



**HAL**  
open science

# CARACTERISATION D'UNE STRUCTURE COMPOSITE OBTENUE PAR RFI A PARTIR D'UN SEMI PRODUIT, L'HEXFIT ®

Philippe Marguerès, Jean-Noël Périé, Julian Gutierrez Perez, Francis  
Collombet, Yves-Henri Grunevald

► **To cite this version:**

Philippe Marguerès, Jean-Noël Périé, Julian Gutierrez Perez, Francis Collombet, Yves-Henri Grunevald. CARACTERISATION D'UNE STRUCTURE COMPOSITE OBTENUE PAR RFI A PARTIR D'UN SEMI PRODUIT, L'HEXFIT ®. 14èmes Journées Nationales sur les Composites, Mar 2005, Compiègne, France. hal-04496838

**HAL Id: hal-04496838**

**<https://hal.science/hal-04496838>**

Submitted on 8 Mar 2024

**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.

**CARACTERISATION D'UNE STRUCTURE COMPOSITE OBTENUE PAR RFI  
A PARTIR D'UN SEMI PRODUIT, L'HEXFIT®**

**CHARACTERISATION OF A COMPOSITE STRUCTURE OBTAINED BY RFI  
USING HEXFIT® SEMI PRODUCT**

**Philippe Marguerès\*, Jean-Noël Périé\*, Julian Gutierrez Perez\*, Francis  
Collombet\* et Yves-Henri Grunevald\*\***

\*LGMT - PRO<sup>2</sup>COM - IUT Paul Sabatier - Département GMP - 133, Avenue de  
Rangueil - 31077 Toulouse cedex 4

\*\*DDL-Consultants - 83330 Le Beausset

[philippe.margueres@iut-tlse3.fr](mailto:philippe.margueres@iut-tlse3.fr), [jean-noel.perie@iut-tlse3.fr](mailto:jean-noel.perie@iut-tlse3.fr), [julianguti@yahoo.com](mailto:julianguti@yahoo.com),  
[francis.collombet@iut-tlse3.fr](mailto:francis.collombet@iut-tlse3.fr) et [ddl.consultants@wanadoo.fr](mailto:ddl.consultants@wanadoo.fr)

**RESUME**

Le matériau HEXFIT<sup>TM</sup> est un semi produit destiné à la réalisation de grandes pièces par procédé RFI. Dans le but de caractériser d'un point de vue mécanique ce matériau, et d'identifier l'incidence du procédé sur son comportement, une plaque quasi isotrope de grandes dimensions est réalisée. Un ensemble de caractérisations CND, comprenant en particulier des mesures US et IR, met en évidence le caractère hétérogène de la structure réalisée et des variations significatives d'épaisseur. Ces données permettent de définir un plan de prélèvement des éprouvettes qui permettront d'étudier à la fois l'incidence de la largeur des éprouvettes et de leur épaisseur. Une campagne d'essais mécaniques multi instrumentés (mesures de champs, jauges et extensomètre) sur des éprouvettes sensiblement de même épaisseur, mais de largeurs différentes, est menée. La comparaison des différentes mesures de déformations permet de qualifier les différents capteurs utilisés pour la suite des essais destinés à l'étude du comportement de ce matériau.

**ABSTRACT**

The HexFIT<sup>TM</sup> is a semi-product used for large structures obtained by the RFI process. A large plate made of a quasi-isotropic lay-up is considered here. The presented study aims at mechanically characterizing and identifying the process impact for such a structure. NDT (US & IR) are used to highlight material heterogeneities and thickness variation. This approach helps us to define a sampling protocol in order to select tensile specimens taking into account thickness and width. Multi-instrumented tensile tests (strain field measurement, gages and extensometer) are undertaken on specimens showing different widths but almost same thicknesses. Comparison between the different strain measurements leads to qualify specific sensors for future characterisations.

MOTS CLES : RFI, CND, multi-instrumentation, mesures de champs de déformation  
KEYWORDS : RFI, NDT, multi-instrumentation, strain field measurement

## INTRODUCTION

Le travail présenté ici fait partie intégrante d'une démarche globale visant à la caractérisation et au suivi du comportement de structures composites monolithiques, de la fabrication à la ruine, en tenant compte des variabilités liées aux différentes échelles (méso, macro et procédés). L'objectif premier est de proposer un protocole d'étude utilisant des méthodes d'investigation et de caractérisation représentatives et fiables. Dans le cadre de cette étude on s'intéresse à une structure fabriquée à partir d'un semi produit développé depuis quelques années par Hexcel Composites, l'HexFIT™ (Verre E / Epoxyde M9.6), dédié au RFI (Resin Film Infusion).

