



HAL
open science

**Tenue mécanique de panneaux composites auto-raidis
produits par infusion = Self stiffened composite panel
mechanical behaviour**

Bertrand Lascoup

► **To cite this version:**

Bertrand Lascoup. Tenue mécanique de panneaux composites auto-raidis produits par infusion = Self stiffened composite panel mechanical behaviour. JNC 16, Jun 2009, Toulouse, France. 8 p. hal-00385584

HAL Id: hal-00385584

<https://hal.science/hal-00385584>

Submitted on 11 Jun 2009

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.

Tenue mécanique de panneaux composites auto-raidis produits par infusion

Self stiffened composite panel mechanical behaviour

Bertrand Lascoup

ESTACA – Campus Ouest
Campus universitaire Laval-Changé – rue Georges Charpak
BP 76121 – 53061 LAVAL CEDEX
e-mail : bertrand.lascoup@estaca.fr

Résumé

Cette étude traite du comportement mécanique de structures innovantes en composites permettant d'associer une grande taille et une raideur en flexion suffisante. Des mini-raidisseurs en mousse sont inclus dans l'empilement des plis avant l'injection. La structure finale est légère comme un monolithique mais rigide comme un panneau sandwich. Le comportement en statique et face à un impact montre que le gain de performance en flexion se fait au détriment de la cohésion de l'empilement suivant les autres types de sollicitation. Ainsi, la ruine de la structure intervient presque systématiquement par un délaminage initié par la présence de noyau en mousse.

Abstract

This study deals with the mechanical behavior of innovative composites structures associating a high dimension and a high bending stiffness. Local foam core is included in the pile plies before injection. The final structure is light as a monolithic but stiff as a sandwich panel. The static and under impact behavior show that the bending performance improvement involves a lack of cohesion of the pile under the other types of request. So, the ruin of the structure occurs almost systematically by a delamination introduced by the presence of foam core.

Mots Clés : infusion, panneaux raidis, comportement endommageable, impact

Keywords : infusion, self stiffened panels, mechanical behaviour, impact

1. Introduction

La nécessité de gain de masse et d'espace entraîne une évolution du mode de conception des structures industrielles. Ainsi, alors que les structures de grandes tailles étaient principalement réservées à des tôles en acier ou en alliage, on voit apparaître des structures composites intégrant des propriétés secondaires (protection électromagnétique, contrôle de santé ...) Ces structures sont rendues possibles par l'emploi de techniques de mise en œuvre adaptées et peu onéreuses telle que l'infusion. Néanmoins, pour des grandes tailles de structure, les panneaux composites monolithiques présentent une flexibilité trop importante et il est alors nécessaire de recourir à des solutions alternatives moins intéressantes en termes de masse (solution sandwich par exemple) [1,2].

La présente étude propose une exploration du comportement mécanique de structure auto-raidie par des mini raidisseurs en mousse agissant comme des sandwiches locaux.

L'intérêt de cette étude est l'étendue des domaines abordés. On débute avec la phase de fabrication jusqu'à la compréhension des phénomènes d'endommagement sous chargement statique et dynamique. Le but final étant de cerner l'influence des paramètres de mise en œuvre sur le comportement final de la structure.

2. Matériaux : présentation et fabrication

Le procédé d'infusion consiste à faire progresser de la résine à travers un empilement de tissus (renforts structurels) et éventuellement d'âme placés entre un outillage et un film plastique comme présenté par la figure 1. Pour cela un vide généralement compris entre 0,6 et 0,95 bar est effectué à l'aide d'une pompe à vide.

Ce procédé est notamment conseillé pour les grandes pièces et permet de réaliser des matériaux composites sans que le personnel ne soit en contact direct avec les résines (amélioration notable des conditions de travail en termes d'hygiène et de protection de l'environnement).

