

**Titre :** Simulation numérique et investigation expérimentale du formage de préformes fabriquées par la technologie tailored fibre placement : une formulation mixte élément fini embarqué-ALE

**Mots clés :** Tailored Fibre Placement, Formage, Eléments finis, Méthode ALE

**Résumé :** La technologie Tailored Fibre Placement (TFP) permet de fabriquer des préformes fibreuses planes à orientation et épaisseur continûment variables. L'hybridation du TFP et du formage est une solution attractive pour produire des pièces composites 3D optimisées. Au cours du formage de pièces complexes, les changements de trajectoires curvilignes des fibres sont inévitables. La prédiction de l'état final de la préforme TFP est nécessaire pour utiliser pleinement le potentiel de cette solution hybride dans le monde industriel.

Une première approche de modélisation est proposée pour simuler le formage de préformes TFP. Deux modèles semi-discrets basés sur des éléments finis embarqués sont développés pour représenter des préformes avec et sans matériau support. Dans ces deux modèles, les

mèches de fibres sont représentées explicitement avec des éléments finis de poutre et le glissement entre les constituants de la préforme est d'abord négligé.

La validation du modèle sans matériau support est réalisée au travers du formage sur des poinçons hémisphérique et tétraédrique avec obtention d'orientations orthotropes.

Finalement, une formulation mixte d'éléments embarqués ALE (Lagrangienne-Eulérienne Arbitraire) est proposée pour introduire le glissement des mèches sans modifier les ingrédients initiaux des modèles. Une étude paramétrique expérimentale d'extraction de mèches est menée pour caractériser le comportement en friction à implémenter dans les modèles. La validation de cette stratégie de modélisation pour le TFP est réalisée et son extension pour le renforcement local des textiles conventionnels est abordée.

---

**Title :** Numerical simulation and experimental investigation of the forming of tailored fibre placement preforms: a mixed embedded-ALE finite element formulation

**Keywords :** Tailored Fibre Placement, Forming, Finite elements, ALE method

**Abstract:** Tailored Fibre Placement (TFP) allows manufacturing flat, net shape fibrous reinforcements with continuously varying orientation and thickness. The hybridisation of TFP and forming is an attractive solution to manufacture mechanically optimized 3D shell-like composite parts. During the forming of complex parts, inevitable fibre path changes occur in the TFP preform. Prediction of the final state of TFP preforms is required to take full advantage of this hybrid solution in the industry.

A first numerical modelling strategy is proposed to address the forming of flat TFP preforms. Two semi-discrete models based on an embedded formulation are developed to offer the possibility of removing or keeping the backing material. Both finite element models

use an explicit discretisation of the fibre tows using beam elements and assumes no slippage between the preform constituents.

Full-scale validations of the model without backing material are successfully addressed by forming hemispherical and tetrahedral parts with final orthotropic orientations.

Finally, a mixed embedded element-ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) formulation is proposed to introduce fibre slippage into the models without modifying their initial ingredients. A parametric study of pull-out experiments is performed to characterize the friction behaviour to be implemented in the models. Numerical validations for TFP preforms and an extension to model fibre slippage in conventional textiles are proposed.