

# Modélisation et simulation numérique de l'emboutissage de tôle gauffrées

C. Labergere<sup>a</sup>, H. Badreddine<sup>a</sup>, S. Msolli<sup>b</sup>, K. Saanouni<sup>a</sup>, M. Martiny<sup>b</sup>, F. Choquart<sup>c</sup>

a. ICD/LASMIS UMR 6281, Université de Technologie de Troyes, 12 rue Marie Curie, BP 2060, 10010 Troyes, [carl.labergere@utt.fr](mailto:carl.labergere@utt.fr),

b. LEM3 – UMR CNRS 7239, Université de Lorraine, Ile de Saulcy, 57045 Metz

c. CERA-TREVES, 2-4 rue Emile Arquès, BP 204, 51686 Reims

## Résumé :

*Ce papier présente nos travaux dans le cadre d'un projet portant sur la modélisation et la simulation numérique de l'emboutissage des tôles gauffrées. Un modèle de comportement incluant diverses natures d'écrouissage (isotrope et cinématique), diverses sources d'anisotropie et couplé à un endommagement isotrope ductile a été utilisé. Un exemple d'emboutissage complexe de tôle gauffrée est enfin présenté et discuté*

## Abstract :

*This paper presents our work as part of a project on modeling and numerical simulation of embossed sheets stamping. A behavior model including various kinds of hardening (isotropic and kinematics), various sources of anisotropy and coupled to a ductile isotropic damage was used. A complex example of embossed sheet stamping is finally presented and discussed*

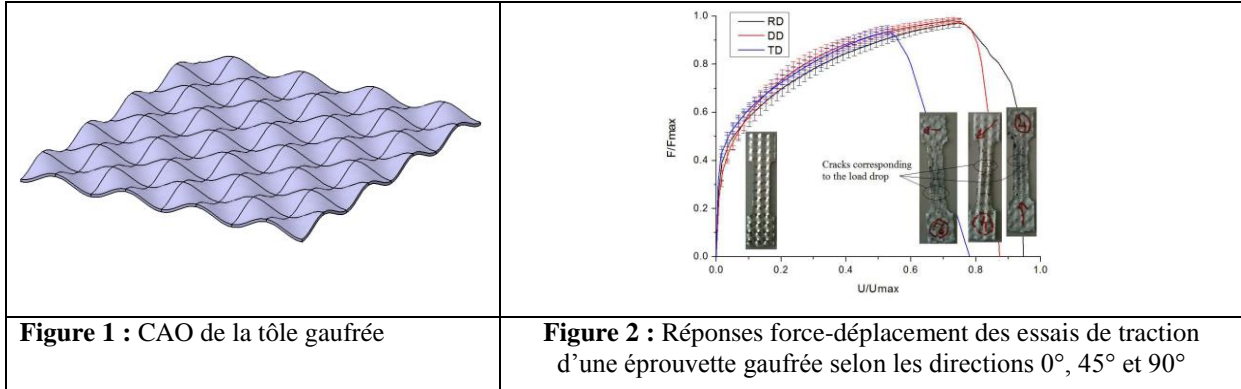
## Mots clefs : Mots clefs

Tôle gauffrée, emboutissage, plasticité, endommagement, anisotropie

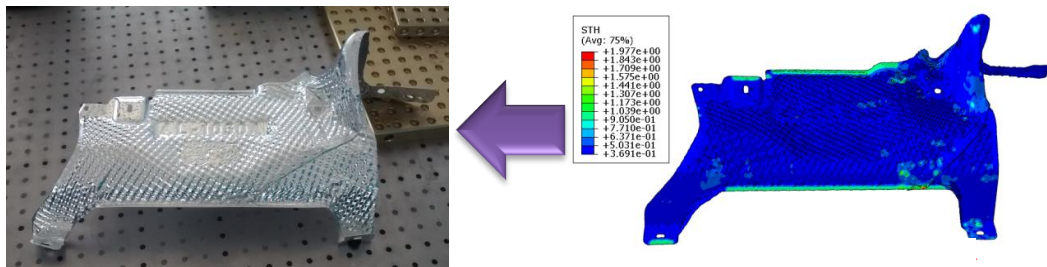
## Résumé étendu:

De nombreux travaux sur la simulation numérique de formage des tôles orthotropes plus ou moins épaisses ont été réalisés depuis de nombreuses années et la série des congrès NUMISHEET, ESAFORM, IDDRG, SHEMET, NUMIFORM, CFM, ... dédiée à cette thématique, témoigne de l'importance de ces travaux dévolus au formage des structures en tôles (ou en tubes). Ces travaux majoritairement orientés vers les procédés d'emboutissage, traitent de plus en plus d'autres procédés comme le pliage, l'hydroformage, le poinçonnage, le cisailage, ... des tôles plus ou moins minces. Ces travaux sont majoritairement basés sur des modèles de comportement qui utilisent une théorie de plasticité à écrouissage purement isotrope avec des critères isotropes (type Von Mises) ou anisotropes quadratiques (type Hill 1948) ou même anisotropes non quadratiques (Barlat 1991, ...). Les anisotropies induites par des phénomènes comme l'écrouissage cinématique où l'endommagement sont rarement prises en compte. Quelques travaux utilisent la notion d'endommagement local de la matière comme critère de rupture mais sans aucun couplage «fort» entre cet endommagement et les autres champs thermomécaniques en présence. De plus, la majorité des études de simulation du procédé d'emboutissage considère des tôles lisses laminées. Très peu de travaux ont proposé des solutions pour modéliser la déformation de tôles qui peuvent initialement avoir une forme complexe