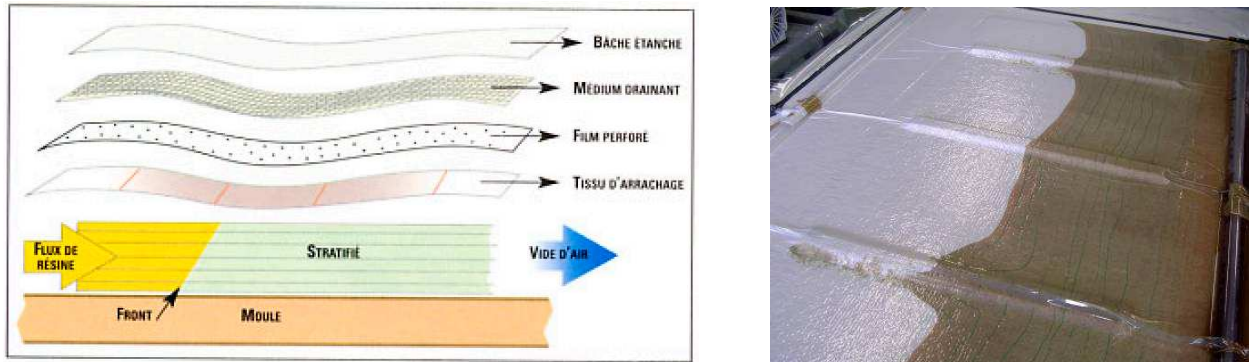


Fig. 1. Principe de l'infusion (gauche) et application sur mini-raidisneur (droite).

L'atout majeur de cette technique est sa capacité à produire des structures de grandes tailles avec des performances significatives associée à un coût d'outillage limité (un demi-moule suffit là où un moule complet et une solution de fermeture lourde sont nécessaires pour du RTM). Néanmoins, les structures monolithiques de grandes tailles peuvent souffrir de leur élancement excessif et il est alors nécessaire de recourir à des solutions de type sandwichs afin de garantir une raideur en flexion suffisante.

Une solution connue dans le domaine des tôles embouties consistant en la réalisation de nervures permettant la rigidification de la structure sans apport de masse est transposée dans le domaine des composites. On ajoute ici des raidisseurs en mousse au centre de l'empilement des couches de tissus avant l'imprégnation de résine.

La figure 2 donne un exemple des formes connues et montre une vue en coupe de notre structure. Cette forme de ce noyau a été choisie en forme de trapèze aux angles de 45° afin de limiter les courbures de s tissus le recouvrant.

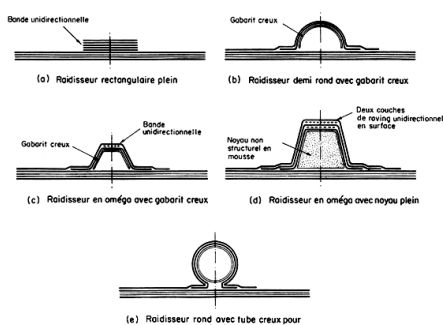


Fig. 2. Différents types de raidisseur (gauche) et celui de cette étude (droite).

Globalement la structure de l'étude est donc un stratifié monolithique verre/vinylester constitué de 8 couches de taffetas de verre de 500g/m² et de raidisseur en mousse de PVC d'une épaisseur de 10mm, et d'une base d'une largeur de 100mm. Le taux volumique de fibre est constant sur les différentes parties de la structure (monolithique, peau supérieure et inférieure) et est de 60%.

Une première partie de l'étude a consisté à proposer une méthode permettant un empilement aisé et une mise sous vide évitant les plis de la bache au niveau des raidisseurs et une accumulation de résine à la base de l'âme en mousse. Différentes approches (pli de la bache au centre ou à la base du raidisseur, utilisation de colle en bombe entre les plis) ont été tentées afin d'assurer une infusion régulière de la résine

et une base de raidisseur marquée. La figure 1 à droite montre trois approches. On retiendra l'approche du raidisseur central où le front de résine est régulier. Les deux autres approches créent des canaux privilégiés à la base du raidisseur où la résine se propage plus rapidement que dans le reste de la structure.

Dès lors que la technique de mise en œuvre a été fiabilisée, des essais de caractérisations (traction uni-axiale et cisaillement 3 rails) ont été menés à partir des zones monolithiques afin d'identifier les grandeurs caractéristiques du composite. Un grand soin a été apporté au respect du VER. La figure 3 montre la géométrie d'une éprouvette de traction d'une largeur de 50mm, d'une longueur de 300mm et de son instrumentation associée (jauge de 20mm de long). L'essai a été réalisé à une vitesse de déplacement de la traverse de 2mm/min.

