

# Caractérisation en torsion des poutres mixtes composite 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 de caractérisation expérimentale en torsion de poutres hybrides GFRP-bois. Chaque composant élémentaire (poutres bois et profilés GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) a d'abord été testé seul en torsion. Puis les composants ont été assemblés par boulonnage et testés à leur tour en torsion dans le domaine élastique. La mesure des rotations a permis d'en déduire les rigidités de torsion pour différentes configurations géométriques. Les résultats expérimentaux ont montré que l'apport du bois augmente significativement la rigidité en torsion des profilés GFRP dans chaque configuration. L'influence du nombre des connecteurs (12 à 24 paires des boulons) a également été mise en évidence. Une analyse par éléments finis volumiques a été ensuite utilisée pour simuler le comportement en torsion de ces poutres. Les résultats numériques sont en adéquation avec les mesures.

**Mots-clefs** Profilés en I GFRP, Poutre Bois, Poutre Hybride, Torsion, Modélisation par Eléments Finis.

## I. INTRODUCTION

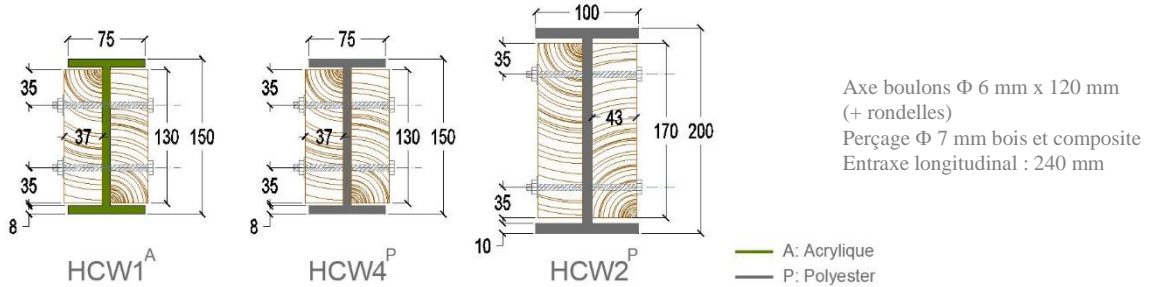
Depuis les années 1970, l'utilisation des profilés pultrudés en GFRP est en forte augmentation, surtout dans les domaines de la construction, en raison d'avantages tels que légèreté et résistance à la corrosion (T.T. Nguyen et al 2014). Une synergie remarquable est obtenue lorsque ces profilés pultrudés sont utilisés dans des systèmes hybrides, en particulier, des systèmes structurels combinant des profilés pultrudés en GFRP et des matériaux de construction traditionnels tels que dalles en béton proposés par différents auteurs (A. Koaik et al 2017). Ces systèmes contribuent à surmonter certains inconvénients mécaniques des profilés de section ouverte, comme le déversement, résultant de la combinaison de la torsion de section et du déplacement horizontal (J.T. Mottram 1992). Pour éviter ces phénomènes, l'idée est ici d'associer les profilés avec le matériau bois. En effet, ce matériau présente une certaine capacité à résister à une charge de torsion, qui dépend de son module de cisaillement et de la forme de la section (C.P. Amulu et al 2016).

L'objectif de la présente étude est la caractérisation en torsion de structures hybrides formées de profilés pultrudés en I associés à deux poutres rectangulaires en bois. Une approche expérimentale couplée à la modélisation numérique est proposée pour analyser l'apport du bois pour une telle hybridation.

## II. Programme expérimental

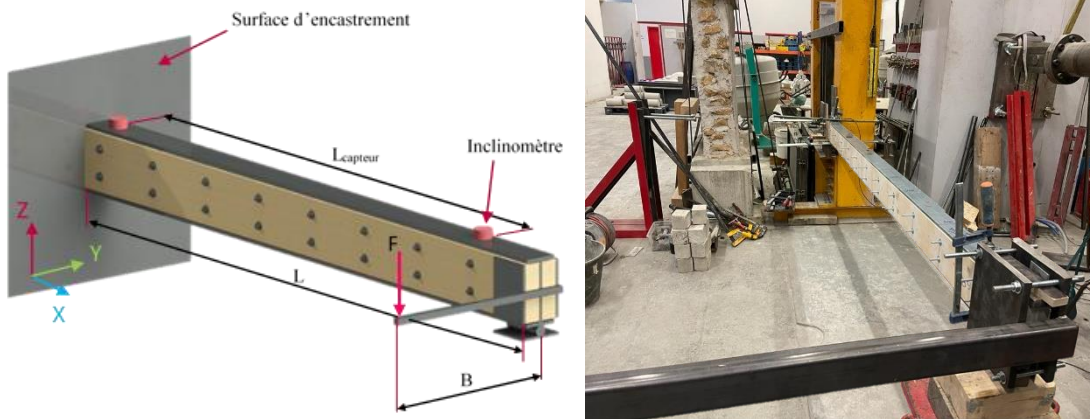
### A. Description des spécimens et du dispositif d'essai

