

# Etude de la réponse à l'impact d'une structure sandwich en nid d'abeille (Aluminium/Aluminium)

A. Abbadi<sup>1</sup>, J. Capelle<sup>2</sup>, F. Schwab<sup>2</sup>, Z. Azari<sup>2</sup>

1. ENSA, Laboratoire de Mécanique et Modélisation Numérique, Equipe de Mécanique et Calcul Scientifique, Université Mohamed 1, BP 696, Oujda, Maroc, abbadi57@gmail.com
2. Laboratoire de Biomécanique, Polymère et structures (LaBPS), Université de Lorraine -Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz, 57070 Metz, France, zitoune.azari@univ-lorraine.fr

## Résumé

Les matériaux sandwichs suscitent un intérêt croissant de la part de nombreux secteurs industriels et leurs emplois tendent à se généraliser. Ces matériaux sont largement utilisés comme structures légères ayant de bonnes propriétés mécaniques et une grande capacité d'absorption d'énergie. Le but de ce travail est l'analyse de la réponse à l'impact à faibles vitesses de deux structures sandwichs de différentes densités et tailles de cellules.

Des essais d'impact à faibles vitesses ont été réalisés sur deux types de sandwichs en nid d'abeilles de densités (55 et 130 kg/m<sup>3</sup>) afin d'étudier leurs comportements à l'impact.

Le mode de rupture et d'endommagement des panneaux sandwichs en nid d'abeilles ont été examinés en utilisant un tomographe à rayon X.

**Mots clefs:** *Sandwich, Nid d'abeilles, Energie d'absorption, Modes de rupture*

## 1. Introduction

Actuellement la philosophie de la "conception légère" est essentielle dans le domaine de l'industrie tels que (l'automobile, l'aérospatiale, la construction navale...etc). Par conséquent, de nouveaux matériaux et technologies ont été adoptés. L'utilisation de structures sandwichs n'a cessé d'augmenter au cours des dernières années. La réponse à l'impact des matériaux sandwichs en nid d'abeilles est peu étudiée. L'endommagement après impact est parfaitement identifié, mais peu d'explications sont fournies quant à ses mécanismes. Le comportement en statique et fatigue des panneaux sandwichs en nid d'abeilles (aluminium) a été expérimentalement analysé par Abbadi et al. [1]. L'étude de la réponse à l'impact des panneaux sandwichs à âme nid d'abeilles (aluminium) et des peaux en fibres de verre renforcées a été réalisée par Hazizan et al. [2]. Les auteurs ont utilisé le modèle d'équilibre énergétique pour prédire le comportement et la répartition de l'énergie d'impact de ces matériaux. Castanié et al. [3] ont étudié

la réponse dynamique dans le cas de choc à faibles vitesses d'une structure sandwichs en nid d'abeilles (Nomex) en utilisant une approche numérique basée sur un modèle de ressorts non linéaires. Ils ont obtenu une bonne corrélation avec les essais expérimentaux. L'objectif de la présente recherche est d'étudier la réponse à l'impact de deux structures sandwich en nid d'abeilles (aluminium).

## 2. Matériaux et méthodes d'essais

### 2.1 Matériaux

Deux différents types de sandwichs en nid d'abeilles (aluminium) ont été étudiés. Le premier est constitué de cellules hexagonales ayant un diamètre de 9,6mm, une épaisseur de parois de 80µm et une densité égale à 55kg/m<sup>3</sup>. Le deuxième a aussi des cellules hexagonales ayant un diamètre de 3,2mm, une épaisseur de parois de 80µm et une densité égale à 130kg/m<sup>3</sup>. L'âme en nid d'abeilles est constituée en alliage d'aluminium (AA3003) et les deux peaux en alliage d'aluminium (AA5754 H32). L'épaisseur de la peau est égale à 0,6 mm.

