

## Potentialité du bois pour des applications de crash

GUELOU Romain<sup>1</sup>, EYMA Florent<sup>1</sup>, CANTAREL Arthur<sup>1</sup>, RIVALLANT Samuel<sup>1</sup>,  
CASTANIE Bruno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Clément Ader (ICA), ISAE, CNRS UMR 5312-INSA-Mines Albi-UPS, Toulouse,  
France  
[romain.guelou@iut-tarbes.fr](mailto:romain.guelou@iut-tarbes.fr)

**Mots clefs :** tubes bois ; peuplier, crash; statique ; dynamique

### Contexte et objectifs

A l'impact basse énergie, Susainathan a étudié diverses configurations de plaques sandwichs ayant des peaux composites (carbone, verre, et lin) et une âme en contreplaqué de peuplier/okoumé. Les plaques sandwichs ont montré une réponse intéressante en compression après impact avec notamment la présence d'un plateau sur la courbe force-déplacement (Susainathan et al. 2019). Du fait des bonnes caractéristiques du bois après impact, la question de l'utilisation de ces structures pour des applications de crash s'est donc posée. Pour une application de crash, la pièce dite « crash-box » est une pièce sacrificielle ayant pour objectif d'absorber un maximum d'énergie pour protéger la structure et donc les occupants.



Fig. 1 : Tubes [90/0a/90]

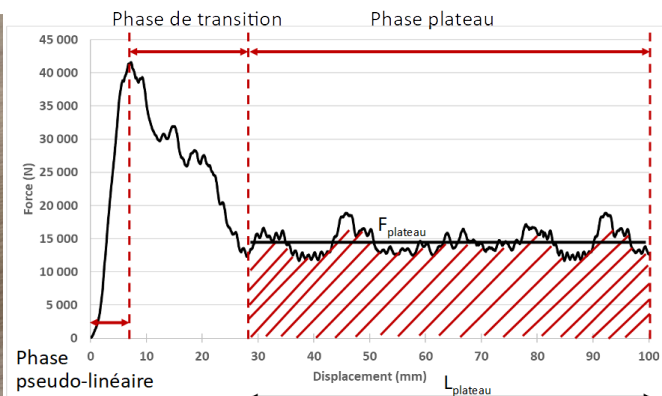


Fig. 2 : Courbe force-déplacement ( $EA_{\text{plateau}}$ )

Nous avons donc décidé d'étudier le comportement au crash de plusieurs tubes réalisés à l'aide de placages de peuplier (Fig. 1). Le mode de ruine généré par la compression de tubes impacte directement l'absorption d'énergie. Trois types de mode de ruine stables ont été identifiés par Hull (1991), et Farley et Jones (1989) : l'évasement (division de la paroi en deux faisceaux), la fragmentation (création de débris), et le flambage local (anti ou symétrique par exemple). Guillon (2008) a montré qu'en fonction du mode de ruine obtenu, la quantité d'énergie absorbée est différente.

De la courbe force-déplacement obtenue pendant la compression (Fig. 2), nous avons extrait plusieurs grandeurs et critères de performances. Le pic d'effort est noté  $F_{\text{max}}$ . Lorsqu'un plateau d'effort existe, l'effort moyen dans le plateau est appelé  $F_{\text{plateau}}$ . On peut alors définir le CFE (Crush Force Efficiency), ratio entre l'effort moyen et l'effort maximum ( $F_{\text{plateau}}/F_{\text{max}}$ ). En général, lors de la conception d'un absorbeur de choc, on recherche un CFE le plus proche de 1 pour limiter les efforts dans le reste de la structure lors d'un crash. L'énergie spécifique d'absorption n'est pas calculée à partir de l'ensemble de la courbe, mais uniquement à partir de la phase stabilisée de l'écrasement (Fig. 2). Ainsi, on définit également l'énergie absorbée dans

