



**HAL**  
open science

# Absorption d'énergie: un modèle de fragmentation diffuse et localisée pour le crash de composite carbone/epoxy

Floran Tostain, Christine Espinosa, Samuel Rivallant

► **To cite this version:**

Floran Tostain, Christine Espinosa, Samuel Rivallant. Absorption d'énergie: un modèle de fragmentation diffuse et localisée pour le crash de composite carbone/epoxy. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01517289

**HAL Id: hal-01517289**

**<https://hal.science/hal-01517289>**

Submitted on 3 May 2017

**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.

Public Domain

# Absorption d'énergie: un modèle de fragmentation diffuse et localisée pour le crash de composite carbone/epoxy

F. Tostain<sup>1</sup>, C. Espinosa<sup>1</sup>, S. Rivallant<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Toulouse ; ISAE, INSA, UPS, Emac ; ICA (Institut Clément Ader), ISAE (Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace) , {floran.tostain,christine.espinosa,samuel.rivallant}@isae.fr

---

**Résumé** — Cet article décrit le développement d'un modèle numérique d'écrasement de plaques composites carbone/époxy à faible vitesse. L'amélioration principale apportée est la proposition d'un modèle de comportement de matériau qui distingue l'effet d'endommagements diffus et localisés à l'échelle du pli. Le modèle numérique, sous Impetus-AFEA, permet de reproduire l'écrasement de plaques stratifiées (0°/90°) en mode mixte, en générant à la fois fragmentation (localisée et en cœur de pli) et évaselement. Le modèle reproduit quantitativement de façon satisfaisante l'absorption d'énergie.

**Mots clés** — crash, écrasement, modélisation numérique, stratifié carbone/époxy

---

## 1. Introduction

L'introduction massive des matériaux composites dans les structures aéronautiques, de par leur comportement relativement fragile, pose la question de leur tenue à l'écrasement, et plus particulièrement de leur capacité d'absorption d'énergie lors de l'endommagement. En effet, lors d'un atterrissage dur (vitesse verticale trop élevée ou problème de sortie de train d'atterrissage), la partie basse de la structure de l'aéronef doit permettre l'absorption contrôlée de l'énergie d'impact pour assurer la protection des passagers et du reste de la structure. Pour prendre en compte les aspects vulnérabilité au crash des structures composites dès la phase de conception et réduire les tests, très coûteux, l'approche "virtual testing" est incontournable. Concernant la modélisation au crash des structures composites, on observe dans la littérature un certain nombre d'études traitant de modèles à l'échelle macroscopique [1,2], qui cherchent à reproduire l'énergie absorbée et sont peu prédictifs sur les modes de ruine associés. Des modèles micro qui reproduisent les modes de ruine absorbant l'énergie [3,4] sont quant à eux gourmands en temps de calcul s'il s'agit de représenter des structures de dimension réelle, et nécessitent souvent l'identification de nombreux paramètres.

Cette étude s'intéresse à la modélisation du comportement de stratifiés composés de plis unidirectionnels en carbone-époxy, soumis à une sollicitation d'écrasement à basse vitesse, à l'échelle mésoscopique. Des études expérimentales au sein du laboratoire [5] ont montré la pertinence de cette échelle pour représenter correctement le comportement du matériau pendant l'écrasement.

Le modèle numérique proposé est basé sur la réunion de deux modèles numériques similaires existants à l'ICA, utilisant des stratégies différentes de représentation des modes de ruine considérés être à l'origine de la dissipation d'énergie. Un modèle de comportement avec endommagement diffus continu anisotrope élastique inspiré du modèle de Matzenmiller-Lubliner-Taylor (MLT) [6,7] a été repris et amélioré par Ilyas [8]. Ce modèle de comportement a été couplé avec des fonctionnalités avancées de fragmentation numérique du code de calcul Impetus Afea pour dissiper l'énergie d'écrasement (transformation d'éléments finis en particules). Un modèle de traitement spécifique de l'écrasement localisé en extrémité de pli a été réalisé par l'implémentation d'un concept de Free-Face-Crushing (FFC) [9] associé à une loi matériau de type Mean Crushing Stress (MCS) [10]. Ces deux derniers modèles ont utilisé une fonctionnalité de suppression d'élément fini pour représenter l'évacuation de la matière pulvérisée en bout de pli. Les deux modèles numériques ont par ailleurs utilisé des éléments cohésifs pour représenter les délaminages.

