



HAL
open science

Conception d'outil par couplage des éléments de domaine et de contour

Dominique Bigot, Hocine Kebir, Jean-Marc Roelandt

► **To cite this version:**

Dominique Bigot, Hocine Kebir, Jean-Marc Roelandt. Conception d'outil par couplage des éléments de domaine et de contour. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01508938

HAL Id: hal-01508938

<https://hal.science/hal-01508938v1>

Submitted on 15 Apr 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

Conception d'outil par couplage des éléments de domaine et de contour.

Optimisation de la durée de vie des outils de mise en forme.

Dominique Bigot * — Hocine Kebir * — Jean-Marc Roelandt*

* *Laboratoire Roberval- UTC/CNRS
Université de Technologie de Compiègne
BP20529,60205 Compiègne cedex*

dominique.bigot.2001@tremplin-utc.net

RÉSUMÉ. A l'heure actuelle, la conception des procédés de mise en forme s'appuie grandement sur la simulation numérique via l'utilisation de codes industriels. Ces simulations portent souvent sur la déformation des pièces et rarement sur la durée de vie des outils. Afin de prendre en compte les éventuelles modifications de l'outil au cours des cadences de mise en forme, nous développons un outil numérique dédié. Cet outil numérique permettra plus particulièrement l'identification des critères de fatigue de l'outil. Il sera alors possible de concevoir des formes optimales d'outils permettant d'augmenter leur durée de vie tout en assurant la qualité exigée sur les pièces ainsi fabriquées. Ce dernier utilise un couplage en contact avec frottement de la méthode des éléments finis – pour modéliser la pièce – et de la méthode des éléments de frontière- pour modéliser l'outil. Dans cet article, nous traiterons un exemple de cisaillement.

ABSTRACT. Nowadays, the simulation of forming processes is based largely on numerical simulation via the industrial numerical codes. These simulations often relate on the deformation of the parts and seldom to the lifespan of the tools. However, to take into account the possible modifications of the tool during cycle of working, we develop dedicated numerical software. This one more particularly will allow the identification of the fatigue criteria of the tool. With the view to conceiving the optimal shapes of tool allowing increasing their lifespan while ensuring a quality required of the part thus manufactured. This latter uses contact coupling with friction finite element method - for modelling the part - and boundary element method - for modelling the tool. In this article, we treat an example of cutting process.

MOTS-CLÉS : Couplage éléments finis / éléments frontières, pénalité, mise en forme, optimisation, durée de vie, critère de fatigue.

KEYWORDS: Coupling finite elements/elements borders, penalty, forming process, optimisation, lifespan, fatigue criteria.

1. Introduction

Estimer la durée de vie des outils devient un axe de recherche prometteur. En effet, la connaissance de l'impact du nombre de passes sur la géométrie, l'usure, la fatigue d'un outil,... est peu développée numériquement. Pour prendre en compte l'usure de l'outil, une attention particulière doit être apportée au contact entre les surfaces de la pièce et de l'outil.

Un outil numérique dédié a été conçu permettant l'identification des critères de fatigue de l'outil, dans le but de concevoir des formes d'outils optimales et donc d'augmenter leur durée de vie tout en assurant la qualité exigée sur les pièces ainsi fabriquées.

En raison des particularités de chaque composant du procédé de fabrication, nous avons choisi un couplage éléments finis / éléments frontières, dont les caractéristiques sont [Bigot, 2005 et 2006] :

- **la modélisation de la pièce en éléments finis** : la pièce étant soumise à de grandes transformations géométriques, ainsi qu'à des non linéarités matérielles.
- **la modélisation de l'outil en éléments de frontière** : l'outil est soumis à de petites déformations et discrétisé par des éléments de frontière.
- **la mise en contact et le couplage éléments finis / éléments de frontière** (le coefficient de frottement est pris égale à 0,15).

