



HAL
open science

Simulation numérique du découpage mécanique

Abdelhamid Touache, Philippe Picart, Jérôme Chambert

► **To cite this version:**

Abdelhamid Touache, Philippe Picart, Jérôme Chambert. Simulation numérique du découpage mécanique. 17e Congrès Français de Mécanique, Aug 2005, Troyes, France. hal-00020715

HAL Id: hal-00020715

<https://hal.science/hal-00020715v1>

Submitted on 28 Apr 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Simulation numérique du découpage mécanique

Abdelhamid TOUACHE, Philippe PICART, Jérôme CHAMBERT

Institut FEMTO-ST – UMR 6174, Département : Laboratoire de Mécanique Appliquée (LMARC)
24, rue de l'Épitaphe, 25000 Besançon, France
abdelhamid.touache@edu.univ-fcomte.fr

Résumé :

Une modélisation numérique 3D par éléments finis utilisant le logiciel LS-Dyna 970 a été réalisée pour simuler le découpage d'une empreinte rectangulaire. Un maillage éléments finis initial optimisé a été défini pour une étude paramétrique. L'influence des 2 paramètres technologiques, le rayon des coins de l'empreinte rectangulaire et le jeu poinçon matrice, sur les distributions de contraintes et de déformations dans le flan est étudiée. Ces résultats numériques corroborent les données expérimentales.

Abstract:

A 3D numerical FE modelling using the LS-Dyna 970 software was carried out to simulate the blanking of a rectangular stamp. A optimal initial finite element mesh was defined for a parametric analysis. The influence of two technological parameters, the radius of the rectangular stamp and the punch-die clearance, on the distribution of stresses and strains in the sheet is analysed. These numerical results are in good agreement with experimental data.

Mots clefs :

FEM, découpage

1 Introduction

Le recours à la modélisation et à la simulation numérique dans le processus de conception d'un produit est de plus en plus fréquent. Les produits obtenus par mise en forme des matériaux sont bien évidemment concernés. Dans l'industrie automobile notamment, la mise au point d'une opération d'emboutissage passe obligatoirement par une étape de validation numérique avant toute réalisation de prototype. Pour le découpage, procédé couramment utilisé dans l'industrie pour la fabrication de composants mécaniques, le recours à la simulation numérique reste encore limité [1]. Néanmoins le contexte économique et l'apparition de nouvelles applications, dans le domaine la micromécanique et de l'électronique par exemple, exigent des fabricants une adaptation rapide des connaissances et des compétences pour maintenir et développer leur compétitivité. Les simulations numériques présentées ont pour objet de montrer l'apport de ces outils dans la mise au point et la compréhension d'une opération de découpage.

Le modèle éléments finis utilisé ici est tridimensionnel. Ce modèle nous permet d'étudier l'influence de la forme du contour à découper celle du rayon des coins pour une empreinte rectangulaire mais aussi celle du jeu poinçon matrice sur la distribution des contraintes et des déformations dans la tôle afin de prédire le faciès de rupture dans l'épaisseur, élément important définissant la qualité du produit.

Cette étude numérique est associée à une étude expérimentale réalisée au sein d'une entreprise de découpage. Le logiciel de calcul utilisé est LS - Dyna 970 [2].

2 Présentation du problème étudié

2.1 Description géométrique et conditions aux limites

Nous nous sommes intéressés à un découpage simple (fig. 1) d'une empreinte de forme rectangulaire (2,34 mm x 0,28 mm) dans un flan dont les bords sont libres. Les quatre coins du poinçon et de la matrice sont des quarts de cercle de même rayon comme le montre la figure 2. Les autres paramètres géométriques du modèle sont donnés dans le tableau 1. La figure 1 présente une coupe de l'outillage étudié. Notre étude concerne l'analyse des champs des contraintes et des déformations le long du contour découpé et dans l'épaisseur afin d'analyser les différences de comportement de la matière entre les parties rectilignes et les coins de la découpe. Dans ce cas une représentation axisymétrique ou plane n'est pas suffisante. Aussi un modèle 3D a été développé, les données géométriques choisies correspondent à celles des essais expérimentaux.

