



HAL
open science

Nouvelle procédure pour l'augmentation du temps d'usinage simulé en coupe orthogonale

Mayssa Guediche, Tarek Mabrouki, Christophe Donnet, Jean-Michel
Bergheau, Hedi Hamdi

► To cite this version:

Mayssa Guediche, Tarek Mabrouki, Christophe Donnet, Jean-Michel Bergheau, Hedi Hamdi. Nouvelle procédure pour l'augmentation du temps d'usinage simulé en coupe orthogonale. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01514291

HAL Id: hal-01514291

<https://hal.science/hal-01514291>

Submitted on 26 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

Nouvelle procédure pour l'augmentation du temps d'usinage simulé en coupe orthogonale

M. Guediche^{1,2}, T. Mabrouki^{2,3}, C. Donnet⁴, J-M. Bergheau¹, H. Hamdi¹

¹Université de Lyon, CNRS, ENI-Saint-Etienne, LTDS UMR 5513, F-42023-France

²Université de Lyon, CNRS, INSA-Lyon, LaMCoS UMR 5259, France

³Université de Tunis El Manar, ENIT, BP 37, Le Belvedere, 1002, Tunisie

⁴Université de Lyon, CNRS, Université Jean Monnet, LHC UMR 5516, France

Résumé — Cette étude présente une nouvelle méthodologie visant à augmenter le temps d'usinage simulé en coupe orthogonale. Le but est d'étudier ultérieurement l'évolution de l'usure des outils de coupe dans le cas de l'usinage de l'acier 42CD4. Un modèle lagrangien est donc développé sous le code de calcul ABAQUS simulant la formation du copeau. Une approche baptisée de « modélisation verticale » est développée dans le but d'augmenter le temps de coupe simulé tout en gardant un temps de calcul CPU modéré.

Mots clés — simulation EF, réduction du temps de calcul, coupe orthogonale

1. Introduction

L'intégrité de surface est étroitement liée aux conditions d'usinage notamment l'évolution de l'usure des outils de coupe. De ce fait, divers études ont été menées dans le but de prédire cette usure [1] [2]. Généralement, ces travaux de recherche se basent sur des essais expérimentaux et des formulations empiriques aboutissant à des corrélations phénoménologiques liant la durée de vie des plaquettes utilisées aux conditions de coupe [3] [4] tel que le modèle de Taylor généralisé. Ces études peuvent aussi se baser sur des simulations numériques dont l'inconvénient et la restriction à des temps de simulation très réduits. Ces simulations sont généralement conduites dans des conditions de coupe particulières ne reflétant pas les conditions réelles dans le milieu industriel.

L'objectif de cette étude est donc de développer une stratégie numérique sous le code commercial EF ABAQUS[®] [5] visant à augmenter le temps d'usinage simulé dans le cas de la coupe orthogonale du 42CD4. Potentiellement, cela permettra d'établir des modèles simulant l'usure des outils de coupe pour des temps élevés.

2. Approche numérique

2.1. Approche Lagrangienne

Cette approche suppose que la matière est liée au maillage. Le choix de cette approche facilite la tâche de réduction du temps de calcul. En effet, lors d'une simulation numérique, le temps de calcul est réparti principalement entre le calcul des déformations dans le matériau et la gestion des contacts. Ce temps dépend de la formulation utilisée ; il est d'autant moins important en lagrangien qu'en eulérien et qui plus est en ALE.

Par contre, ce type de formulation peut causer de grandes distorsions du maillage tout en induisant des instabilités lorsqu'il s'agit d'éléments finis quadrangle à intégration réduite (Phénomène d'hourglass, dit encore « phénomène des modes d'énergie nulle »).

2.2. Modèle géométrique et maillage

Le modèle de coupe élaboré sous le logiciel ABAQUS® est un modèle multi-parts développée selon la démarche proposée dans [6]. Ce modèle comporte une couche endommageable qui sera dégradée pour simuler la formation du copeau. Les éléments utilisés sont de type CPE4RT, éléments quadrilatères, avec un couplage température/déplacement.

