



**HAL**  
open science

# Endommagement et procédé de mise en forme. Apport du maillage adaptatif

Carl Labergere, Alain Rassinoux, Khemais Saanouni

## ► To cite this version:

Carl Labergere, Alain Rassinoux, Khemais Saanouni. Endommagement et procédé de mise en forme. Apport du maillage adaptatif. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01495782

**HAL Id: hal-01495782**

**<https://hal.science/hal-01495782v1>**

Submitted on 26 Mar 2017

**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.

Public Domain

---

# Endommagement et procédé de mise en forme. Apport du maillage adaptatif

## Thème Contrôle et optimisation

Carl Labergere\* — Alain Rassineux\*\* — Khemais Saanouni \*

\* ICD/LASMIS, FRE CNRS 2848, Université de Technologie de Troyes

12 rue Marie Curie BP2060 10010 Troyes [Carl.labergere@utt.fr](mailto:Carl.labergere@utt.fr),  
[khemais.saanouni@utt.fr](mailto:khemais.saanouni@utt.fr)

\*\* Laboratoire Roberval, FRE CNRS 2833, Université de Technologie de Compiègne [Alain.rassineux@utc.fr](mailto:Alain.rassineux@utc.fr)

---

*RÉSUMÉ. La simulation numérique par éléments finis de certains procédés de mise en forme nécessite de caractériser l'apparition d'endommagement ductile. Dès qu'il s'agit de modéliser le suivi d'une singularité par éléments finis sur une géométrie évolutive, les difficultés de maillage et de remaillage sont souvent mises en avant. En effet, au cours des simulations numériques de procédés de mise en forme, de fréquents remaillages sont nécessaires au cours du calcul afin d'éviter les fortes distorsions du maillage causées par les non linéarités et surtout pour adapter la taille du maillage à la nature de la solution du problème (plasticité, endommagement, température, ...). La formulation d'estimateur d'erreur géométrique et physiques permettent de localiser les zones à raffiner. Cette méthodologie de remaillage adaptatif a été intégrée dans une boucle de calcul utilisant le solveur EF ABAQUS/Explicit.*

*ABSTRACT. Numerical simulation by finite element of forming processes requires ductile damage. Difficulties of meshing and remeshing often impede the convergence of time evolving processes. During the process, frequent remeshing must be performed in order to avoid severe mesh distortions and in order to adapt the mesh size to the solution (plasticity, damage, temperature). Geometrically and physically error estimators have been developed in order to locate areas to remesh. This adaptive scheme has been coupled ABAQUS/Explicit solver*

*MOTS-CLÉS : Endommagement, couplage multiphysique, procédé de mise en forme, maillage adaptatif, estimateurs d'erreur*

*KEYWORDS: Damage, coupling multiphysic, metalforming processes, adaptive remeshing, error estimate*

---

## 1. Introduction

Dès qu'il s'agit de modéliser le suivi d'une singularité par éléments finis sur une géométrie évolutive, les difficultés de maillage et de remaillage sont souvent mises en avant. En effet, au cours des simulations numériques de procédés de mise en forme, de fréquents remaillages sont nécessaires au cours du calcul afin d'éviter les fortes distorsions du maillage causées par les non linéarités et surtout pour adapter la taille du maillage à la nature de la solution du problème (gradient de variables d'état : plasticité, endommagement, température, ....) (Boussetta et al. 2006), (Saanouni et al. 2003), (Lestriez et al. 2004), (Belamri et al. 2005).. Ces remaillages sont indispensables pour pouvoir effectuer les calculs jusqu'à la fin du procédé de mise en forme et obtenir une solution correcte tenant compte de la suppression des éléments totalement endommagés. En outre, en plus des aspects liés à la physique du problème, la gestion du contact entre la pièce et les outils exige une densité de maillage permettant d'appréhender ce type de problème. Cela nécessite des indicateurs d'erreur basés non seulement sur le gradient des champs physiques (plasticité, température, endommagement, ...) mais aussi sur des considérations géométriques liées par exemple aux rayons de courbure de la pièce et des outils, à la distance entre les surfaces entrant potentiellement en contact. Enfin, le point fondamental qui constitue l'originalité de ces travaux est de savoir limiter le raffinement du maillage aux zones actives (zones d'élaboration) en déraffinant le maillage dans les zones inactives ou inertes de façon à garder à peu près constant le nombre de degrés de liberté. Pour valider le fonctionnement de cette boucle de remaillage, nous avons simulé un essai traction jusqu'à rupture ainsi qu'une opération de découpage de tôle cylindrique.