le plateau ( $EA_{\text{plateau}}$ ), qui dépend de la longueur réelle de la phase stable ( $L_{\text{plateau}}$ ), et on en déduit l'énergie spécifique d'absorption pendant le plateau :  $SEA_{\text{plateau}} = \frac{F_{\text{plateau}}}{\rho \times S}$ , en J/g, avec  $\rho$  la masse volumique moyenne du tube (colle + placages) et  $S$  la section. Une seconde énergie,  $EA_{\text{tot}_{80\text{mm}}}$  a été définie pour comparer les niveaux d'énergie statique et dynamique (les longueurs d'écrasement n'étant pas identiques). Cette énergie correspond à l'aire totale sous la courbe jusqu'à 80 mm d'écrasement.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la capacité d'absorption d'énergie en crash du bois en statique et en dynamique, et ainsi comparer les performances mais aussi les modes de ruine. Pour ce faire, nous avons étudié quatre configurations à 6 iso-plis dans le but d'étudier l'influence de la position et du nombre de placages orientés à 90° et 0° : [0<sub>6</sub>] ; [90/0<sub>4</sub>/90] ; [90<sub>2</sub>/0<sub>2</sub>/90<sub>2</sub>] ; et [0<sub>4</sub>/90<sub>2</sub>]. Pour chaque configuration, 3 échantillons ont été testés. La meilleure des configurations a été retenue pour des essais dynamiques.

La fabrication des tubes a été réalisée à partir de placages de peuplier I214 fournis par l'entreprise Garnica. L'épaisseur de ces plis est de 1 mm. Les tubes ont un diamètre intérieur de 50 mm pour une longueur de 120 mm. L'épaisseur totale des tubes est comprise entre 6.25 et 6.90 mm. La densité moyenne des tubes (placages et colle) est de 0.544 (écart-type de 0,014). La colle utilisée pour encoller les placages est la Kleiberit PUR 510 Fiberbond : colle monocomposante à base de polyuréthane durcissant par réaction avec l'humidité, avec un grammage de 250 g/m<sup>2</sup>.

### Résultats expérimentaux et discussion

Le tableau 1 ci-dessous présente les résultats d'écrasements obtenus en statique (avec une vitesse d'écrasement de 5 mm/min) et en dynamique (essais réalisés à l'aide d'un poids tombant générant une vitesse d'écrasement de 5,7 m/s).

Tab. 1 : Résultats des écrasements statiques et dynamiques

	Masse g	Epaisseur mm	$F_{\text{max}}$ N	$L_{\text{plateau}}$ mm	$F_{\text{plateau}}$ N	CFE /	$EA_{\text{plateau}}$ J	$EA_{\text{tot}_{80\text{mm}}}$ J	$SEA_{\text{plateau}}$ J/g
Statique	[0 <sub>6</sub> ] <sub>moyenne</sub>	76.2	6.7	38 379	/	/	/	/	/
	<i>Ecart-type</i>	1.07	0.09	2 149	/	/	/	/	/
	[90/0 <sub>4</sub> /90] <sub>moyenne</sub>	76.6	6.8	29 837	76.9	21 019	0.71	1 619	1 632
	<i>Ecart-type</i>	1.8	0.10	2 103	1.7	3 613	0.15	307	247
	[90 <sub>2</sub> /0 <sub>2</sub> /90 <sub>2</sub> ] <sub>moyenne</sub>	73.1	6.7	19 403	62.2	11 482	0.62	726	981
	<i>Ecart-type</i>	2.55	0.11	876	7.18	2 721	0.17	253	152
	[0 <sub>4</sub> /90 <sub>2</sub> ] <sub>moyenne</sub>	73.0	6.6	25 977	55.3	13 483	0.52	743	1 193
	<i>Ecart-type</i>	0.59	0.01	3 430	1.4	2 976	0.08	145	234
Dynamique	[90/0 <sub>4</sub> /90] <sub>moyenne</sub>	73.7	6.5	45 084	54.6	17 939	0.40	982	1 618
	<i>Ecart-type</i>	1.44	0.16	1 951	0.4	3 538	0.07	212	173

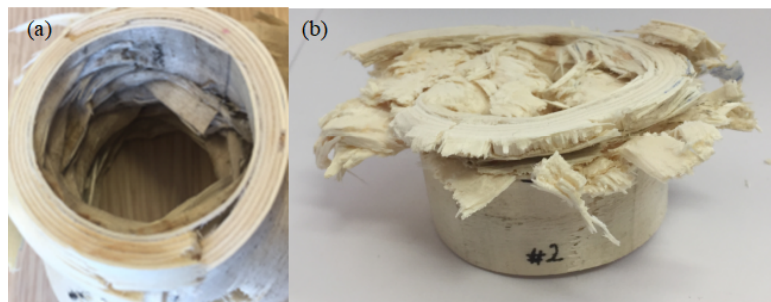


Fig. 3 : Ruines du tube [90/0<sub>4</sub>/90]-#2 (a) en statique (b) en dynamique

