

# Détection de l'apparition de la localisation dans la simulation d'opérations de formage des tôles métalliques

L. TABOUROT<sup>a</sup>, P. BALLAND<sup>b</sup>, N. A. SENE<sup>c</sup>, N. KSIKSI<sup>d</sup>

a. F-Univ. Savoie Mont Blanc, [laurent.tabourot@univ-smb.fr](mailto:laurent.tabourot@univ-smb.fr)

b. F-Univ. Savoie Mont Blanc, [pascale.balland@univ-smb.fr](mailto:pascale.balland@univ-smb.fr)

c. Sénégal, Univ. Cheikh Anta Diop de Dakar, [ndsene@gmail.com](mailto:ndsene@gmail.com)

d. F - Univ. Savoie Mont Blanc, [nesrine.ksiksi@univ-smb.fr](mailto:nesrine.ksiksi@univ-smb.fr)

## Résumé :

*Les matériaux ont une nature très hétérogène et discontinue que l'on gomme au niveau de la modélisation phénoménologique pour intégrer le cadre de la mécanique des milieux continus. On s'interroge ici sur le rôle des hétérogénéités dans les matériaux métalliques sur la localisation. L'intérêt de prendre en compte les hétérogénéités dans la modélisation est donc mesuré en comparant les performances de modélisations de type phénoménologique, avec ou sans facteur d'hétérogénéités, relatives à la prédiction de la localisation sur des tôles fines de titane.*

## Abstract:

*Materials have a very heterogeneous and discontinuous nature that one erases at the level of phenomenological modeling to integrate the framework of continuum mechanics. In this work, one wonders about the role of heterogeneities in metallic materials on necking. The advantage of taking into account the heterogeneity in modeling is therefore measured by comparing phenomenological modeling performances, with or without heterogeneity factor, for predicting the necking of thin sheet titanium.*

**Mots clefs : limite formage, hétérogénéités, matériaux métalliques, simulations numériques**

## 1 Introduction

Tous les procédés de fabrication, l'usinage, la fonderie, la fabrication de composites la fabrication additive, l'emboutissage, etc. sont clairement des procédés concurrents les uns des autres. Pour conserver des parts de marché, les industriels qui opèrent un procédé donné sont alors confrontés à différents défis souvent en conditionnés par le prix de la matière première qui prend une part de plus en plus importante dans le prix de revient final d'une pièce. Ainsi, pour préserver leurs parts de marchés, les industries

de la mise en forme sont notamment obligées de tirer le meilleur parti des matériaux en s'approchant le plus possible des limites de formage lors de la production. Il s'agit alors d'utiliser le matériau qui soit le meilleur marché possible pour une finalité donnée.

Dans la mesure où les opérations de formage deviennent de plus en plus compliquées pour réaliser une pièce, la faisabilité de celle-ci devient très difficile à déterminer et le recours à la simulation numérique est devenu incontournable pour toute entreprise qui veut répondre aux besoins du marché relativement à la complication des pièces et l'accroissement de la précision géométrique.

La mise au point des procédés de mise en forme par simulation numérique pour définir rapidement des outillages qui permettent d'obtenir des pièces conformes aux spécifications géométriques et sans autres défauts majeurs reste un sujet majeur. En effet la complication croissante des pièces requiert un progrès permanent de techniques de simulation et des modélisations qui s'y rapportent. Dans la liste des différents points à maîtriser pour obtenir un outil de simulation complet, figure l'indicateur qui permet de détecter la localisation du matériau lors de l'opération de formage virtuelle.

## **2 Problématique**

Les courbes limites qui définissent, soit les déformations, soit les contraintes qu'il ne faut pas dépasser sont de nos jours, malgré leur pseudo rusticité, toujours largement utilisées pour la mise au point des outillages. Ceci veut sans doute dire que les critères numériques alternatifs de localisation n'ont pas atteint la maturité suffisante pour garantir que le matériau ne localisera pas avec un degré de fiabilité suffisamment. De plus, l'intégration d'un critère requiert un important travail de codage informatique. Ces faits ne rendent pas aisée leur utilisation et leur généralisation dans le monde industriel.

