



HAL
open science

Mise en forme de plaques composites carbone-PPS = Forming of carbon/PPS composite plates

Fethi Abbassi, Issam Elfaleh, Marina Fezzani, Sébastien Mistou, Ali Zghal

► **To cite this version:**

Fethi Abbassi, Issam Elfaleh, Marina Fezzani, Sébastien Mistou, Ali Zghal. Mise en forme de plaques composites carbone-PPS = Forming of carbon/PPS composite plates. JNC 16, Jun 2009, France. 7 p. hal-00387520

HAL Id: hal-00387520

<https://hal.science/hal-00387520>

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.

Mise en forme de plaques composites carbone-PPS

Forming of carbon/PPS composite plates

Fethi Abbassi¹, Issam Elfaleh¹, Marina Fezzani², Sébastien Mistou² et Ali Zghal¹

1 : Unité de recherche de Mécanique des solides des structures et des développements technologiques, ESSTT, Tunis, Tunisie
fethi.abbassi@ipeib.rnu.tn, ali.zghal@esstt.rnu.tn

2 : Laboratoire Génie de Production - ENIT, Tarbes, France
sebastien.mistou@enit.fr

Résumé

Dans tous les domaines de l'industrie, particulièrement en aéronautique et automobile la notion de mise en forme des matériaux intervient soit en amont, en aval, ou en cours de production. Malgré les avancées réalisées dans le domaine de la mise en forme aux niveaux expérimental (techniques permettant de montrer les mécanismes physiques élémentaires de la déformation), théorique (modèles de comportement performants) et numérique (codes de calculs capables de réaliser des simulations complexes), il reste du chemin à parcourir avant d'arriver à une maîtrise parfaite de la prédiction de certains phénomènes. Dans l'industrie, une étape importante consiste à étudier très finement le comportement des matériaux entrant dans la constitution des différentes pièces afin d'alléger le produit fini qui représente un objectif. Dans ce cadre, ces dernières années plusieurs travaux ont été proposés dans le but d'assurer des bonnes articulations entre ces trois approches théoriques, numériques et expérimentales.

Ce travail concerne le développement d'une campagne d'essais permette l'identification des lois de comportement viscoélastique en vue de leur utilisation pour la simulation numérique des procédés de mise en forme des plaques minces de composite carbone/PPS utilisées dans le domaine aéronautique par déformation plastique. Des essais de traction simple et des essais de traction bi-axiaux (éprouvette cruciformes) ont été développés. La technique de mesure sans contact a été utilisée pour mesurer le champ de déplacement par stéréo-corrélation d'images numérique à l'aide de deux caméras CCD, et la mesure de la température d'essai par une caméra infrarouge. Une présentation détaillée des résultats des essais et les techniques de la mise en forme de composite ont été effectuées.

Abstract

In all the fields of industry, particularly in aerospace and automotive the notion of sheet forming of materials intervene even in pre, post or during the production. Despite the development realized in the sheet forming domain at the experimental level (techniques enabling to show the elementary physical mechanisms of deformation), theoretical (models of high performance) and numerical (calculation codes able to realize many complex simulations), it remains the way to be taken before arriving to a perfect competence of certain phenomena's prejudgment. In the industry, there is an important stage consisting of studying clearly the material behavior participating in the constitution of the different pieces in order to reduce the weight of the final product considered as the last aim. For this objective, during these last year's many works has been proposed for the purpose of achieving good links between these three theoretical, numerical and experimental approaches.

This work is concerning the development of some tests that enable the identification of the visco-elastic law behavior regarding their use for the numerical simulation of sheet forming processes of carbonic composite sheet /PPS used in the aerospace domain through a plastic deformation. Uni-axial tensile test and bi-axial tensile tests (cruciform specimens) have been developed. The technique of measure without contact has been used to measure the displacement field through stereo-correlation of numerical pictures using two cameras CCD and the measure of the test temperature using "infra-rouge camera". A well detailed presentation of the test results and the sheet forming techniques of composite has been done.

Mots Clés : Composite PPS/carbone, traction uni-axiale, traction bi-axiale, Stéréo-corrélation d'image, thermoformage.

Keywords : Composite PPS/carbon, Uni-axial tensile, bi-axial tensile, stereo-correlation, thermoforming.

