

COMPORTEMENT AU CRASH DE TUBES EN COMPOSITES TRESSSES 2.5D ET MATRICE THERMOPLASTIQUE

C. Priem, P. Rozycki, R. Othman *Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique – GeM (UMR CNRS 6183), Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noë BP 92101, 44 321 Nantes Cedex 3, Adresse(s) électronique(s) : cyril.priem@ec-nantes.fr, patrick.rozycki@ec-nantes.fr, rothman@kau.edu.sa*

D. Guillon *CETIM, Technocampus, Chemin du Chaffault, Zone industrielle du Chaffault, 44340 Bouguenais, Téléphone : 02 40 37 35 79, Adresse(s) électronique(s) : damien.guillon@cetim.fr*

Mots clés : crashbox, thermoplastic composite, 2,5D-braided, simulation

1. INTRODUCTION

La notion d'écologie et d'économie d'énergie a pris une grande importance dans notre société actuelle et touche désormais tous les secteurs de l'économie. Ainsi les secteurs de l'industrie mécanique et des transports sont tenus d'y apporter des solutions innovantes. Le plan « énergie-climat » instaurée par l'Union Européenne montre les nouvelles contraintes auxquels ils sont soumis. En accord avec ce projet, les véhicules doivent diminuer de manière importante leur rejet de gaz à effet de serre pour arriver à l'horizon 2020 à 95g de CO₂/km. De plus avec l'augmentation constante du prix des carburants, la réduction de la consommation des véhicules est devenue un enjeu important dans la concurrence entre constructeurs. Une amélioration des véhicules a déjà été entreprise par les constructeurs, principalement par des efforts sur les performances des moteurs et sur l'emploi de nouvelles sources non polluantes comme pour les voitures électriques. Mais malgré ces efforts, l'objectif n'est pas atteint. Un allègement de la structure du véhicule est donc nécessaire. L'utilisation de matériaux plus légers tels que les composites à la place des matériaux métalliques peut permettre ce gain, mais leur utilisation présentent toujours des inconnues, dont la principale est leur tenue au crash.

2. EXPERIMENTATIONS

On cherche tout d'abord dans cette partie à observer et à étudier le comportement au crash de structures tubulaires à section circulaire. Cette campagne nous permet d'obtenir les performances et les modes de ruine de ces structures. Le matériau de base se nomme Twintex et se compose d'un tissage 2.5D de fibres de verre dans une matrice de polypropylène. Les tubes sont réalisés à l'aide d'une machine à tresser à l'aide de fibres de renfort et de matrice comêlées. La structure obtenue est un interlock de 5 simili-couches liées couche à couche. Le matériau est ainsi composé à 60% en masse de fibres de verre. Une mesure de la densité par pesée hydrostatique nous donne pour ce matériau une valeur de 1,4.

2.1 Crash de tubes

Plusieurs tubes ont été testés dans un puits de chute. Un impacteur de 319kg frappe alors ces éprouvettes à une vitesse de 8m.s⁻¹ et une synthèse des résultats est présentée dans le tableau (1) et un exemple de courbe force/déplacement est proposé sur la figure (1). On peut ainsi calculer l'énergie dissipée par unité de masse de tube crashé :

$$SEA = \frac{W}{\rho A \delta} = \frac{\int_{\delta_1}^{\delta_2} F d\delta}{\rho A (\delta_2 - \delta_1)} \quad (1)$$

Avec F la force, δ_1 et δ_2 deux bornes du déplacement en phase stabilisée, ρ la masse volumique, A la section du tube.

Au cours de ces essais expérimentaux, on observe principalement deux modes de ruine : l'évasement qui consiste à la flexion vers l'intérieur ou l'extérieur du tube de la paroi et le flambement local de la paroi (formation de plis).

L'exploitation des résultats montre que l'on obtient des SEA allant de 22 à 34 kJ/kg ce qui est d'un niveau équivalent aux tubes métalliques (entre 12.5 et 38 kJ/kg pour les tubes en acier (Cunat et al., 2000)). Lors d'un impact à 15°, les tubes présentent un mode stable de ruine avec des performances proche des crashes à 0°.

Eprouvette	Longueur (mm)	Angle d'impact (°)	Vitesse d'impact (m/s)	Chanfrein
V2-45-1	200	0	8.17	45°
V2-45-2	200	0	8.17	45°
V-45-1	110	0	5	45°
V-45-2	110	0	5	Sans
V-45-3	110	15	4	45°
V-45-4	110	15	4	Sans

