HAL open science

Caractérisation de tubes sandwichs bois-carbone pour des applications de crash

Romain Guélou, Florent Eyma, Arthur Cantarel, Bruno Castanié, Samuel Rivallant

To cite this version:

Romain Guélou, Florent Eyma, Arthur Cantarel, Bruno Castanié, Samuel Rivallant. Caractérisation de tubes sandwichs bois-carbone pour des applications de crash. JNC 22 – Conférence virtuelle – 28 - 30 juin 2021, Jun 2021, Besancon, France. hal-03286689

HAL Id: hal-03286689

https://hal.science/hal-03286689v1

Submitted on 15 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation de tubes sandwichs bois-carbone pour des applications de crash

Characterization of wood and carbon sandwich tubes for crash applications

Romain Guélou, Florent Eyma, Arthur Cantarel, Bruno Castanié, Samuel Rivallant

Institut Clément Ader, Groupe MSC
Université de Toulouse, ISAE-SUPAERO, INSA, IMT MINES ALBI, CNRS
3 rue Caroline Aigle, 31 400 Toulouse
e-mail : bruno.castanie@insa-toulouse.fr

1. Introduction

Le bois est un matériau léger, renouvelable avec une faible empreinte carbone qui présente une forte potentialité pour les moyens de transport comme dans les premiers temps de l'aviation [1]. Récemment les auteurs ont montré qu'il avait un très bon comportement en compression statique et compression après impact [2] ou en crash sous forme de tubes. Sa SEA est de l'ordre du tiers de celle du carbone alors qu'il coute 40 fois moins cher [3]. Par ailleurs, l'utilisation des matériaux composites pour des applications de crash est très efficace grâce à leur faible masse volumique, leurs résistances spécifiques et déformation à rupture élevées. L'absorption d'énergie dans les tubes ou les crash-box dépend de nombreux paramètres tels que l'épaisseur, l'orientation des fibres [4], le diamètre intérieur, le mode de ruine [5] ou la séquence d'empilement [6].
Aussi, cette étude présente les résultats expérimentaux d'écrasement statiques et dynamiques de tubes sandwichs ayant une âme en placages de peuplier I214 et des peaux en fibres de carbone.

2. Démarche

2.1 Fabrication et matériaux utilisés

La fabrication des tubes a été réalisée avec des peaux en fibres de carbone-époxy (M79/42%/200T2/CHR-3K, Hexcel) tissées en [0/90] avec une armure sergé 2-2 (masse nominale du pré-imprégné 345 g/m^2). Les placages de peuplier I214 d'épaisseur 1 mm ont été fournis par l'entreprise Garnica. L'enroulement de deux plis de pré-imprégné est suivi d'un enroulement de plusieurs tours (2 à 6 tours) de peuplier I214 orienté à 0° du tube déjà préencollé de la colle monocomposante à base de polyuréthane. Après les deux enroulements réalisés sur un mandrin métallique, des bandes thermo-rétractables assurent la pression sous la mise à l'étuve. Une fois la réticulation du pré-imprégné et de la colle à bois réalisée, un drapage de deux plis du pré-imprégné est réalisé. Le diamètre intérieur des tubes est de 50 mm, la longueur finale est de 120 mm, ils sont également chanfreinés à 45° sur toute l'épaisseur afin de s'assurer de l'initiation de la ruine de ce côté du tube et de baisser le pic de charge F_{max}. Pour chaque configuration, trois tubes ont été fabriqués puis écrasés afin d'avoir un regard sur la répétabilité des résultats.

2.2 Essais statiques et dynamiques

Les essais statiques ont été réalisés sur une machine de traction MTS system équipée d'une cellule de charge de 100KN à une vitesse de 5 mm/min.

Les essais dynamiques ont été effectués sur une tour de chute, où un poids de 180 ou 114 kg (en fonction du nombre de plis) est élevé à une hauteur de 4 m fournissant une vitesse d'écrasement de 8,8 m/s. Ce sont des essais interrompus, afin de pouvoir observer les tubes post-mortem. Une butée située entre le plateau supérieur et inférieur permet le transfert de l'énergie excédentaire dans un absorbeur (bloc de NIDA) situé sous l'échantillon (l'énergie mise en jeu est supérieure à l'énergie nécessaire pour écraser le tube de manière à obtenir une vitesse presque constante durant l'essai). Deux caméras rapides filment les essais. Un capteur d'effort situé entre la masse et le plateau supérieur permet d'obtenir la force d'écrasement avec une fréquence d'acquisition de 1 MHz. Le déplacement est calculé par double intégration de l'effort à partir de la vitesse initiale donnée par un capteur optique. Aucun filtrage des données n'a été réalisé pour l'extraction des données. Les caméras rapides et le signal d'effort sont synchronisés pour pouvoir relier les images du front d'écrasement à la courbe force-déplacement. La longueur d'écrasement est fixée à 90 mm pour les essais statiques et entre 85 et 90 mm pour les essais dynamiques.
Les critères extraits des essais sont les suivants : le pic de charge noté F_{max}, la force moyenne d'écrasement notée $F_{plateau}$, le CFE (Crush Force Efficiency, rapport entre $F_{plateau}$ et F_{max}), l'énergie absorbée notée EA_{tot_80mm} (correspondant à l'aire sous la courbe, du début de l'écrasement jusqu'à 80 mm pour rendre les comparaisons statiques et dynamiques possibles étant donné que les longueurs d'écrasement varient quelque peu entre les deux régimes), et l'énergie spécifique d'absorption notée SEA_{tot_80mm} (correspondant à l'énergie absorbée ramenée à une unité de masse écrasée, en J/g).

