la modélisation analytique. On constate que la méthode analytique donne des résultats satisfaisants. On rappelle que cette méthode prend en compte les effets du fluage du bois et du béton ainsi que le retrait du béton avec l'humidité relative en utilisant une approche analytique simplifiée basée sur les équilibres de section de poutre.

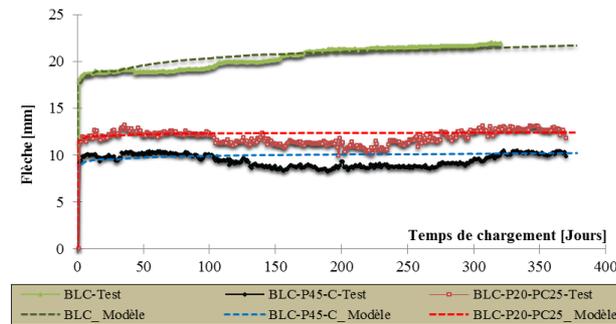


Figure 6. Diagramme l'évolution flèche en fonction de temps

La première remarque globale est que, le fluage de poutres hétérogènes Bois-BFUP est moins important que celui de la poutre en bois non renforcée, grâce aux effets combinés BFUP en compression et du PRFC en traction. En effet, l'évolution de la flèche de la poutre en bois montre que celle-ci augmente progressivement jusqu'à la fin d'essai. Cette flèche est augmentée de 20% par rapport à sa valeur du début. Le fluage mécano-sorptif de la poutre en bois n'a pas été noté du fait d'un environnement contrôlé. L'évolution de la flèche de la poutre renforcée indique que les effets différés sont relativement faibles. Cela est dû à plusieurs phénomènes simultanés. Les flèches augmentent au début de l'essai sous l'action du fluage du bois et du béton. Ces flèches commencent à diminuer à partir du centième jour à cause du retrait du bois induit par une baisse de l'humidité interne du bois du fait de l'ambiance contrôlée du laboratoire combinée à des phénomènes de retrait du béton. L'augmentation de la flèche reprend quand l'effet de fluage des matériaux constitutifs est plus important que les effets du retrait. Ce phénomène n'est pas visible pour les poutres en bois car les phénomènes de fluage du bois sont prédominants.

5.2. Essai de fluage en environnement extérieur

La charge totale appliquée pour l'essai de fluage en environnement extérieur est de 45 kN. Cette charge permet d'avoir un niveau de contrainte dans le bois inférieur à 25% de la contrainte de rupture. Les relevés de température et d'humidité relative du bois au cours de l'essai sont présentés dans la Figure 7.

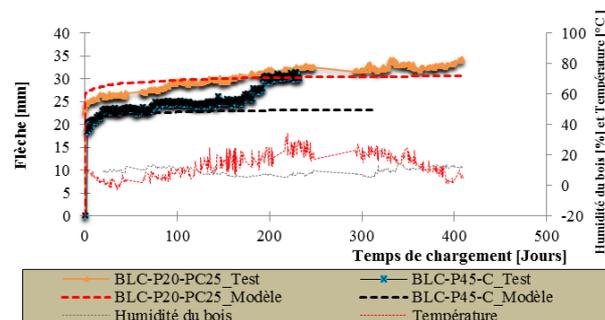


Figure 7. Humidité relative interne du bois, température ambiantes extérieur et l'évolution de la flèche des poutres renforcées pendant le fluage

Les résultats expérimentaux et de modélisation concernant l'évolution de la flèche en fonction du temps de la poutre renforcée sont également décrits sur la Figure 7. A l'inverse des résultats d'essai de fluage en environnement contrôlé, l'essai de fluage en environnement variable à l'extérieur du laboratoire montre que l'effet différé du bois et du béton joue un rôle très important dans l'évolution de la flèche. Les flèches sont augmentées 40% par rapport à leur valeur du début. Les variations thermo-hydriques causent une augmentation de la flèche à mi-portée de la poutre bois-BFUP. L'influence des variations thermiques générées dans la partie du béton est moins importante que les variations de déformations liées au phénomène thermo-hydrique du bois sur la flèche finale.