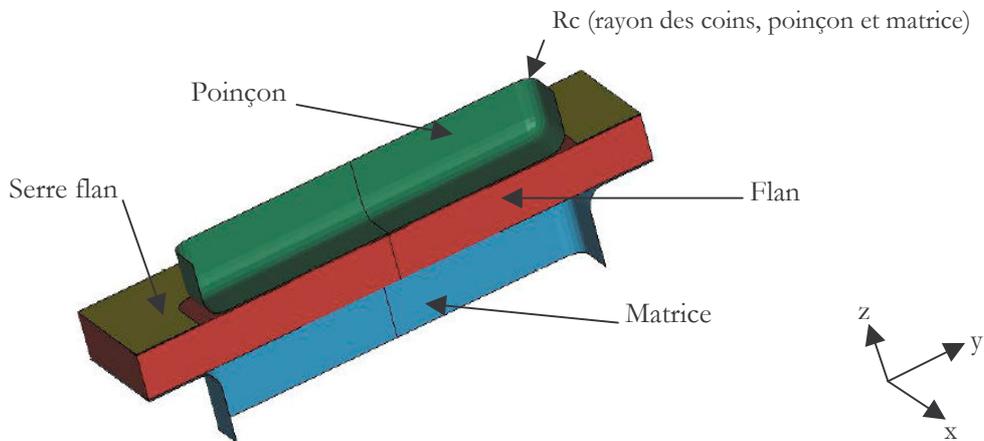


FIG. 1 – Coupe de l'outillage de découpage (suivant le plan $x=0$).

Le problème possède deux plans de symétrie, le premier plan est donné par $x=0$ et le second par $y=0$. Nous limiterons la modélisation éléments finis à $1/4$ du problème.

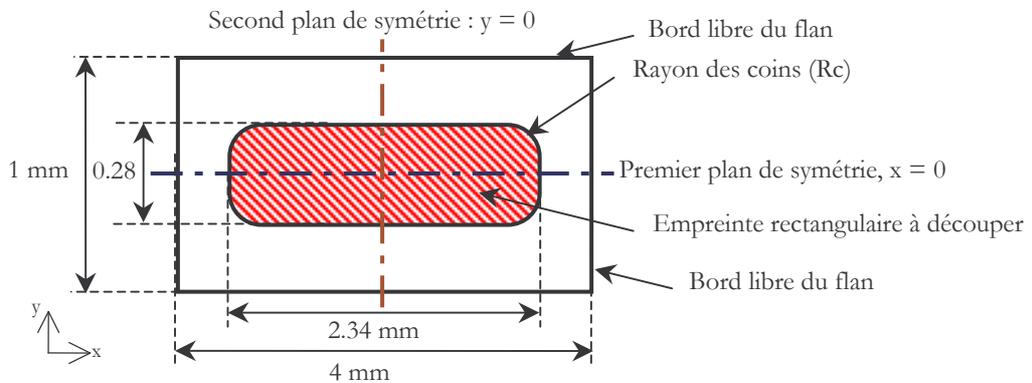


FIG. 2 – Géométrie et conditions aux limites du problème.

| | |
|---|-----------------|
| Épaisseur du flan | 0.24 mm |
| Jeu poinçon/matrice | 4 % |
| Jeu poinçon/serre flan | 2 μm |
| Rayon poinçon et matrice | 0.15 mm |
| Rayon des coins (Rc) de l'empreinte rectangulaire | 0.2 mm |

TAB. 1 - Paramètres géométriques du modèle.