L'objet de ce travail est de montrer que l'association des deux modèles dans une unique loi de comportement permet d'améliorer les résultats obtenus dans les études précédentes [8,9,10].

## 2. Essais de référence

Des essais d'écrasement quasi-statique en déplacement imposé ont été réalisés afin de caractériser la MCS [10]. Les éprouvettes sont des plaques stratifiées  $(0^\circ)_8$  et  $(90^\circ)_8$  de 8 couches d'UD carbone/époxy préimprégné T700/M21. L'épaisseur d'une couche est de 0,25 mm. Les dimensions des éprouvettes sont 60 mm x 10 mm x 2 mm. Une extrémité de chaque éprouvette est chanfreinée pour favoriser l'initiation de l'écrasement.

De la même manière, des essais d'écrasement dynamique à vitesse initiale faible (2 à 9 m/s sous une tour de chute) ont été réalisés [11] dans le but d'observer les mécanismes d'endommagement impliqués dans l'écrasement par impact (Figure 1.). Cela a permis le développement et la validation d'un modèle numérique des essais d'écrasement. Ces éprouvettes ont les mêmes caractéristiques que les précédentes sauf que les dimensions et drapages sont différents. Le drapage utilisé est  $[(0^\circ/90^\circ)_4]_{\text{sym}}$  (16 couches), avec les dimensions suivantes : 160 mm x 60 mm x 4 mm.

Parmi tous ces essais, trois essais expérimentaux d'écrasement de plaques composite carbone/époxy ont été retenus afin de valider le modèle numérique et le modèle mixte de comportement : deux essais quasi-statiques et un essai dynamique en chute libre sous une masse ajoutée de 207 kg de pour une vitesse initiale de 9 m/s.

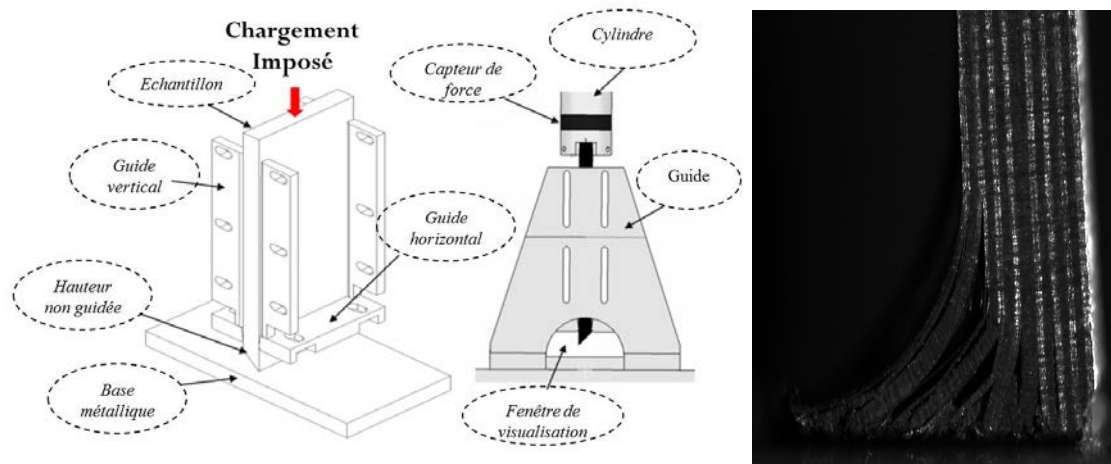


Figure 1 – Montage d'essai de crash et plaque en cours d'écrasement

## 3. Modèle Numérique

Le modèle numérique des essais décrits précédemment est développé sous Impetus-AFEA. Ce modèle, se veut être un « modèle de compréhension » au stade actuel de l'étude. Il s'agit d'un modèle pseudo-2D (3D avec un seul élément dans la profondeur) qui sera amené à évoluer en 3D avec l'intégration de plis à  $\pm 45^\circ$ . L'épaisseur de la structure en profondeur a été choisie égale à l'épaisseur d'un pli.

