

Le bois, un matériau pour la mobilité durable ?

Wood, a material for sustainable mobility?

Bruno Castanié¹, Christophe Bouvet², Joel Serra³, Florent Eyma⁴, Arthur Cantarel⁵

¹ Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, CNRS, IMT Mines Albi, INSA Toulouse, ISAE-SUPAERO, UPS, Toulouse France. e-mail : bruno.castanie@insa-toulouse.fr

² Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, CNRS, IMT Mines Albi, INSA Toulouse, ISAE-SUPAERO, UPS, Toulouse France. e-mail : christophe.bouvet@isae-suparo.fr

³ Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, CNRS, IMT Mines Albi, INSA Toulouse, ISAE-SUPAERO, UPS, Toulouse France. e-mail : joel.serra@isae-suparo.fr

⁴ Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, CNRS, IMT Mines Albi, INSA Toulouse, ISAE-SUPAERO, UPS, Toulouse France. e-mail : florent.eyma@iut-tarbes.fr

⁵ Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, CNRS, IMT Mines Albi, INSA Toulouse, ISAE-SUPAERO, UPS, Toulouse France. e-mail : arthur.cantarel@iut-tarbes.fr

1. Introduction

Le bois est un matériau traditionnellement utilisé dans de multiples applications : que ce soit dans les transports, le domaine maritime, le nucléaire, l'ameublement, la construction ou encore dans la valorisation énergétique (chauffage) à partir de produits recyclés [1–3]. Le bois répond également aux demandes sociétales pour une société décarbonée, une gestion rigoureuse des ressources, des circuits courts et l'utilisation de matériaux sains, renouvelables et écologiques [4,5]. Il a connu ces dernières décennies un fort développement dans la construction de bâtiments. C'est aussi une ressource locale, abondante, économique, renouvelable et dont l'énergie grise est très faible [4,5]. Le bois pour les moyens de transport quant à lui, a été oublié mais il est en voie de redécouverte. Dans ce papier, nous présenterons quelques exemples historiques choisis dans l'aviation [6] et l'automobile. Puis dans un second temps nous présenterons brièvement les études récentes réalisées à l'Institut Clément Ader sur des sandwichs avec âmes en contreplaqué et peaux composites sollicités en statique et en dynamique. Enfin des perspectives sur l'utilisation du bois, les challenges et déjà les premières applications actuelles dans le domaine des transports seront détaillées.

2. Exemples historiques choisis

Il est connu que le bois a été le premier matériau utilisé dans la construction aéronautique. S'il n'est pas le premier [6], le De Havilland Mosquito (voir Figure 1) est certainement le plus remarquable et le plus connu.

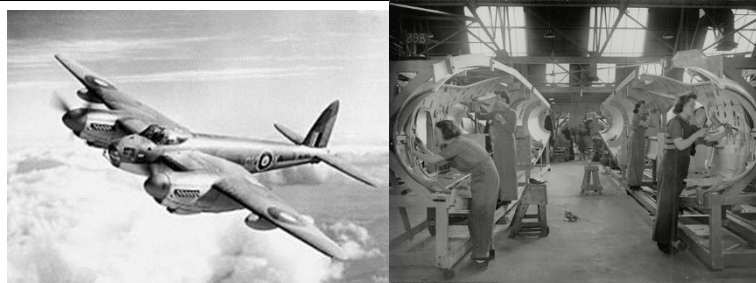


Fig. 1. De Havilland Mosquito (deuxième guerre mondiale)

Sa structure est entièrement en sandwich âme balsa et peaux en douglas ou en bouleau. Il a été produit à 7781 exemplaires et atteignait une vitesse de 612 km/h. La structure du fuselage est réalisée en deux demi-coques qui sont ensuite collées/cloutées. Cette conception serait qualifiée de « one shot » aujourd'hui. La construction bois a été utilisée dans l'aviation jusque dans les 90 par Mudry sur son CAP10 et les avions Robin Aircraft encore aujourd'hui avec plus de 3000 avions déjà produits.