2.2 Maillage éléments finis

La définition du maillage est une étape importante pour tout problème de simulation numérique par éléments finis. En effet, la qualité, la fiabilité et la précision des résultats dépendent de la discrétisation géométrique notamment pour les procédés de mise en forme qui induisent de grandes déformations, par conséquent des distorsions des éléments. Généralement, un critère déterminant la qualité des éléments est défini. A chaque fois que la valeur de celui-ci atteint une valeur seuil dans un élément, on déclenche un remaillage automatique de la structure, cela ne pose aucun problème majeur en 2D car les algorithmes de remaillage automatique existent. Dans les cas d'une modélisation 3D, le logiciel utilisé ne possède un tel algorithme. Nous devons donc définir un maillage initial optimisé de telle sorte que le critère seuil ne soit pas atteint pour une pénétration maximale du poinçon.

Une autre contrainte s'ajoute à la précédente. Dans les procédés de mise en forme comme le découpage, les déformations sont très importantes mais surtout elles sont localisées dans une zone réduite entre les arêtes du poinçon et de la matrice. Dans le reste du flan, les déformations sont faibles et restent inférieures à la limite élastique. Le maillage du flan sera fin dans la zone de concentration des déformations, alors qu'il sera plus grossier ailleurs. Cela permet de concilier la qualité des résultats numériques avec un temps de calcul réduit. En effet pour tout problème de modélisation par éléments finis 3D impliquant de grandes déformations non linéaires, un facteur important est le temps de calcul. Le nombre de degrés de liberté du modèle influence directement le temps de calcul. Un autre élément à prendre en compte dans la définition maillage initial, l'étude paramétrique que nous réalisons nécessite l'utilisation d'un même maillage quelles que soient les variations géométriques du modèle (rayon des coins et jeu poinçon matrice) afin de ne pas rendre caduque la comparaison des résultats.

Après avoir effectué plusieurs tests, le maillage retenu est composé de 16700 éléments solides à 8 nœuds avec une intégration complète (figure 3).

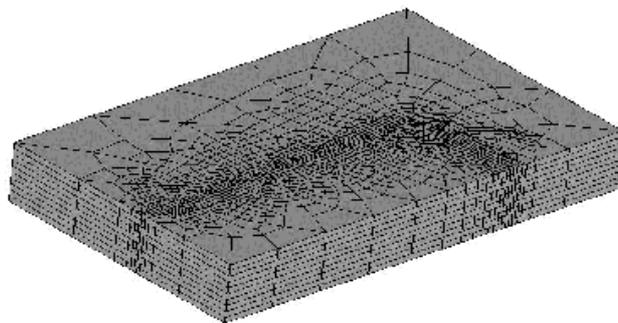


FIG. 3 - Maillage éléments finis initial utilisé pour l'étude paramétrique, 16700 éléments solides à 8 nœuds et 8 points d'intégration.

2.3 Paramètres de la simulation

Le matériau utilisé est un alliage cuivreux. Ses propriétés élastiques sont :

- Module d'Young, $E = 113000 \text{ MPa}$,
- Coefficient de Poisson, $\nu = 0.32$.

La loi d'écrouissage est donnée par la relation $\sigma_0 = \sigma_y + K^*(\epsilon_{eq}^p)^n$. σ_0 représente la contrainte d'écoulement, ϵ_{eq}^p la déformation plastique équivalente, n le coefficient d'écrouissage et σ_y la limite élastique. Le tableau 2 précise les valeurs de ces coefficients.

| | |
|------------|---------|
| σ_y | 400 MPa |
| K | 697 MPa |
| n | 0.1 |

TAB. 2 - Paramètres de la loi d'écroutissage.

Les conditions de frottement entre outils et flan sont de type Coulomb, la valeur du coefficient de frottement choisie est de 0.1. Une schéma d'intégration temporelle explicite est utilisé. Le poinçon est piloté en déplacement alors que le serre flan est piloté en effort. Il varie de manière linéaire entre 300 N, au moment du contact poinçon flan, et 500 N pour une pénétration de 100%.