## 2. Modèle de comportement élastoplastique incluant l'endommagement ductile

La méthode à variables d'état est utilisée pour décrire l'écoulement élastoplastique avec écrouissage mixte (isotrope et cinématique) non linéaire (Saanouni et al. 2003). Nous ne présenterons qu'un développement succinct du modèle de comportement dans ce papier. Pour plus de détails, vous pouvez vous référer aux articles (Saanouni et al. 2003).

## 3. Indicateurs d'erreur

Des travaux antérieurs menés à l'UTT (Borouchaki *et al.*, 2005) présentent des indicateurs d'erreurs basés sur le Hessien et l'écart au plan tangent de grandeurs physiques telles la déformation plastique, l'endommagement. L'expérience montre qu'en plus de ces estimateurs basés sur le calcul des dérivées, la carte de taille doit être pilotée par les valeurs de ces quantités, sous peine de surévaluer le nombre d'éléments.

On peut estimer de façon très schématique que la structure se décompose en 3 types de zone suivant le comportement linéaire, non linéaire et endommagé. A ces phénomènes, il convient d'ajouter la prise en compte du contact.

Il est clair que les zones non sollicitées se voient affectées la taille de maille maximale. Nous avons choisi de traiter l'endommagement par suppression d'éléments et les éléments endommagés en quasi-totalité se voient affecter la plus petite taille d'éléments, une consigne essentielle à respecter. Ainsi, dès que l'endommagement intervient, on peut raisonnablement estimer que la carte de tailles du nouveau peut alors se contenter de suivre l'évolution de la variable d'endommagement. Enfin, le suivi de l'évolution de la plasticité se traduit par une taille supérieure à la taille des éléments à endommager mais suffisamment faible pour ne pas « passer à côté » du phénomène. Dans la pratique, un rapport de 1 à 10 par rapport à l'endommagement est utilisé. Les phénomènes de contact utilisent la même spécification de taille que la plasticité. Ainsi, on compte donc 3 tailles caractéristiques.

## 4. L'apport du maillage adaptatif

### 4.1. Schéma de l'adaptation

Organigramme générale de fonctionnement de l'adaptation de maillage est détaillée en figure 1