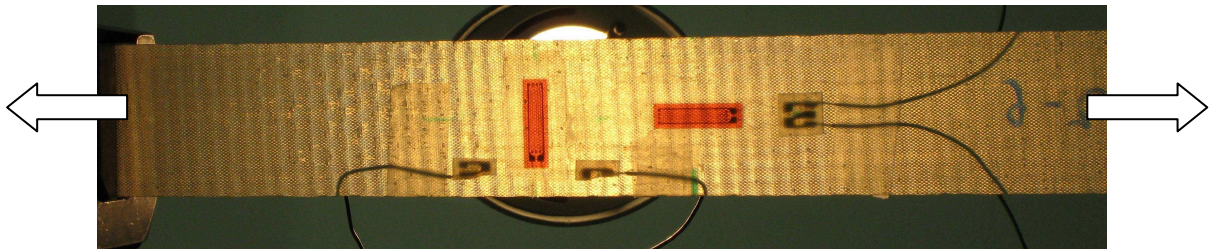


Fig. 3. éprouvette de traction instrumentée

Les résultats des essais sont regroupés dans le tableau 1.

$E_x = E_y$ (GPa)	$\sigma_x = \sigma_y$ (MPa)	$\nu_{xy} = \nu_{yx}$	$G_{xy} = G_{yx}$ (GPa)	$S_{xy} = S_{yx}$ (GPa)
25,9	454,6	0,154	4,3	75,1

Tableau. 1. synthèse des grandeurs caractéristiques du composite

3. Essais statiques de caractérisation en traction

Dans cette partie de l'étude, on vise à mettre en évidence le comportement endommageable de cette structure face à des sollicitations statiques simples. Au-delà de la comparaison directe avec une structure monolithique et des gains apportés par la présence du raidisseur, on cherche à présenter une chronologie spécifique d'endommagement.

Des essais de traction uni-axiale ont été réalisés sur des éprouvettes de même géométrie que dans le cas des monolithiques. Le raidisseur est sollicité de manière transversale comme le montre la figure 4.