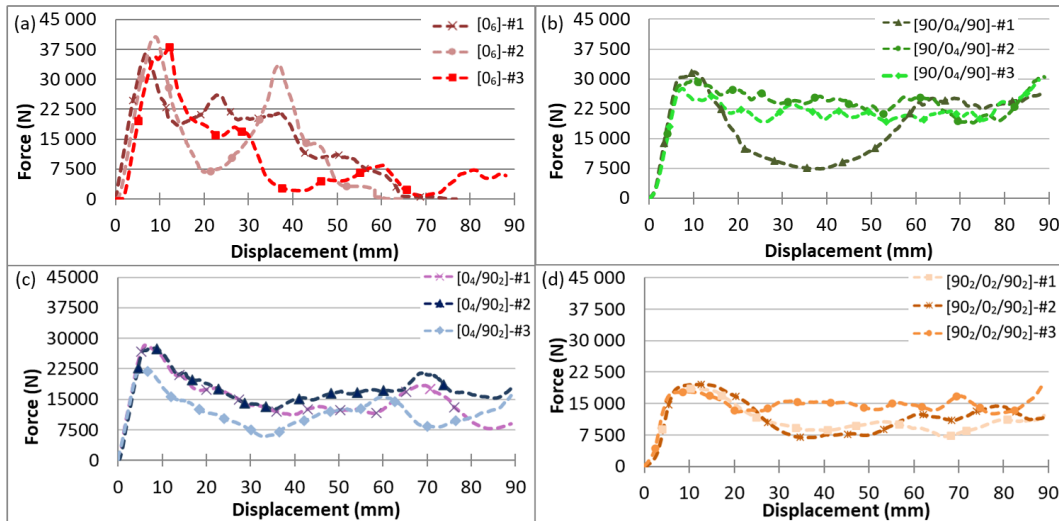


Fig. 4 : Courbe statique force-déplacement (a)  $[0_6]$  (b)  $[90/0_4/90]$  (c)  $[0_4/90_2]$  (d)  $[90_2/0_2/90_2]$

Des essais statiques, nous avons pu en déduire que (Fig. 4) :

- Orienter tous les placages de peuplier à  $0^\circ$  n'est pas un bon choix car cela génère un mode de ruine instable avec peu d'absorption d'énergie (Fig. 4 (a)).
- Dès l'apparition d'un placage à  $90^\circ$  à l'intérieur et à l'extérieur (ou à l'extérieur uniquement), cela produit un « hoop » effect et le tube aura un mode de ruine stable avec la présence d'un plateau d'écrasement quelle que soit la configuration.
- Trop de couches à  $90^\circ$  ne sont pas nécessairement efficaces en termes de quantité d'énergie absorbée : perte de 43% de SEA entre les deux configurations  $[90_2/0_2/90_2]$  et  $[90/0_4/90]$ .
- La position des couches à  $90^\circ$  a également son influence sur la quantité d'énergie absorbée. En effet en comparant les configurations  $[0_4/90_2]$  et  $[90/0_4/90]$ , un gain de 33% de SEA est obtenu en confinant complètement les couches à  $0^\circ$ : comme pour le « hoop » effect, également constaté pour les matériaux composites (Hull 1991).
- Au niveau des modes de ruine, la présence d'une ceinture (plis à  $90^\circ$ ) permet la formation successive et antisymétrique de bourrelets générés par du flambage local (Fig. 3 (a)).

