

Comportement anélastique des renforts fibreux

Irréversibilités lors de la mise en forme

T. Abdul Ghafour, Y. Denis, E. Guzman Maldonado
P. Boisse, J. Colmars, N. Hamila, F. Morestin

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures, UMR 5259
Mars 2020



Introduction

Les simulations de mise en forme des renforts fibreux sont généralement basées sur des modèles de comportement élastiques (hyperélastiques, hypoélastiques). Pourtant lors de la mise en forme des glissements peuvent apparaître entre fibres, et constituent de ce fait des sources de dissipation. Plusieurs travaux de thèse menés au laboratoire ([2, 4]) ont permis d'évaluer l'utilité de prendre en compte des modèles de comportement irréversibles.

Mise en évidence expérimentale des irréversibilités de comportement

Des essais de flexion et de cisaillement (Figures 1,2) ont permis de mettre en évidence des comportements hystériques lors de cycle de chargement (Figures 3,4). Ces comportements anélastiques sont alors identifiés et intégrés aux simulations de mise en forme.

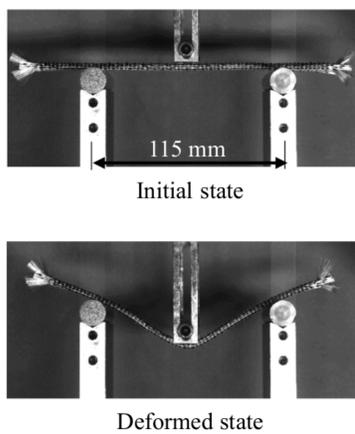


FIGURE 1 – Essais de flexion 3 points. D'après [1].

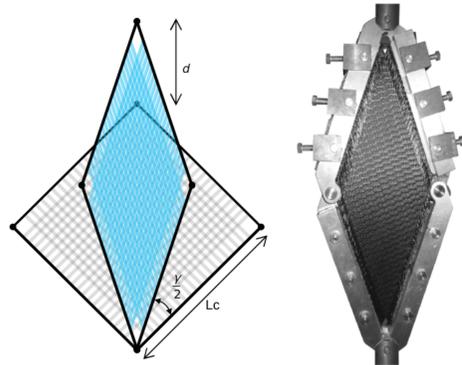


FIGURE 2 – Essais de cisaillement par picture-frame. D'après [3]

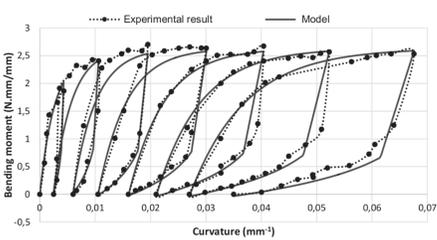


FIGURE 3 – Cycles de chargement en flexion. D'après [1].

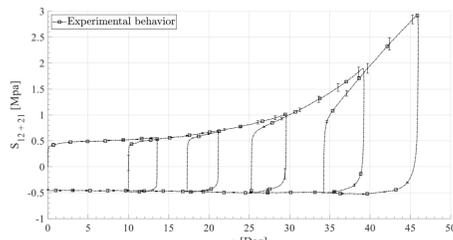


FIGURE 4 – Cycles de chargement en cisaillement. D'après [3]

Mise en forme avec cycle de flexion

Dans l'exemple suivant, nous simulons une mise en forme uni-directionnelle, afin de suivre les trajets de chargement en flexion. Le poinçon en U est enfoncé dans un trajet monotone. En bout de course la forme, imposée par le poinçon, est identique dans le cas élastique et dans le cas anélastique.

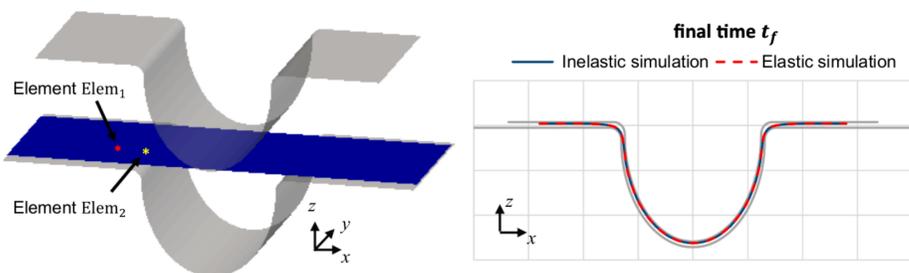


FIGURE 5 – Simulation d'une forme en U avec une loi élastique et une loi dissipative sur un trajet monotone. Suivi de deux éléments finis dans le renfort. D'après [1].

Sur la Figure 6 on peut suivre l'évolution des courbures des éléments repérés sur la Figure 5 pour des simulations élastiques et anélastiques. Malgré le fait que le trajet est monotone, on observe que les éléments subissent un cycle de chargement en flexion. De ce fait si la loi change, alors les efforts internes changent également.

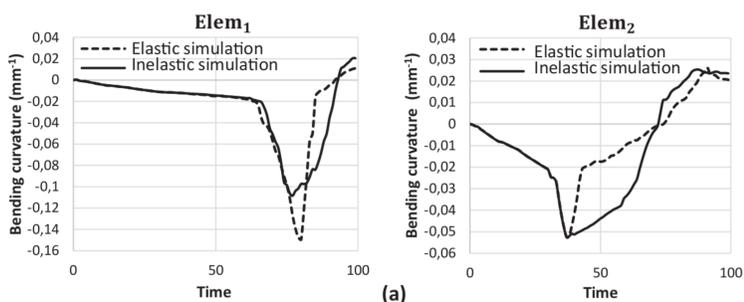


FIGURE 6 – Suivi des courbures des deux éléments de la figure 5. D'après [1].