2.3. Loi de comportement

La simulation numérique de la formation du copeau requiert une loi de comportement thermo-visco-plastique avec écrouissage. Pour ce faire, la loi constitutive de Johnson et Cook [7] est utilisée.

La contrainte équivalente de von Mises $\bar{\sigma}$ est donnée par l'équation (1) :

$$\bar{\sigma} = (A + B\bar{\epsilon}^n) \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\dot{\bar{\epsilon}}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_f - T_0} \right)^m \right] \quad (1)$$

2.4. Augmentation du temps de simulation de la coupe

Le temps d'usinage simulé est un point clé pour la prédiction de l'évolution de l'usure d'une plaquette donnée sous des conditions de coupe spécifiques. En effet, l'usure apparaît expérimentalement au bout de quelques secondes alors que la plupart des simulations numériques sont de quelques millisecondes dans des conditions de coupe orthogonale (2D) et durant plusieurs heures CPU de calcul [8] [9]. Ainsi, pour la simulation de l'usure, il est nécessaire de mettre en place une stratégie de calcul visant à réduire le temps CPU et en augmentant le temps d'usinage simulé.

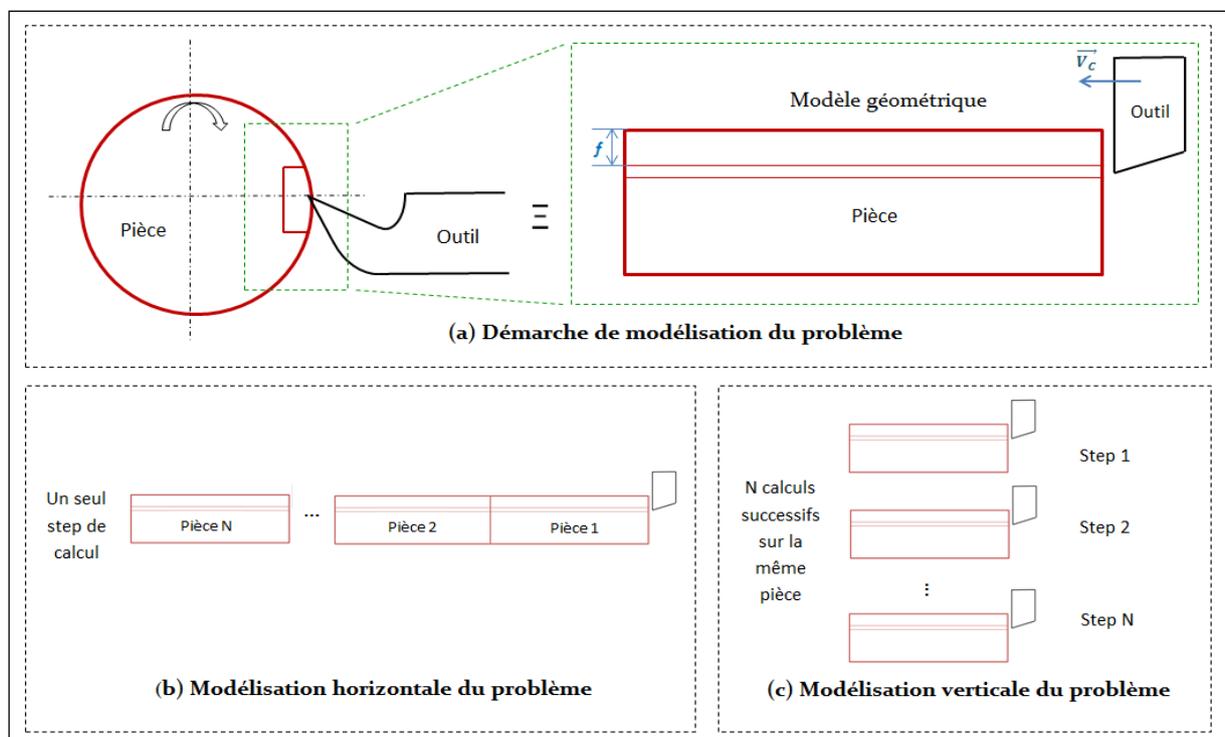


Figure 1 – Stratégies de modélisation possibles pour l'augmentation du temps d'usinage simulé