1. Introduction

Dans tout les domaines de l'industrie, particulièrement en aéronautique la notion de la mise en forme des matériaux intervient soit en amont soit en aval, ou en cour de production. Face à l'insuffisance des technologies conventionnelles utilisées, dans la mise en forme des structures minces, tels que l'étrépage ou le pliage qui ont montré leur limitation dans la production des grandes séries surtout pour les pièces de grandes dimensions ou de formes complexes [1]. La technologie d'hydroformage est développée pour occuper une place de plus en plus importante dans les différents secteurs industriels. Devant les besoins de réduction du poids qui sont concrètement traduits par l'introduction de nouvelles nuances plus légères dans les structures aéronautiques et automobiles [2]. Ainsi, des composites ont commencé à être intégrés dans les pièces de structure car ils offrent aux industriels des nouvelles possibilités d'associer des fonctions, comme la légèreté, la résistance mécanique, chimique, permettre d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques, et ils enrichissent aussi les possibilités de conception en permettant d'alléger des structures et de réaliser des formes complexe.

Ses applications concernent actuellement les domaines de l'aéronautiques (fuselage et ailes d'avion), navales (coques de bateau et sous-marins) et l'industrie automobile. En générale pour les applications aéronautiques, le choix du type de matériaux composites ou métallique est dû au compromis coût/performance selon différents critères (poids, tenue en température, comportement à la corrosion, résistance à la fatigue, forme...). Plusieurs pièces qui ont été fabriqué par les alliages d'aluminium ou en acier et qui sont obtenues par déformations plastique il est souhaitable de les réaliser en composite afin de optimiser le poids des structures.

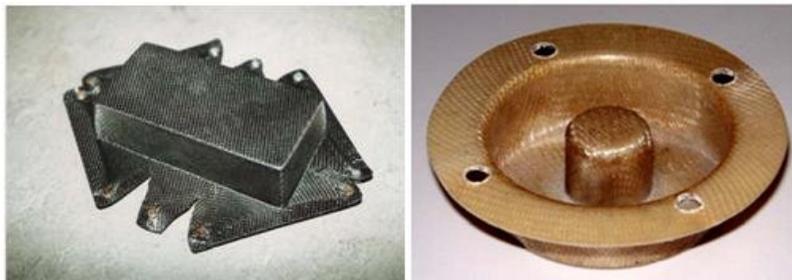


Fig. 1. Exemples des pièces obtenue par thermoformage des plaques en composites

Dans se cadre on a proposé cette étude qui se base sur une investigation expérimentale afin de justifier la faisabilité des pièces en composite PPS/carbone par la procédé de thermoformage. Des essais de traction ont été réalisés sur des plaque en composite qui on été découpé dans plusieurs orientations. Des essais de traction bi-axiale ont été aussi élaborés suivant deux orientations différentes. Lors des ces essais des moyens de mesure sans contact ont été exploité afin de mesurer la température et le champ de déplacement sur la surfaces de l'éprouvettes

2. Investigation expérimentale

Dans cette partie le matériau utilisé est un composite PPS/ carbone d'une fraction volumique $V_f=50\%$ composé de trois plis LP 3106-23-0001.

1.2 Etude thermique de PPS/carbone

Le PPS possède une bonne résistance thermique. Sur (Figure 1) qui montre un thermogramme obtenus par DSC pour des plaque d'épaisseur 1mm en PPS/ carbone qui montre les différents changements d'état du matériau en fonction de la température. La température de transition vitreuse est de l'ordre de 90°C . La température de fusion du PPS/ carbone est de 285°C . La dégradation de PPS/carbone à partir une température de 345°C et la viscosité optimale qui facilite la déformation des plaques de composite et de 320°C par contre il ne faut pas que le temps de chauffage dépasse 10 minutes. Afin d'éviter la dégradation des propriétés mécanique du matériau lors de refroidissement de la pièce il faut faire un palier de 10min à une température de 220°C .