## MATERIAU UTILISE ET MISE EN OEUVRE

Le RFI est un dérivé des procédés RTM (Resin Transfer Moulding) et RIM (Resin Infusion Moulding). Ce procédé vise notamment à simplifier et à réduire le coût de fabrication de pièces composites de grandes dimensions (par rapport aux structures obtenues à l'aide de préimprégnés ou par procédé RTM).

Le matériau (Figure 1) est un semi-preg composé d'un sergé 2x2 de 600 g/m<sup>2</sup>, dont le taux d'imprégnation est deux fois plus élevé qu'un préimprégné classique, sur lequel est placé un renfort sec composé d'une nappe à +45 et d'une nappe à -45 cousues ensemble et de 300 g/m<sup>2</sup> chacune. La masse surfacique totale de 1200 g/m<sup>2</sup> permet de réduire le coût du semi produit.

2 x ±45 cousu sec  
2 x Sergé 2,2 sur-imprégné

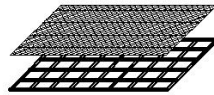


Figure 1: Matériau HexFIT utilisé / *HexFIT material*

Cependant, l'utilisation de renforts de fort grammage rend plus délicate l'utilisation d'une approche classique d'homogénéisation. La structure étudiée est une plaque aux dimensions représentatives de pièces industriels (0,9 m x 0,9 m - Figure 2) obtenue par cuisson en étuve selon le cycle proposé par le fabricant (Figure 3). Les produits d'environnement utilisés sont décrits dans la Figure 5.

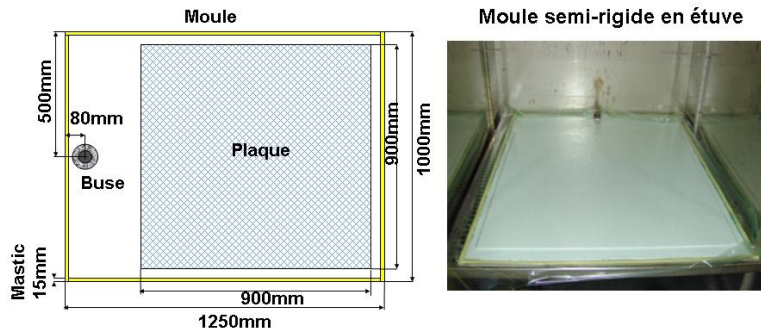


Figure 2: Schéma du moule et photo en étuve / *Mould: schematized and in oven*

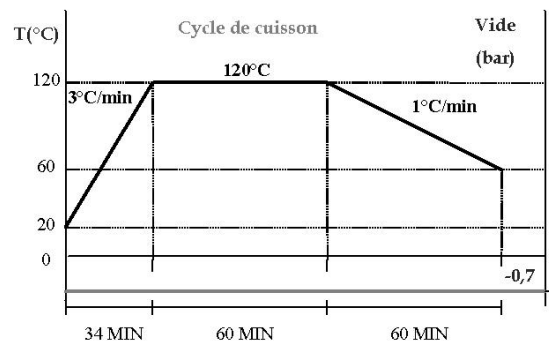


Figure 3: Cycle de cuisson / *Cure cycle*

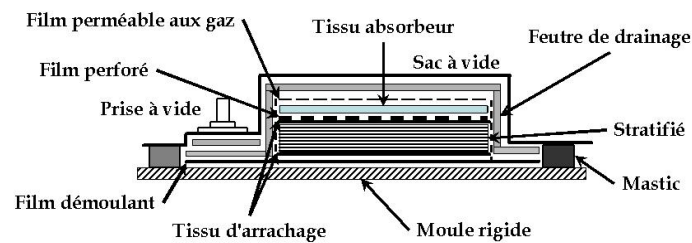


Figure 4: Produits d'environnement / *Consumables used*

La structure est quasi-isotrope et respecte une symétrie miroir. Elle est composée de 4 plis et présente une épaisseur proche de 5 mm (Figure 5).