La modélisation verticale, qui s'avère être l'approche qui consomme le moins de temps de calcul et qui respecte l'hypothèse la planéité de la surface à usiner adoptée dans la démarche de modélisation suivie (voir figure 1 (a)), sera retenue dans le cadre de cette étude. Par ailleurs, cette démarche permettra dans un premier temps de connaître au cours d'un temps propice à l'étude de l'usure, les chargements thermiques simulant l'action de la matière sur l'outil. Pour cela, l'outil de coupe sera considéré comme étant parfaitement élastique.

3. Résultats

Le tableau 1 présente le temps de calcul et le temps simulé en fonction de la longueur de la pièce pour une modélisation horizontale et verticale et ce pour les conditions de coupe suivantes :

Une vitesse de coupe $V_c=120\text{m/min}$, une avance par tour $f=0,1\text{mm/tr}$ et une profondeur de passe $a_p = 3\text{ mm}$.

Les calculs ont été menés sur un ordinateur de bureau ayant les caractéristiques suivantes :

Un processeur Intel® Core™ i5-4300M CPU @ 2.60GHz et une RAM de 8,00 GHz

Table 1 – Temps de calcul et temps simulé en fonction de la longueur de la pièce

Longueur de la pièce (mm)	Temps de calcul en modélisation horizontale (min)	Temps de calcul en modélisation verticale (min)	Temps simulé (ms)
1,8	15	15	0,85
3,6	91	30	1,70
5,4	234	45	2,55