3. Résultats

Les résultats des essais statiques et dynamiques sont présentés dans la Fig. 1. Les trois courbes statiques et dynamiques de chaque configuration ont été moyennées.

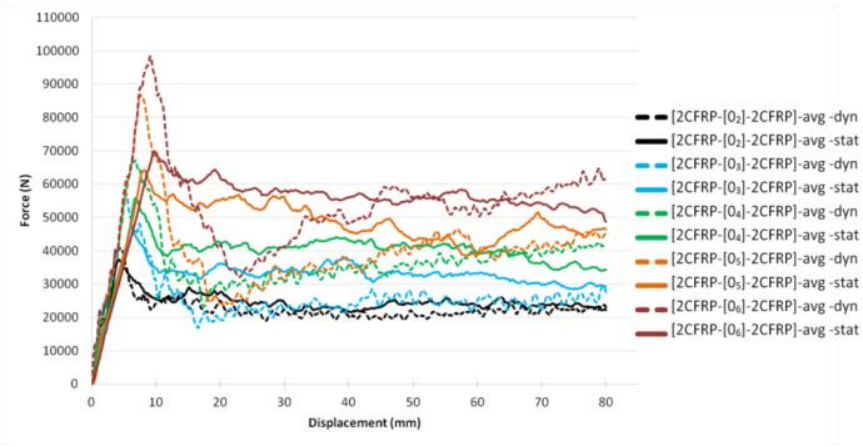

Fig. 1. Courbes force-déplacement moyennées statiques et dynamiques des tubes sandwichs

Les courbes d'écrasement présentent les trois phases souvent retrouvées pendant le crash d'une structure : la phase de mise en charge (pente pseudo-linéaire car en réalité elle correspond à l'aplatissement du chanfrein et des endommagements ont déjà lieu), la phase de transition, et la phase de plateau. La pente pseudo-linéaire varie entre chaque configuration : plus il y a de plis I214, plus cette dernière décroit. Cette dernière est également plus importante en dynamique qu'en statique : l'attribution de ce gain peut être attribuée soit aux peaux en fibres de carbone soit à l'âme en peuplier. En effet, des tubes carbone et peuplier seuls écrasés en dynamique montrent une augmentation de leur pente pseudo-linéaire. En dynamique, le pic de charge est plus important qu'en statique. En termes de performances, il

est possible de constater que plus le nombre de plis de peuplier I214 augmente, plus la force moyenne du plateau est augmentée, synonyme d'augmentation de l'énergie absorbée (Fig. 2). Concernant la SEA, cette dernière est quasi-constante en fonction du nombre de plis I214 en statique et oscille autour de 60 J/g. En dynamique, cette dernière est plus oscillante et moins constante : elle varie entre 50 et 60 J/g.

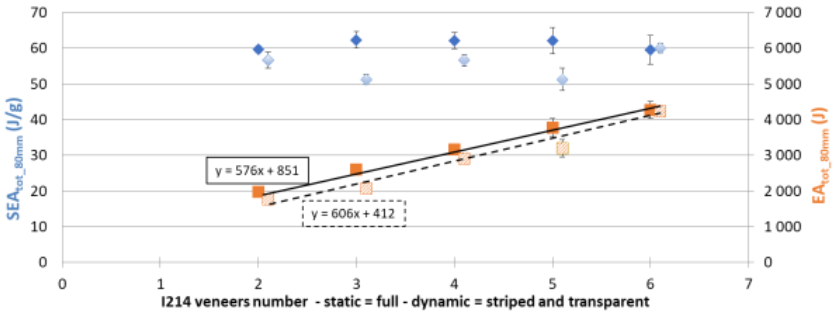

Fig. 2. Evolution de l'énergie absorbée et de la SEA en fonction de nombre de plis I214 – statique et dynamique

Concernant le mode de ruine, que ce soit en statique ou en dynamique, il est assez similaire. Son initiation débute avec l'aplatissement du chanfrein. Une fois le chanfrein aplatit, les peaux carbone extérieures et intérieures viennent en contact avec le plateau d'écrasement et sont forcées à s'évaser vers l'extérieur et l'intérieur. Les fibres de carbone du sergé 2-2 orientées à 90° rompent sous une déformation trop importante et créent des pétales au niveau du tube au fur et à mesure que l'écrasement avance.