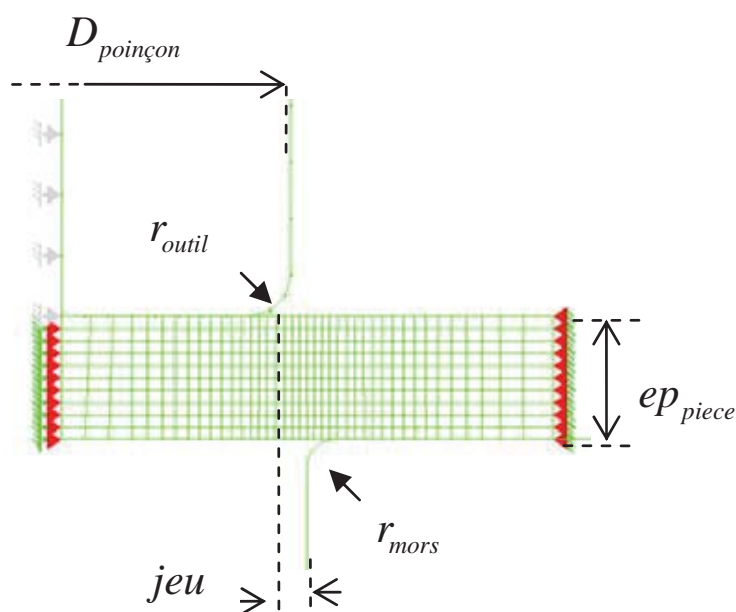


Figure I. Cisaillement

2. Description du problème

Nous traitons un cas de cisaillement (Figure I). La variable à optimiser est le rayon de l'outil r_{outil} . L'objectif est de déterminer la durée de vie maximale de notre outil en utilisant le critère de fatigue de Dang Van. La limitation est d'obtenir un rayon de découpe r_{piece} (Figure II) inférieur à une valeur limite r_{piece}^{limite} .

2.1. Fonctions objectif et contrainte

La fonction contrainte nécessite de connaître le rayon de la découpe r_{piece} (Figure II) qui représente le plus petit rayon de courbure de la zone de découpe.

Pour ce faire, nous calculons les rayons associés à un ensemble de noeuds successifs appartenant à la courbure et nous choisissons le plus petit.

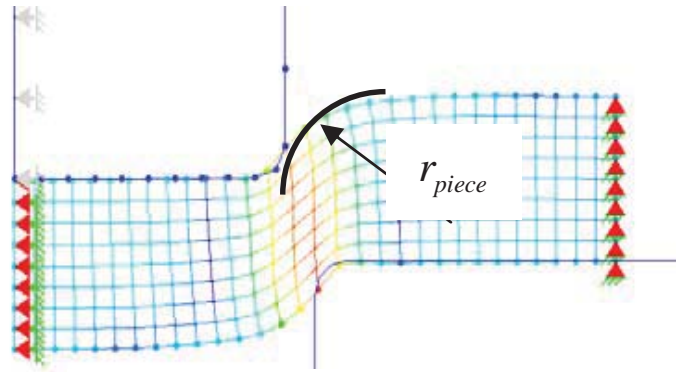


Figure II. Définition de r_{piece}

Après avoir déterminé r_{piece} , nous obtenons la fonction contrainte suivante :

$$G(r_{outil}) = r_{piece} - r_{piece}^{limite} \leq 0 \quad [1]$$

La fonction objectif est basée sur le critère de Dang Van. Il est utilisé pour estimer la durée de vie d'un outil et s'exprime sous la forme suivante :

$$\tau(t) - a \cdot \sigma_h(t) < b \quad \forall t \in [0, T] \quad [2]$$

où a et b sont des constantes liées au matériau, $\sigma_h(t)$ est la contrainte hydrostatique et $\tau(t)$ est le cisaillement maximum à l'instant t :

La fonction objectif peut s'écrire sous la forme :

$$F(r_{outil}) = |\tau - a \cdot \sigma_h| - b \quad [3]$$

2.2. Système à résoudre

En utilisant [1] et [3], le système à optimiser est le suivant :

$$\begin{cases} \text{minimiser } (F) \\ G \leq 0 \end{cases} \quad \text{avec } r_{outil} \in \left[0; \frac{D_{\text{poinçon}}}{2} \right] \quad [4]$$

Après avoir fait plusieurs relevés, nous remarquons que F est une fonction décroissante et G est une fonction croissante de r_{outil} :

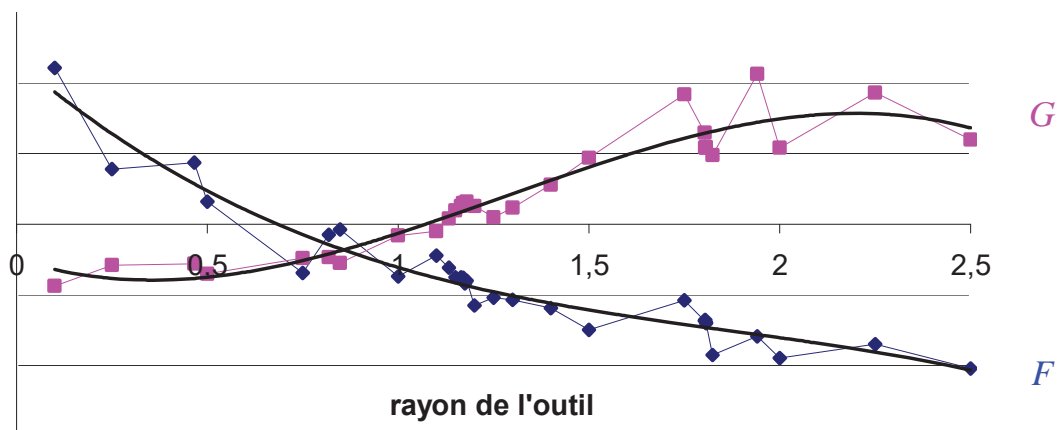


Figure III. Représentation de F et G

Nous remarquons des oscillations sur les fonctions F et G . Plusieurs phénomènes en sont à l'origine, notamment les maillages de la pièce et de l'outil, mais aussi le couplage en contact de ces deux maillages. Pour atténuer ces oscillations, nous avons mis en place une technique de repositionnement de maillage au niveau de la pièce.