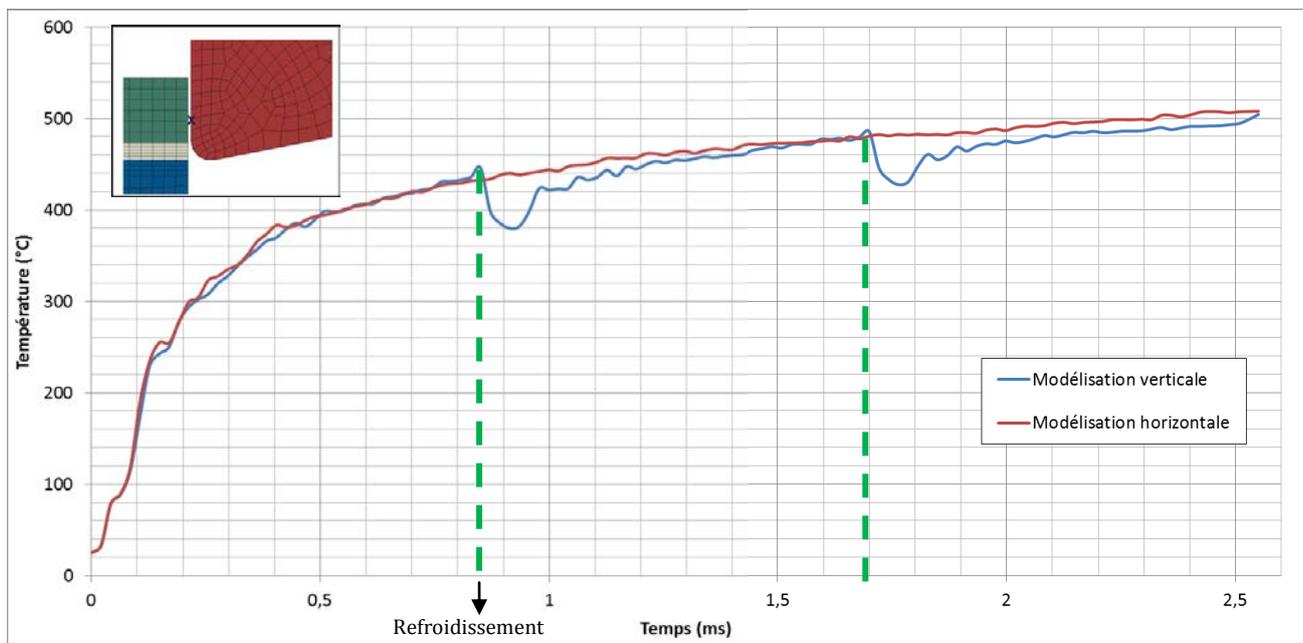


Figure 2 – Effet du refroidissement de la pièce sur la température de l'outil

L'effet du refroidissement de la pièce sur l'évolution de la température dans l'outil a également été étudié. La figure 2 montre l'évolution de la température au cours du temps au niveau d'un nœud localisé sur la face d'attaque de l'outil

On remarque donc que le refroidissement de la pièce n'a pas d'influence considérable sur l'évolution de la température au niveau de l'outil par contre ça permet de réaliser un gain important au niveau du temps de calcul. Ce gain dépasse les 500% pour une longueur usinée de 5,4 mm.

4. Conclusion

Un modèle de coupe lagrangien a été développé sous ABAQUS® simulant l'usinage du 42CD4 en coupe orthogonale. Vu que cette étude a pour objectif l'estimation de l'usure des outils de coupe, le temps d'usinage simulé a été augmenté grâce à une approche qualifiée de « modélisation verticale ». Cette méthode a permis une diminution considérable du temps de calcul comparée à la modélisation classique qualifiée de « modélisation horizontale » et ce pour une même longueur usinée

Vu que l'étude de l'usure nécessite la simulation de plusieurs dizaines de secondes d'usinage, un algorithme de calcul a été élaboré sous Python dans le but d'atteindre des temps suffisamment élevés.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier du LABEX MANUTECH-SISE (ANR-10-LABX-0075) de l'Université de Lyon, dans le cadre du programme "Investissements d'Avenir" (ANR-11-IDEX-0007) géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

Références

- [1] G. Poulachon, A. Moisan et I. S. Jawahir, Tool-wear mechanisms in hard turning with polycrystalline cubic boron nitride tools, *Wear*, 250(1-12) p. 576 – 586, 2001
- [2] A. Molinari, M. Nouari, Modeling of tool wear by diffusion in metal cutting, *Wear*, Vol 252 (1), p. 135–149, 2002
- [3] H. Takeyama et R. Murata, Basic investigation of tool wear, *ASME J Eng Ind*, Vol. 85, p. 33 – 37, 1963
- [4] E. Usui, T. Shirakashi et T. Kitagawa, Analytical prediction of three dimensional cutting process, part 3: cutting temperature and crater wear of carbide tool, *ASME J Eng Ind*; Vol. 100 (5), p. 36 – 243, 1978
- [5] Documentation Abaqus V 6.11
- [6] T. Mabrouki, F. Girardin, M. Asad, J.-F. Rigal, Numerical and experimental study of dry cutting for an aeronautic aluminium alloy (A2024-T351), *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Vol.48 (11), p.1187-1197, 2008
- [7] G. R. Johnson, W. H. Cook, Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures, *Engineering Fracture Mechanics* Vol. 21, p. 31 – 48, 1985
- [8] Y. Yen, J. Söhner, B. Lilly, T. Altan, Estimation of tool wear in orthogonal cutting using the finite element analysis, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 146, p. 82 – 91, 2004
- [9] L.J. Xie, J. Schmidt, C. Schmidt, F. Biesinger, 2D FEM estimate of tool wear in turning operation, *Wear*, Vol 258 (10), p. 1479–90, 2005