

# Comportement en flexion des poutres mixtes composites GFRP - Bois

DARWICH Hassan<sup>1</sup>, GRAZIDE Cecile<sup>1</sup>, JURKIEWIEZ Bruno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des matériaux composites EA 7427, Université Claude Bernard Lyon 1, France

**RESUME** Cet article présente une étude expérimentale du comportement en flexion à court-terme et jusqu'à la rupture, de poutres hybrides innovantes en GFRP-bois (Glass Fiber Reinforced Polymer). Plusieurs configurations géométriques ont été étudiées avec un mode de connexion entre les poutres bois et les profilés GFRP par boulonnage. Les résultats des essais ont montré un gain remarquable de capacité portante apporté par les poutres en bois qui permettent de retarder le déversement des profilés GFRP. Ce gain dépend principalement de la configuration géométrique. En outre, des simulations numériques de ces poutres par éléments finis dans le domaine élastique ont été effectuées. Les résultats numériques et les mesures présentent des écarts faibles (de l'ordre de 6 %), y compris à l'approche de la rupture. Une étude paramétrique a montré l'influence des propriétés du bois ou de la disposition des boulons sur le comportement des poutres hybrides. Cette étude ouvre la voie à une nouvelle hybridation des matériaux de construction afin d'optimiser leur utilisation dans le secteur de la construction.

**Mots-clefs** Profilés GFRP, Poutre Bois, Poutre Hybride, Expérimentation, Modélisation Eléments Finis.

## I. INTRODUCTION

Ces dernières années, les matériaux composites de fibres de verre (Glass Fiber Reinforced Polymer - GFRP) ont connu un développement rapide dans la construction de bâtiments et d'infrastructures (Hota et al 2002) en raison de leur résistance spécifique et de leur résistance à la corrosion élevées (Z. Jin Yang et al 2012). L'association des éléments GFRP avec des matériaux traditionnels de la construction permet de pallier certains inconvénients mécaniques du composite comme ses faibles modules d'élasticité (30 à 42 GPa dans l'axe des fibres et 3 à 5 GPa en cisaillement) et les possibles phénomènes d'instabilités tels que le déversement (F. Aydin, M. Saribiyik. 2013).

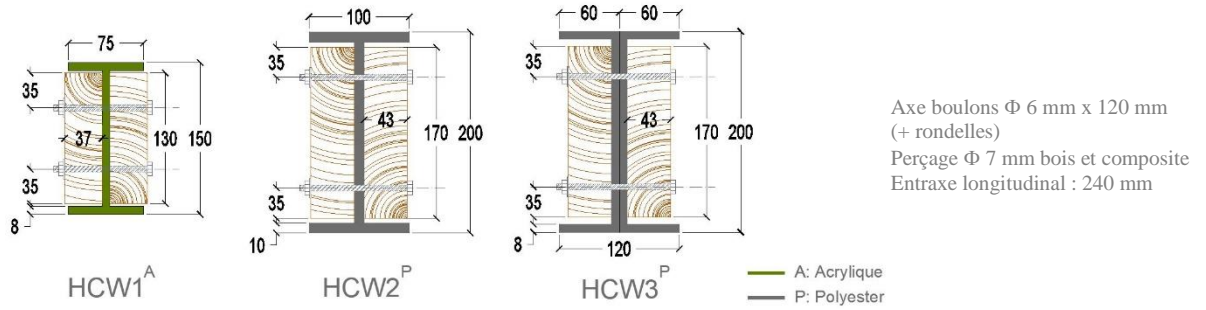
Il est proposé dans cet article une association innovante entre profilés pultrudés GFRP en forme de I et poutres en bois de section rectangulaire, connectés par boulonnage. Ce type de structures hybrides a été très rarement étudié dans la littérature où la plupart des travaux concerne le renforcement des éléments en bois par des matériaux composites CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ou GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) (M. Corradi, A. Borri 2007).

L'objectif de la présente étude est de montrer l'intérêt de ces éléments composites et d'évaluer leur performance en flexion afin de développer leurs domaines d'application dans la construction. Une campagne expérimentale est réalisée. Une modélisation numérique est également proposée.

## II. Programme expérimental

### A. Description des poutres hybrides

Trois profilés pultrudés en fibre de verre (deux en I et un en double U) ont été testés. Chaque profilé a été connecté au niveau de l'âme par 12 paires de boulons de diamètre 6 mm (couple de serrage de 8 N.m) espacés tous les 24 cm, avec deux poutres en bois (douglas non classé) de section rectangulaire, de façon à obtenir trois poutres hybrides (HCW1, HCW2, HCW3). Les trois poutres testées sont présentées en figure 1.