### 2.2 Méthodes d'essais

Les essais d'impact à faibles vitesses ont été effectués à l'aide d'une machine "tour de chute" munie d'un système anti-rebonds. Le but est d'éviter les impacts secondaires. La masse de l'impacteur et la hauteur de chute sont variables, permettant une large gamme de vitesses d'impact. L'impacteur de forme hémisphérique, de diamètre 16 mm et de masse 5.5 kg, charge le centre de l'éprouvette. Les dommages après impact de l'âme en nid d'abeilles d'aluminium, non détectables visuellement, ont été analysés par un système de tomographie 3D assisté par ordinateur.

## 3. Etude expérimentale

### 3.1 Essais d'impact

Les essais d'impact à faibles vitesses ont été effectués sur les deux types de panneaux sandwichs en nid d'abeilles (aluminium) avec deux diamètres de cellules : 3,2 et 9,6 mm. Tous les essais ont été réalisés en utilisant un impacteur hémisphérique de masse (5,5 kg) et pour différentes vitesses d'impact ( $v=1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$  et  $9 \text{ ms}^{-1}$ ). Les valeurs des énergies d'impact allant de 8 à 220J. Les éprouvettes d'essais (130 x 100 x 10 mm, épaisseur de cœur 8.8 mm et épaisseur de peau 0.6 mm) sont fixées par une plaque métallique rigide de diamètre égal à 40 mm.

Les courbes charge-déplacement, pour les deux types de sandwichs, sont représentées sur les figures 1a et 1b. On remarque que ces courbes ont la même rigidité et un nombre différent de pics de charge :

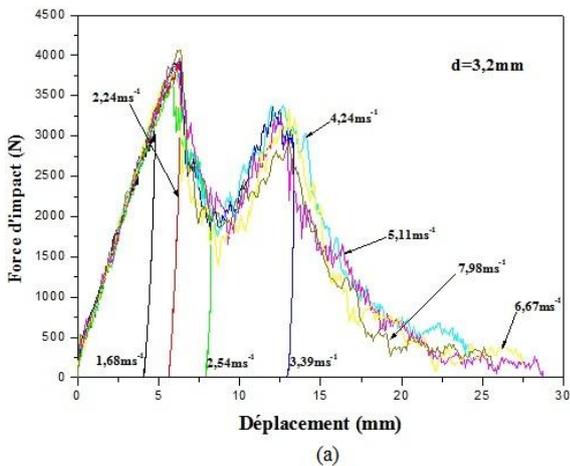
- les courbes pour des vitesses d'impact inférieures à  $2,54 \text{ ms}^{-1}$  ne possèdent qu'un seul pic de charge dû à l'impact de la peau supérieure et à l'écrasement local des cellules du nid d'abeilles du cœur de sandwich.

- les courbes pour une vitesse égale à  $2,54 \text{ ms}^{-1}$  présentent un premier pic dû à la rupture de peau supérieure, et un deuxième pic dû à l'impact de la peau inférieure.

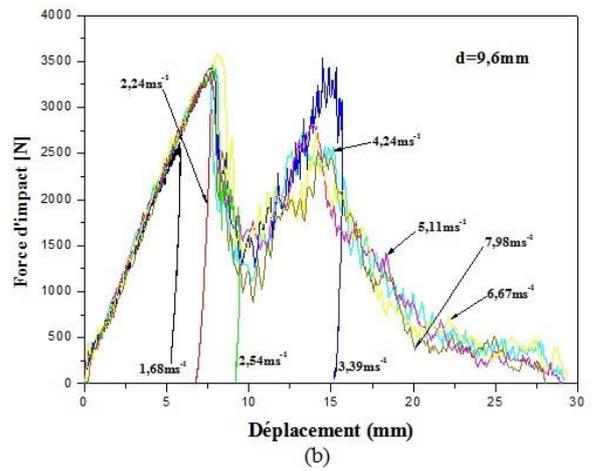
- les courbes pour des vitesses d'impact supérieures à  $2,54 \text{ ms}^{-1}$  ont un deuxième pic plus élevé dû à la rupture de la peau inférieure conduisant à la perforation totale de l'éprouvette.