3 Résultats de l'étude paramétrique

3.1 Introduction

Nous avons analysé les champs de contraintes et de déformations pour une pénétration poinçon donnée (14% de l'épaisseur) dans un premier temps en faisant varier le rayon R_c des coins entre 0.1 et 0.3 mm pour un jeu poinçon matrice fixe de 4%, et dans un second temps le jeu poinçon matrice entre 2 et 10% pour un rayon R_c de 0.2 mm

3.2 Influence du rayon dans les coins de l'empreinte rectangulaire

L'analyse des cartes des iso valeurs de contraintes dans le flan fait apparaître une grande concentration sur le contour de l'empreinte rectangulaire cisailée. Le long de ce contour, la distribution n'est pas uniforme. En effet, si l'on observe la face supérieure du flan (coté poinçon), les valeurs maximales 650 MPa sont localisées dans les coins (figure 4).

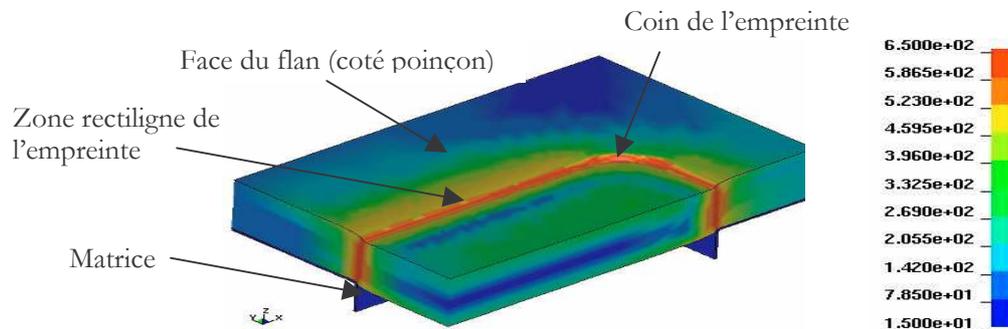


FIG. 4 – Distribution de la contrainte équivalente (en MPa) dans le flan pour une pénétration du poinçon de 14% de l'épaisseur

Sur la figure 5 qui montre les distributions de la déformation plastique équivalente sur les faces supérieure (coté poinçon) et inférieure (coté matrice) du flan, on remarque une « symétrie inverse ». Pour la face inférieure, les valeurs maximales de la déformation (0.5) sont localisées sur les parties rectilignes du contour alors qu'elles sont localisées dans les coins sur la face supérieure.

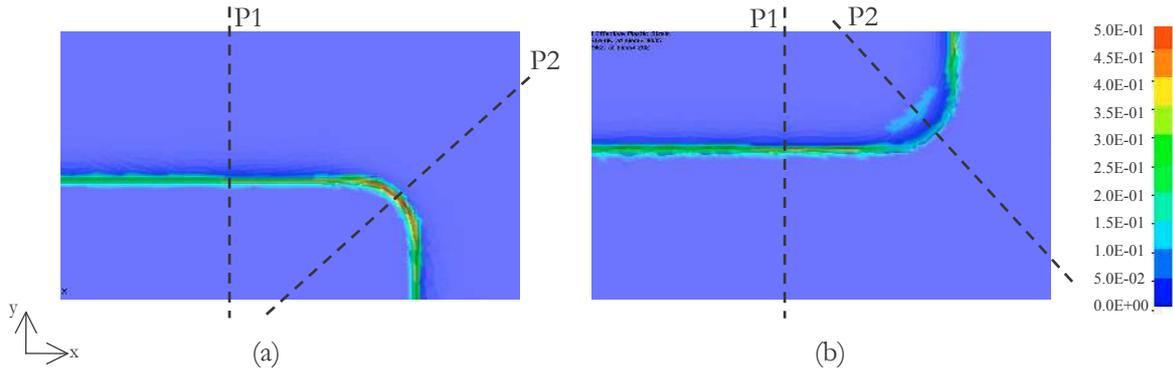


FIG. 5 – Distribution de la déformations plastique pour une pénétration du poinçon de 14%,
(a) face coté poinçon - (b) face coté matrice.