La détection de la localisation est en fait une question délicate car elle se place au bout de la chaîne de simulation. Les conditions de localisation sont évaluées à partir de données pour lesquelles l'accumulation des imprécisions durant l'histoire de déformation est la plus grande.

### **2.1 La détection de la localisation, un problème compliqué**

En matière de localisation, on souhaite s'intéresser à un critère objectif de prédiction associée aux décharges [1] dans le matériau qui tranche par rapport à différentes approches très mathématisées proposées par ailleurs. L'intérêt de critère objectif est son faible coût numérique puisqu'il se fait au prix d'un simple post traitement des données issues de la simulation. Il s'applique pour n'importe quelle loi et ne requiert donc pas de développement spécifique quel que soit le modèle utilisé pour décrire le comportement.

### **2.1 La modélisation comportement du matériau, un vecteur clé de la qualité de la prédiction de la localisation**

La qualité de la prédiction de la localisation lors d'une simulation numérique dépend en premier lieu du critère qui définit les conditions de localisation mais aussi fortement de la qualité de la loi qui a permis de déterminer la distribution des contraintes et des déformations dans le composant. La qualité des critères de localisation est donc de ce

point de vue clairement subordonnée à la qualité des modèles de prédiction du comportement du matériau.

Dans ce domaine, l'alternative, pour une simulation effectuée dans un contexte industriel, indubitablement la plus pratique et la plus courante est sans aucun doute le recours à des modèles dits phénoménologiques qui apparentent le matériau à une boîte noire. Un bémol d'importance est que l'accroissement de la "performance" du modèle pour en élargir le champ d'application se paie au prix fort par l'augmentation du nombre de paramètres. Une option intéressante est alors de développer des modèles hybrides qui conservent dans une certaine mesure un caractère phénoménologique mais qui intègrent par construction certains phénomènes physiques prépondérants dans le but de renforcer son efficacité tout en diminuant le nombre de paramètres supplémentaires. Dans le cadre de cette étude, on utilise un tel modèle hybride. Ce modèle prend en compte l'hétérogénéité intrinsèque des propriétés mécaniques, propre à chaque matériau. Dans notre cas, l'hétérogénéité des propriétés est introduite par le biais de la simulation numérique sans complication notable des modèles. Cette voie de modélisation est en plein développement [2,3] et les premiers résultats ramenés à leur simplicité sont prometteurs.

### 3 Prédiction de la localisation durant la simulation numérique

Cette étude s'intéresse donc à la prédiction numérique de la localisation en considérant simultanément le critère de localisation et la loi de comportement. L'idée est de promouvoir la détection de la localisation par l'analyse des décharges dans la tôle et de montrer l'importance des hétérogénéités intrinsèques des matériaux sur la qualité de la prédiction.

On se fixe le double objectif de faire progresser la qualité des prédictions d'une part et faciliter leur mise en œuvre d'autre part. Pour valider l'intérêt de couplage spécifique proposé, on utilise un matériau à fort caractère d'hétérogénéité pour l'étude. En raison de sa structure cristalline hexagonale qui limite le nombre de systèmes de glissements, le titane a un comportement mécanique très hétérogène et est retenu à ce titre.

L'intérêt de prendre en compte les hétérogénéités dans la modélisation est donc mesuré en analysant la performance comparée (avec une modélisation de type phénoménologique sans hétérogénéité) pour la prédiction de la localisation sur des tôles de titane.

### Références

- [1] L. Tabourot, P. Vacher, T. Coudert, F. Toussaint, R. Arrieux, Numerical determination of strain localisation during finite element simulation of deep-drawing operations, *J. Mater. Process. Technol.* 159 (2005) 152–158.
- [2] L. Tabourot, P. Balland, J. Raujol-Veillé, M. Vautrot, C. Déprés, F. Toussaint, Compartmentalized Model for the Mechanical Behavior of Titanium, *Key Eng. Mater.* 504-506 (2012) 673–678..
- [3] L. Tabourot, P. Balland, M. Vautrot, O.S. Hopperstad, J. Raujol-Veillé, F. Toussaint, Characterization and Modeling of the Elastic Behavior of a XC68 Grade Steel Used at High Strain Rates and High Temperatures, *Key Eng. Mater.* 554-557 (2013) 1116–1124.