Tableau 1 : Plan d'essais pour une orientation de fibres interlock à 45°

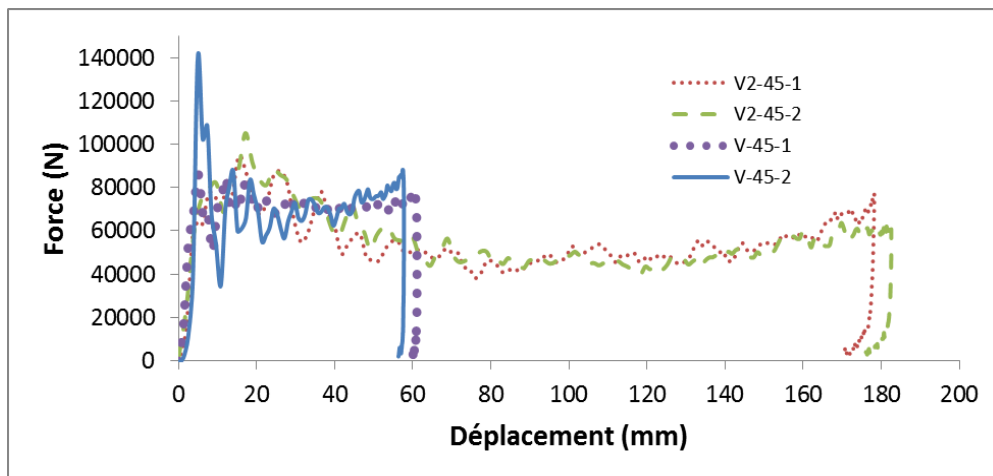


Figure 1 : Courbes force-déplacement du crash à 0° de tubes verre-polypropylène avec des fibres interlock orientées à 45°

2.2 Caractérisation du matériau composite

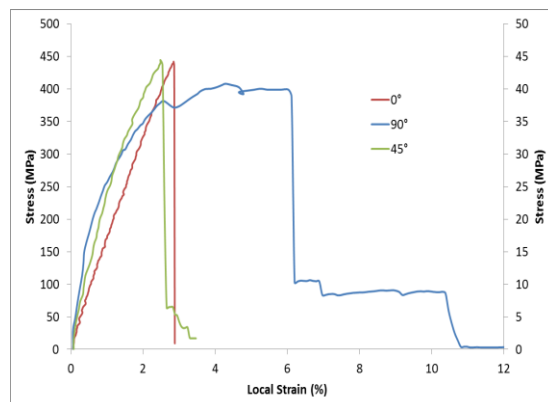


Figure 2 : Courbes de traction en quasi-statique à différentes orientations

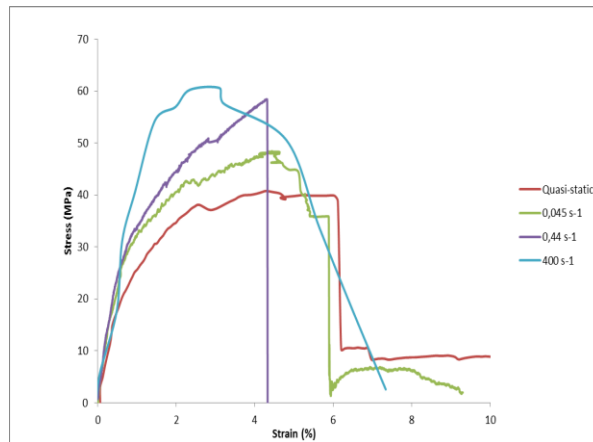


Figure 3 : Courbes de traction à 90° à différentes vitesses de déformations

Afin de pouvoir exploiter notre modèle analytique et notre modèle numérique, une campagne de caractérisation a aussi été réalisée sur le matériau : différentes vitesses de déformation ont été appliquées pour des sollicitations en traction sur les orientations principales à savoir longitudinale, transversale et de cisaillement. On constate sur la figure (2) un comportement élastique fragile dans le sens des fibres axiales (0°) qui ne dépend pas de la vitesse de déformation. Le comportement en cisaillement est quant à lui du même ordre bien que des non linéarités soient un peu plus prononcées. Enfin, le comportement transverse est de type visco-élastoplastique avec de l'endommagement.

3. MODELE SIMPLE DE PREDICTION

Dans une visée industrielle, des moyens simples ont été développés afin de prédire les performances de ces tubes.

3.1 Prédiction des modes de ruine

Afin de prédire les modes de ruine, le module de buckling du logiciel Abaqus a été utilisé. En renseignant les différents modules d'un matériau équivalent élastique orthotrope, on peut obtenir les différents modes de ruine constatés (figure (4)). De plus on obtient une valeur proche du premier pic de force des courbes expérimentales.