En ce qui concerne l'automobile, le bois a servi de matériau de substitution au métal durant la seconde guerre mondiale avec les « woodies », surnom donné aux voitures américaines de l'époque. Le constructeur anglais Morgan est le seul aujourd'hui à proposer des véhicules avec une superstructure en frêne posée sur un châssis en aluminium ou en acier. Un exemple particulièrement intéressant est la Costin-Nathan Le Mans 1967 (voir Figure 2). Dans cette voiture, le châssis est réalisé en contreplaqué alors que les ouvrants sont en fibre de verre. Le poids de cette voiture équipée d'un moteur de 1100 cm³ est seulement de 400kg environ suivant les versions.



Fig. 2. La Costin-Nathan 1967.

Ces quelques exemples montrent que par le passé, le bois, en particulier sous forme de structure sandwich ou de contreplaqué, a été utilisé pour ses qualités structurales dans le domaine des transports et permettait des gains de masse importants.

3. Fabrication, comportement statique et dynamique des sandwichs base bois

Des sandwichs avec une âme en contreplaqué et des peaux en aluminium, fibre de verre, fibre de carbone et fibre de lin ont été fabriqués pour un total de 9 configurations dont deux contreplaqués seuls et un sandwich de référence (plancher A320 Airbus) [7]. Deux méthodes de fabrications ont été testées : en thermocompression ou en polymérisation sous bâche à vide. La première méthodologie n'a pas permis une adhésion correcte des peaux en carbone sur le contreplaqué alors que l'adhésion avec les fibres de verre était correcte. Pour la thermocompression, les peaux étaient parfaitement collées dans les deux cas. Il est à noter

qu'il convient de ne pas chauffer excessivement le bois au risque de voir chuter ses caractéristiques mécaniques. Ces sandwichs ont ensuite été testés en flexion trois points et les courbes effort/déplacement au centre sont données Figure 3 (a). Lors des essais de flexion 3 points les modes de ruptures dans l'âme en contreplaqué sont similaires à ceux des stratifiés : rupture de fibre, fissuration transverse et délaminage. Les raideurs élastiques dépendent logiquement des raideurs des peaux mais la force maximum semble fortement influencée par la qualité de fabrication. Le sandwich de référence, s'il est deux à trois fois moins lourd que les sandwichs base bois, a une résistance très faible. Après optimisation, il est possible que les sandwichs bas bois obtiennent avec la même densité des caractéristiques mécaniques équivalentes ou supérieures.

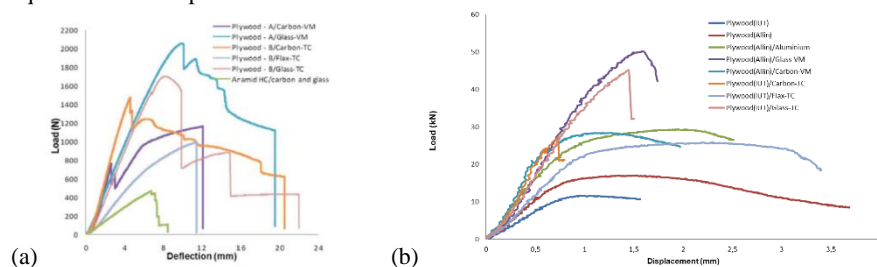


Fig. 3. (a) Courbes efforts/déplacement en flexion 3 points (b) courbes efforts/déplacement en compression après un impact à 15 Joules.

Le comportement en impact basse vitesse/basse énergie ne sera pas présenté dans ce résumé (voir [8]) et on se focalisera sur le comportement en compression après impact [9], voir Figure 3 (b). On remarquera en particulier que les sandwichs à peaux carbone ou fibre de verre ont un fort abattement par rapport à un essai de compression sans impact de l'ordre de 35 %. Par ailleurs, les contreplaqués seuls ou les contreplaqués avec peaux en fibre de lin ou peaux aluminium présentent un plateau très long et très plat ce qui peut s'avérer très intéressant pour l'absorption d'énergie dans les véhicules. De plus l'abattement pour ces deux derniers sandwichs est de seulement 8% à 15J ce qui est très peu par rapport aux structures sandwichs composites usuelles.

