



HAL
open science

Simulation de la mise en forme de tissus préimprégnés par thermoformage

T. Baumard, Olivier de Almeida, G. Menary, Fabrice Schmidt, J. Bikard

► **To cite this version:**

T. Baumard, Olivier de Almeida, G. Menary, Fabrice Schmidt, J. Bikard. Simulation de la mise en forme de tissus préimprégnés par thermoformage. JST Mise en Oeuvre des Composites à Matrice Thermoplastique, 2017, Toulouse, France. hal-02047624

HAL Id: hal-02047624

<https://hal.science/hal-02047624>

Submitted on 4 Apr 2019

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.

SIMULATION DE LA MISE EN FORME DE TISSUS PREIMPRÉGNÉS PAR THERMOFORMAGE

COMPREHENSIVE SIMULATION OF THE THERMOFORMING OF THERMOPLASTIC COMPOSITES

T. BAUMARD^{1,2}, O. DE ALMEIDA¹, G. MENARY², F. SCHMIDT¹, J. BIKARD³

1 : Institut Clément Ader, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, Campus Jarlard, 81013
ALBI

e-mail : theo.baumard@mines-albi.fr olivier.dealmeida@mines-albi.fr
fabrice.schmidt@mines-albi.fr

2 : School of Mechanical and Aerospace Engineering, Queen's University
Belfast, Stranmillis Road, BT9 5AH BELFAST (UK)

e-mail : g.menary@qub.ac.uk

3: Solvay R&I, Centre de Recherche et Innovation de Lyon, 87 rue des frères Perret,
69192 SAINT-FONS

Introduction

L'utilisation de composites thermoplastiques est en plein essor dans l'industrie automobile, notamment pour répondre aux nouvelles normes de réduction des émissions de CO₂ à l'horizon 2020 en allégeant les structures [1]. L'optimisation des procédés de fabrication utilisés, tel le thermoformage (Figure 1), doit passer par une approche de simulation numérique pour éviter les coûts liés à une procédure essai-erreur.

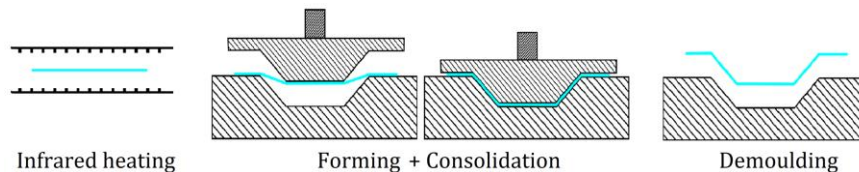


Figure 1- Etapes du procédé de thermoformage

Les approches actuelles pour la simulation du thermoformage de composites pré-imprégnés sont basées sur des modèles isothermes ou supposent un champ de température uniforme dans la préforme à la suite du préchauffage [2], ce qui est difficilement réalisable expérimentalement [3]. Une stratégie de simulation incluant explicitement l'étape de préchauffage infrarouge pour étudier plus finement l'effet de la température sur la mise en forme est présentée ici. Le champ de température tridimensionnel résultant de la simulation du chauffage sera utilisé comme donnée d'entrée dans un outil de simulation thermomécanique de la mise en forme en cours de développement. L'étude est réalisée sur un tissu sergé 2/2 poudré PA6.6 verre développé par Solvay, à l'état pré-imprégné et consolidé par thermocompression.

Modélisation et simulation des étapes de préchauffage et formage

L'étape de préchauffage par infrarouge est simulée sous COMSOL Multiphysics. Afin de pouvoir étudier différentes configurations de fours, les lampes sont modélisées explicitement comme des sources radiatives plutôt que par une condition aux limites en flux. Les transferts radiatifs dans l'enceinte du four sont calculés par la méthode des hémicubes [4]. Les lampes utilisées sont caractérisées par analyse inverse à partir de températures mesurées par thermographie infrarouge sur un banc de chauffage expérimental ; ce même banc étant utilisé pour caractériser le tenseur des conductivités thermiques orthotrope de la préforme composite, ainsi que les résistances thermiques de contact dans le cas du composite non consolidé.

Les propriétés optiques du matériau sont déterminées par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier, les résultats montrant une plus grande réflectance pour le matériau non consolidé dans la gamme de longueur d'onde d'émission de la lampe. Une bonne corrélation entre les résultats expérimentaux et simulés est obtenue dans le cas du chauffage par une lampe.

