

Etude du comportement en compression sens Z d'un composite épais Cas d'un composite C/C aiguilleté

Study of the Z-direction compression behaviour of a thick composite Case of a needled C/C composite

Florent Bouillon¹, Gael Bouchy¹ et Raphael Denis²

1 : Safran Ceramics, a technology platform of Safran Tech,
105 avenue Marcel Dassault 33700 Mérignac , France
e-mail : florent.bouillon@safrangroup.com , gael.bouchy@safrangroup.com

2 : Safran Landing Systems,
69100 Villeurbanne, France
e-mail : raphael.denis@safrangroup.com

Résumé

Les composites Carbone / Carbone, utilisés en aéronautique dans le domaine du freinage et sont devenus incontournables. Le comportement en compression hors-plan de ces matériaux est central dans la maîtrise de la performance du freinage, que de la durée de vie en usure. Pour cela, il est nécessaire de caractériser au mieux le comportement de ces matériaux sous cette sollicitation. Le matériau étudié est constitué d'une préforme textile avec un renfort de fibres en Z obtenu par aiguilletage. Cette préforme est densifiée par une matrice pyrocarbone à l'aide d'un réacteur CVI (Chemical Vapor Infiltration). L'étude porte sur la compréhension et la caractérisation du comportement en compression hors plan de ce matériau. Les essais de caractérisation sont multi-instrumentés par corrélation d'image et émissions acoustiques. La méthode de dépouillement, ainsi que l'analyse des mécanismes de ruines présentées ont été mises au point afin d'alimenter les modélisations du comportement des puits de chaleur.

Abstract

Carbon/carbon composites, used in aeronautics in the field of braking, have become indispensable. The out-of-plane compression behaviour of these materials is central to controlling braking performance and wear life. To achieve this, it is necessary to characterise the behaviour of these materials under this stress. The material studied consists of a textile preform with a Z-shaped fibre reinforcement obtained by needling. This preform is densified with a pyrocarbon matrix using a CVI (Chemical Vapor Injection) reactor. The study focuses on understanding and characterising the out-of-plane compression behaviour of this material. The characterisation tests are multi-instrumented using image correlation and acoustic emissions. The stripping method and the analysis of the failure mechanisms presented were developed in order to provide input for modelling the behaviour of heat sinks.

Mots Clés : compression, corrélation d'image numérique, émission acoustique, composites carbone / carbone,
Keywords : compression, digital image correlation, acoustic emission, carbon/carbon composites

1. Introduction

Les composites carbone / carbone sont devenus le matériau de référence dans le cadre du freinage aéronautique depuis la fin des années 80 [1]. La capacité des freins en carbone-carbone à fournir une performance de freinage fiable et constante sous des conditions de température intense améliore la sécurité aéronautique, en particulier lors des atterrissages d'urgence où une efficacité maximale des freins est cruciale.

Ces matériaux composites sont obtenus par l'assemblage d'une préforme fibreuse en carbone et d'une matrice carbone obtenue dans notre cas par « Chemical Vapor Infiltration ». Les matériaux ainsi obtenus offrent une capacité calorifique importante associée à des propriétés mécaniques et tribologiques stables en température, leur donnant un avantage important vis-à-vis des matériaux métalliques [2]. De plus la densité faible de ces matériaux est un atout important dans le cadre de l'aéronautique. Les composites ainsi obtenus sont de fortes épaisseurs (> 20 mm).

Une bonne maîtrise du comportement sens Z et donc de la raideur dans cette direction est nécessaire [3] & [5].

L'étude proposée est une caractérisation en compression du matériau dans la direction sens Z par des essais instrumentés en corrélation d'image numérique (CIN) et en émission acoustique (EA).

2. Présentation du matériau

Le matériau composite carbone/carbone étudié est produit par Safran Landing Systems pour des applications de freinage aéronautique. Ce matériau est un stratifié $[0^\circ / \alpha / -\alpha]_n$ aiguilleté [4,5]. L'élaboration de ce matériau se fait en plusieurs étapes. Dans un premier temps, il est nécessaire d'élaborer la préforme. Pour cela, les fibres sont assemblées par paquets orientés dans la même direction, on parle alors de fils ou de torons. Les torons juxtaposés forment un pli unidirectionnel et plusieurs plis sont empilés les uns sur les autres avec des orientations différentes pour former une strate $[0^\circ / \alpha / -\alpha]$. Les strates sont empilées pour former la préforme. Cette préforme est aiguilletée afin de transférer des fibres dans la direction Z et ainsi obtenir une structure 2.5D [6].

Puis l'étape suivante est celle de densification, il s'agit de l'infiltration de la matrice de pyrocarbone. Cette opération est réalisée à l'aide d'un procédé isotherme-isobare d'infiltration chimique en phase vapeur (I-CVI). Ce procédé correspond au dépôt de la matrice à très haute température (environ 1000°C) à partir du craquage d'hydrocarbures (ex : méthane, propane...). La porosité résiduelle de notre matériau est de l'ordre de 15% [5].

