

**Contexte**

o [Susainathan, 2019] : flexion + impact + CAI sur plaques sandwichs : âme en contreplaqué (peuplier/okoumé) et peaux en fibres de carbone, verre, et lin-époxy  
 → Résultats encourageants (flexion, impact, et CAI)

o Quid des performances de ce type de structures « bois » au crash ?

o Crash = pièce sacrificielle absorbant l'énergie du crash pour protéger la structure et le passager

o Applications : aéronautique, automobile ...

o Critères de performances :

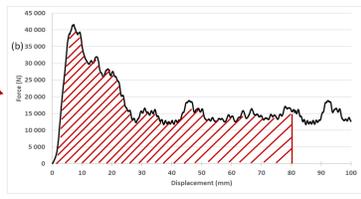
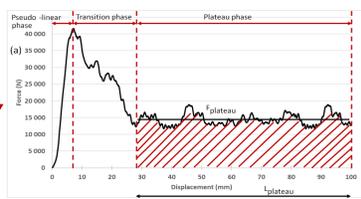
EA = Energie Absorbée (en J)

EA<sub>plateau</sub> = Aire sous la courbe du plateau

EA<sub>tot\_80mm</sub> = Aire de toute la courbe jusqu'à 80mm

SEA = Energie Spécifique Absorbée =  $\frac{F_{plateau}}{S \times \rho}$  (en J/g)

CFE = Crush Force Efficiency =  $\frac{F_{plateau}}{F_{max}}$



Courbe force-déplacement de tube en peuplier (a) EA<sub>plateau</sub> (b) EA<sub>tot\_80mm</sub>

**Matériaux**

- o Placages de peuplier I214, 1 mm d'épaisseur, entreprise Garnica
- o Kleiberit PUR 510 Fiberbond : colle monocomposante à base de polyuréthane, grammage de 250g/m<sup>2</sup>
- o Cintrage via immersion (eau), mise en forme et séchage des placages
- o Bandes thermo-rétractable assurent la mise en pression
- o Réticulation de la colle à 120°C pendant 15 minutes



o Quatre configurations statiques (5 mm/min) à iso-plies :

- [0<sub>2</sub>]
- [90<sub>2</sub>/0<sub>2</sub>/90]
- [90<sub>2</sub>/0<sub>2</sub>/90<sub>2</sub>], et
- [0<sub>2</sub>/90<sub>2</sub>]

o Répétabilité des essais : 3 tubes pour chaque configuration

- o Diamètre intérieur = 50 mm
- o Longueur = 120 mm ; longueur écrasée = 90 mm
- o Epaisseur = 6,25 à 6,90 mm

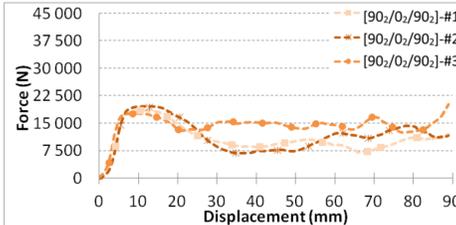
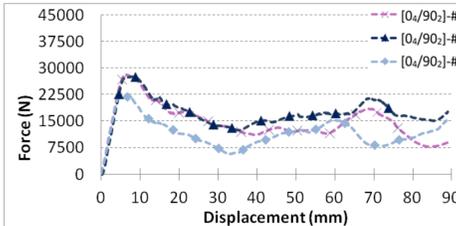
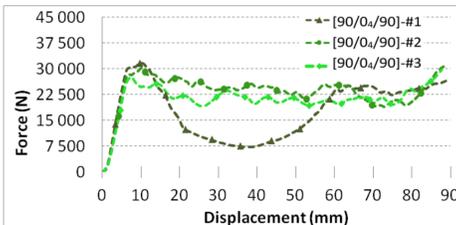
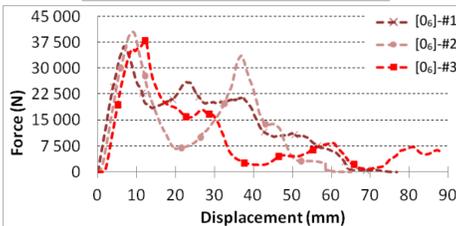
o Chanfrein (usiné au tour) 45° sur toute l'épaisseur du tube