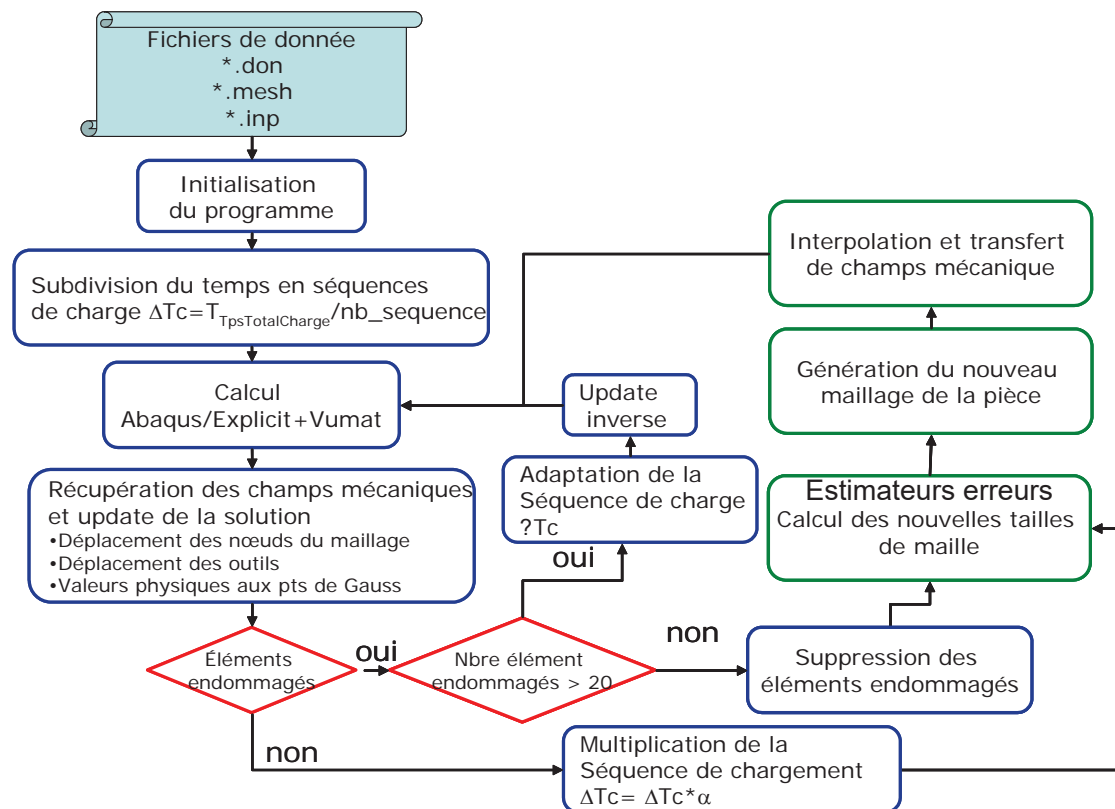


Figure 1. Maillage initiale de l'éprouvette et conditions aux limites associées

## 4.2 Le maillage

Dans le plan, les difficultés liées au problème de remaillage sont parfaitement résolues et nous nous bornerons à présenter les grandes lignes de la technique. La difficulté majeure consiste à trouver la bonne adéquation entre la progression de taille des éléments et l'évolution du phénomène physique.

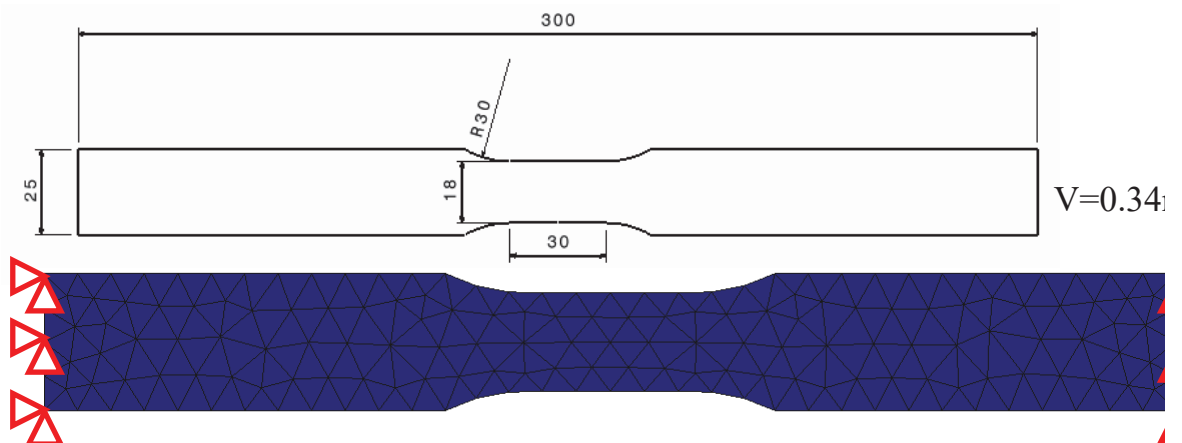
La seule donnée géométrique utilisée par le mailleur automatique se limite à la discrétisation des frontières. La consigne de taille d'éléments est donnée aux points d'intégration de l'élément. Dans la pratique, il est intéressant de disposer d'informations homogènes concernant la carte de taille. Ainsi, l'adéquation entre la carte de taille et la bonne gestion du contact entre corps, y compris l'auto-contact, se traduit par la création de points d'information de taille interprétés par le mailleur au voisinage des contacts entre frontières.

La première étape consiste à remailler le contour suivant la carte de taille. Au cours du processus, la fissure apparaît sous la forme d'éléments détruits. Dès lors, on comprend que l'allure du maillage de la fissure a une forme en dents de scie qu'il convient de lisser dès lors que l'on souhaite « déraffiner », l'originalité de ces travaux. La reconstruction et le lissage du contour au voisinage de la fissure s'appuie sur une représentation sous forme de courbes de Bézier. Le choix des courbes de Bézier s'explique facilement par le fait que la courbe reste dans le polygone caractéristique formé par ses points. L'évaluation d'un point de la courbe est donnée par l'algorithme de Casteljau.