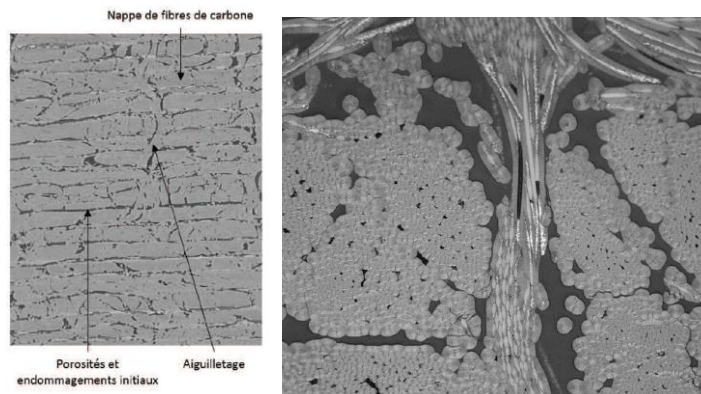


Fig. 1. Coupe morphologique du matériau de l'étude [3-4]

Au vu de sa méso structure et en particulier de l'aiguilletage le comportement du composites C/C en compression dans l'épaisseur est particulier et nécessite d'être étudié en détails [3]. Plusieurs études sont déjà disponibles [3], [7-9] sur des matériaux proches utilisant différents protocoles d'essais, types d'éprouvettes et d'instrumentation. Notre étude se place dans le cadre de la réalisation d'essais sur des machines « classiques », sur des éprouvettes pouvant être prélevées dans des pièces issus de cycle de production. Le domaine de l'étude est en particulier focalisé sur les premiers endommagements correspondant aux domaines de sollicitation dans le cadre d'une application de freinage.

3. Présentation du protocole d'essai

Les essais de compression sont réalisés sur des cubes de 16 mm de côté. Une spécification stricte du parallélisme des faces est appliquée pendant la phase de l'usinage. Les éprouvettes sont positionnées entre deux plateaux. La maîtrise de la mise en chargement est un élément clef dans le cadre de ces essais [3]. Pour cela, le plateau inférieur est rotulé afin d'assurer le parallélisme entre les faces. La « qualité » du chargement est validée à l'aide de la corrélation d'image numérique.

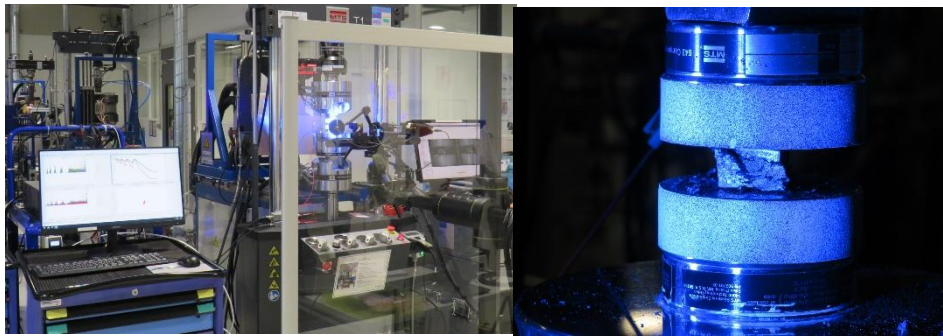


Fig. 2. Présentation du moyen d'essai et de l'instrumentation

Afin de disposer d'une information plus complète sur le comportement du cube, l'angle de vue de la CIN est sélectionné afin que deux faces soit visibles en plus des plateaux d'essais.

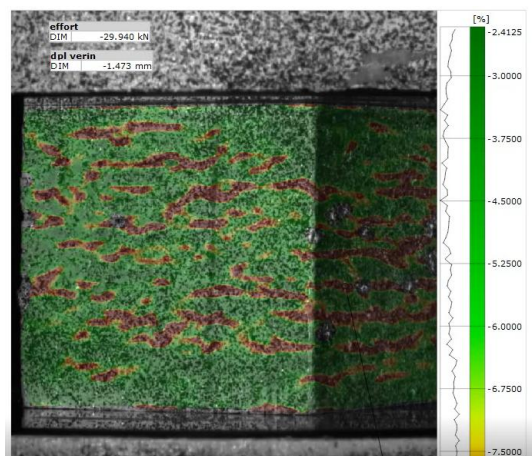


Fig. 3. Instrumentation Corrélation Image face & Tranche du cube

En complément, l'émission acoustique est utilisée afin de déterminer les seuils et la cinématique d'endommagement. Les capteurs sont positionnés sur l'outillage, et un filtre à 45 db est appliqué.

Le protocole de chargement utilisé est un chargement statique cyclique jusqu'à rupture.