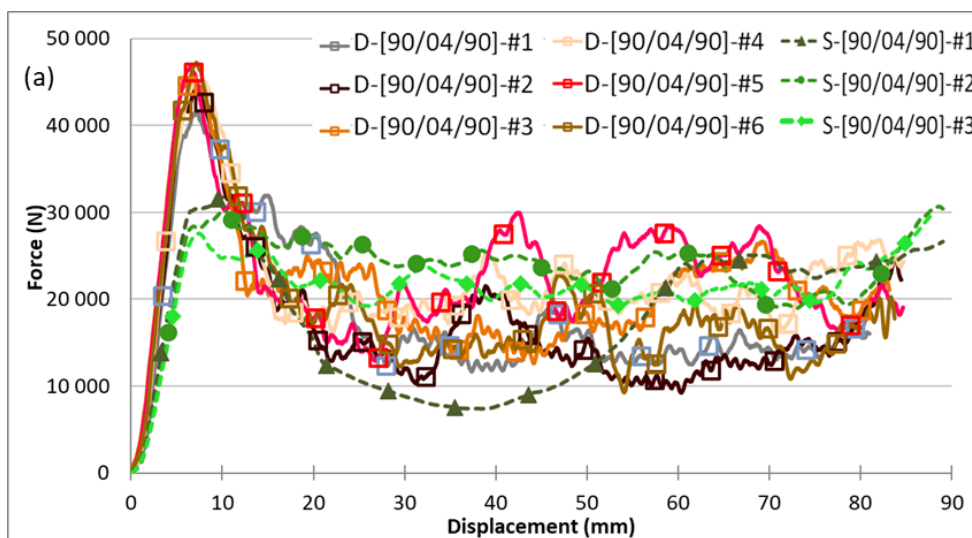


Fig. 5 : Comparaison des courbes force-déplacement des tubes statiques et dynamique

Les essais dynamiques menés sur la configuration  $[90/0_4/90]$  nous ont montré que (Fig. 5) :

- Le pic de charge en dynamique est plus important qu'en statique.

- La rigidité dynamique apparente (pente pseudo-linéaire, en réalité le chanfrein est déjà endommagé) est plus importante qu'en statique : une augmentation de 88% est à noter (respectivement 515 MPa et 970 MPa pour les essais statiques et dynamiques, valeurs moyennes).
- En dynamique, le mode de ruine change et voit de l'évasement avec de la fragmentation générant des débris macroscopiques et microscopiques (Fig. 3 (b)).

### Conclusion et perspectives

Les essais de crushing statiques et dynamiques sont plutôt prometteurs pour un matériau naturel et écologique comme le bois. Au niveau des modes de ruine, la présence d'une ceinture (plis à 90°) permet la formation successive et antisymétrique de bourrelets générés par du flambage local, en statique. En dynamique, le mode de ruine change et voit de l'évasement avec de la fragmentation générant des débris macroscopiques et microscopiques. La meilleure des configurations statiques étudiée, et testée en dynamique, est la suivante : [90/0<sub>4</sub>/90] atteignant une énergie absorbée moyenne de 1 632 J en statique, et de 1 618 J en dynamique avec une SEA moyenne de 30 J/g. Le passage d'une sollicitation statique à dynamique modifie fortement le pic de charge et la rigidité des tubes qui voient une forte augmentation pour une énergie absorbée et une SEA quasi identique. Seul le CFE est détérioré en dynamique du fait de l'augmentation du pic de charge. Enfin, la phase de transition est plus importante en dynamique qu'en statique.

Ces résultats sont très prometteurs pour la suite à donner quant à l'utilisation d'éco-matériaux à base de bois pour des applications de crash. Par ailleurs, pour une meilleure compréhension du comportement au crash de tubes en peuplier, une modélisation numérique est nécessaire pour développer un modèle d'endommagement matériau optimisé pour les placages de peuplier.

### Remerciements

Les auteurs remercient l'entreprise Garnica pour le don des placages I214 qui nous a permis de réaliser cette étude.

### Références

- Farley, G.L., Jones M.R. (1989) Energy absorption capability of composites tubes and beams, PhD Thesis, NASA TM 10634.
- Guillon D. (2008) Etude des mécanismes d'absorption d'énergie lors de l'écrasement progressif de structures composites à base de fibre de carbone. PhD Thesis, Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, ISAE, Ecole doctorale : Mécanique, énergétique, génie civil et procédés.
- Hull D (1991) A unified approach to progressive crushing of fibre-reinforced composite tubes. *Composites Science and Technology* 40 (4): 377-421. [https://doi.org/10.1016/0266-3538\(91\)90031-j](https://doi.org/10.1016/0266-3538(91)90031-j)
- Susainathan J., Eyma F, De Luycker E., Cantarel A., Bouvet C., Castanie B. (2019) Experimental investigation of compression and compression after impact of wood-based sandwich structures. *Composite Structures* 220 (juillet): 236-49. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.03.095>