Si l'on regarde les champs de contraintes (ou des déformations) dans l'épaisseur du flan. La figure 6 présente deux distributions dans 2 plans de coupe normaux au plan (x,y). Le premier noté P1 est situé dans la zone rectiligne du contour et le second P2 dans la zone des coins.

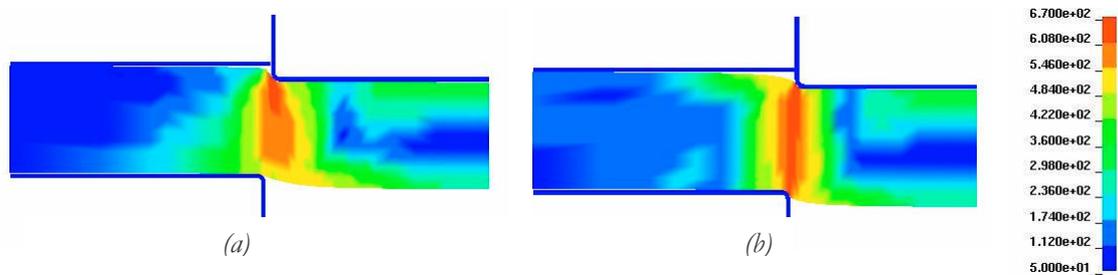


FIG. 6 - Distributions de la contrainte équivalente (en MPa) dans l'épaisseur du flan
pour une pénétration du poinçon de 14%, (a) dans le plan P2, (b) dans le plan P1.

La figure 6 montre bien la différence de comportement entre les zones de coins et les zones rectilignes du contour de l'empreinte. Dans les zones rectilignes, la distribution de contraintes est symétrique par rapport aux arêtes poinçon matrice alors que dans les coins, les contraintes sont concentrées sur l'arête du poinçon. L'amorce de rupture et l'arrachement auront lieu plus tôt dans la partie rectiligne que dans les coins, cette tendance corrobore les observations expérimentales. Le profil dans l'épaisseur des pièces découpées présente moins d'arrachement et plus de cisaillement dans les coins.

Nous avons ensuite fait varier le rayons des coins (R_c). La figure 7 présente les champs de déformation plastique équivalente sur la face supérieure du flan pour trois valeurs du rayon R_c .

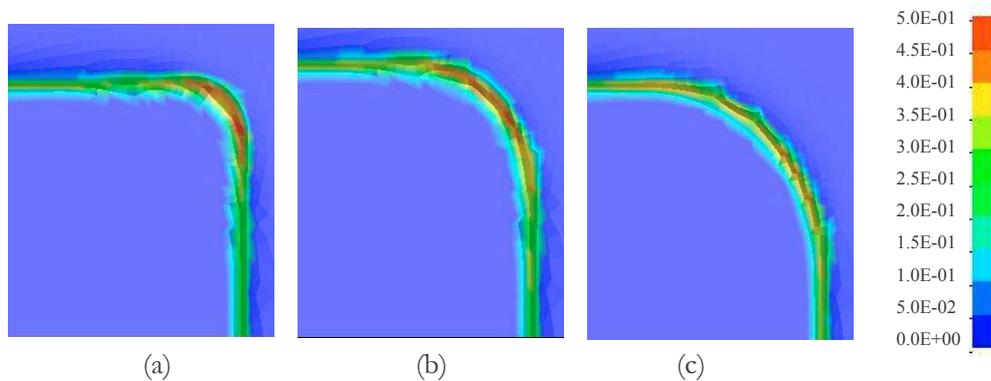


FIG. 7 - Comparaison des distributions de la déformation plastique équivalente pour 3 valeurs du rayon R_c pour une pénétration poinçon de 14%
(a) $R_c=0.1\text{mm}$, $\varepsilon_p^{max}=62.6\%$ - (b) $R_c=0.2\text{mm}$, $\varepsilon_p^{max}=59.7\%$ - (c) $R_c=0.3\text{mm}$, $\varepsilon_p^{max}=52.8\%$

Les résultats de la figure 7 montrent que les déformations maximales restent localisées dans les coins et que le maximum augmente lorsque le rayon des coins diminue.