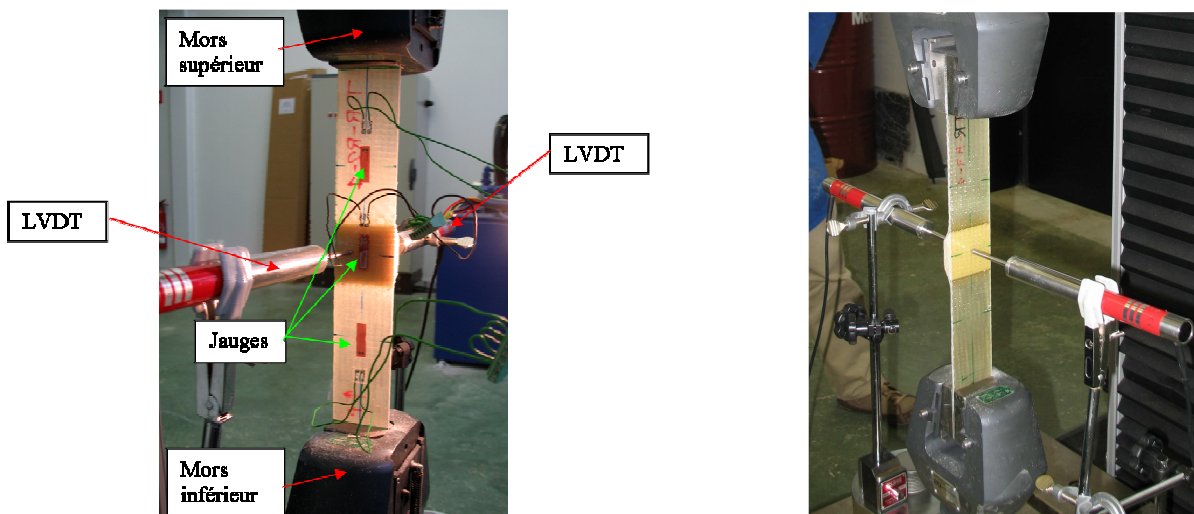


Fig. 4. essais de traction sur éprouvette raidie

Une instrumentation adaptée avec des jauges de déformation permet de mettre en évidence la répartition des déformations sur les 3 zones concernées : monolithique haut, raidisseur, monolithique bas. En outre, 2 capteurs de déplacement de type LDVT sont positionnés de manière à avoir une visualisation de l'évolution de l'épaisseur du raidisseur au cours de l'essai. Enfin afin de visualiser les délaminages, une forte source lumineuse placée au verso de l'éprouvette permet d'obtenir des photographies par transparence.

La figure 5 permet de comparer les performances mécaniques des structures auto-raïdiées et la référence monolithique. On constate que le comportement est profondément modifié aussi bien en ce qui concerne la partie linéaire élastique que pour le mode de rupture.

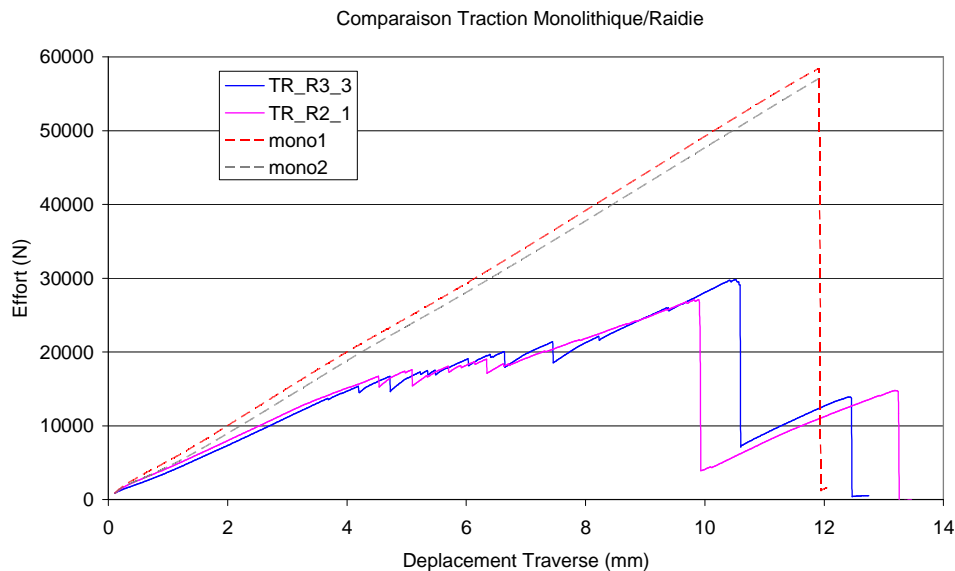


Fig. 5. comparaison entre monolithique et panneau raidi selon une traction uni-axiale

Sur la première partie de l'essai, la structure avec raidisseur est moins raide que pour la structure monolithique. En outre, alors que le matériau monolithique présente un comportement très linéaire jusqu'à rupture, la structure raidie propose un endommagement progressif jusqu'à atteindre la rupture complète. Cet endommagement progressif est issu de l'amorçage et de la propagation du délaminage induit par la présence du raidisseur au sein de l'empilement. La figure 6 montre l'évolution de ce délaminage par transparence. On remarque qu'après 2 minutes, le premier délaminage apparaît au pied d'encastrement du raidisseur. Cet instant correspond à un déplacement de la traverse de 4 mm environ (vitesse de déplacement de la traverse de 2 mm/min). Le fait que le délaminage s'amorce sur l'un ou l'autre des encastrements est totalement aléatoire et semble dépendre d'éventuelles accumulations de résine et/ou de défauts existant à cet endroit.

Les décollements successifs visibles sur la figure 6 se traduisent par des chutes locales de charge à cause du relâchement de contraintes inter-laminaires;

Enfin, on remarque que la rupture brutale qui intervient aux alentours de 10 mm correspond au décollement complet des deux parties de la structure nettement visible sur la photographie de la figure 6.