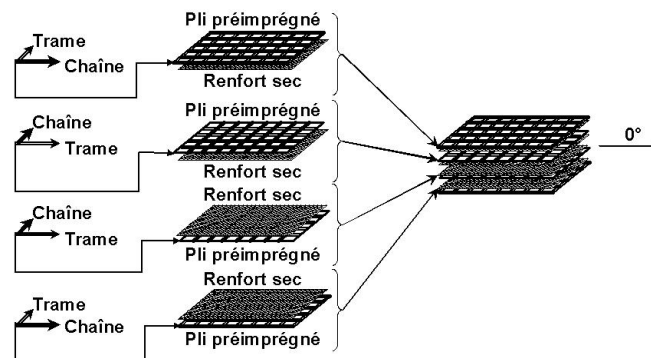
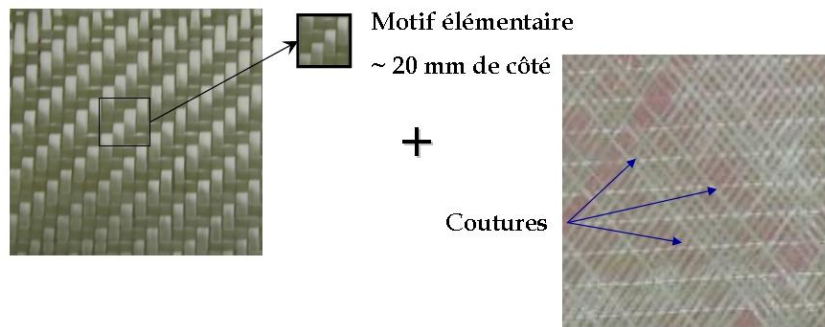


Figure 5: Stratification quasi-isotrope et symétrique / *Symmetric quasi-isotropic lay-up*

L'intérêt supplémentaire de ce matériau est l'aspect structurel déjà contenu à l'échelle du pli. En effet, le sergé utilisé a des mèches épaisses conduisant à un motif carré du sergé de l'ordre de 20 mm (pour 4 mèches). Les plis sec à  $\pm 45$  ont des mèches bien plus petites et sont en plus cousus entre eux (Figure 6).



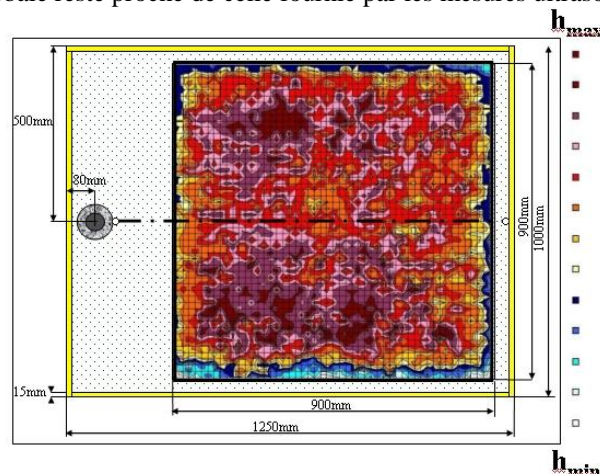
**Figure 6: Structure du pli / Ply structure**

### ETAT INITIAL ET EFFET DE LA MISE EN OEUVRE

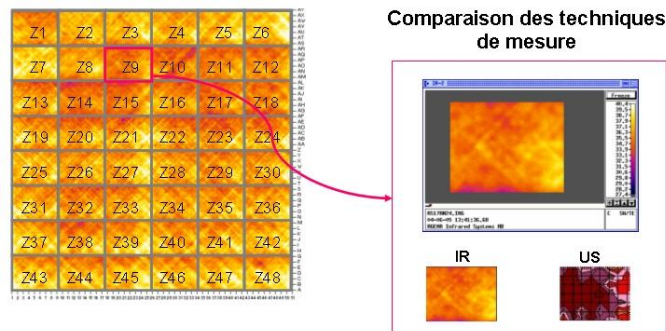
Afin de définir "l'état initial" de la plaque, des cartographies sont réalisées par échographie ultrasonore - 2000 points de mesure au contact, plaque non démoulée sur sa partie inférieure- (Figure 7) et par méthode infrarouge (Figure 8). Cette inspection permet notamment de mettre en évidence des variations de l'épaisseur (échelle macroscopique) dues à la mise en œuvre. En effet, l'emplacement de la buse et le masticage du sac à vide ont directement influencé la variation de l'épaisseur de la plaque pendant la cuisson:

- les 3 côtés proches du mastic montrent une épaisseur plus faible que le côté orienté vers la buse;
- il semble apparaître une répartition symétrique de l'épaisseur de part et d'autre d'un axe joignant la buse à la partie médiane longue du moule.