suivant l'épaisseur. Dans certains cas, une opération de laminage avec des laminoirs de forme particulière permettent de gaufrer initialement des tôles en alliage d'aluminium, voir Figure 1. Les tôles gaufrées permettent d'obtenir des formes embouties complexes qui seraient impossible à obtenir à partir de la même tôle en lisse. Les travaux les plus récents se focalisent uniquement sur la modélisation de tôles ondulées [1, 2, 6] mais pas sur la simulation numérique de la mise en forme des tôles gaufrées.



Dans le cadre d'un projet de recherche en collaboration avec l'entreprise CERA/Trèves et les laboratoires LEM3 et ICD/LASMIS, nous avons été amenés à étudier et modéliser l'influence du gaufrage sur la mise en forme d'une tôle par emboutissage. Le modèle de comportement utilisé dans ce travail s'appuie sur le couplage fort entre le comportement des métaux et leur endommagement ductile compte tenu de l'écroutissage isotrope et cinématique non-linéaire, l'anisotropie de l'écoulement plastique, les anisotropies induites par écroutissage cinématique et/ou par endommagement [3, 5, 7]. L'identification des paramètres du modèle se base sur des essais de traction et de gonflement hydraulique d'éprouvettes taillées dans des tôles lisses d'alliage d'aluminium AA-1050-O [4]. Le logiciel commercial ABAQUS® a été choisi comme support de développement du modèle et pour simuler aussi bien les essais de caractérisation que les opérations d'emboutissage.



**Figure 3 :** Simulation numérique de l'emboutissage d'une tôle gaufrée et comparaison par rapport à la pièce réelle.

Un module informatique en complément du logiciel ABAQUS® a été développé pour modéliser l'état mécanique (déformée, écroutissage, variation d'épaisseur, ...) d'une tôle gaufrée à partir d'une opération de duplication d'une cellule périodique gaufrée. L'effet du gaufrage sur la mise en forme de tôle a été étudié par l'intermédiaire de différents types d'essais expérimentaux et numériques (essais de traction, essais de Marciniak, ...), voir figure 2. Une simulation numérique d'emboutissage complexe de tôle gaufrée a été réalisée et le prototype numérique a ensuite été comparé à la pièce réelle, voir figure 3. Les premiers résultats mettent en évidence que la modélisation de l'effet du gaufrage de la tôle a une incidence sur les résultats numériques de l'emboutissage et le comportement en vibration de l'écran. L'introduction de la géométrie du gaufrage et les variations d'épaisseurs influence la prédiction du modèle numérique et plus particulièrement sur la représentation réaliste de l'apparition de plis sévère dans la tôle gaufrée lors de sa mise en forme par emboutissage.

## Remerciement :

Nous remercions l'entreprise CERA/TREVES, la région Champagne-Ardenne, le pôle Materialia et l'Europe à travers le FEDER pour l'accompagnement de ce projet.

## Références

- [1] G. Kress and M. Winkler. Corrugated laminate homogenization model. *Composite Structures*, 92:795–810, 2010.
- [2] X. Li, Z. Wang, F. Zhu, G. Wu, and L. Zhao. Response of aluminium corrugated sandwich panels under air blast loadings: Experiment and numerical simulation. *International Journal of Impact Engineering*, 65:79–88, 2014.
- [3] C. Labergere, A. Rassineux, K. Saanouni, Numerical simulation of continuous damage and fracture in metal forming processes with 2D mesh adaptive methodology, *Finite Elements in Analysis and Design*, vol 82, pp 46-61, 2014
- [4] S. Msolli, C. Labergere, H. Badreddine, K.Saanouni, Experimental characterization and comparison of planar and corrugated aluminum sheets, 12th International Conference on Computational Plasticity: Fundamentals and Applications, COMPLAS 2013; Barcelona; Spain; 3 Sept 2013, Pages 1066-1074, 2013
- [5] Saanouni K., (2012). *Damage Mechanics in metal forming. Advanced modeling and numerical simulation*, ISTE/Wiley, London, ISBN: 978-1-84821-3487.
- [6] N. Talbi, A. Batti, R. Ayad, and Y.Q. Guo. An analytical homogenization model for Finite element modelling of corrugated cardboard. *Composite Structures*, 88:280–289, 2009.
- [7] Z.M. Yue, H. Badreddine, T. Dang, K. Saanouni, A.E. Tekkaya, Formability prediction of AL7020 with experimental and numerical failure criteria, *Journal of Materials Processing Technology*, vol 218, pp 80-88, 2015