Trois configurations de poutres hybrides ont été testées en torsion dans le domaine élastique (Fig. 1). La géométrie de la section et la nature du profilé composite (polyester ou acrylique) sont les principales variables. Chaque composant élémentaire a également été testé en torsion dans le domaine élastique.



**FIGURE 1.** Configurations des poutres hybrides testées en torsion (1 corps d'épreuve par configuration)

Pour générer la torsion, chaque poutre est encadrée à une extrémité et simplement appuyée sur un cylindre à l'autre extrémité avec une portée variant entre 900 et 2700 mm. A cette dernière extrémité, on applique un couple de torsion grâce à une masse  $F$  excentrée d'une longueur  $B$  ( $M=F \times B$ ) (Fig. 2). La masse appliquée varie entre 1 et 40 Kg selon les poutres. Les rotations sont mesurées aux 2 extrémités par des inclinomètres, pour tenir compte de la rotation parasite éventuelle qui peut se produire à l'extrémité encadrée.



**FIGURE 2.** Dispositif d'essai de torsion

### B. Résultats expérimentaux

Chacune des poutres hybrides ainsi que leurs composants (poutres bois et profilé GFRP) ont été testés en torsion dans le domaine élastique pour trois portées différentes ( $L=2700$  mm,  $1800$  mm et  $900$  mm). Le chargement est arrêté quand l'inclinomètre a atteint sa limite de mesure (environ  $16$  degré). On remarque un comportement quasi-linéaire quelle que soit la portée testée (Fig. 3). De plus, les courbes montrent bien le gain de rigidité (variant de  $160\%$  à  $595\%$  selon les poutres) apporté par le bois sur les poutres en pultrudé.

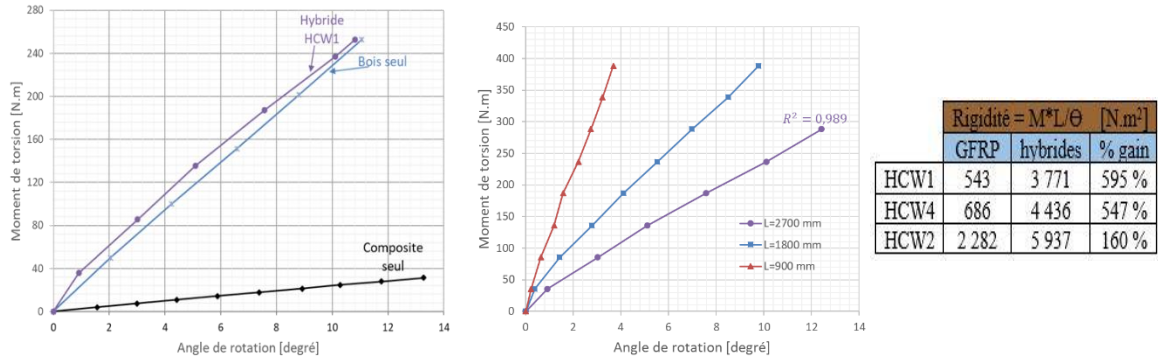


FIGURE 3. Comportement en torsion de la poutre hybride HCW1 et des poutres bois et composite seuls

## II. Modélisation MEF

### A. Description du modèle et mode de chargement

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 dans le domaine élastique, le comportement mécanique en torsion sous chargement instantané. Pour diminuer le temps du calcul, la connexion par boulons est représentée par des cubes de 6x6x1 mm<sup>3</sup> avec les mêmes caractéristiques mécaniques que les boulons utilisés. 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 4 montre les détails du maillage. Le couple appliqué est représenté par des pressions sur les deux semelles de la poutre pultrudé de façon à obtenir le même moment de torsion appliqué lors des essais.