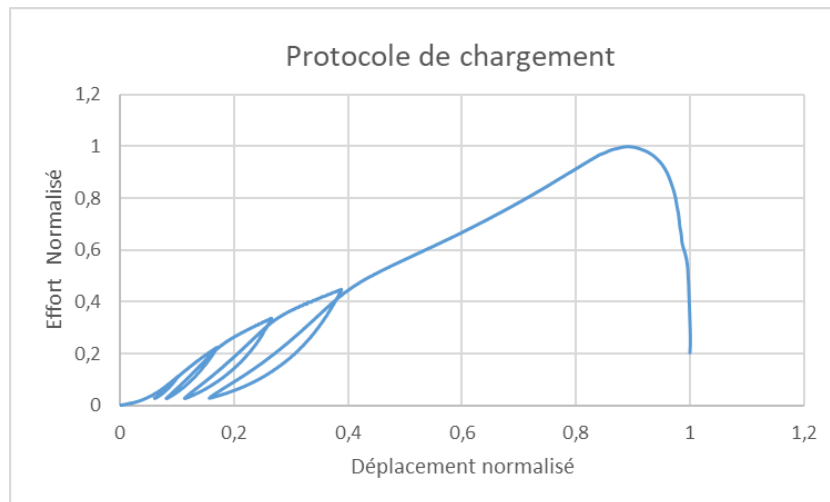


Fig. 3. Protocole de chargement

4. Principaux résultats

Dans un premier temps, une analyse de la rupture est réalisée. Les faciès de rupture obtenus sont conformes à la littérature et à l'expérience du groupe safran sur ces matériaux.



Résultats essais

Schéma du faciès de rupture théorique suivant [9]

Fig. 2. Faciès de rupture typique

Dans un deuxième temps, la détermination du seuil de premier endommagement est réalisée, en s'appuyant sur la courbe de comportement, l'émission acoustique et la corrélation d'images. Les composites C/C aiguilleté 2.5 D sont des matériaux ayant une méso structure plutôt complexe avec un niveau de porosité élevée et des fissurations en fin de cycle de production. Ce niveau de porosité et de fissuration est important pour obtenir le comportement élastique endommageable souhaité pour notre matériau. De plus, le moyen de fabrication (I-CVI), implique que le matériau a des contraintes thermiques internes résiduelles en fin de cycles de fabrication. Pour l'ensemble de ces

raisons, la notion de premier endommagement est difficile à définir pour ce type de matériau. Néanmoins, l'objectif est de définir un niveau d'endommagement qui permette une utilisation de notre matériau compatible de la durée de vie de notre application. Ce niveau appelé seuil de premier « endommagement significatif » est déterminé dans cette étude pour une sollicitation en compression.

5. Perspectives

Après, avoir finalisé l'étude détaillée de la raideur en compression sens Z, élément indispensable à la compréhension du comportement en freinage de nos disque C/C, la suite de l'étude consiste à l'élaboration complète de cinématique d'endommagement en compression jusque-là rupture. L'objectif est de faire un lien avec la densité d'aiguilletage mais aussi le niveau de porosité.

Remerciements

Les travaux ont été réalisés dans le cadre d'études menées en collaboration avec Safran Landing Systems. Les matériaux ont été fabriqués et fournis par Safran Landing Systems. Les essais ont été réalisés par le laboratoire de caractérisation de Safran Ceramics.

Références

- [1] I. L. Stimson, Design and engineering of carbon brakes, Mathematical and Physical Sciences, 1980
- [2] E. Fitzer, The future of carbon-carbon composites, Carbon 25 (2), 1987
- [3] T. Voirin, « Etude du comportement mécanique et de l'endommagement des composites C/C à basses et hautes températures », Ph.D. thesis, INSA Lyon, 2021
- [4] A. Raude (2018) – « Modélisation thermomécanique d'un composite carbone/carbone à texture complexe », Ph.D. thesis, Université de Bordeaux 2018
- [5] M. Champagne, Endommagement utile et dialogue surface/volume : Investigations numérique et expérimentale du comportement des composites C/C sous sollicitations tribologiques, Ph.D. thesis, INSA Lyon, 2013
- [6] M. Chaudey, Analyse de l'aiguilletage de filaments de Polyacrylonitrile oxydé : mise en place d'une stratégie numérique et expérimentale, Ph.D Thesis, INSA de Lyon, 2022
- [7] J. Zhang, R. Luo, Q. Xiang, C. Yang – Compressive fracture behaviour of 3D needle-punched carbon/carbon composites – Materials Science and Engineering: A, Volume 528, Issue 15, 15 June 2011, Pages 5002-5006
- [8] Q. Yuan, Y. Li, H. Li, S. Li, L. Guo – Strain rate-dependent compressive properties of C/C composites – Materials Science and Engineering: A, Volume 485, Issues 1–2, 25 June 2008, Pages 632-637
- [9]: F. Wan, R. Liu, Y. Wang, Y. Cao, C. Zhang, T. J. Marrow – In situ observation of compression damage in a 3D needled-punched carbon fiber-silicon carbide ceramic matrix composite – Composite Structures, Volume 210, 2019, Pages 189-201
- [10] Fabian Bredeea, Dietmar Kocha, Emmanuel Maillet, Gregory N. Morscher, Modal acoustic emission of damage accumulation in C/C–SiC composites with different fiber architectures, Ceramics International, 2015