3.3 Influence du jeu poinçon matrice

Le jeu poinçon matrice est l'un des paramètres les plus importants du découpage. Pour une valeur fixée du rayon des coins R_c (0.2 mm), nous avons fait varier le jeu poinçon matrice entre 2 et 10% de l'épaisseur.

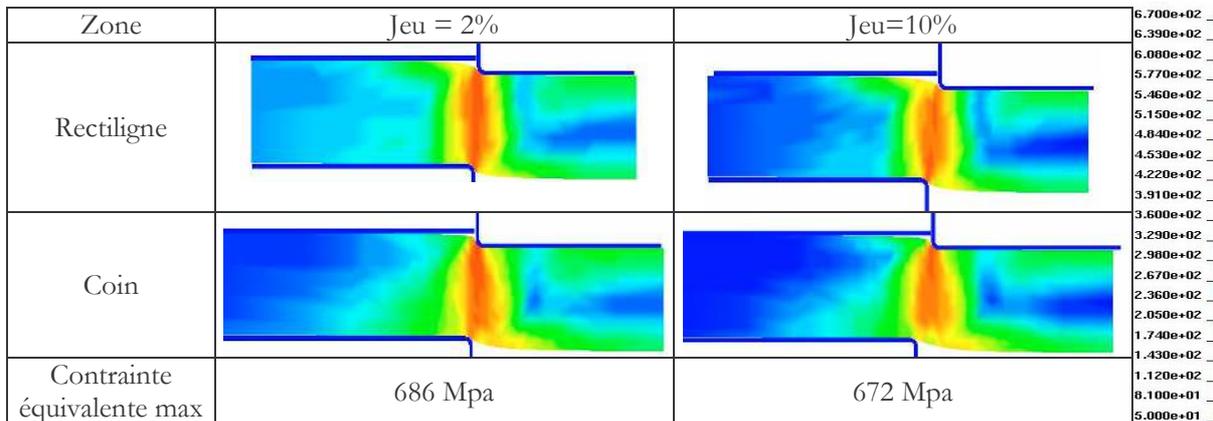


FIG. 8 - Comparaison des distributions de la contrainte équivalente (en MPa) dans la partie rectiligne et dans les coins de l'empreinte pour deux valeurs du jeu et pour une pénétration du poinçon de 14%.

La figure 8 montre que le niveau des contraintes est plus important pour un jeu poinçon matrice faible.

4 Conclusion

Une modélisation éléments finis 3D pour la simulation numérique du découpage d'une empreinte rectangulaire a été réalisée en utilisant le logiciel LS Dyna. Un maillage optimisé a été défini pour étudier numériquement l'influence de 2 paramètres géométriques sur les champs de déformations et de contraintes dans le flan découpé. Nous avons mis en évidence une différence de comportement importante entre les zones rectilignes et les coins du contour découpé. Cette différence se répercute directement sur le faciès de rupture dans l'épaisseur, faciès qui constitue l'un des paramètres de qualité du découpage. Sur la face supérieure du flan (coté poinçon), les contraintes (déformations) sont plus importantes dans les coins que dans les zones rectilignes. Sur la face inférieure du flan (coté matrice), les contraintes (déformations) sont plus faibles dans les coins que sur les parties rectilignes. Ces observations se retrouvent expérimentalement à travers l'examen des profils de découpe dans les épaisseurs. Cette analyse numérique par éléments finis du procédé découpage démontre l'intérêt d'une telle approche pour l'optimisation des conditions de découpe vis à vis de l'obtention d'un profil pour une application industrielle particulière.

Références

- [1] Vincent Lemiale, *Contribution à la modélisation et à la simulation du découpage des métaux*, PhD Thesis, Université de Franche-Comté, 2004.
- [2] Xinhai Zho, *Input parameters for metal forming simulation using LS-DYNA*. Livermore software Technology corporation, 2000.