HAL
open science

Endommagement et dissipation thermique des matériaux composites sous compression dynamique

Sonia Sassi, Mostapha Tarfaoui

To cite this version:

Sonia Sassi, Mostapha Tarfaoui. Endommagement et dissipation thermique des matériaux composites sous compression dynamique. 13ème congrès de mécanique (CMM 2017), Apr 2017, Meknès, Maroc. hal-01728064

HAL Id: hal-01728064

https://hal.science/hal-01728064

Submitted on 9 Mar 2018

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.

Endommagement et dissipation thermique des matériaux composites sous compression dynamique

S. SASSI[1], M. TARFAOUI[2]

ENSTA Bretagne, FRE CNRS 3744, IRDL, F-29200 Brest, France

[1] sonia.sassi@ensta-bretagne.fr

[2] mostapha.tarfaoui@ensta-bretagne.fr

Résumé

Des essais de compression dynamique en utilisant la méthode des barres d'Hopkinson (SHPB) ont été effectués dans le but de caractériser le comportement dynamique des assemblages composites. Deux configurations d'essais de compression ont été étudiées: chargement dans le plan et hors plan. Une caméra IR a été également utilisée afin de suivre in situ et en temps réel la variabilité de la température au sein du matériau sollicité en compression rapide. Cela nous permettra de comprendre le comportement thermomécanique et thermodynamique du matériau utilisé. Il a été démontré qu'il existe une sensibilité du comportement dynamique à la vitesse de déformation dans les deux cas de chargement. De plus, cette étude a démontré l'existence du phénomène de dissipation de chaleur lors de l'endommagement du matériau. Cela nous permettra de définir, dans des prochains travaux, un bilan énergétique permettant de quantifier les éventuelles énergies produites à partir de l'énergie mécanique appliquée lors de l'essai dynamique.

Mots clefs : *Composite, compression dynamique, comportement thermomécanique, endommagement.*

1. Introduction

L'étude des matériaux composites à matrice organique a commencé il y'a plus d'un siècle et les efforts en vue de concevoir de nouveaux produits n'ont cessé d'être soutenus. Dans cette optique, les industries aéronautique, spatiale et navale sont de grands «consommateurs» de ce type de matériau alliant une faible densité à de bonnes performances mécaniques. Le succès de ces matériaux provient de la possibilité d'obtenir des propriétés multi-physiques en fonction des caractéristiques des phases constituantes. Les pièces composites sont souvent sollicitées par des chargements d'impact qui se produisent en production, pendant la maintenance ou en service [1]. Il a été démontré que leur comportement dynamique est fortement dépendant de la vitesse de chargement lors de l'impact [2]. Cependant, le développement de ces matériaux est limité par la méconnaissance de leur comportement lors d'une sollicitation dynamique rapide.

Par une sollicitation dynamique, il faut entendre sollicitations durant lesquelles les vitesses de déformation engendrées sont grandes ($>>1s^{-1}$). Dans le but de modéliser des problématiques d'impact et de rupture dynamique, il est nécessaire d'identifier le comportement dynamique des matériaux et leurs cinétique d'endommagement. Des chercheurs sont arrivés à modéliser l'endommagement et la déformation du composite au cours des essais dynamiques. Dans ce contexte des logiciels commerciaux tels que Abaqus ou LS-Dyna ont été testés sur la simulation de crash ou d'amerrissage de tronçons de fuselage ou de cabines d'hélicoptères [3]. Dans ces différentes simulations, le comportement dynamique semble être cohérent avec la réalité matériau mais les niveaux de vitesse au cours de la sollicitation dynamique que l'ont peut corréler à la dissipation d'énergie n'est pas très bien prédite très souvent à cause d'une mauvaise prévision des modes de rupture de la structure. Ce dernier point permet ainsi de mettre l'accent sur le manque de maturité des modélisations actuelles qui nécessitent dans le cas des structures complexes d'anticiper les résultats pour obtenir des résultats de simulation corrects. Les différents travaux réalisés sur le comportement dynamique des structures composites témoignent de la complexité du travail qu'il reste à parcourir avant de fournir à l'industriel un outil fiable et performant qui lui permettra la conception des pièces structurales en composites pour des sollicitations dynamique. Bien que de nombreux codes de calcul dynamique rapide soient présents sur le marché, une problématique importante est l'établissement d'un bilan énergétique de la structure en dynamique rapide permettant d'appréhender les échanges énergétiques de la structure en tenant compte de l'effet de la vitesse de déformation. En effet, lors de l'impact inélastique d'une structure composite, une partie de l'énergie cinétique est absorbée par le matériau pour provoquer les différents modes d'endommagement et une autre partie est dissipée sous forme de chaleur. Cette énergie dissipée provoque une élévation locale de température pouvant influer sur les propriétés des matériaux. Dans cette optique, plusieurs études se sont intéressés au suivi de la variation de la température au sein des polymères et non des composites au cours des essais dynamiques rapides en utilisant des instrumentations très spécifiques (détecteur IR, thermocouples avec un temps de réponse très rapide) [4]. Peu ou pas d'études se sont intéressées au suivi de la variabilité thermique du matériau composite (polymère + fibre) en dynamique rapide.