La méthode par infrarouge a été plus difficile à mettre en œuvre étant donnée les dimensions de la plaque. Ainsi, l'information est légèrement tronquée au niveau des limites des zones de mesures du flux thermiques (numérotées de 1 à 48). Cependant, l'information globale reste proche de celle fournie par les mesures ultrasonores.

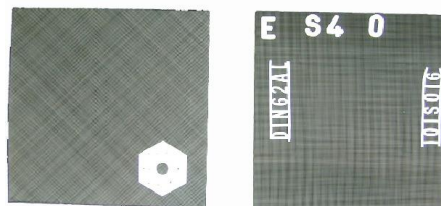


**Figure 7: Cartographie US de l'épaisseur / Thickness Ultrasonic cartography**



**Figure 8: Cartographie IR / Infrared cartography**

Une inspection supplémentaire aux rayons X de plaques "étalon" fabriquées à partir d'HexFIT sergé 2x2 seuls et d'HexFIT  $\pm 45$  seuls permet de confirmer l'existence d'un effet mésoscopique mais également macroscopique de l'armure du renfort : espacement irrégulier des fibres à  $\pm 45$  et écart pseudopériodique (de l'ordre de 0,5 mm) des fibres dans les plis sergé 2x2.



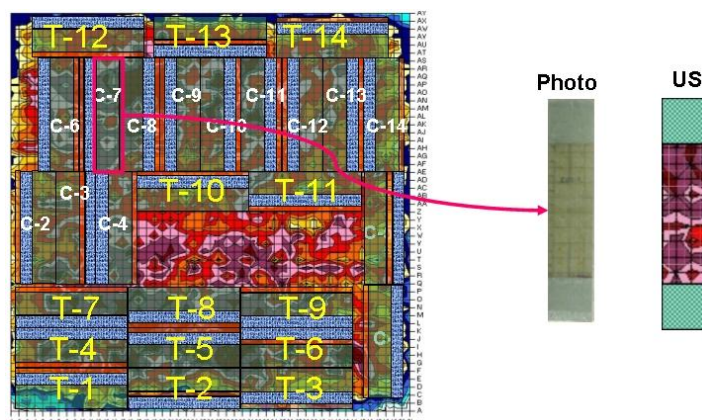
**Figure 9: Radiographie X des spécimens étalons (4plis): resp.  $\pm 45$  et Sergé 2x2/ X  
radiography of reference specimens (4 plies): resp.  $\pm 45$  and twill 2x2**

### CARACTERISATION MECANIQUE

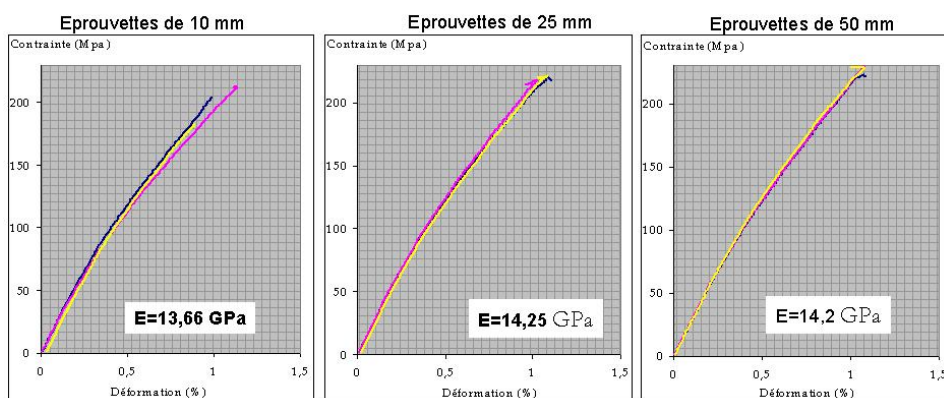
Un prélèvement d'éprouvettes (Figure 10) de dimensions normalisées (selon NFT57-101) est réalisée dans la plaque mère afin de tenir compte des variabilités détectées et ce dans le but d'estimer ou de prédire le comportement de la structure à partir de la réponse de l'échantillonnage réalisé (modélisation future).

Dans l'état d'avancement actuel de l'étude, nous nous sommes intéressés à l'effet de la variation de la largeur des éprouvettes de traction sur la réponse mécanique du matériau. Les trois largeurs proposées par la norme NFT57-101 ont été testées : 10, 25 et 50 mm. Les éprouvettes ont des épaisseurs proches (même code couleur sur la cartographie US) pour éviter tout effet de l'épaisseur (Lopez Torres and Syed).