## 7. Application à un essai de traction uniaxial d'une éprouvette en alliage de cuivre

Nous allons simuler un essai de traction uniaxial d'une éprouvette en alliage de cuivre jusqu'à rupture. L'ensemble des données expérimentales sont issus des travaux de (B. Guelorget et al. 2006).

Les conditions de montage sont définies sur la figure 2 et les paramètres du modèle de comportement sont donnés dans le tableau n°1.



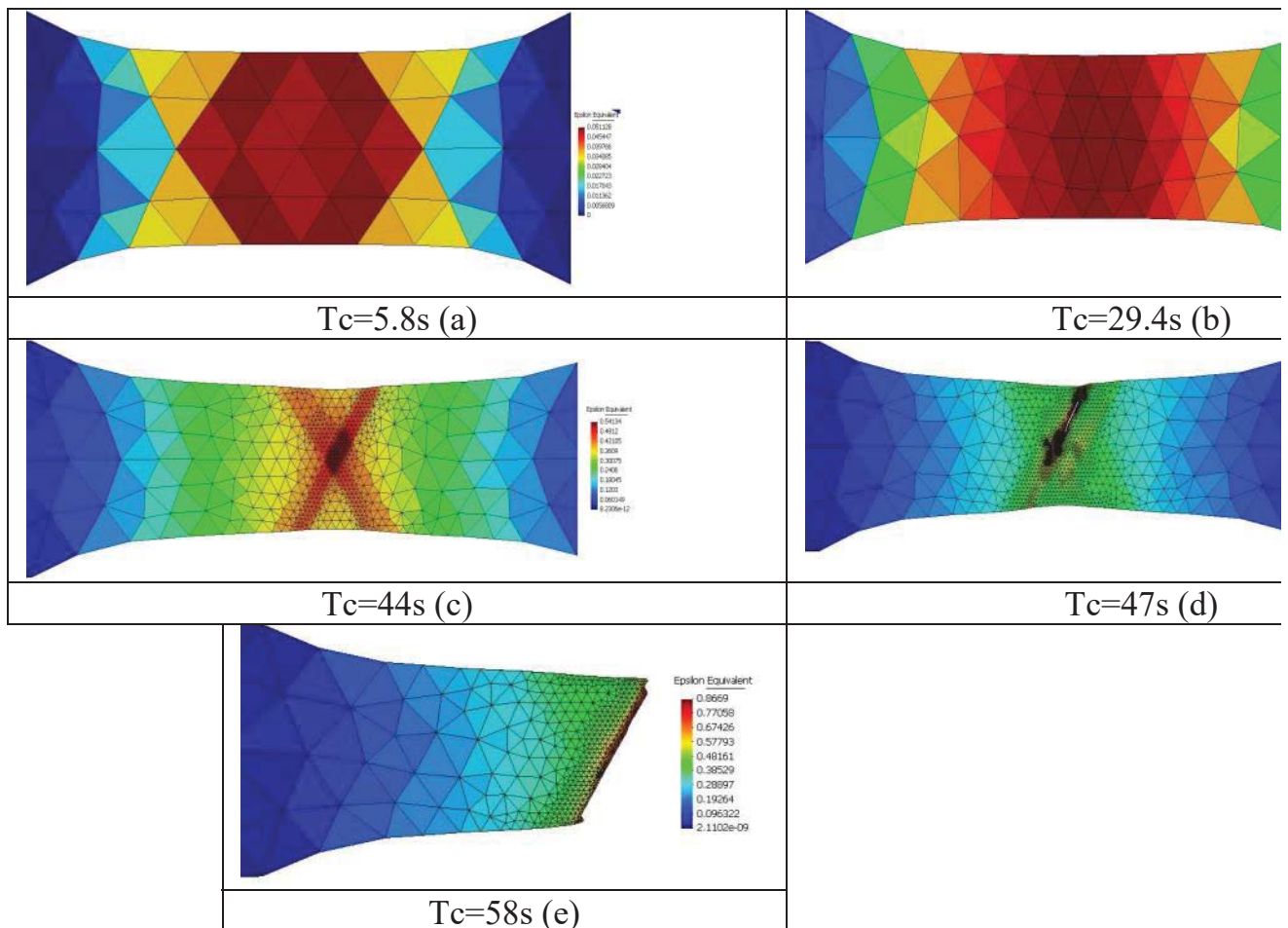
**Figure 5.** Maillage initial de l'éprouvette et conditions aux limites associées

E (GPa)	$\nu$	$\sigma_y$	Q (MPa)	b	S	s	$\beta$	$Y_0$
110	0.35	195	700	4.2	35.	1.5	3.	0.