Dans cette étude, une attention particulière va être portée sur le suivi de changement de la température en temps réel de l'essai de compression dynamique des assemblages composites.

2. Protocol expérimental

Ce travail a pour objectif d'apporter une contribution aux travaux de recherche actuels afin de mieux comprendre le comportement thermodynamique des matériaux composites assemblés avec une couche adhésive soumis à une importante gamme de vitesses de déformation et notamment à des sollicitations de compression dynamique en utilisant la technique des barre d'Hopkinson SHPB (figure 1). Ce dispositif permet à la fois d'imposer un chargement avec des vitesses de déformation élevées, et d'effectuer les mesures

nécessaires à l'établissement d'une loi matériau, par la lecture des déformations dans les barres. Cette technique permet de mettre en œuvre différents types de chargements : traction, compression et torsion. Nous nous intéressons ici au dispositif de compression.

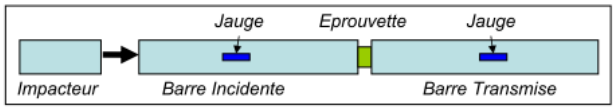


Figure 1: Schéma de principe des barres de Hopkinson en compression.

Ce travail propose, au travers de l'étude des assemblages composites, une méthodologie de suivi du phénomène de dissipation de chaleur suite à l'endommagement du matériau dans le plan et hors plan. Les spécimens utilisés sont de forme cubique et constitué chacun de 2 stratifiés (verre/polyester) bidirectionnelle (+45/-45) assemblés par une couche adhésive (colle époxyde) d'épaisseur 2 mm, figure 2.

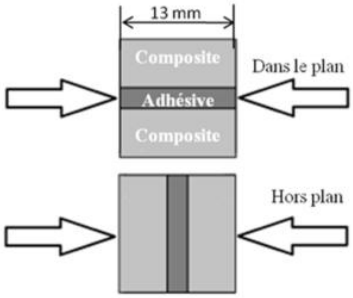


Figure 2: Spécimen

Une caméra infrarouge de type FLIR SC7000 a été utilisée dans le but de suivre la variabilité de la température durant le processus de compression dynamique.

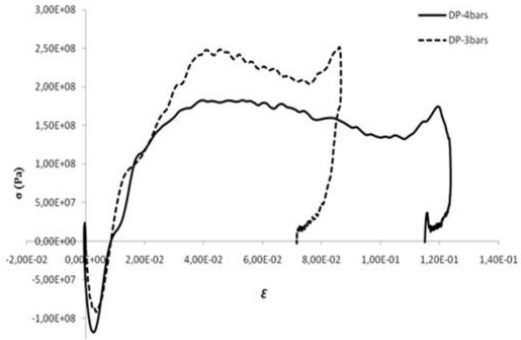
3. Résultats

3.1 Essais dans le plan

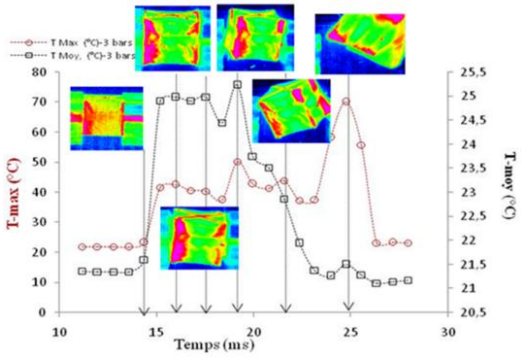
La figure 3 illustre les variabilités des réponses dynamique et thermique du matériau en variant la pression d'impact en temps réel de l'essai de compression dynamique.