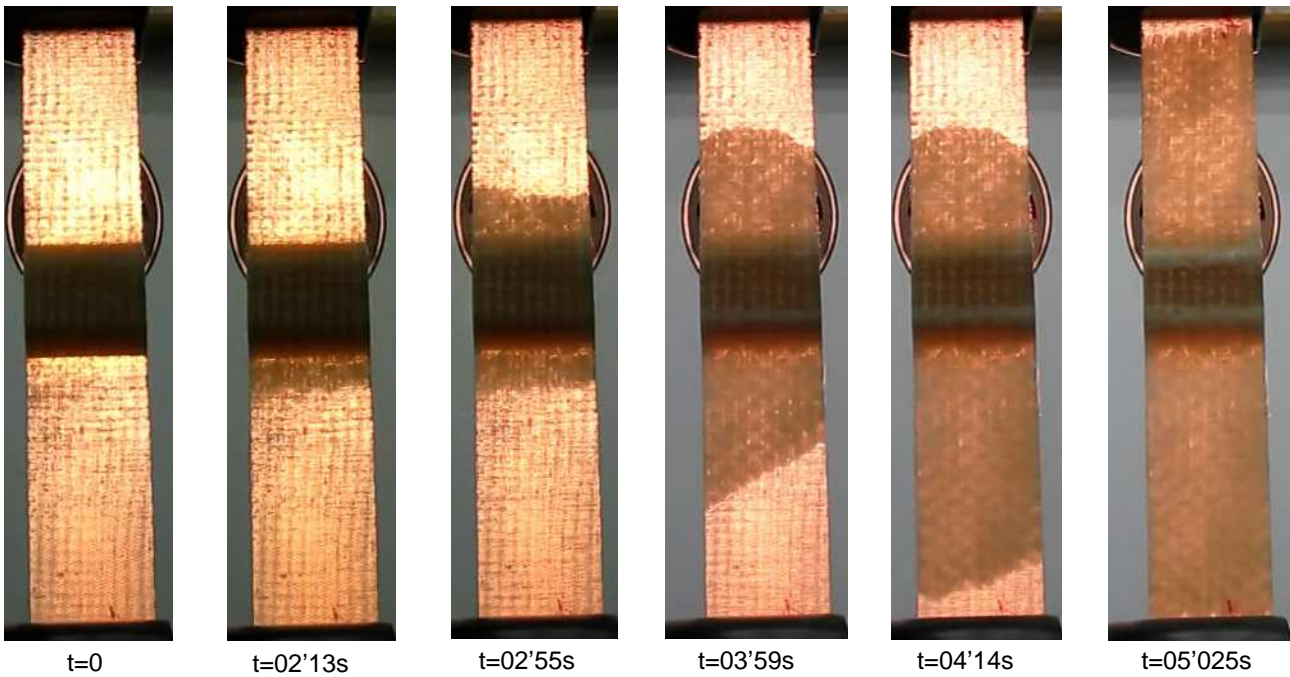


Fig. 6. évolution du délaminage au cours de l'essai de traction

Par ailleurs, le suivi de l'épaisseur du raidisseur par lvdv permet de comprendre la cinématique d'écrasement de la structure sous effort. La figure 7 montre que sous chargement, le raidisseur résiste bien dans la partie linéaire élastique ; la structure ne subit pas d'endommagement et son épaisseur reste constante. Dès lors que les premiers délaminages apparaissent, l'épaisseur commence à diminuer. Les pieds d'encastresments s'étant libérés, on voit apparaître une rotation de la partie supérieure du raidisseur. La mousse n'apporte aucune résistance face au rapprochement des deux peaux.