Implémentation des lois de comportements anélastiques

Plusieurs approches ont été envisagées pour tenir compte des lois de comportement anélastiques dans les simulations de mise en forme :

- des lois empiriques basées sur des relations polynomiales [2],

- une approche élasto-plastique en grandes transformations utilisant des surfaces de charges multiples de Mroz [3],
- une approche basée sur les dérivées fractionnaires [4].

Simulation de mise en forme avec retrait du poinçon

A l'aide des lois de comportement anélastiques, il est possible de simuler l'effet d'un retrait de poinçon. Après retour élastique, on constate une certaine quantité d'irréversibilités.



FIGURE 7 – Simulation du retour élastique d'un tissu avec retrait d'un poinçon tétraédrique. D'après [1].

Chargements incrémentaux

Lors de mises en forme incrémentales, on complexifie les trajets de chargements, on multiplie les cycles de chargement, et l'on peut donc mettre en évidence d'avantage de différences entre lois élastiques et anélastiques.

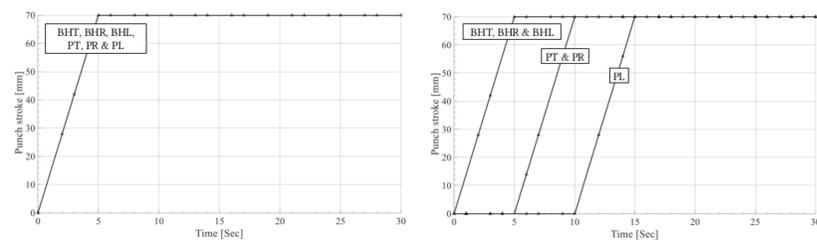


FIGURE 8 – Historique de déplacement des poinçons dans le cas d'une mise en forme homogène (gauche) et multi-étapes (droite). D'après [3]

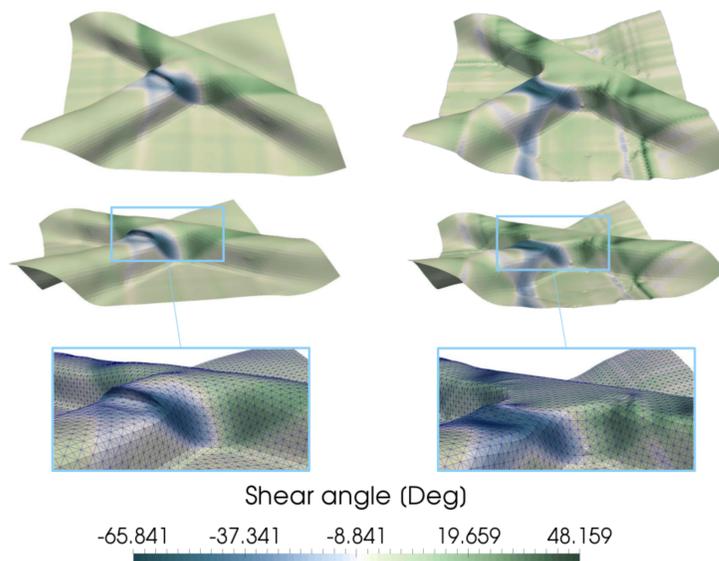


FIGURE 9 – Observation des angles de cisaillements résultant d'une mise en forme à une étape (gauche) et multi-étapes (droite). D'après [3]

Conclusions

- les renforts fibreux, soumis à des cycles de chargement, montrent des comportements dissipatifs liés aux glissements entre fibres.
- même dans le cas de mises en formes monotones (sans déchargement), nous pouvons mettre en évidence des cycles de chargements, notamment en flexion, qui affectent les efforts internes à la matière.
- pour des mises en forme monotones (sans retrait d'un poinçon), qui est le cas le plus fréquent des mises en formes, la cinématique est imposée par la fermeture du poinçon sur la matrice : les différences cinématiques entre les modèles élastique et anélastique sont dans ce cas minimales.
- dans le cas d'un retrait du poinçon ou dans le cas de mises en formes complexe, notamment utilisant plusieurs poinçons asynchrones, la prise en compte des irréversibilités de comportement devient essentielle.

Références

[1] T. Abdul Ghafour, J. Colmars, and P. Boisse. The importance of taking into account behavior irreversibilities when simulating the forming of textile composite reinforcements. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 127 :105641, 2019.

[2] Tarek Abdul Ghafour. *Analyse des irréversibilités lors de la mise en forme des renforts de composites*. PhD thesis, INSA Lyon, 2019.

[3] Y. Denis, E. Guzman-Maldonado, N. Hamila, J. Colmars, and F. Morestin. A dissipative constitutive model for woven composite fabric under large strain. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 105 :165 – 179, 2018.

[4] Yvan Denis. *Modélisation en grandes transformations du comportement hystérique des renforts de composites : application à l'estampage incrémental*. PhD thesis, INSA Lyon, 2019.