Tout d'abord, nous pouvons constater une augmentation de la déformation dynamique du matériau avec l'augmentation de la pression d'impact. Par contre, une réduction de la contrainte maximale est marquée en augmentant la pression d'impact. Cela démontre que la pression d'impact a une incidence significative sur le comportement dynamique du matériau sollicité dans le plan.

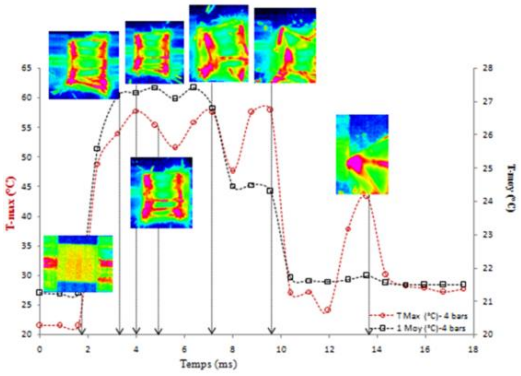
En ce qui concerne la réponse thermique, nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux variations des températures moyenne et maximale au sein du matériau en fonction du temps de l'essai de compression. Comme le montrent les figures 3.b et 3.c, une augmentation considérable des deux types de température avec la pression d'impact (Tmax: 60 contre 50 °C; Tmoy: 28 contre 25 °C en utilisant une pression 4 bars par rapport à 3 bars). Ce comportement met en évidence la sensibilité des matériaux composites à la vitesse de déformation. De plus, nous pouvons constater l'apparition des scénarii d'endommagement en coïncidence avec les extremums des profils thermiques maximale et moyenne. Les clichés thermiques obtenus en utilisant la caméra IR montrent que l'endommagement n'a concerné que les plis et non la couche adhésive dans le cas de sollicitation dans le plan.



(a) Réponse dynamique



(b) Température moyenne et maximale, P=3bars



(c) Température moyenne et maximale, P=4bars

Figure 3: Réponse mécanique et thermique, dans le plan

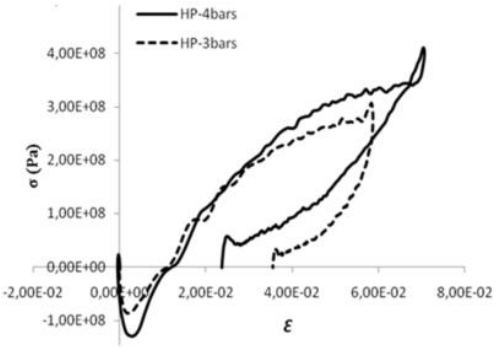
L'évolution des températures ne peut s'expliquer que par le phénomène de dissipation d'énergie lors de la sollicitation de compression dynamique. Cet aspect met en relief le couplage thermodynamique des composites.

3.2 Essais hors plan

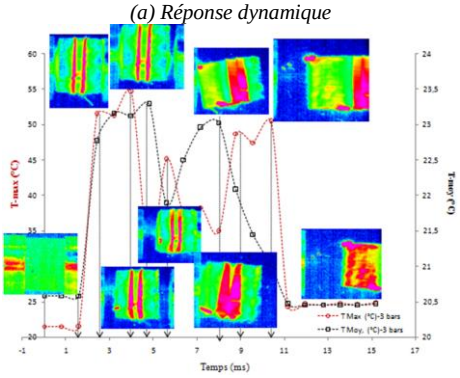
Dans le cas de sollicitation hors plan, les spécimens sont sollicités suivant leurs épaisseurs totales en utilisant deux pressions différentes (3 et 4 bars). La loi de comportement dynamique ainsi que les variations des températures moyenne et maximale sont données dans la figure 4.