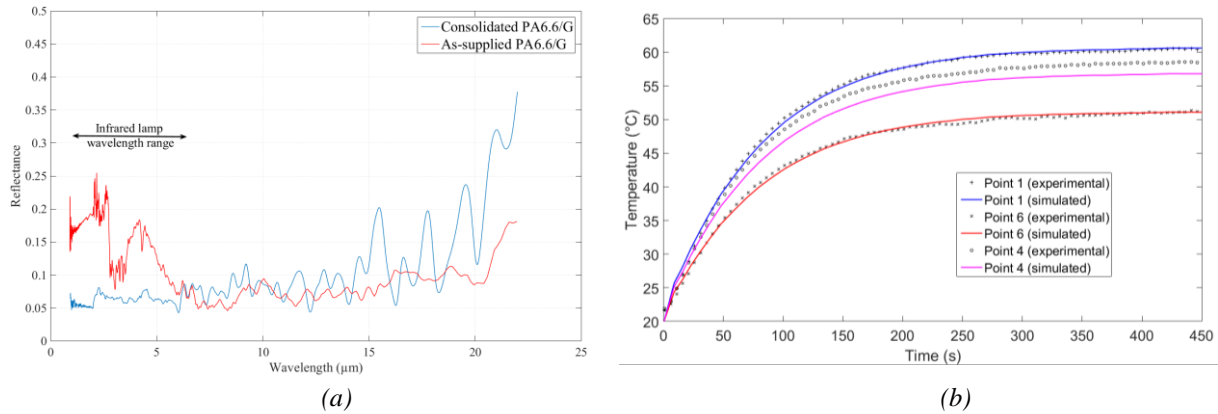


Figure 2 – (a) Réflectance spectrale des matériaux considérés, (b) Comparaison expérimental/simulation de l'évolution de la température en face arrière d'une plaque consolidée

La simulation de l'étape de mise en forme est basée sur un modèle non-orthogonal [5] implémenté dans Abaqus/Explicit par l'intermédiaire d'une sous-routine utilisateur. La loi de comportement hypoélastique (1) est appliquée dans le repère local des mèches pour assurer l'objectivité de la dérivée du tenseur des contraintes.

$$\underline{\underline{\sigma}}^V = \underline{\underline{C}} : \underline{\underline{D}}, \text{ avec } \underline{\underline{C}}^{f,\alpha} = \begin{bmatrix} E_{11}\delta_{1\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & E_{22}\delta_{2\alpha} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \quad (1)$$

L'approche est validée sur un test de formage à l'aide d'un poinçon hémisphérique sur le tissu sec ; le module de cisaillement est déterminé par des essais de bias extension et modélisé phénoménologiquement.

Conclusions

L'outil de simulation développé pour le préchauffage permet de prédire le champ de température transitoire dans la préforme consolidée ; un four infrarouge modulable est en développement pour permettre une validation plus approfondie. Le modèle implémenté pour la simulation du formage est validé sur un test de drapage du tissu sec ; la caractérisation du comportement en cisaillement du matériau à haute température est en cours.

Références

- [1] E. F. Fuchs, F. R. Field, R. Roth et R. E. Kirchain, «Strategic materials selection in the automobile body: Economic opportunities for polymer composite design,» *Composite Science and Technology*, vol. 68, n° 19, pp. 1989-2002, 2008.
- [2] E. Guzman-Maldonado, N. Hamila, P. Boisse et J. Bikard, «Thermomechanical analysis, modelling and simulation of the forming of pre-impregnated thermoplastic composites,» *Composites: Part A*, vol. 78, pp. 211-222, 2015.
- [3] G. J. Sweeney, P. F. Monaghan, M. T. Brogan et S. F. Cassidy, «Reduction of infra-red heating cycle time in processing of thermoplastic composites using computer modelling,» *Composites Manufacturing*, vol. 6, n° 13-4, pp. 255-262, 1995.
- [4] M. F. Cohen, S. Chen, J. R. Wallace et D. P. Greenberg, «A progressive refinement approach to fast radiosity generation,» *Computer Graphics* 22(4), 1988.
- [5] R. S. Pierce, B. G. Falzon, M. C. Thompson et R. Boman, «Implementation of a non-orthogonal constitutive model for the finite element simulation of textile composite draping,» *Journal of Applied Mechanics and Materials*, vol. 553, pp. 76-81, 2014.