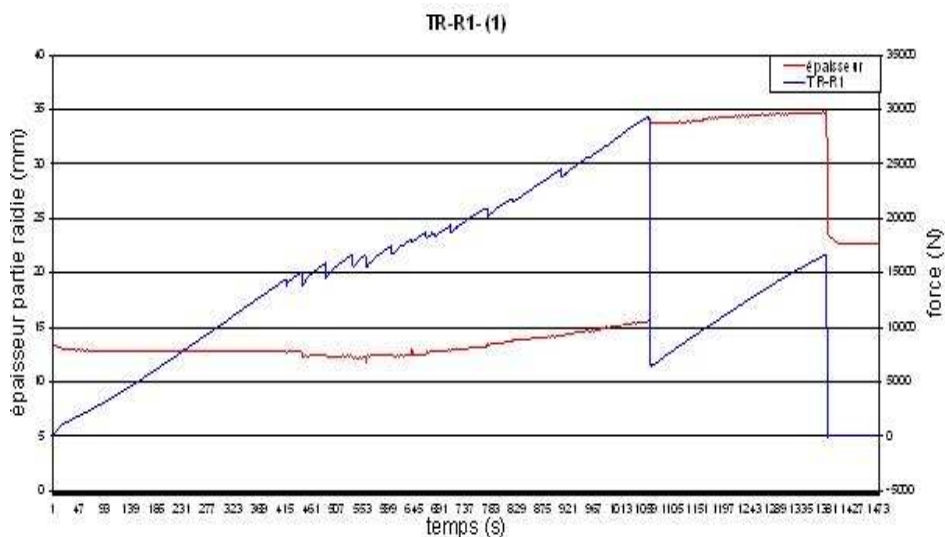


Fig. 7. évolution de l'épaisseur du raidisseur au cours de l'essai de traction

Néanmoins, lorsque les endommagements sont trop importants et que les délaminages se sont suffisamment propagés, les peaux se mettent à s'écarter jusqu'à la rupture finale qui se traduit par un saut dans la mesure de l'épaisseur.

4. Tenue à l'impact

Du fait de la grande taille des structures produites par infusion, la probabilité d'impact se révèle non négligeable et une compréhension des phénomènes mis en jeu dans ce type de structure a été abordée dans cette partie de l'étude.

On se place ici dans le cas d'un impact de faible énergie (10J) dont le point d'impact se situe au centre du raidisseur, sur la partie supérieure.

Le dispositif utilisé est une tour de chute IMATEK d'une capacité maximale de 4000J (100kg et 4 m de hauteur de chute) configurée pour les besoins de cette étude avec une masse mobile de 8kg.

Le système de fixation de l'éprouvette se compose de 2 plateaux mobiles troués permettant le clampage ferme de l'éprouvette sans pour autant l'écraser. L'impacteur est un hémisphère de 10mm de diamètre.

La figure 8 montre les dégâts subis par la structure. Les cercles représentent le système de clampage ; seule la partie intérieure est libre, le reste est considéré comme encasturé.

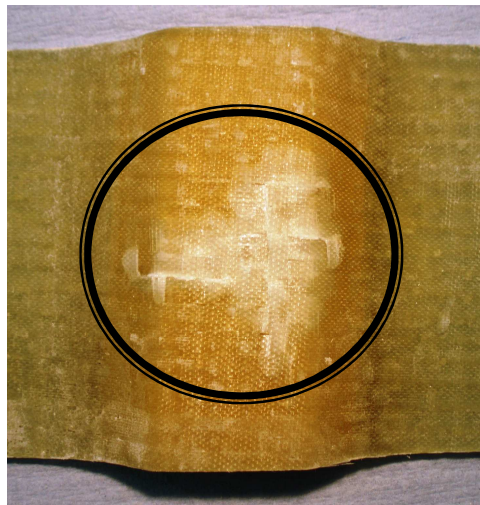


Fig. 8. endommagement suite à un impact de 10J

Au cours de l'impact, les évolutions de la charge et de la pénétration de l'impacteur sont enregistrées. La figure 9 permet la comparaison entre les comportements typiques sous impact d'une structure raidie et une structure monolithique.