Contrairement au cas de chargement dans le plan, l'ensemble de contrainte maximale mais et de déformation dynamiques augmentent de façon

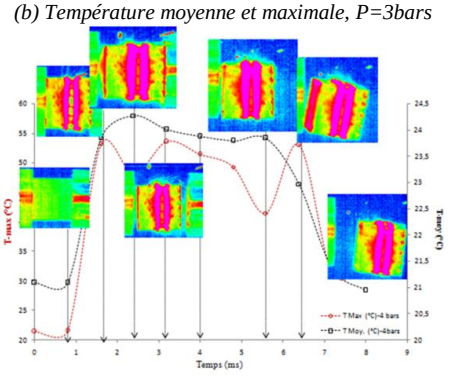
significative avec la pression dans le cas de sollicitation hors plan. A partir des clichés IR, nous pouvons constater que l'endommagement a eu lieu que dans la couche adhésive par contre la partie "peau" reste saine cette fois ci. Ce résultat est marqué de façon plus prononcée en utilisant une pression 4 bars par rapport à 3 bars. Ce comportement souligne la sensibilité des matériaux composites à la vitesse de déformation dans le cas de chargement hors plan où la réponse de la résine est prépondérante. En effet, c'est essentiellement les comportements viscoélastique et viscoplastique de la résine qui engendre cette sensibilité.



(a) Réponse dynamique



(b) Température moyenne et maximale, P=3bars



(c) Température moyenne et maximale, P=4bars

Figure 4: Réponse mécanique et thermique, hors le plan

De la même façon que dans le cas du chargement dans le plan, l'endommagement persiste au niveau des extremums des courbes thermiques lors de l'essai de compression dynamique mettant en évidence la possibilité de définir un couplage thermodynamique des composites en dynamiques rapides.

4. Conclusion

Cette étude a pour but la caractérisation qualitative du comportement thermomécanique des assemblages composites collés lors d'un essai de compression dynamique dans le plan et hors plan. L'ensemble des réponses dynamiques et thermiques prouve que l'endommagement se concentre au niveau des plis dans le cas de chargement dans le plan et au niveau de la zone adhésive dans le cas de chargement hors plan.

Cette étude a souligné la sensibilité des matériaux composites à la vitesse de déformation notamment dans le cas de chargement hors plan où la réponse de la résine est prépondérante.

Nous pouvons conclure qu'il existe une forte coïncidence entre l'apparition des scénarii d'endommagement et la variabilité thermique en temps réel de l'essai de compression. Cet aspect démontre l'existence de phénomène de dissipation de l'énergie causée bien évidement par le processus de l'endommagement du matériau lors de l'essai dynamique. Ici, nous avons mis en place une amorce de caractérisation thermodynamique pour poser les bases d'un modèle futur plus complexe du couplage thermomécanique du matériau en cours d'une sollicitation dynamique. Dans un premier lieu, on cherchera à identifier l'effet de la vitesse de déformation sur l'énergie mécanique apportée en chaleur. Une des questions fondamentales de cette étude à laquelle il faudra apporter des réponses est la relation qui existe entre l'endommagement et l'effet de la dissipation de chaleur dans le matériau.

Références

[1] Tarfaoui M., Choukri S., Neme A. *Damage kinetics of glass/epoxy composite materials under dynamic compression*, Journal of Composite Mataterials, 43, 1137-1154 (2009).

[2] Tarfaoui M., Choukri S., Neme A.: *Effect of fibre orientation on mechanical properties of the laminated polymer composites subjected to out-of-plane high strain rate compressive loadings*, Composite Science and Technology, 68, 477-485 (2008).

[3] Tarfaoui M., *Experimental Investigation of Dynamic Compression and Damage Kinetics of Glass/Epoxy Laminated Composites under High Strain Rate Compression*. Book: Advances in Composite Materials. Chapter 16 pp 359-382, 2011.

[4] D.RITTEL, *Experimental investigation of transient thermoelastic effects in dynamic fracture*, Int. J. Solids. Structures (1998) 2259-2973.

Remerciements

Nous adressons ici nos remerciements à la direction générale de l'armement (DGA) pour le soutien moral et financier de ce projet dans le cadre d'un financement MRIS.