

# Simulation de cuisson et d'usinage de composites à fibres longues

B. Wucher<sup>1</sup>, P. Martiny<sup>1</sup>, O. Pierard<sup>1</sup>, H. Minnebo<sup>1</sup>, F. Lani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Cenaero, Centre de Recherche en Aéronautique, Belgique {benoit.wucher,philippe.martiny,olivier.pierard,hans.minnebo,frederic.lani}@cenaero.be*

**Résumé** — Cette contribution présente une première implémentation et preuve de fonctionnement d'une chaîne de simulation de polymérisation (centrée sur Abaqus) puis d'usinage global (centrée sur le logiciel Morfeo / Machining) de matériaux composites à fibres longues. Plus précisément, on s'intéresse à l'apparition de contraintes d'origine thermique et chimique lors de la cuisson et la relaxation de celles-ci (et l'apparition de défauts associés) lors d'un enlèvement de matière.

**Mots clés** — composites, cuisson, usinage.

## 1 Problématique

### 1.1 Contexte

Les étapes du procédé de fabrication, du moulage à l'assemblage, en passant par la cuisson et l'usinage, entraînent des déformations (liées à l'apparition et/ou la disparition de contraintes internes) qui écartent la pièce fabriquée de la géométrie théorique visée. Ces phénomènes doivent être anticipés dès la conception du moule, afin de respecter les tolérances de fabrication, et même réduits, car ils peuvent entraîner des défauts, jusqu'à des délaminations, affectant ainsi les propriétés mécaniques de la pièce. La présente étude s'inscrit dans une démarche d'amélioration des techniques numériques permettant de répondre à cette problématique de prédiction des rétreints thermiques et chimiques, puis à leur évolution lors des étapes de perçage et finition, appliquées aux composites à fibres longues.

### 1.2 Phénomène étudié

Ce travail est centré autour des contraintes résiduelles qui apparaissent lors de la phase de cuisson du matériau composite et qui se relâchent lors de l'usinage de la pièce (détourage, perçage...). Il est fait ici référence à l'usinage appelé global, par opposition à l'usinage local qui prend en compte la modélisation fine des mécanismes de rupture des constituants et de l'interaction outil-matière. Nous observons donc, à l'échelle de la pièce, les déformations causées par la relaxation des contraintes internes suite à un enlèvement de matière 'instantané'. Nous considérons également l'évolution des contraintes interlaminaires afin d'évaluer le risque éventuel de délaminage.

## 2 Travail effectué

### 2.1 Modèle de cuisson

Le cadre du modèle de cuisson considéré limite les configurations à un empilement de matériaux homogènes (les plis), dont le comportement mécanique est linéaire orthotrope. Le modèle de comportement en cuisson dérive d'un modèle viscoélastique, où les dépendances au temps, à la température et au degré de cuisson, sont simplifiées au maximum en des fonctions échelon [3]. Bien que simplifié, ce modèle permet de tenir compte des phénomènes de premier ordre suivants :

- l'expansion thermique,
- les rétreints chimiques,
- les déformations qui sont emprisonnées dans le matériau au passage de la transition vitreuse.

Le modèle fait également l'hypothèse que la température est uniforme dans toute la pièce (vrai pour des pièces minces, avec peu d'inertie thermique et une uniformité de température dans le moule).

## 2.2 Usinage

L'usinage est simulé de manière globale dans le logiciel éléments finis interne Morfeo/Machining [1]. La définition de la passe de coupe se fait grâce à un level-set [2], ce qui accorde une grande flexibilité à l'utilisateur, et permet la modélisation de passes successives sur pièces déjà déformées (au contraire d'approches à maillage conforme). La relaxation des contraintes se fait en relâchant les forces internes, calculées sur base des contraintes résiduelles, le long de l'iso-zéro du level-set : l'enlèvement de la matière se trouvant dans la partie positive du level-set est ainsi simulé.

Pour disposer d'une chaîne cuisson -> usinage, une interface entre Abaqus et Morfeo/Machining a été développée. Ce lien inclut transfert et transformation de maillage, transfert et extrapolation du champ de contraintes, transfert des orientations et propriétés matériau. Une faculté majeure de cette chaîne est la transformation du maillage de cuisson (quelconque), en un maillage de tétraèdres (nécessaire à la simulation d'usinage). La Figure 1 montre un exemple de déformation d'une cornière en L après cuisson et perçage, relativement à la configuration initiale (traits bleus). Cet exemple est fourni à titre d'illustration / preuve de concept (séquence d'empilement simpliste et non équilibrée). Une étude paramétrique sur un cas représentatif, spécifié par un partenaire industriel, sera présentée dans l'article. La Figure 2 montre, sur un autre exemple, la perte de circularité lors du perçage d'un trou en raison de la relaxation des contraintes de cuisson (on y voit le champ de déplacement, grandement augmenté).

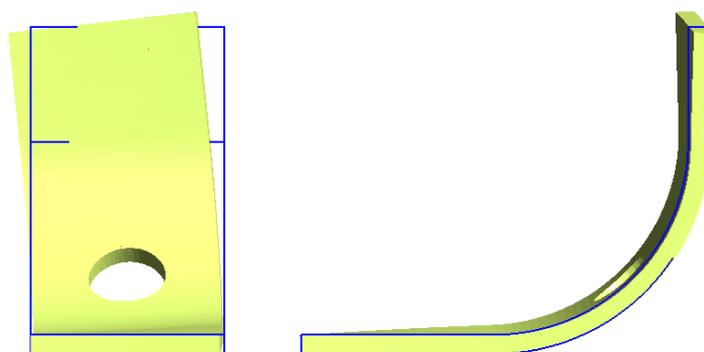


FIG. 1 – Déformations d'une cornière après cuisson et usinage

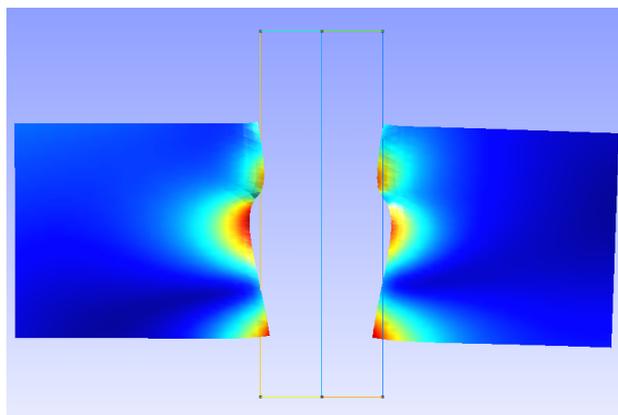


FIG. 2 – Perte de circularité lors du perçage

## Références

- [1] CENAERO. Morfeo, <http://www.cenaero.be/morfeo>.
- [2] O. Pierard, J. Barboza, M. Duflot, L. D'Alvise, A. Perez-Duarte. *Distortions prediction during multi-pass machining simulations by using the level-set method*. International journal of material forming, 1 : 563-565, 2008.
- [3] J. M. Svanberg. *Predictions of manufacturing induced shape distortions*. Thèse de doctorat, Luleå University of Technology, Suède, 2002.