Les courbes relatives à la densité  $130 \text{ kg/m}^3$  ( $d=3,2 \text{ mm}$ ) et aux vitesses 4,24 et  $5,11 \text{ ms}^{-1}$  présentent un troisième pic de charge dû probablement au frottement entre l'impacteur et les cellules du cœur de nid d'abeilles.

Les différents comportements d'impact des structures sandwichs ont été confirmés par tomographie post-impact. Une vue de dessus de la zone endommagée et une vue latérale des panneaux sandwichs après impact pour différentes vitesses ( $v= 3, 3.4$  et  $3.8 \text{ ms}^{-1}$ ) sont montrées sur les Figs. 2-3.



(a)



(b)

Figure 1 : Courbes force d'impact-déplacement : (a) diamètre de cellules ( $d=3,2 \text{ mm}$ ), (b) diamètre de cellules ( $d=9,6$ )

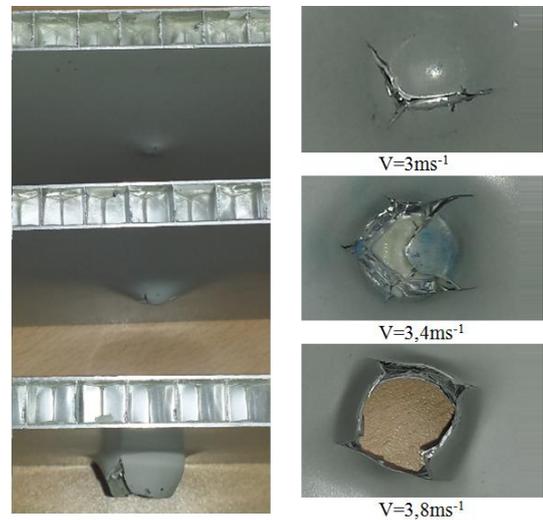


Figure 2 : Photos des panneaux impactés ( $d=9,6 \text{ mm}$ )

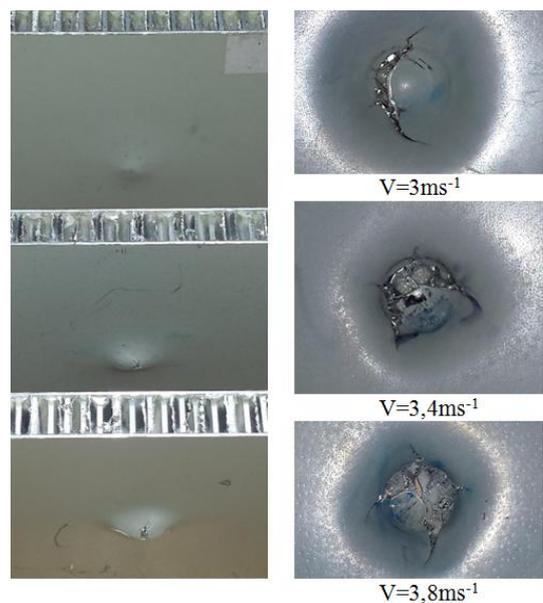


Figure 3 : Photos des panneaux impactés ( $d=3,2 \text{ mm}$ )

Les valeurs maximales des charges d'impact ( $F_{max}$ ) obtenues expérimentalement pour les deux types de sandwichs en nid d'abeilles ont été représentées graphiquement en fonctions des valeurs correspondantes des vitesses d'impact (figure 4). Les valeurs des charges maximales (pic) montrent une transition aux vitesses de 2,54 et 3  $ms^{-1}$ , correspondant à la perforation de la peau inférieure, et sont presque constantes pour des valeurs de vitesse plus élevées. La quantité d'énergie requise pour produire la perforation complète des sandwichs a été égale à 40J pour les panneaux de diamètre 3,2 mm et 32J pour les panneaux de diamètre 9,6 mm. Les valeurs moyennes des charges d'impact correspondantes ( $F_{max}$ ), obtenues expérimentalement, sont respectivement de 4000N et 3500N, Comme prévu, les données expérimentales confirment que le panneau en nid d'abeilles avec des cellules de plus petite taille ( $d=3,2mm$ ) sont capables d'absorber de grandes quantités d'énergie pour une vitesse donnée.