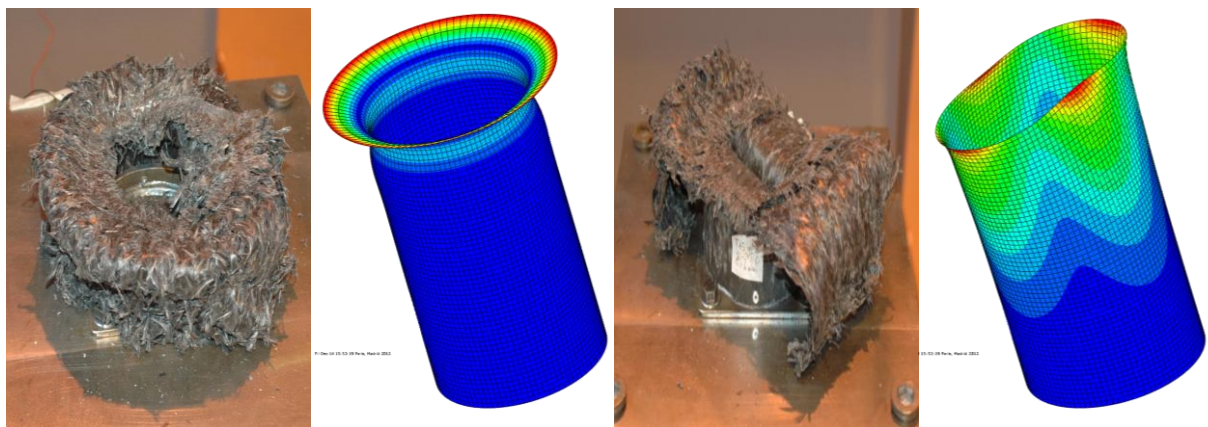


Figure 4 : Modes de ruine prédits par le module de buckling d'Abaqus

3.2 Modèle analytique

Basé sur des modèles préexistants (N. Jones, 1989; Wierzbicki et al., 1993), un modèle analytique a été développé. Il permet, connaissant le mode de ruine et les mécanismes mis en jeu durant un crash, de prédire avec une bonne précision l'effort moyen subis par le tube et donc ses performances. En appliquant le modèle analytique correspondant à l'évasement qu'on peut voir dans la figure 5 à notre matériau composite, on obtient une valeur de l'effort moyen de 47923N situé dans l'intervalle des valeurs expérimentales (entre 46873 et 49452 N).

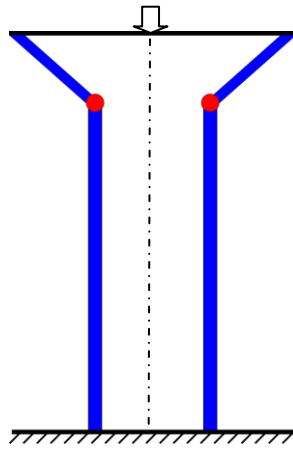


Figure 5 : Schéma représentatif du mode de ruine en évasement

4. MODELE NUMERIQUE

Un modèle du comportement du matériau composite a été créé sous la forme d'une VUMAT pour Abaqus. Contrairement à des modèles de plis élémentaires, nous avons fait le choix d'un modèle biphasique. Les fibres sont considérées comme élastique fragile et un modèle de kinking a été introduit pour mieux représenter le comportement mécanique en traction. Le modèle de comportement de la résine thermoplastique est inspiré des travaux de Drozdov (2011) et permet de représenter efficacement le comportement visco-élastoplastique de la résine et du composite dans la direction transverse aux fibres comme le montre la comparaison au point d'intégration de la figure (6).

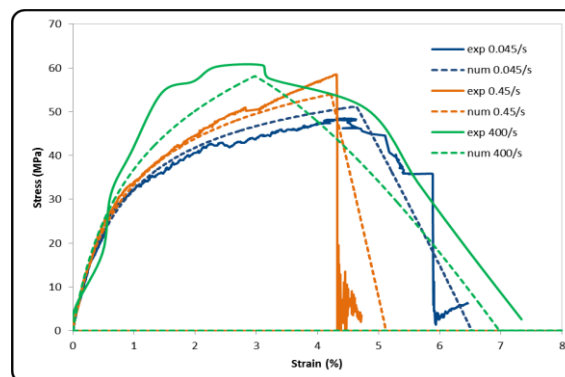


Figure 6 : Simulations des essais de traction dans le sens transverse à différentes vitesses de déformation

Actuellement, nous sommes en train de finaliser la simulation numérique du crash des tubes avec le modèle développé ; les premiers résultats obtenus sur des temps courts nous permettent de conforter nos travaux.

REFERENCES

- Cunat PJ. "Stainless steel properties for structural automotive applications.", *Metal bulletin international automotive materials conference*. Cologne; 2000. 21–23.
- A.D. Drozdov "Multi-cycle viscoplastic deformation of polypropylene" *Computational Materials Science*, 50, 1991-2000, 2011
- Jones, N. "Structural Impact" *Cambridge University Press*, 541 p. (1989)
- Wierzbicki, T., Recke, L., Abramowicz, W., Gholami, T., "Stress profiles in thin-walled prismatic columns subjected to crush loading", *Computers & Structures* Vol. 51 No. 6. Pp. 611-623. 1994