### 3.1 Modèle matériau

Notre modèle matériau distingue le comportement dans les plis de la plaque stratifiée (loin du plan d'écrasement) et le comportement en bout de pli (au contact du plan).

- Le comportement dans les plis est basé sur le modèle d'endommagement diffus d'Ilyas [8]. La spécificité de cette loi matériau d'endommagement continu anisotrope élastique est le couplage de l'endommagement par les potentiels thermodynamiques des mécanismes individuels de ruine identifiés à l'échelle mésoscopique (modes de ruine fibre ou matrice).

- Le comportement en bout de pli est basé sur une loi d'écrasement spécifique à contrainte constante (MCS) et sur le principe de face libre (FFC) [10]. Ce comportement reproduit la proportionnalité entre la force d'écrasement et le nombre de plis en contact avec le socle. Un comportement différencié est introduit à rupture pour les plis à  $0^\circ$  et à  $90^\circ$ , afin de représenter l'évasement local des plis à  $90^\circ$ , et par voie de conséquence d'amorcer le délaminage entre des plis d'orientations différentes. Cela permet la représentation de l'écrasement localisé des fibres et de la résine (fragmentation avec débris de très petite taille) au niveau de la zone de contact.

### 3.2 Modélisation appliquée au cas de l'écrasement d'une plaque stratifiées ( $0^\circ/90^\circ$ )

Le modèle numérique proposé utilise un maillage de chaque pli du stratifié avec des éléments finis 3D isogéométriques, et un élément dans l'épaisseur de chaque pli. L'utilisation d'éléments cohésifs entre chaque pli d'orientation différente permet de représenter le délaminage et donc l'évasement des plis. La gestion des contacts entre plis, débris et parties du montage (guides, socle d'écrasement) est automatique et permet d'introduire un frottement différencié selon les zones en contact. Les modèles matériau présentés précédemment sont utilisés partout dans la plaque qui s'écrase.

La plaque est guidée dans sa partie supérieure, et l'écrasement est géré par contact avec le socle d'écrasement (Figure 2.). La simulation des trois cas d'essais retenus est présentée dans ce travail.