Les études tomographiques (figures 5-6) ont montré que l'effondrement du panneau sandwich se produit par déformation initiale de la peau supérieure et flambage des cellules centrales du nid d'abeilles. Les éprouvettes ont subi une fracture ductile avec un déplacement hors plan (vertical). L'analyse des images tomographiques (figures 5-6) des panneaux avec une taille de cellules plus petites ( $d=3,2$  mm) révèle que l'effondrement des cellules est localisé dans la zone impactée, tandis que le reste de la structure reste presque intact. Par contre, avec la même énergie initiale d'impact, l'effondrement des panneaux avec une taille de cellules plus grandes ( $d=9,6$  mm) affecte presque toutes les cellules.

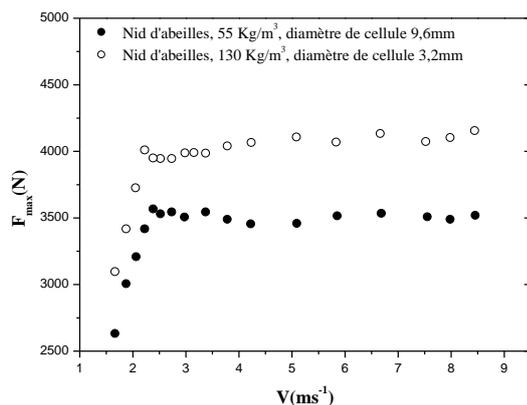


Figure 4 : Charge maximale en fonction de la vitesse d'impact pour les deux types de sandwichs.

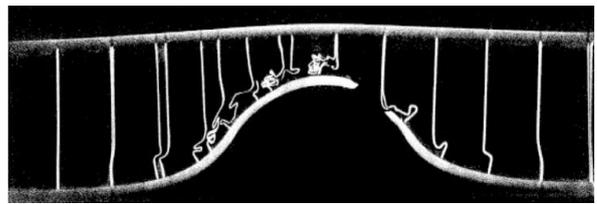


Figure 5 : Images tomographiques des sandwichs impactés ( $d=9,6$ ,  $v=2,54$   $ms^{-1}$ ).

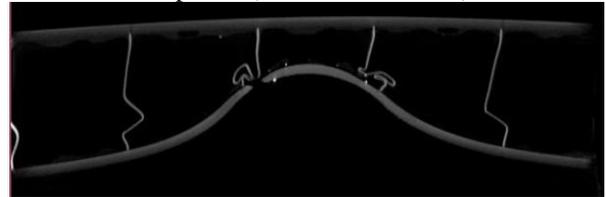


Figure 6 : Images tomographiques des sandwichs impactés ( $d=3,2$ ,  $v=2,54$   $ms^{-1}$ ).

#### 4. CONCLUSION

La réponse à l'impact à faibles vitesses des panneaux sandwichs en nid d'abeilles (aluminium) a été étudiée par des essais expérimentaux. Ces essais ont montré que la réponse à l'impact des panneaux sandwichs dépend essentiellement de la densité du cœur du sandwich. L'analyse tomographique montre que la rupture des panneaux en nid d'abeilles se produit par le froissement progressif des parois cellulaires en raison du phénomène de flambement. Cette étude expérimentale a une importance particulière pour les applications nécessitant des structures légères avec une grande capacité de dissipation d'énergie, comme l'industrie du transport où les problèmes de collision et de crash sont en croissance ces dernières années.

#### Références

- [1] A. Abbadi, Z. Azari, S. Belouettar, J. Gilgert, G. Pluvinage, Static and fatigue characterization of sandwich panels, In Materials science forum 518 (2006) 555.
- [2] A. Hazizan, J. Cantwell, The low velocity impact response of an aluminium honeycomb sandwich structure, Composites: Part B 34 (2003) 679-687.
- [3] B. Castanié, C. Buovet, Y. Aminanda, JJ. Barrau, P. Thevenet, Modelling of lowenergy/low-velocity impact on Nomex honeycomb sandwich structures with metallic skins, International Journal of Impact Engineering 35 (2008) 620-634.