Les résultats nous montrent que les modules ne sont pas affectés par la largeur mais que la rupture diffère légèrement pour les largeurs de 10 mm (Figure 11).



**Figure 10 : Sélection des éprouvettes de traction en fonction de la cartographie US /  
Tensile specimens selected with regards to ultrasonic cartography**



**Figure 11 : Courbes de traction pour des largeurs 10, 25 et 50 mm / Load-extension  
diagrams for widths : 10, 25 and 50 mm**

Une étude a été menée sur des éprouvettes multi-instrumentées (Figure 12) de largeur 50 mm afin de mettre en évidence l'existence ou non d'un effet de la structure du renfort sur la réponse en surface du matériau. Trois techniques différentes sont utilisées:

- jauges d'extensométrie (Kyowa;  $K = 2,08; 119.6 \pm 0.4 \Omega$ ) deux faces sens long et travers avec des jauges de 10 mm et de 6 mm;
- extensomètre long de 80 mm (Zwick, haute résolution);
- mesures de champs de déplacement par corrélation d'images numériques.

Concernant cette dernière technique, un mouchetis est déposé sur l'une des faces de l'éprouvette, au dessus des jauges. Une caméra CCD PCO.1600 (14 bit, 1600 x 1200 pixel) prend des clichés de cette surface à différents stades du chargement. Le traitement est réalisé à l'aide du logiciel Correli2D (Hild et al, 2002). Les champs de déformation obtenus permettent de calculer une déformation moyenne par exemple sur la surface des jauges. Cette information peut ensuite être comparée simplement à celle délivrée par les

autres techniques. On peut également modifier l'aire la zone sur laquelle est calculée la moyenne afin de juger de l'incidence de la taille de jauge.

Les résultats (Figure 13 et Figure 14) des comparaisons de techniques ne nous permettent pas de nous prononcer clairement sur une différence entre jauges de 6 ou 10 mm. Cependant, l'analyse des mesures de champs de déformation nous permet de dire qu'il existe un effet du matériau sur la déformation en surface : apparition notamment de motifs périodiques en début d'essai. Cette dernière technique offre l'avantage de pouvoir suivre la déformation locale et globale de l'éprouvette tout au long de l'essai et de mettre en évidence la zone d'amorce de la rupture. Par contre, les jauges peuvent donner une information locale non forcément représentative du comportement global et cessent généralement de fonctionner avant la fin de l'essai.