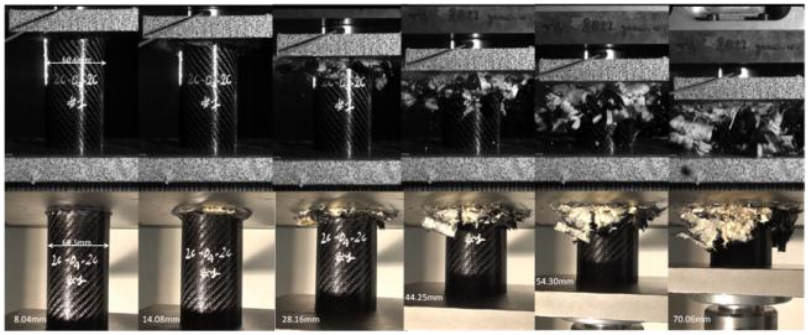

Fig. 3. Comparaison statique et dynamique du mode de ruine du tube [2CFRP-[0_4]-2CFRP]-#1 à iso-déplacement (les images statiques ont été retournées)

La découpe des tubes montrent qu'en statique, du flambage local mais pas généralisé apparait, et qu'une portion du tube peut ne pas s'évaser mais fléchir sur toute son épaisseur. Ces deux constations n'ont pas été retrouvées sur les tubes en dynamique. En revanche, la compaction des débris à l'intérieur des tubes est plus importante en dynamique qu'en statique.

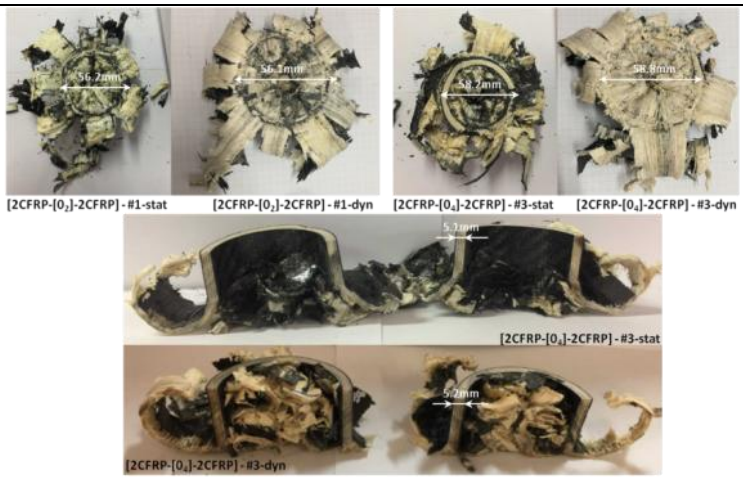

Fig. 4. Comparaison statique et dynamique du mode de ruine

Les écrasements statiques et dynamiques des tubes sandwichs $[2CFRP\text{-}[0_N]\text{-}2CFRP]_{2\leq N\leq 6}$ ont montré des résultats d'absorption d'énergie intéressants : une SEA statique moyenne de 61,2 J/g et dynamique moyenne de 54,3 J/g. En parallèle de ces écrasements (non présentés ici), des tubes en carbone et des tubes en peuplier ont été caractérisés en statique et dynamique : les tubes en question correspondent aux peaux en fibres de carbone (2 et 2 plis sur les sandwichs, 4 au total sur le tube monolithique) et à l'âme des tubes sandwichs (l'âme de la configuration $[2CFRP\text{-}[0_6]\text{-}2CFRP]$ a été comparée au tube peuplier $[90/0_4/90]$, tube ayant le même nombre de plis total et proposant des caractéristiques d'absorption d'énergie intéressantes). Ces écrasements nous permettent de constater un gain de 47% en statique et 40% en dynamique sur la SEA via le couplage du peuplier aux fibres de carbone.

Références

[1] Castanie B, Bouvet C, Ginot M. Review of composite sandwich structure in aeronautic applications. Composites Part C: Open Access 2020;1:100004. https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100004.

[2] Susainathan J, Eyma F, De Luycker E, Cantarel A, Bouvet C, Castanie B. Experimental investigation of compression and compression after impact of wood-based sandwich structures. Composite Structures 2019;220:236–49. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.03.095.

[3] Guélou R, Eyma F, Cantarel A, Rivallant S, Castanié B. Crashworthiness of poplar wood veneer tubes. International Journal of Impact Engineering 2020:103738. https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2020.103738.

[4] Wang Y, Feng J, Wu J, Hu D. Effects of fiber orientation and wall thickness on energy absorption characteristics of carbon-reinforced composite tubes under different loading conditions. Composite Structures 2016;153:356–68. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.06.033.

[5] Guillon D. 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, 2008.

[6] Thornton PH. Energy absorption in composite structures. Journal of Composite Materials 1979;13:247–62. https://doi.org/10.1177/002199837901300308.