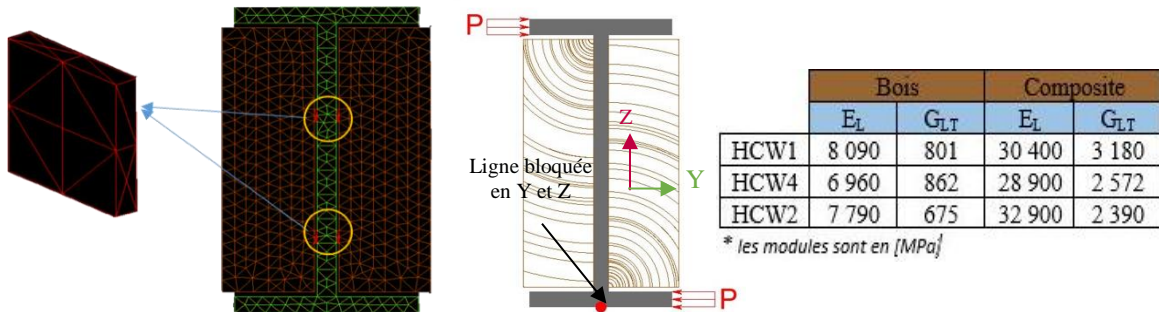
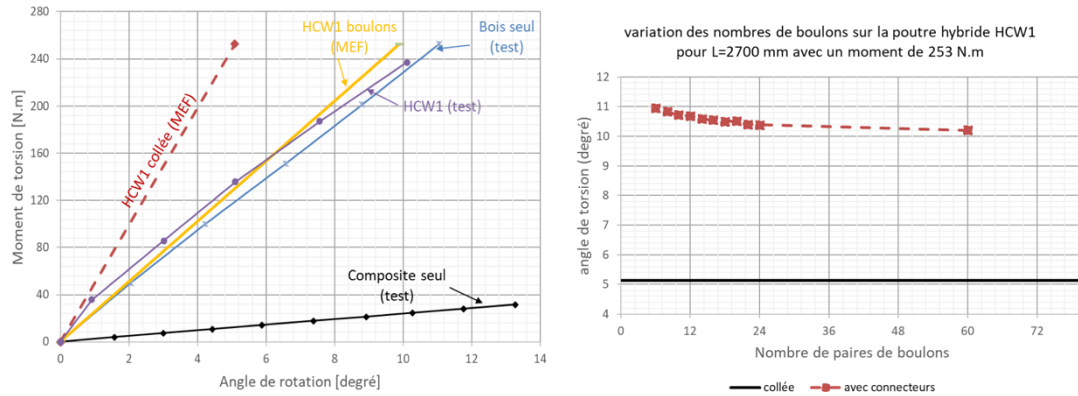


FIGURE 4. Maillage des éléments de la poutre hybride HCW1 et mode de chargement

### B. Comparaison des résultats MEF/ expérimentaux

La figure 5 montre les angles de rotation obtenus par la MEF et ceux mesurés. Les écarts sont de l’ordre de 6%. Des simulations complémentaires ont été effectuées en faisant varier le nombre de boulons ou en remplaçant les boulons par un collage de l’âme. Les résultats montrent que le nombre de boulons a une influence faible sur la rigidité de torsion (10 fois plus de boulons n’induit qu’une diminution de 10 % de la rotation) alors que le collage permet de multiplier par 2 la rigidité de torsion.



**FIGURE 5.** Comparaison des résultats MEF et des mesures pour HCW1 (portée = 2700 mm)

#### 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 rigidité de torsion des poutres hybrides.
- 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 du nombre de connecteurs sur ces structures hybrides.

#### REFERENCES

T.T. Nguyen, T.M. Chan, J.T. Mottram. (2014). Lateral-torsional buckling resistance by testing for pultruded FRP beams under different loading and displacement boundary conditions. *Composites Part B: Engineering*, 306-3018. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.12.025>

A.Koaik, S.Bel, B. Jurkiewicz. (2017). Experimental Tests and Analytical Model of Concrete-GFRP Hybrid Beams under flexure. *Composite Structures*, 180, 192-210. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.07.059>

J.T. Mottram. (1992). Lateral-torsional buckling of a pultruded I-beam. *Composites*, 23 (2), 81-92. [https://doi.org/10.1016/0010-4361\(92\)90108-7](https://doi.org/10.1016/0010-4361(92)90108-7)

C.P. Amulu, C.A. Ezeagu, S.M.O. Obiorah. (2016). Analytical Effects of Torsion on Timber Beams. *American Journal of Engineering Research*, 5 (1), 87-95. <https://www.academia.edu/27359104>