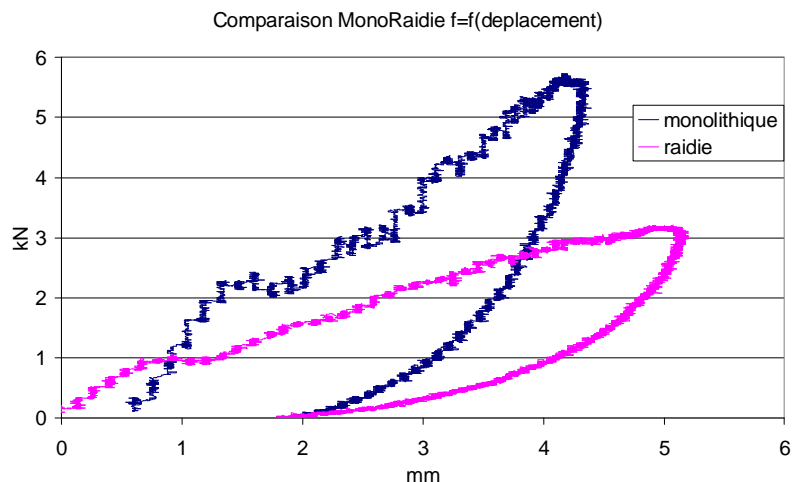


Fig. 9. comparaison de la charge en fonction du déplacement durant un impact

Aux vues de la zone d'impact, il est peu surprenant de remarquer que les performances la structure raidie soit nettement en dessous de celle de la structure monolithique. L'impacteur pénètre plus profondément dans la structure pour un effort nettement diminué. Le comportement global correspond à

celui classiquement observé pour une structure sandwich. Ainsi, la raideur dynamique est presque réduite de moitié.

L'irrégularité observée sur les 2 courbes après 1mm de pénétration de l'impacteur a été attribué aux effets de bord induis par le clampage. Il est probable que la dimension de la partie libre de la pièce impactée soit trop faible par rapport au reste des paramètres de l'essai. Une étude est en cours avec une largeur de clampage supérieure afin de vérifier la présence ou l'absence de ce phénomène.

5. Caractérisation post-impact

Afin de rendre compte des pertes de performances mécaniques suite à ce type d'impact, des essais de flexion 3 points ont été menés avant et après impact. On cherche ici à mettre en évidence le pourcentage de perte de performances en termes de rigidité de flexion et d'effort maximum admissible. Les essais de flexion 3 points représentés par la figure 10 sont particulièrement adaptés dans ce cas car ils sollicitent tout particulièrement le pied d'encrage du raidisseur en cisaillement inter-laminaire. L'écartement des appuis extérieurs ont été fixés à 150mm et la vitesse de descente de l'appui central est de 2mm/min. Afin de ne pas poinçonner le raidisseur, les efforts sont exercés sur la partie centrale par un appui plan.

Enfin, puisque la partie impactée se situe sur la face supérieure de l'éprouvette, celle-ci a du être retournée afin de ne pas solliciter directement cette zone en compression.

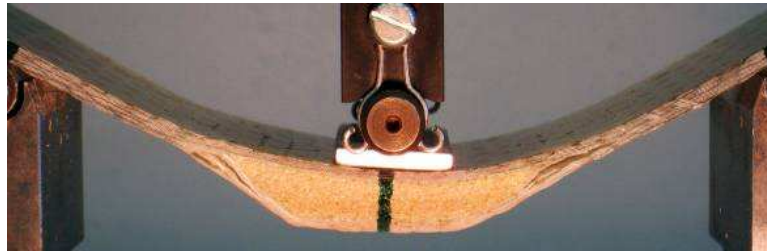


Fig. 10. fissuration sous flexion 3 points

Au cours de l'essai, les évolutions de la charge et du déplacement de la panne centrale ont été enregistrées et la figure 11 montre la différence typique de comportement suite à un impact de 10J.