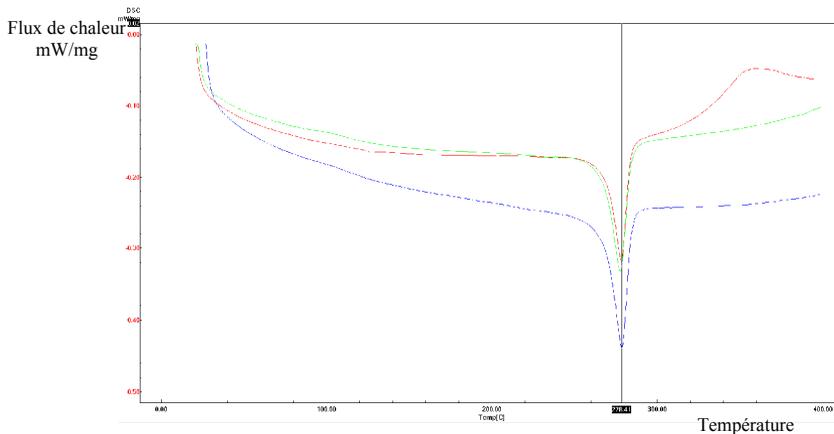


Fig. 2. Thermogramme de DSC sur les échantillons dans leurs états initial de composite PPS renforcé de fibres de carbone

1.3 Essais de traction Uni-axial

L'essai uni-axial consiste à exercer sur une éprouvette de longueur initiale L_0 et de largeur initiale l_0 , une déformation croissante jusqu'à rupture. Au cours de l'essai on va essayer de déterminer certains paramètres. Alors on définit les variables rationnelle et conventionnelle qui sont définies à un instant bien défini. Ce test reste le premier outil pour la caractérisation des plaques minces à cause de sa facilité de dépouillement et sa fiabilité [BEN05]. Les essais de traction hors axes consistent à soumettre une éprouvette découpée suivant un angle ϕ par rapport à la direction des fibres chaîne (Figure 2) à un effort de traction et généralement jusqu'à la rupture dans le but de déterminer des caractéristiques mécaniques de ces plaques minces. Pour chaque essai, nous cherchons à mesurer les déformations longitudinales (dans le sens de la sollicitation) et transversale suivant la largeur de l'éprouvette (perpendiculairement à l'axe de sollicitation). Ces déformations sont mesurées à l'aide de technique de corrélation des images. A partir des plaques de composites carbone/PPS (350x350x1mm3) constitués de trois plis de tissu, tous les plis étant orientés de manière identique on a découpé des éprouvettes rectangulaires (250x25x1mm3) (Figure 4).

Les éprouvettes sont découpées selon différentes orientations (Fig. 3) :

- 0° pour l'étude du comportement dans le sens chaîne.
- 90° pour l'étude du comportement dans le sens trame.
- 45° pour l'étude du comportement en cisaillement.
- 30° pour l'étude du comportement en cisaillement et compléter le balayage de l'espace des contraintes.

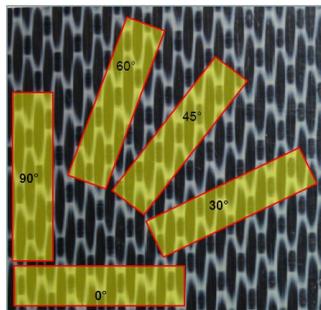


Fig. 3. Orientation des éprouvettes de traction sur la plaque de composite

La figure 4 montre la variation des déformations sur une éprouvette de traction simple suivant la direction 45° . Il montre bien la non homogénéité de la déformation. La zone centrale de l'éprouvette a été chauffée à une température de 320°C ce qui favorise la rotation des fibres de carbone facilement et l'allongement de l'éprouvette. Dans la partie centrale la déformation de l'ordre de 30% ce qui montre une bonne aptitude pour la mise en forme.