Ces très bonnes caractéristiques mécaniques en compression du bois nous ont incité à étudier l'écrasement statique et dynamique de tubes en bois seul [10] ou en sandwich avec des peaux carbone ou verre [11]. Un des critères pour comparer les différents matériaux en termes d'absorption d'énergie est la SEA (Specific Energy Absorption) en kJ/kg. Dans la figure 4, une comparaison des énergies obtenues par écrasement dynamique de tubes en peuplier et de sandwichs âme en bouleau et peaux en fibre de verre est présentée.

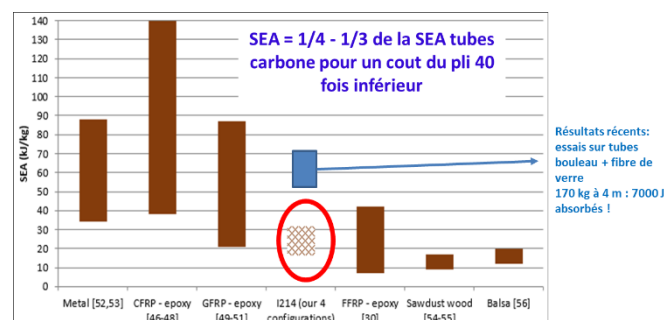


Fig. 4 / Comparaison de différentes SEA avec celles du bois.

Globalement la SEA des tubes en peuplier est 3 à 4 moins importante que celle des tubes en composites mais le cout d'un pli de peuplier est 40 fois inférieur à celui d'un pli de carbone. Récemment, un tube réalisé avec une âme en bouleau et des peaux en fibre de verre a absorbé 7000J pour une SEA comparable à celle de tubes composites.

4. Conclusions et perspectives

Le bois a permis dans le passé de réaliser des automobiles et des avions extrêmement performants et légers. C'est un matériau en voie de redécouverte en particulier sous forme de stratifié contreplaqué qui présente des caractéristiques statiques et dynamiques très intéressantes. D'ores et déjà, il existe des applications comme l'avion d'acrobatie en bois carbone fabriqué par Aura Aéro, le projet WoodCAR [12] qui a démontré que l'on pouvait substituer par du bois certaines pièces automobiles ou encore des projets de nano-satellites avec des structures bois au Japon et en Finlande [13].

Références

- [1] Bucci V, Corigliano P, Crupi V, Epasto G, Guglielmino E, Marinò A. Experimental investigation on Iroko wood used in shipbuilding. *Proc Inst Mech Eng Part C J Mech Eng Sci* 2017;231:128–39.
 - [2] Zenkerts D. *The handbook of sandwich construction*. Engineering Materials Advisory Services Ltd. United Kingdom: 1997.
 - [3] Butler N. Computer modelling of wood-filled impact limiters. *Nucl Eng Des* 1994;150:417–24.
 - [4] Laboratory FP. *Wood Handbook Wood as an Engineering Material*. United States Department of Agriculture Forest Service; 2010.
 - [5] Bergman R, Puettmann M, Taylor A, Skog KE. The Carbon Impacts of Wood Products. *For Prod J* 2014;64:220–31.
 - [6] Castanie B, Bouvet C, Ginot M. Review of composite sandwich structure in aeronautic applications. *Compos Part C Open Access* 2020;1:100004.
 - [7] Susainathan J, Eyma F, De Luycker E, Cantarel A, Castanie B. Manufacturing and quasi-static bending behavior of wood-based sandwich structures. *Compos Struct* 2017;182:487–504.
 - [8] Susainathan J, Eyma F, De Luycker E, Cantarel A, Castanie B. Experimental investigation of impact behavior of wood-based sandwich structures. *Compos Part Appl Sci Manuf* 2018;109:10–9.
 - [9] 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. *Compos Struct* 2019;220:236–49.
 - [10] Guélou R, Eyma F, Cantarel A, Rivallant S, Castanié B. Crashworthiness of poplar wood veneer tubes. *Int J Impact Eng* 2020:103738.
 - [11] Guélou R, Eyma F, Cantarel A, Rivallant S, Castanié B. Static crushing of wood based sandwich composite tubes. *Comp struct* 2021, Article 114317.
 - [12] Consortium WoodC.A.R. n.d. <https://www.woodcar.eu/index.html>.
 - [13] <https://www.universetoday.com/149495/japan-to-launch-wooden-satellite-in-2023/>
-