Résoudre le système [4] revient donc à trouver la solution du système suivant :

$$\begin{cases} G(r_{\text{outil}}) = 0 \\ F(r_{\text{outil}}) \leq 0 \end{cases} \quad [5]$$

3. Algorithme d'optimisation

Notre algorithme de résolution est basé sur une méthode des courbes de réponses lissées. Il se décompose en deux phases :

- Une phase d'initialisation,
- Une phase de convergence.

3.1. Phase d'initialisation

Pour initialiser notre algorithme, nous choisissons $k_{k \geq 4}$ rayons distincts $(r_i)_{i=1,n}$, sur l'intervalle de recherche $[0; D_{\text{poinçon}}/2]$, pour lesquels nous calculons les valeurs $(F_i; G_i)_{i=1,n}$ associées.

Ensuite, pour chaque ensemble de points $(r_i; F_i)_{i=1,n}$ et $(r_i; G_i)_{i=1,n}$, nous calculons, grâce à la méthode des moindres carrés, les fonctions F et G que nous prendrons de forme polynomiale cubique :

$$\begin{cases} \tilde{F}(r_{\text{outil}}) = \sum_{j=0,3} a_j (r_{\text{outil}})^j \\ \tilde{G}(r_{\text{outil}}) = \sum_{j=0,3} b_j (r_{\text{outil}})^j \end{cases} \quad [6]$$

3.2. Phase de convergence

Après avoir identifié les fonctions \tilde{F} et \tilde{G} , nous résolvons le système suivant :

$$\begin{cases} \tilde{G}(r_{n+1}) = 0 \\ r_{n+1} \in \left[0; \frac{D_{\text{poinçon}}}{2} \right] \end{cases} \quad [7]$$

Grâce à l'obtention de r_{n+1} , nous calculons les valeurs F_{n+1} et G_{n+1} . Comme précédemment, nous calculons les fonctions \tilde{F} et \tilde{G} par moindres carrés sur les $n+1$ points, afin d'améliorer l'estimation de F et G . Ensuite, nous testons r_{n+1} :

- si $F_{n+1} \leq 0$, $G_{n+1} \leq 0$ et $|\tilde{G}(r_{n+1})| \leq \varepsilon_{\text{piece}} \cdot r_{\text{piece}}^{\text{limite}}$ alors r_{n+1} est la solution de notre système (où $\varepsilon_{\text{piece}}$ est le pourcentage d'erreur admissible sur l'annulation de la fonction \tilde{G}).
- sinon :
 - $F_{n+1} > 0$ et $\tilde{F}(r_{n+1}) > 0$: le système [5] n'admet pas de solution,
 - $F_{n+1} \leq 0$ ou $\tilde{F}(r_{n+1}) \leq 0$: nous incrémentons le pas ($n \rightarrow n+1$) et nous résolvons le système [7] pour améliorer la précision de la solution.

Cet algorithme a l'avantage d'enrichir sa base de données (r_i, F_i, G_i) à chaque pas, ce qui permet une meilleure estimation des fonctions F et G .

4. Validation

La recherche de l'optimum r_{outil} avec la condition $r_{\text{piece}}^{\text{limite}} = 8 \text{ mm}$, en prenant un acier standard ($a = 0,35$ et $b = 160 \text{ Mpa}$) pour l'outil et un aluminium pour la pièce, nous donne : $r_{\text{outil}} = 1,848145 \text{ mm}$ avec $r_{\text{piece}} = 7,986661 \text{ mm}$.

La figure IV représente les fonctions \tilde{F} et \tilde{G} pour la phase d'initialisation, et la Figure V représente la convergence de r_{outil} .

Pour le rayon r_{outil} trouvé, nous calculons le cycle de chargement du nœud de l'outil subissant la charge la plus critique (Figure VI). Nous remarquons que le cycle de chargement évolue en dessous de la droite de Dang Van.

