

Simulation de mise en forme de structures minces avec remaillage adaptatif couplé à une méthode d'optimisation

Laurence Giraud-Moreau, Abdelhakim Cherouat, Houman Borouchaki

*Institut Charles Delaunay, Equipe Gamma3
Université de Technologie de Troyes
12 rue Marie Curie – BP2060
10010 Troyes Cedex – France*

laurence.moreau@utt.fr, abdelhakim.cherouat@utt.fr, houman.borouchaki@utt.fr

RESUME

Dés qu'il s'agit de modéliser le suivi d'une singularité par éléments finis sur une géométrie évolutive, les difficultés de maillage et remaillage sont souvent mises en avant. En effet, au cours des simulations numériques des procédés de mise en forme, les grandes déformations mises en jeu font que le maillage initial subit de fortes distorsions. Il est alors nécessaire de remailler continuellement la pièce afin de pouvoir capturer les détails géométriques des surfaces en contact, adapter la taille du maillage à la nature de la solution du problème (plasticité, endommagement...) et surtout pouvoir effectuer la simulation jusqu'à la fin du procédé de mise en forme. Cette procédure de remaillage doit être automatique et robuste.

Ce papier présente une technique de remaillage adaptatif basée sur la h-adaptivité pour la mise en forme de structures minces en trois dimensions. Des critères géométriques et physiques permettent de raffiner et déraffiner le maillage de la pièce au cours de la simulation numérique.

Cette méthode de remaillage est appliquée au domaine en cours de déformation après chaque petit pas de déplacement des outils mobiles. Dans un premier temps, un maillage initial grossier de la structure mince est généré. Puis, à chaque itération, un calcul Eléments Finis avec ABAQUS est effectué afin de simuler numériquement le procédé de mise en forme pour un petit incrément de déplacement de l'outil. La surface résultante de chaque itération est analysée via des estimateurs d'erreurs géométriques et physiques. Le maillage est alors raffiné et/ou déraffiné en fonction des cartes de taille générées par ces estimateurs d'erreur. Le remaillage s'effectue en trois phases. Dans la première phase, le maillage est déraffiné dans les zones devenues planes au cours de la simulation numérique. Dans la deuxième phase, le maillage est raffiné au voisinage des sommets anguleux, en utilisant l'estimateur d'erreur géométrique. Le raffinement géométrique est basé sur l'analyse de la courbure locale sous jacente à la surface de la pièce au cours de la déformation et consiste à subdiviser des éléments du maillage en quatre. Dans la dernière phase de remaillage, le maillage de la pièce est raffiné en fonction de la carte de taille physique (obtenue grâce à l'estimateur d'erreur physique), l'objectif étant ici d'adapter le maillage à la solution physique. Notons de plus qu'à chaque itération, les éléments totalement endommagés sont éliminés du maillage afin de simuler l'amorce de fissure. Le critère d'arrêt du processus itératif est associé à la fin du procédé de mise en forme.

Cette technique de remaillage a été couplée avec le logiciel Eléments Finis ABAQUS/EXPLICIT afin de pouvoir effectuer des simulations numériques de mise en forme de tôles minces et de tissus pré-imprégnés. La modélisation du comportement des tissus pré-imprégnés par mise en forme nécessitant la construction de modèles simplifiés, un modèle permettant de décrire l'évolution des différents constituants du matériau de base avait déjà été proposés afin de réaliser des simulations numériques de formage de pièces composites non développables [1,2]. Des éléments finis bi-composants ont été construits. Ils sont composés d'une association d'éléments finis de barre matérialisant le comportement de fibres chaîne et trame, et d'éléments finis de membrane matérialisant le comportement visqueux de la résine. Afin de pouvoir effectuer le remaillage adaptatif de ces éléments finis bi-composants, une procédure spécifique pour la mise en forme des composites a ici été

développée afin de raffiner les éléments finis de barre et les éléments finis de membrane en tenant compte de l'orientation des fibres.

La méthode de remaillage adaptatif couplée au logiciel ABAQUS/EXPLICIT a permis d'effectuer plusieurs simulations de mise en forme de tôles minces et de tissus pré-imprégnés. Quelques exemples d'applications sont présentés afin de montrer la pertinence de la méthode (voir figure 1 et 2).

Cette méthode a enfin été couplée à une méthode d'optimisation afin de déterminer les paramètres du modèle utilisé. Une méthode d'identification par approche inverse basée sur des algorithmes évolutionnaires est utilisée dans cet article.

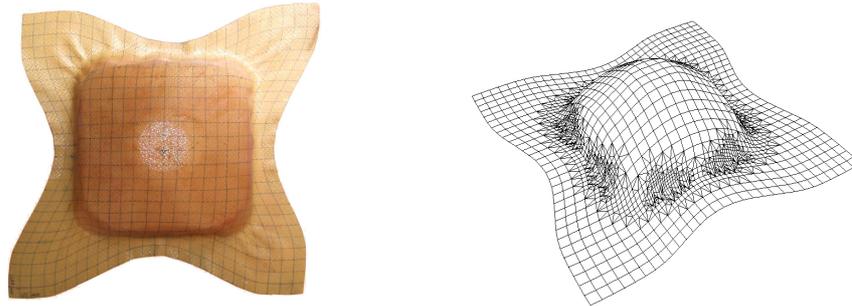


Figure 1 : Emboutissage par poinçon conique d'une structure tissée (résultat expérimental et résultat numérique)

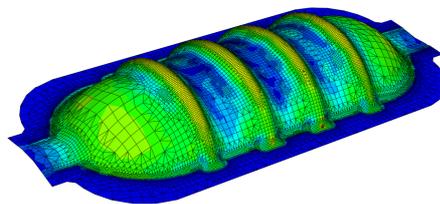


Figure 2 : Emboutissage d'un pot d'échappement

- [1] Cherouat, A; Billoët, J.L.: Finite element model for the simulation of pre-impregnated woven fabric by deep-drawing and laying-up processes. *J. Advanced Material*, 32, 42-53, 2000.
- [2] Cherouat, A; Billoët, J.L.: Mechanical and numerical modelling of composite manufacturing processes deep-drawing and laying-up of thin pre-impregnated woven fabrics, *J. of Materials Processing Technology*, vol. 118, p. 460-471, 2001.