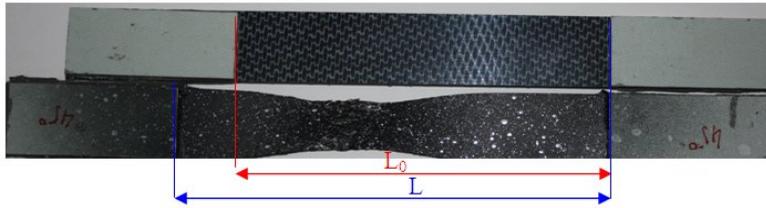


Fig. 4. Allongement de l'éprouvette de traction suivant l'axe 45°

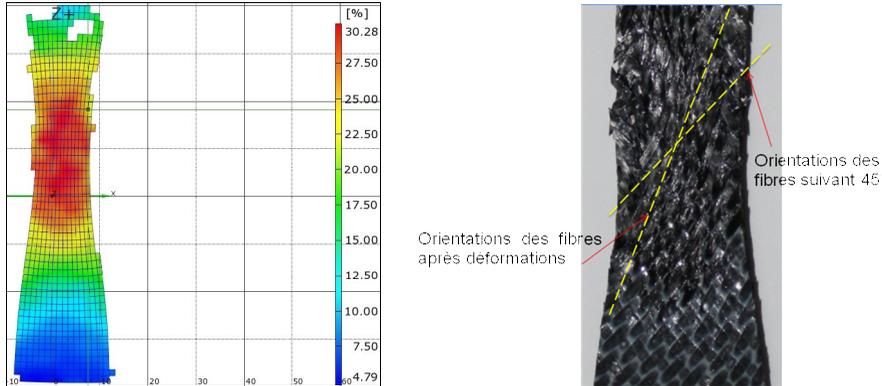


Fig. 5. Cartographie d'une éprouvette de traction (déformation suivant l'axe de traction)

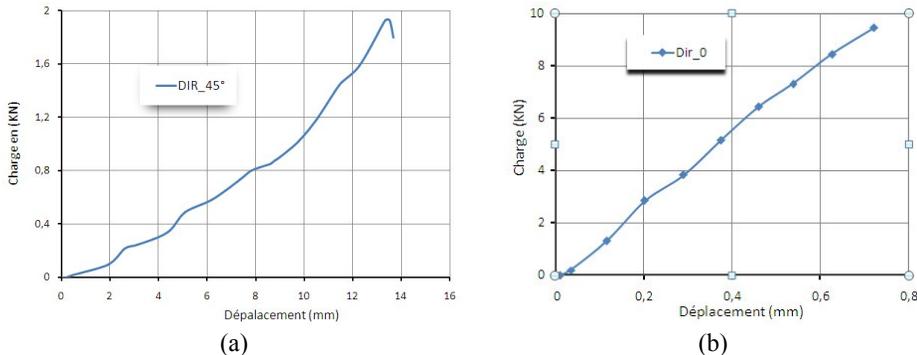


Fig. 6. Courbe charge déplacement : (a) direction 45°, (b) direction 0°

La courbe de (la figure 6a) représente la variation de la charge en fonction de déplacement sur une éprouvette de traction simple suivant la direction 45°. On remarque qu'on a arrivé au voisinage de 13mm de d'allongement pour une charge de 1.9KN avant la rupture de l'éprouvette. Par contre dans le cas de (la figure 6b) qui représente la variation de la charge en fonction de la déformation sur une éprouvette de traction simple suivant la direction 0°, on a arrivé à appliqué 9 KN de charge mais on n'a pas dépassé 0.8 mm de déplacement.

Comme on a essayé de procurer les mêmes conditions expérimentales dans les deux essais, donc la seule explication de cette différence de résultat entre les deux essais c'est la variation de l'angle de chargement par apport les fibres de chaîne.

Dans le cas de l'essai ou on a l'angle 45° la déformation est dû aux deux phénomènes à la fois.

Le premier c'est le glissement de fibres matrice qui devient plus au moins important à cause de la température qui diminue la liaison fibres matrice.

Le deuxième c'est le cisaillement : la variation de l'angle entre les fibres de chaîne et trame lorsqu'on applique la charge. C'est le principal mécanisme de déformation dans la mise en forme des composites. Durant le cisaillement, des changements importants apparaissent dans la géométrie de la maille

élémentaire. La forme des sections ainsi que les paramètres d'arrangement des fibres de tissu s'en trouvent modifiés.