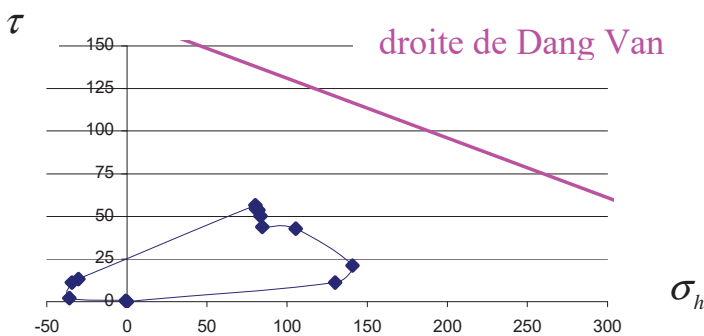


Figure VI. Cycle de chargement

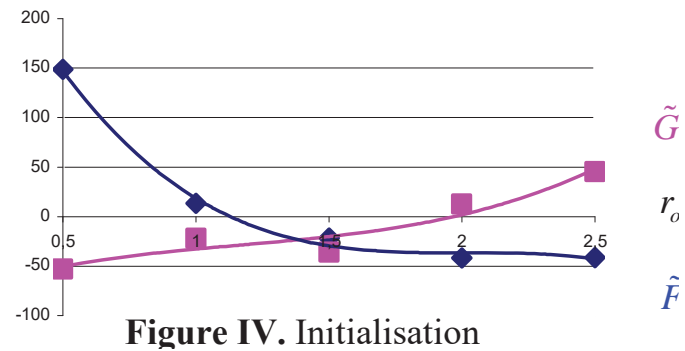


Figure IV. Initialisation

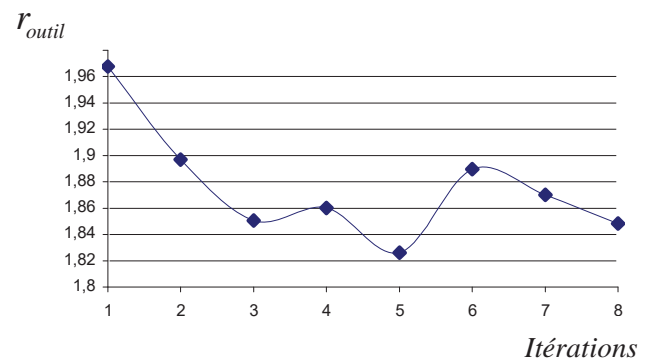


Figure V. Convergence

De plus, la valeur que nous avons obtenue pour la fonction F est de -47 Mpa , ce qui est en accord avec le fait que nous cherchons à la fois à annuler G et minimiser F .

5. Conclusion et perspectives

Nous avons mis en place un algorithme d'optimisation permettant de maximiser la durée de vie d'un outil de découpe. La modélisation utilisée est basée sur le couplage élément finis / éléments de frontière permettant la simulation des procédés de mise en forme. Notre algorithme a donné des résultats prometteurs (convergence après treize simulations). Une des perspectives intéressante est d'augmenter le nombre de variables à optimiser, par exemple en considérant l'angle paramétrant la pointe de l'outil.

6. Bibliographie

- D. Bigot, H. Kebir, J.-M. Roelandt, « Simulation de procédés de mise en forme couplant éléments finis de domaine et de frontière », 7ième colloque national en calcul des structures, Giens Mai 2005.
- D. Bigot, H. Kebir, J.M. Roelandt, « Simulation of forming processes , with friction, coupling finite elements and boundary elements », IDMME06, Grenoble, May 17-19 2006.
- D. Bigot, H. Kebir, J.M. Roelandt, « Simulation of axisymmetric forming processes, with friction, coupling finite elements and boundary elements », Proceeding of ASME, 2006 ASME Pressure Vessel & Piping Division Conference, Vancouver, British Columbia, Canada, July 25-28, 2006.
- D. Chamoret, P. Saillard, A. Rassineux, J.M. Bergheau, "A brief review of computational methods in contact mechanics ». In Second International Conference on Advancer Computational Methods in Engineering, Université de Liège, Belgium, May 28-31, 2002.
- K.-Q. Feng, G. De Saxcé, G. Touzot, « Numerical implementation of the implicit standard material approach for 2D or 3D frictional contact problem », Int. J. Num. Meth. Eng. , 1992.
- V. Hamel, J.M. Roelandt, J.N. Gacel, F. Schmit, « F.E. modeling of clinch forming with automatic remeshing », Comp. & Struct., France, 1998.
- H. Kebir, J.M. Roelandt , J. Foulquier, « A new singular boundary element for crack problems », Engineering Fracture Mechanics, Vol 62, No 6, p 497-510, 1998.
- J. Salençon, « Mécanique des milieux continus, concepts généraux », école Polytechnique, Ellipse, 1988.
- F. Sidoroff, « Cours sur les grandes déformations », Rapport Greco-France, n°51, 1982.