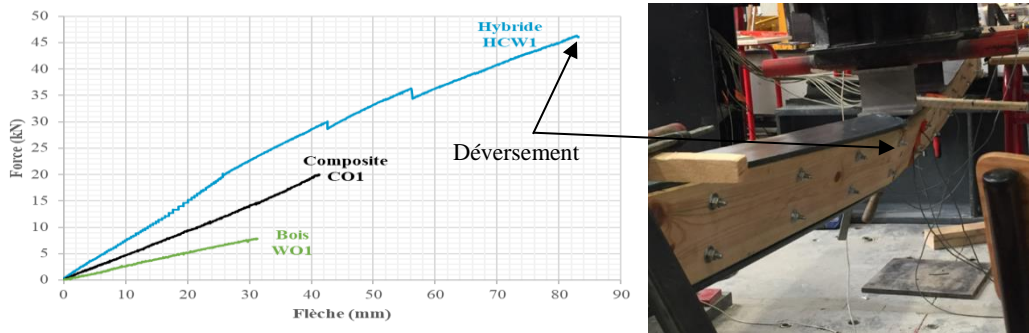


**FIGURE 1.** Configurations des poutres hybrides testées (cotes en mm)

Afin de caractériser les constituants des structures hybrides, des poutres bois et profilés pultrudés ont été également étudiés seuls. Ces éléments ainsi que les poutres hybrides ont été testés en flexion 4 points (200 mm de part et d'autre du centre de la poutre) jusqu'à rupture avec une portée de 2,9 m, avec un déplacement imposé de 4 mm/min. La charge, les déplacements verticaux et horizontaux à mi-portée ainsi que les déformations à mi-portée ont été mesurés par des LVDT et des jauges respectivement.

### B. Résultats expérimentaux

Les essais de flexion des profilés pultrudés (un par configuration) ont montré un comportement linéaire jusqu'à la ruine par instabilité de déversement. Les poutres en bois ont présenté une rupture brutale par cisaillement/ traction, parfois initiée par la présence importante de nœuds.



**FIGURE 2.** Comportement de la poutre hybride HCW1 : rupture par déversement

Les poutres hybrides présentent un comportement linéaire jusqu'à la rupture par déversement généralisé, initié par un endommagement par compression de la semelle supérieure du profilé (Fig. 2), précédé par la rupture partielle des poutres en bois (sauts sur la courbe HCW1). Le tableau 1

présente les charges à rupture pour l'ensemble des configurations. Ces résultats montrent et quantifient l'apport du bois sur le profilé GFRP qui a clairement retardé le phénomène de déversement du profilés GFRP. En effet, la capacité portante est nettement augmentée entre le profilé seul et la poutre hybride avec un gain compris entre 27 % et 141 % selon la géométrie des spécimens (Tableau 1). On constate également que le déplacement atteint à la rupture a fortement augmenté (de 27 à 102 % selon la configuration).

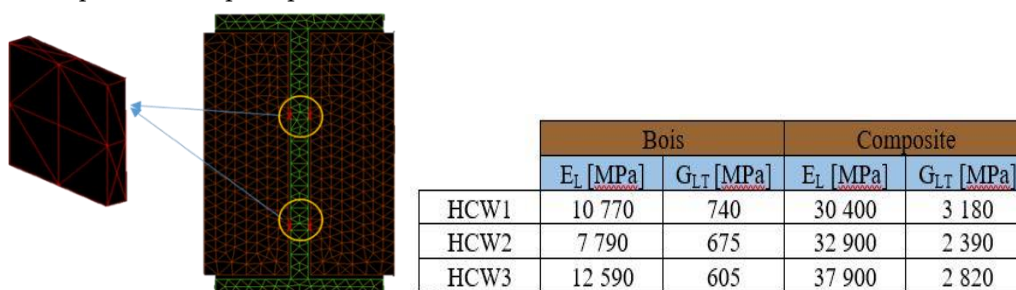
**TABLEAU 1.** Charges de ruine des poutres testées et pourcentage de gain apporté par le bois

	Charge de ruine (KN)			
	Bois (contrainte de flexion)	GFRP	Hybride	(Hybride-GFRP /Hybride) %
HCW1	7,87 (24 MPa)	20,25	48,75	141 %
HCW2	29,81 (45 MPa)	37,12	58,56	58 %
HCW3	20,80 (31 MPa)	58,12	73,94	27 %

### III. Modélisation MEF

#### A. Description du modèle

Un modèle éléments finis 3D a été créé sur le logiciel Cast3m avec des éléments de maillage TET4 (éléments massifs d'interpolation linéaire de forme tétraédrique à 4 nœuds) afin de prédire précisément, dans le domaine élastique, et en fonction des caractéristiques des matériaux assemblés, le comportement mécanique en flexion sous chargement instantané. Pour faciliter le maillage et diminuer le temps du calcul, la connexion par boulons est représentée par des « points » d'assemblage à la surface des profilés et des poutres bois. Cette approche simplifiée ne permet pas de modéliser précisément la réponse locale pour des charges élevées mais elle est suffisante pour représenter le comportement global en phase élastique. La figure 3 montre les détails du mode de connexion : des cubes de 6x6x1 mm<sup>3</sup> utilisés pour remplacer les boulons ont les mêmes caractéristiques mécaniques que les boulons utilisés.