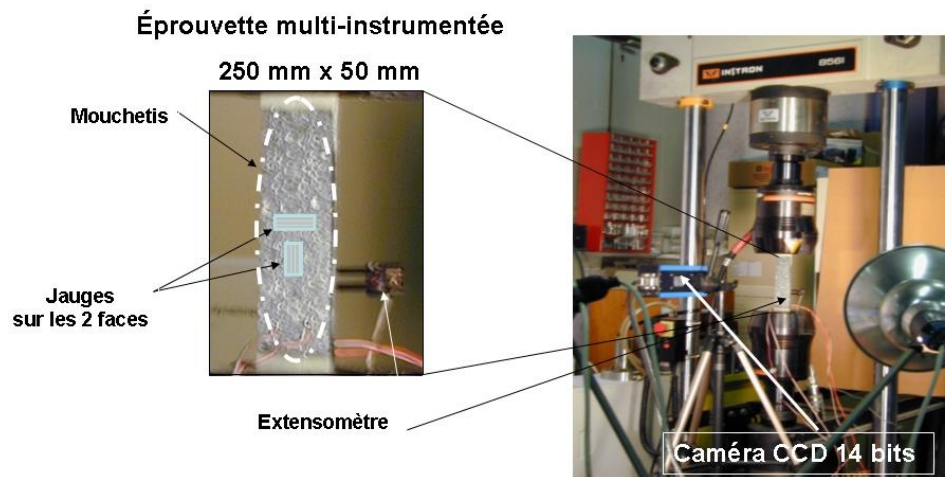


Figure 12 : Eprouvette multi-instrumentée / Multi-instrumented specimens

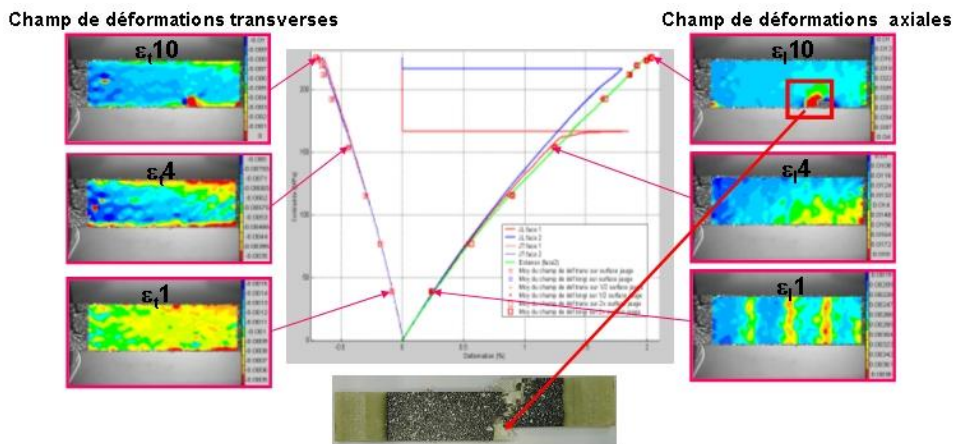
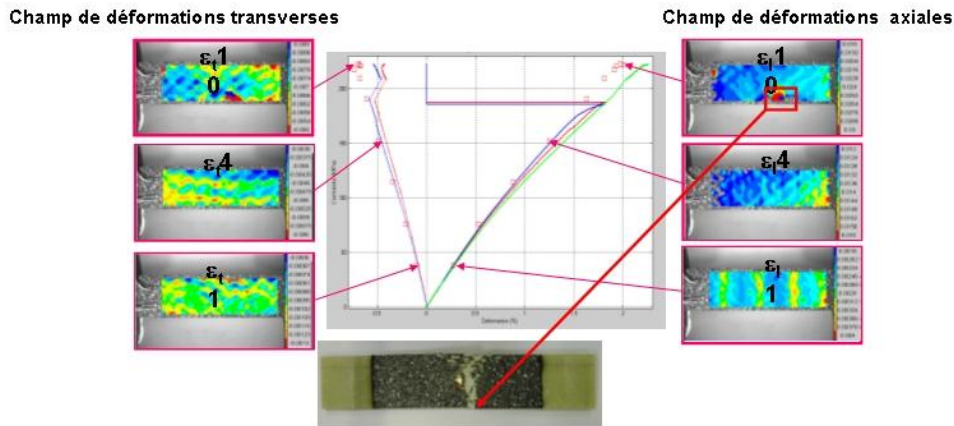


Figure 13 : Résultats multi-instrumentation, jauge 10 mm / Multi-instrumentation results, 10 mm gages





**Figure 14 : Résultats multi-instrumentation, jauge 6 mm / *Multi-instrumentation results, 6 mm gages***

## CONCLUSION

Cette étude préliminaire, nous a permis de définir un premier protocole de caractérisation sur le matériau HexFIT™. Afin de tenir compte de la variation de l'épaisseur due au process, des cartographies US et IR ont permis de définir des zones de sélection des éprouvettes de traction. Les essais de traction menés sur des éprouvettes de largeurs différentes et des éprouvettes multi-instrumentées nous permettent de poser les limites des essais classiques de caractérisation en traction. En effet, les éprouvettes de largeur 10 ne semblent pas être adéquates pour la structure utilisée. L'utilisation de jauges (6 et 10 mm) et d'un extensomètre ne permet pas de mettre en évidence une différence sensible entre le comportement local et global alors qu'une analyse de mesures de champs montre un effet de la structure sur le champ de déformation mesuré en surface.

Une étude comparative entre éprouvettes multi-instrumentées de même largeur et d'épaisseurs différentes doit être maintenant réalisée afin de définir correctement le protocole d'essai en traction. Une fois établi, il sera alors possible de s'intéresser à la discrimination des processus d'endommagement engagés au cours de ce type d'essai en fonction de la largeur et de l'épaisseur (EA, MEB).

## BIBLIOGRAPHIE

HexFIT™ "Film infusion Technology for the rapid and cost-effective manufacture of composites" HEXCEL Composites product literature, March 2001.

"Resin film infusion composites cost reducer", 2002, *REINFORCED plastics* – Elsevier Science, Feb., p.44-49.

Lopez Torres J. and Syed Muhammad K. "Characterization of composite material: HexFIT™", DEA report 2003, University Paul Sabatier III, Toulouse, France.

Hild F., Raka B., Baudequin M., Roux S. and Cantelaube F. (2002). "Multiscale displacement field measurements of compressed mineral-wool samples by digital image correlation." Applied Optics **41**(32): 6815-6828.