**Tableau 1.** Paramètres du modèle de comportement pour l'alliage de cuivre.

L'éprouvette est maillée avec des éléments linéaire à 3 nœuds CPS3 (spécifique aux contraintes planes).

Cet exemple illustre le bon fonctionnement de la procédure d'adaptation de maillage en fonction de l'évolution de la déformation plastique et de l'endommagement. En particulier on note le raffinement sur la norme de la déformation plastique comme le montre les figures 6 (a ..e). La figure 6c montre l'apparition de deux bandes de cisaillement orientées selon un certain angle, à la figure 6d l'une des deux bandes l'a emporté sur l'autre et on voit une fissure se propager.



**Figure 6.** Evolution du maillage et des isovaleurs en déformation plastique cumulée pour l'essai de traction



## 12. Conclusion

L'apport du maillage adaptatif pour la simulation numérique de procédé de mise en forme complexe permet de garantir une meilleure prédictibilité surtout lorsque l'on doit simuler la propagation d'une fissure. Ce papier montre l'efficacité du maillage adaptatif et des estimateurs d'erreur pour localiser le raffinement de maillage à l'endroit les plus pertinents. Cette méthodologie est actuellement développée dans une dimension 2D mais sera portée dans le future à des cas 3D. De nouvelles formulations estimateurs sont en cours d'étude, notamment basé sur l'énergie de dissipation dans un élément.

## 13. Bibliographie

- N. Belamri, A. Cherouat, K. Saanouni, P. Autessere, « Numerical simulation 3D of sheet metal slitting process », 4th International Conference on Fracture and Damage Mechanics, 12-14 July 2005, Mallorca, Spain p137-143
- H. Borouchaki, P. Laug, A. Cherouat and K. Saanouni, « Adaptive remeshing in large plastic strain with damage », *IJNME*, vol. 63, 2005, p. 1-36.
- R. Boussetta, Coupez T., Fourment L. « Adaptive remeshing based on a posteriori error estimation for forging simulation », *Comp. Meth. Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 195, 2006, pp:6626-6645
- D. Brancherie and P. Villon. « Diffuse approximation for field transfer in non linear mechanics », *Revue Européenne de Mécanique Numérique*, vol. 15(5), 2006, p.571-587.
- A. Rassineux, « An automatic mesh generator for planar domains », *StruCome* 1991, p. 519-531, Paris 1991.
- A. Rassineux, P. Breitkopf, P. Villon, « Simultaneous surface and tetrahedron mesh adaptation using meshfree techniques », *IJNME*, vol. 57, 2003, p. 371-389.
- K. Saanouni, J.-L. Chaboche, « Application to Metal Forming », *Computational Damage Mechanics, Numerical and Computational methods*. (Editors: R. de Borst, H. A. Mang), in *Comprehensive Structural Integrity*, Edited by I. Milne, R.O. Ritchie and B. Karahaloo, ISBN: 0-08-043749-4, Vol 3, n° 7, 2003
- K. Saanouni, A. Cherouat and Y. Hammi, « Numerical aspects of finite elastoplasticity with isotropic ductile damage for metal forming », *Revue Européenne des Eléments Finis*, 2-3-4, pp. 327-351, 2001
- P. Lestriez, K. Saanouni, J.F. Mariage and A. Cherouat, « Numerical prediction of damage in metal forming process including thermal effects », *Int. J. of Damage Mechanics*, Vol. 13, N°1, pp:59-80, January 2004
- B. Guelorget, M. François, C. Vial-Edwards, G. Montay, L. Daniel, J. Lu « Strain measurement by electronic speckle Pattern Interferometry: a new look at the strain localisation onset », *Materials Science and Engineering*, Vol. 415, pp:234-241, 2006