1.4 Essais de traction Biaxiale

Des éprouvettes de traction bi-axiales ont été découpées dans deux orientations suivant l'angle 0° et 45° par rapport à l'orientation des fibres. Les essais ont été réalisés sur une machine INSTRON de traction bi-axiale on imposant deux déplacements suivant le deux axes de tractions. Les essais effectués sur toutes les éprouvettes étaient quasi-statique. Plusieurs études faites sur les éprouvettes, aucune géométrie standard n'existe. Le manque de la géométrie standard des éprouvettes le rend difficile de comparer des résultats d'essai de différents laboratoires. Différents essais bi-axiales ont été réalisés en parallèle à la simulation d'élément finie afin d'essayer de réaliser une conception optimisée d'éprouvettes. Il est de très importance d'avoir la majorité de déformation à la section centrale d'éprouvette et éviter des concentrations de contraintes dans d'autres régions. La forme choisie est celle utilisée par [3] avec légère modification afin de le rendre compatible avec les mores de notre machine la configuration géométrique est représenté sur la figure 7.

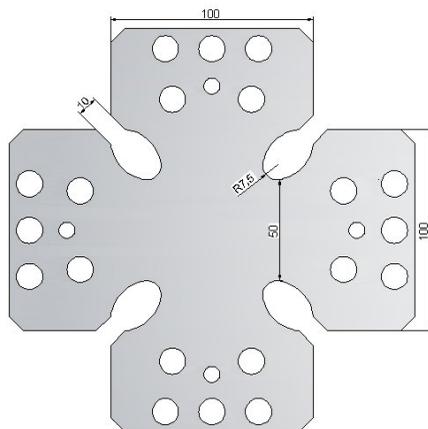


Fig.7. Géométrie de l'éprouvette bi-axiale

Lors de l'essai de traction bi-axiale comme montre la figure 8 un système de mesure a été bien installé sur la machine (deux caméras CCD pour mesure de déplacement et une caméra infrarouge pour mesurer la température car les essais ont été réalisé dans une température de 320°). Les peintures noir et blanc résistant à hautes température ont été utilisé afin de développé un niveau de gris sur la surface de l'éprouvette pour mesurer les déplacements

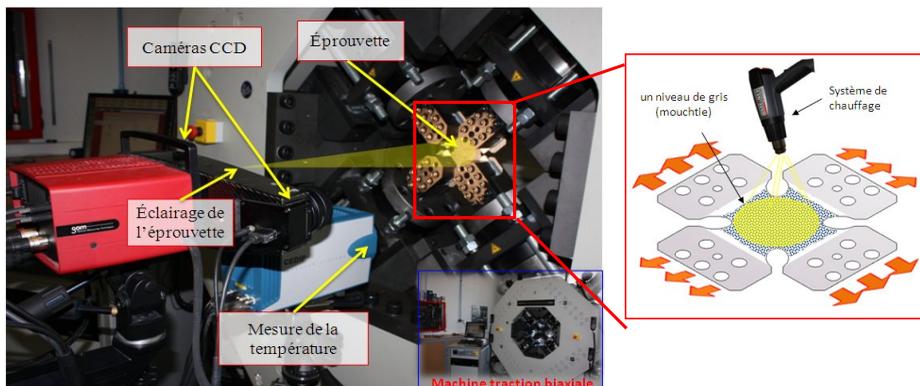


Fig. 8. Présentation du dispositif expérimental dans sa configuration pour mesurer la température et le champ de déplacement sur la surface lors d'un essai de traction biaxiale

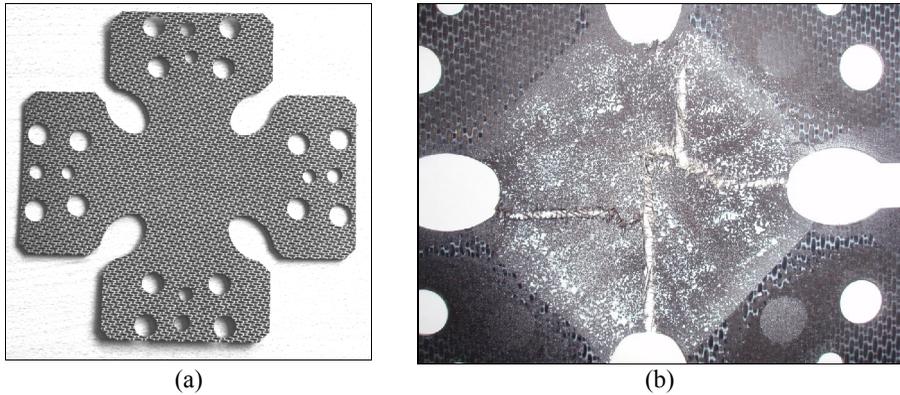


Fig. 9. Eprouvette de traction bi-axiale : (a) forme d'éprouvette avant déformation
(b) rupture d'une éprouvette bi-axiale

La figure 9 montre la rupture sur une éprouvette orientée d'un angle de 45° par rapport aux fibres. On a observé que la rupture est au milieu de l'éprouvette ce qui montre bien que la forme proposée donne une sollicitation bi-axiale au milieu de l'éprouvette.