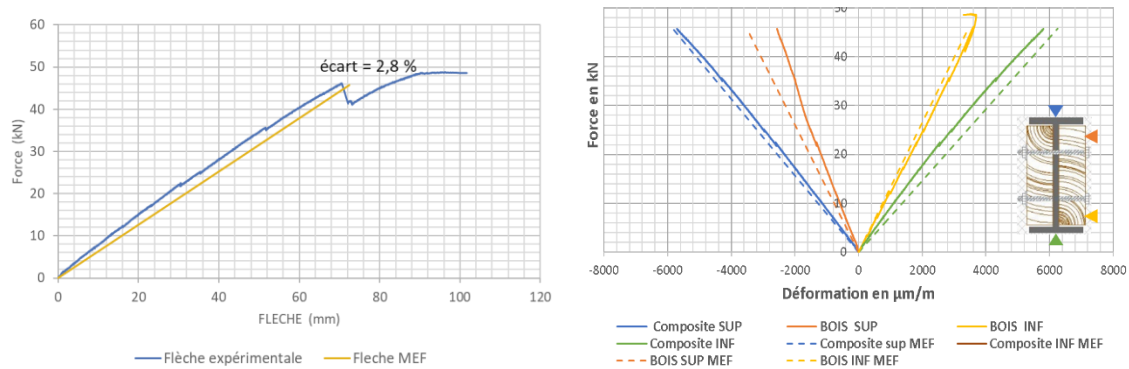


**FIGURE 3.** Détail du maillage de la poutre hybride HCW1 et la connexion des éléments

#### B. Résultats MEF et comparaison

La figure 4 compare dans le domaine élastique les déplacements et les déformations à mi-portée obtenus par MEF et expérimentalement. Des écarts maximum de flèche d'environ 6 % sont obtenus. Des études paramétriques ont également été menées. Une variation de  $E_L$  du bois de 8 à 16 GPa a engendré une variation de flèche de 18 % alors qu'une variation de  $G_{LT}$  du bois de 0.3 à 0.9 GPa n'a conduit qu'à une diminution de flèche de 3 %. De plus, l'effet du nombre de connecteurs sur le

comportement mécanique a été étudié numériquement. Les résultats ont montré une variation de 6.5 % de la flèche lorsque le nombre de connecteurs est doublé à 24 paires de boulons le long de la poutre.



**FIGURE 4.** Comparaison des résultats MEF et expérimentaux pour HCW1

#### IV. Conclusions

Plusieurs conclusions peuvent être tirées de cette étude :

- Les essais ont montré l'efficacité de l'association composite - bois par l'augmentation de la capacité portante des poutres hybrides (d'une moyenne de 65 % de gain), par retardement du déversement.
- Le modèle MEF a été validé dans le domaine élastique grâce à la comparaison avec les résultats expérimentaux pour toutes les configurations testées.
- L'étude paramétrique menée a permis de mieux comprendre l'influence des propriétés du bois et du nombre de connecteurs sur ces structures hybrides.

De nombreux points du comportement de ces structures restent encore en question et nécessitent des travaux supplémentaires. Le modèle numérique sera également complété avec la prise en compte des non linéarités.

#### REFERENCES

Hota GVS, Hota SR V. (2002). Advances in fiber-reinforced polymer composite bridge decks. *Progress in Structural Engineering and Materials*; 161–168. <https://doi.org/10.1002/pse.113>

Z. Jin Yang; Z. Guang You; C. Yun He; L. Shi Zhen. (2012). Experimental Study on the Flexural Property of GFRP I-Beam. *Advanced Materials Research*; 594–597. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.594-597.757>

F. Aydin, M. Saribiyik. (2013). Investigation of flexural behaviors of hybrid beams formed with GFRP box section and concrete. *Construction and Building Materials*; 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.060>

M. Corradi, A. Borri. (2007). Fir and chestnut timber beams reinforced with GFRP pultruded elements. *Composites Part B: Engineering*; 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2006.07.003>