**-> Influence de la position et du nombre de placages orientés à 90° sur l'absorption d'énergie ?**

**-> Quel sera le comportement du bois au crash en statique et dynamique ?**

**Résultats expérimentaux et discussions**

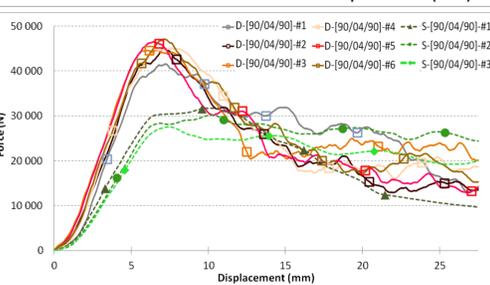
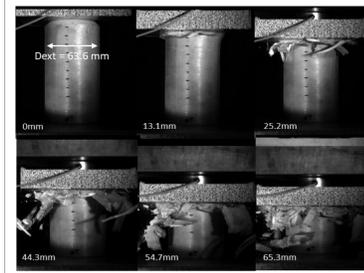
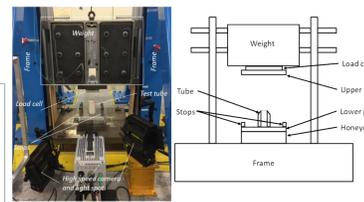
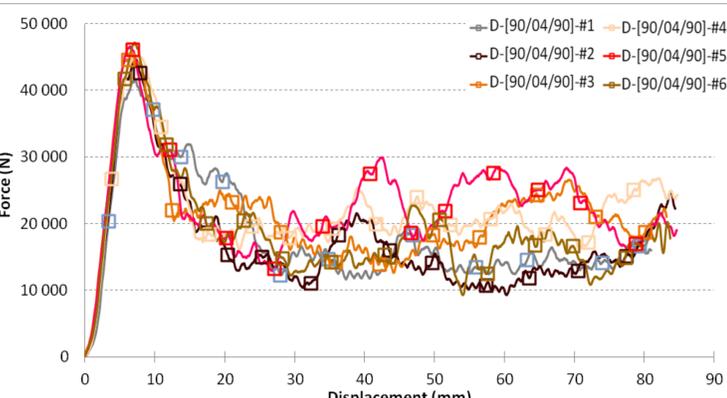
**Ecrasements statiques**



- o Orienter tous les placages à 0° n'est pas un bon choix et génère une ruine instable
- o Dès l'apparition d'un placage à 90°, cela produit un « hoop » effect et aboutit à un mode de ruine stable
- o Trop de placages à 90° n'est pas nécessaire (perte de SEA de 43% entre [90<sub>2</sub>/0<sub>2</sub>/90<sub>2</sub>] et [90/0<sub>2</sub>/90])
- o La position des placage à 90° a une influence sur la quantité d'énergie absorbée (gain de SEA de 33% quand il y a confinement entre [0<sub>2</sub>/90<sub>2</sub>] et [90/0<sub>2</sub>/90])
- o Avec la présence de placages à 90°, le mode de ruine présente du flambage local amenant à une ruine de type « accordéon »
- [90/0<sub>2</sub>/90] présente les meilleures performances au crash en statique

**Ecrasements dynamiques**

- o Vitesse d'écrasement (poids tombant) = 5,7 m/s
- o Aucun filtrage n'a été effectué