3. Applications de la mise en forme des composites PPS/carbonate

La procédure expérimentale présentée précédemment est pour but d'expliquer la mise en forme des pièces en composite par thermoformage. Le thermoformage des plaques minces est un procédé industriel qui permet d'obtenir des pièces de forme complexes, en minimisant les pertes matière. Il est couramment retenu pour la fabrication dans plusieurs domaines comme le domaine aéronautique, automobile, textile, etc. Les chercheurs ont essayé d'appliquer ce technique dans plusieurs projet de recherche comme le cas de (M.D. Wakeman) qui a utilisé le procédé d'emboutissage pour la mise en forme des plaques minces de fibres de verre (GF), fibres de carbone (CF), et les tissus hybrides de fibres de carbone-verre avec le polyamide (PA) (figure 10). L'objectif de cette étude est la réduction de poids en structures des véhicules.

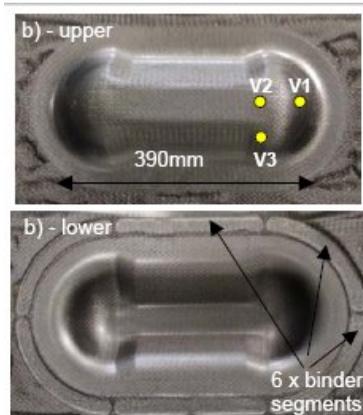


Fig. 10. Exemple d'une pièce obtenue par thermoformages

4. Conclusion

Le thermoformage des composites est un domaine récent mais il a évolué énormément à cause de son importance. Les essais que nous avons introduits dans ce travail nous donnent des résultats très importants car il nous permet de déterminer les lois de comportement de ce matériau et l'identification de leurs paramètres. Et ceci nous aide beaucoup à établir des modèles numériques et éviter les essais expérimentaux et obtenir les paramètres optimaux pour un processus de mise en forme.

Références

- [1] S. Gallée. Caractérisation expérimentale et simulation numérique des procédés d'emboutissage profond : application aux aciers inoxydables austénitiques. PhD thesis, Université de Bretagne-Sud, 2005.
- [2] M. Zampaloni, N. Abedrabbo, F. Pourboghrat : Experimental and numerical study of stamp hydroforming of sheet metals. Department of Mechanical Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI 48824-1226, USA. December 2003
- [3] D. Banabic, H. Aretz, D.S. Comsa, L. Paraianu, An improved analytical description of orthotropy in metallic sheets, *International Journal of Plasticity* 21 (2005) 493–512.
- [4] Nadia Temimi-Maaref: Comportement thermo-mécanique et rupture de polypropylènes. Etude expérimentale et modélisation. ECOLE DES MINES DE PARIS, Sciences Fondamentales et Appliquées. Soutenue le 19/04/2006
- [5] Fethi Abbassi : Fédération des connaissances de mise en forme dans une plateforme de prototypage virtuel. Thèse en cotutelle ESST Tunis et INP Toulouse, 12 novembre 2008.
- [7] Jones, C. Biaxial testing of polymer composites. *Mater. World* 9 (11), 19–21.2005
- [8] Ohtake, Y., Rokugawa, S., Masumoto, H. Geometry determination of cruciform type specimen and biaxial tensile test of C/C composites. 1999.
- [9] A. S. Tam and T. G. Gutowski: Ply slip during the forming of thermoplastic composite parts: *Journal of Composite Materials* 23 (1989), 587.600. (mise en forme des compos chang de l'ongle).
- [10] Thèse Majed YOUSSEF. Milieux fibreux tissés: Modélisation et simulation de la mise en forme des CFRTP à géométrie non développable, 7 décembre 2005.
- [11] A. G. Prodromou and J. Chen: On the relationship between shear angle and wrinkling of textile composite performs. *Composites: Part A* 28A (1997), 491.503