6. Conclusions et perspectives

Le développement de poutres hétérogènes Bois-BFUP apporte une amélioration à la fois de la capacité portante et de la rigidité, et peut également réduire efficacement la déformation de fluage des poutres en bois. La comparaison de l'évolution de la flèche mesurée en fonction du temps pour les essais de fluage en environnement contrôlé et à l'extérieur indique que les poutres mixtes bois-BFUP sont sensibles aux conditions environnementales. Dans l'environnement contrôlé, la flèche de fluage de la poutre renforcée augmente peu tout au long de l'essai. Par contre, à l'extérieur la flèche augmente de 40% par rapport à sa valeur du début. Les résultats des analyses théoriques correspondent aux valeurs mesurées de la flèche. Leurs écarts varient entre 5 et 15%.

Cette étude doit être complétée par la modélisation numérique en considérant tous les effets du transfert hydrique des matériaux qui prend en compte l'effet des variations thermiques sur le phénomène de diffusion. Ces transferts affectent les propriétés mécaniques du bois. L'étude présentée s'est limitée à l'analyse d'une structure mixte isostatique dans des conditions climatiques particulières. Il est intéressant d'examiner des structures plus compliquées avec différentes combinaisons de chargements hydromécaniques qui permettraient d'adapter les critères de dimensionnement en fonction des types de chargement. De plus, l'étude du comportement en fatigue et sous sollicitations dynamiques pourrait être effectuée pour compléter l'analyse du comportement mécanique de ce type de poutre hybride.

7. Bibliographie

[AFG 02] ASSOCIATION FRANÇAISE DE GENIE CIVIL, *Bétons fibrés à ultra-hautes performances Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes*, Paris, 2002.

[CEC 95] CECCOTTI, A., « Timber-concrete composite structures », *Timber Engineering, Step 2*, First Edition, Centrum Hout, The Netherlands, E13/1-E13/12.

[CEN 03] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, *Eurocode 5 – Design of Timber Structures–Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*, prEN 1995-1-1, Bruxelles, Belgium.

[FER 09] FERRIER E., « Modelling the bending behavior of a new hybrid glulam beam reinforced with FRP and ultra-high-performance concrete », *Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, 2012, p. 3883-3902.

[FRA 06] FRAGIACOMO M., « Simplified approach for the long-term behavior of timber-concrete composite beams according to the EUROCODE 5 provisions », *International council for research and innovation in building and construction, working commission w18-timber structures*, Florence, August 2006, Italy, p. 18-39.

[GAR 14] GARY M. R., « Low-grade glued laminated timber beams reinforced using improved arrangements of bonded-in GFRP rods », *Construction and Building Materials*, vol. 52, 2014, p. 209-220.

[GUT 08] GUTKOWSKI R., « Laboratory tests of composite wood–concrete beams », *Construction and Building Materials*, vol. 22, 2008, p. 1059–1066.

[KAN 12] KANÓCZ J., « Influence of rheological behavior on load-carrying capacity of timber-concrete composite beams under long term loading », *Steel Structures and Bridges*, vol. 40, 2012, p. 20-25.

[LOU 96] LOUKILI A., *Etude du retrait et du fluage de Béton à Ultra-hautes Performances*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 1996.

[PHA 07] PHAM H. S., *Optimisation et comportement en fatigue de la connexion bois-BFUP pour de nouveaux ponts mixtes*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2007.

[PRO 13] PROULX F., *Renforcement de poutres de bois lamellé-collé à l'aide d'un béton fibré à ultra-haute performance et de barres de polymère renforcé de fibres*, Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, 2013.

[SCH, 04] SCHÄNZLIN J, KUHLMANN U., « Time dependent behavior of timber–concrete composite structures », *In: Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering*, 2004. p. 313–8.

[TOR 92] TORATTI T., *Creep of timber beams in a variable environment*, Report No. 31, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.

[YAH 11] YAHYAEI-MOAYYED M., « Experimental and computational investigations into creep response of AFRP reinforced timber beams », *Composite Structures*, vol. 93, 2011, p. 616-628.