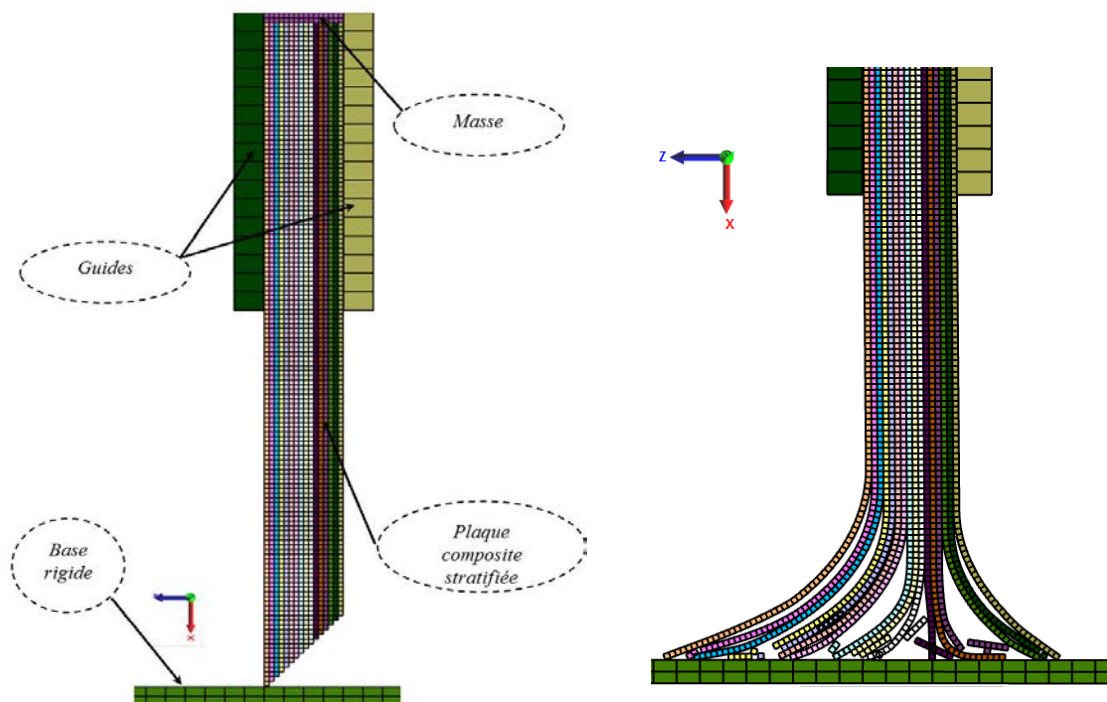


Figure 2 – Présentation du modèle  $[(0^\circ/90^\circ)_4]_{\text{sym}}$  avant et pendant l'écrasement

Une comparaison entre essais et simulations est effectuée à partir de la courbe force-déplacement qui est directement en lien avec l'énergie absorbée par la plaque. Le modèle décrit aussi l'ensemble des phénomènes identifiés à l'échelle mésoscopique [10] : délaminage entre plis, fragmentation localisée, création de débris par rupture des plis loin de la zone de fragmentation localisée,... mais aussi une bonne corrélation à partir des courbes force-déplacement des essais présentés précédemment.

## Références

- [1] L. Greve, A.K. Picket, F. Praven. Experimental testing and phenomenological modelling of the fragmentation process of braided carbon epoxy composite tubes under axial and oblique impact, *Composite Part B*, Vol.39, pp. 1221-1232, 2008.
- [2] C. McGregor, R. Reza Vaziri, A. Poursartip, X. Xiao. Simulation of progressive damage development in braided composite tubes under axial compression. *Composite Part A*, Vol 38(11), pp. 2247–2259, 2007.
- [3] S.T. Pinho, P.P. Camanho, M.F. de Moura. Numerical simulation of the crushing process of composite materials. *International Journal of Crashworthiness*, Vol. 9(3), pp. 263-276, 2004.
- [4] A. Caporale, R. Luciano, E. Sacco. Micromechanical analysis of interfacial debonding in unidirectional fiber-reinforced composites. *Computers & Structures*, Vol. 84, pp. 2200-2211, 2006.
- [5] D. Guillon, S. Rivallant, JJ. Barrau, C. Petiot, P. Thévenet, N. Pechnik. Initiation and propagation mechanisms of progressive crushing in carbon-epoxy laminated plates. *ECCM-13*, Stockholm, Sweden, June 2008.
- [6] A. Matzenmiller, J. Lubliner, R.L.Taylor. A constitutive model for anisotropic damage in fiber-composites. *Mechanics of Materials*, Vol. 20, pp. 125–152, 1995.
- [7] J.R. Xiao, B.A. Gama J.W. Gillespie Jr. Progressive damage and delamination in plain weave S-2 glass/SC-15 composites under quasi-static punch-shear loading. *Composite Structures*, Vol. 78/2, pp. 182-196, 2007.
- [8] M. Ilyas. Damage modeling of carbon epoxy laminated composites submitted to impact loading. PhD thesis, Université de Toulouse, France, 2010
- [9] H.A. Israr, S. Rivallant, C. Bouvet, JJ. Barrau. Finite Element simulation of 0°/90° CFRP laminated plates subjected to crushing using a free-face-crushing concept. *Composite Part A: Applied Science and Manufacturing*. Vol. 62, pp 16-25, 2014.
- [10] H.A. Israr, S. Rivallant, JJ. Barrau. Experimental characterization of mean crushing stress of carbon-epoxy plies. *Composite Structures*, Vol. 96, pp. 357-364, 2013.
- [11] A.V. Duong, S. Rivallant, JJ. Barrau, C Petiot, B Malherbe. Influence of speed on the crushing behavior of composite plates. *ACCM-7*, 15-18 November 2010, Taipei, Taiwan.