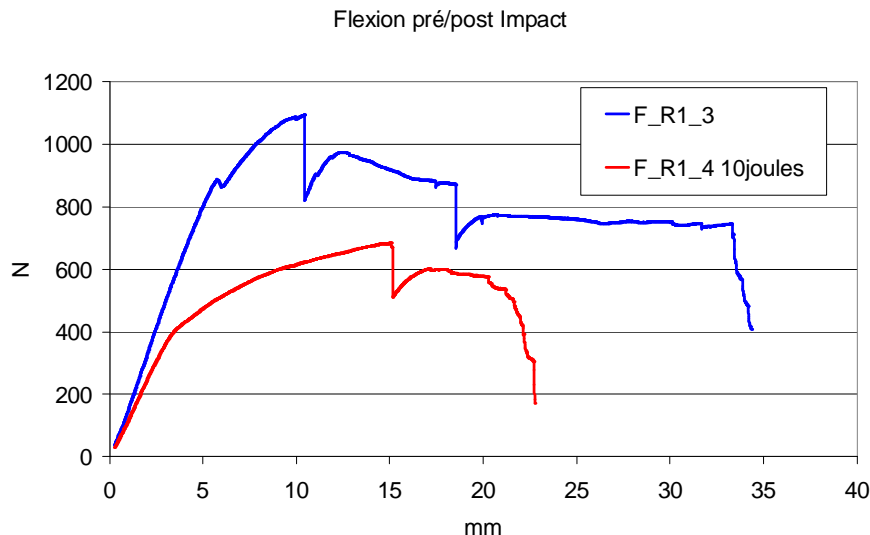


Fig. 11. effet d'un impact de 10J sur le comportement en flexion

Bien que l'impact n'ait pas atteint le pied d'encastrement du raidisseur mais uniquement la peau supérieure, le comportement mécanique suite à un impact se trouve nettement modifié. Alors qu'avant un impact, la structure propose un comportement très linéaire, après cet impact, le comportement est nettement moins performant avec un changement de rigidité aux alentours de 400N où le comportement endommageable apparaît.

Le tableau 1 donne les valeurs numériques issues de cette campagne d'essai. Aux vues de la géométrie particulière de l'éprouvette, il n'a pas été pertinent de parler de "module de flexion" ni de contrainte ; on parlera donc en rigidité de flexion et en effort admissible. On constate ainsi que l'effort maximum admissible est réduit de moitié alors que la rigidité initiale est réduite d'un quart.

	Rigidité de flexion (N/mm)	Pertes (%)	Effort Maximal (N)	Pertes (%)
Avant impact	160 ± 12	25%	1123 ± 46	45%
Après impact (10 J)	121 ± 7		654 ± 54	

Tableau. 1. perte de performances suite à un impact

On constate néanmoins que le mode de rupture est similaire dans les deux cas ; la rupture finale intervient par délaminage successif de l'interface comme le montre la figure 10.

Globalement la présence d'un impact entraîne une perte de rigidité locale au niveau de la peau supérieure qui aboutit à une plus grande souplesse face à une sollicitation de flexion. Par contre, l'amorçage et la propagation de la rupture finale n'est pas modifié par la présence de cet impact.

6. Conclusion

Le fait de rigidifier localement un panneau composite par un mini-raidisser mousse inclus dans l'empilement entraîne un comportement assez différent sous chargement. Ainsi, il a été montré dans cette étude que les performances en traction uniaxiale sont sensiblement inférieures à celles d'un monolithique et que le scénario d'endommagement est quant' à lui nettement différent. Le point de faiblesse de cette structure se situe au pied d'encastrement du raidisseur et c'est à partir de ce point qu'un délaminage s'amorce et aboutit à la ruine complète du composite.

En cas d'un impact de faible énergie, la résistance de la structure s'apparente plus au comportement d'une structure sandwich où l'impacteur pénètre profondément. En outre, les performances post-impact sont nettement pénalisées par ce type d'impact qui dégrade la peau supérieure.

Dès lors, alors que les propriétés en flexion dépendent de l'écartement des peaux et que la rigidité locale peut être améliorée de manière sensible, il est important de garder à l'esprit que l'introduction d'un mini-raidisser induit des concentrations de contraintes inter-laminaires non négligeables qui mènent rapidement à la ruine complète de la structure.

Les études actuelles portent sur le comportement de cette interface, notamment en mode 1. En outre, un modèle est en cours d'élaboration, on cherche à représenter le comportement sous impact de la structure et à exploiter les données issues du mode 1 pour proposer une représentation du délaminage.

Références

[1] Adrian C. Orifici, Iñigo Ortiz de Zarate Alberdi, Rodney S. Thomson, Javid Bayandor, "Compression and post-buckling damage growth and collapse analysis of flat composite stiffened panels", *Composites Science and Technology*, in press 2008

[2] R. Degenhardt, A. Kling, K. Rohwer, A.C. Orifici, R.S. Thomson, "Design and analysis of stiffened composite panels including post-buckling and collapse", *Computers and Structures* 86 (2008) 919–929