	g	mm	N	N	J	J	J/g			
	Masse	Epaisseur	F <sub>max</sub>	L <sub>plateau</sub>	F <sub>plateau</sub>	CFE	EA <sub>plateau</sub>	EA <sub>tot_80mm</sub>	SEA <sub>plateau</sub>	
Essais statiques	[0 <sub>2</sub> ] - #1	77.4	6.7	36 403	/	/	/	/	/	
	[0 <sub>2</sub> ] - #2	76.0	6.8	40 667	/	/	/	/	/	
	[0 <sub>2</sub> ] - #3	75.3	6.6	38 067	/	/	/	/	/	
	Moyenne	76.2	6.7	38 379	/	/	/	/	/	
Ecart-type	1.07	0.09	2 149	/	/	/	/	/		
Essais dynamiques	[90/0 <sub>2</sub> /90] - #1	76.9	6.9	31 722	74.9	17 039	0.54	1 276	1 368	25.4
	[90/0 <sub>2</sub> /90] - #2	77.8	6.9	30 220	77.6	24 092	0.80	1 869	1 858	35.5
	[90/0 <sub>2</sub> /90] - #3	74.9	6.7	27 569	78.1	21 926	0.80	1 712	1 670	33.8
	Moyenne	76.6	6.8	29 837	76.9	21 019	0.71	1 619	1 632	31.6
	Ecart-type	1.8	0.10	2 103	1.7	3 613	0.15	307	247	5.4
	[90 <sub>2</sub> /0 <sub>2</sub> /90 <sub>2</sub> ] - #1	70.6	6.7	17 798	68.9	14 592	0.82	1 005	1 154	22.2
	[90 <sub>2</sub> /0 <sub>2</sub> /90 <sub>2</sub> ] - #2	73.1	6.6	19 541	64.2	10 312	0.53	662	923	16.3
	[90 <sub>2</sub> /0 <sub>2</sub> /90 <sub>2</sub> ] - #3	75.7	6.8	18 514	53.7	9 542	0.52	512	866	15.6
	Moyenne	73.1	6.7	19 403	62.2	11 482	0.62	726	981	18.0
	Ecart-type	2.55	0.11	876	7.18	2 721	0.17	253	152	3.6
	[0 <sub>2</sub> /90 <sub>2</sub> ] - #1	73.5	6.5	28 311	55.3	12 680	0.45	701	1 241	19.9
	[0 <sub>2</sub> /90 <sub>2</sub> ] - #2	73.3	6.5	27 581	53.9	16 779	0.61	905	1 400	26.4
[0 <sub>2</sub> /90 <sub>2</sub> ] - #3	72.4	6.6	22 039	56.7	10 991	0.50	624	939	17.5	
Moyenne	73.0	6.6	25 977	55.3	13 483	0.52	743	1 193	21.3	
Ecart-type	0.59	0.01	3 430	1.4	2 976	0.08	145	234	4.6	

- o La meilleure des configurations statiques testée en dynamique présente des propriétés d'absorption similaires (1 632 J en statique et 1 618 J en dynamique) pour une SEA oscillant autour de 30 J/g
- o En dynamique, le pic de charge est plus important engendrant une dégradation du CFE
- o Une gain de 88% au niveau de la pente pseudo-linéaire est observé (515 MPa en statique et 970 MPa en dynamique)
- o Le début de la phase de transition est probablement lié à la hauteur du chanfrein. Cette dernière est plus longue en dynamique
- o Le mode de ruine en dynamique varie avec l'apparition d'évasement et de fragmentation (caractère plus fragile du bois dont le comportement dépend de la vitesse de sollicitation)

**Conclusion**

- o Résultats très prometteurs pour une utilisation d'éco-matériaux à base de bois pour des applications de crash
- o Les niveaux de SEA sont 4x moins importants que sur les meilleurs matériaux composites, cependant ces tubes sont jusqu'à 40x moins chers sans aucune optimisation du matériau bois (I214)

**Perspectives**

- o Pour une meilleure compréhension du comportement au crash des tubes en peuplier, une modélisation numérique est nécessaire

**Références**

Farley, G. L., et M. R. Jones. 1989. « Energy absorption capability of composites tubes and beams ». PhD Thesis, NASA TM 10634.  
 Guillon, Damien. 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, John, Florent Eyma, Emmanuel De Luycker, Arthur Cantarel, Christophe Bouvet, et Bruno Castanie. 2019. « Experimental Investigation of Compression and Compression after Impact of Wood-Based Sandwich Structures ». *Composite Structures* 220 (juillet): 236-49.