

Amélioration de la modélisation du contact dans FORGE pour des procédés à faible zone de contact

M.HACHANI, L. FOURMENT

Mines ParisTech, Cemef (Centre de Mise en Forme des Matériaux), UMR CNRS 7635
BP 207, 06904 Sophia Antipolis Cedex (France)

Résumé :

Dans le code éléments finis FORGE®, la modélisation du contact s'avère insatisfaisante pour simuler les procédés de mise en forme des matériaux à faible zone de contact et particulièrement le procédé de laminage circulaire. On propose alors différentes approches pour l'améliorer : le passage d'une formulation nodale à une formulation intégrée de type P0, la formulation totalement implicite du problème de contact et le lissage des surfaces des contacteurs par leur description analytique ou une projection C^1 dans les cas les plus complexes.

Abstract:

In the finite element code FORGE®, the contact model is inappropriate to properly simulate the forming processes of materials with reduced contact area and especially the ring rolling process. Different approaches are proposed to improve it: an integrated contact formulation of P0 type instead of the node to surface one, the fully implicit formulation of the problem of contact and the smoothing of tool surfaces by using their analytical description or local quadratic description in complex cases.

Mots clefs : laminage circulaire, contact intégré, contact implicite, lissage des surfaces

1 Introduction

La simulation numérique des procédés de mise en forme ayant une faible portion de matière en contact, tels que le laminage circulaire, le laminage droit, l'étirage, le tréfilage, etc., n'est pas toujours parfaitement satisfaisante avec le logiciel FORGE®. Il arrive que les calculs ne soient pas suffisamment précis dans la zone de contact où est imposé l'essentiel de la déformation, et que ce manque de précision conduise à des erreurs importantes sur l'écoulement de matière et sur les variables thermomécaniques du procédé. Dans cet article, on présente les différentes approches d'amélioration du modèle de contact dans FORGE® en vue d'obtenir de meilleurs résultats de simulation pour ces types de procédé. Dans un premier temps, on s'intéressera au laminage circulaire. On présentera des travaux développés en vue d'améliorer le modèle de contact pour ce procédé. Dans un deuxième temps, on présentera les travaux de généralisation de ces méthodes pour d'autres procédés à faible zone de contact.

Présentation du procédé de laminage circulaire

Le laminage circulaire est un procédé de mise en forme à chaud ou à froid. Il a pour but d'obtenir, à partir d'un cylindre percé, un anneau ayant une épaisseur plus faible et un diamètre plus grand. Pour atteindre ce but, la pièce est entraînée par un cylindre extérieur en rotation et comprimée par le mandrin qui est libre en rotation et se déplace en translation à une vitesse ou une force connue. Des cônes sont présents pour empêcher la matière de remonter et des bras de centrage empêchent l'anneau de s'ovaliser. Les résultats des simulations montrent que les déformations calculées sont trop importantes et inhabituelles ; elles sont considérées comme « non-conformes » à la réalité. Les résultats montrent aussi que le contact n'apparaît pas dès le début de la simulation. On a généralement des zones de contact qui oscillent au cours du temps et des zones de contact non régulières avec peu de nœuds en contact.

2 Approches d'amélioration de la formulation de contact

Dans la perspective d'améliorer la formulation de contact, on a proposé plusieurs approches.

2.1 Contact intégré P0

Une première approche d'amélioration du modèle est d'implémenter une formulation intégrée au lieu de la formulation discrète P1 qui existe actuellement dans FORGE. Ce choix de contact intégré présente plusieurs avantages surtout pour le cas des procédés à faible zone de contact. Il permet de s'appuyer sur deux à six fois plus d'analyses de contact (selon le nombre de points d'intégration choisi, un seul ou trois points). Cependant, la difficulté de cette approche est qu'elle augmente la largeur de bande de la matrice de rigidité ce qui change significativement l'architecture de FORGE.

On a choisi, alors, pour commencer, à travailler sur un modèle de contact intégré P0. La contrainte normale de contact λ_n est, alors, intégrée par des fonctions constantes par facette Π_f ($=1$ sur la face et 0 ailleurs, interpolation P0). Elle s'écrit alors.

$$\lambda_n = \sum_f \Pi_f \lambda_f \quad (\lambda_f : \text{valeur de la contrainte normale sur la facette } f)$$

Les résultats de ce modèle, testé sur plusieurs cas de simulations, ont montré qu'il n'est pas avantageux par rapport au modèle discret P1. En effet, la qualité des résultats est presque identique et d'autre part, la formulation est surcontrainte. Comme on impose plus de conditions que de nœuds dans l'aire de contact, on observe des oscillations de la contrainte normale (FIG.2).

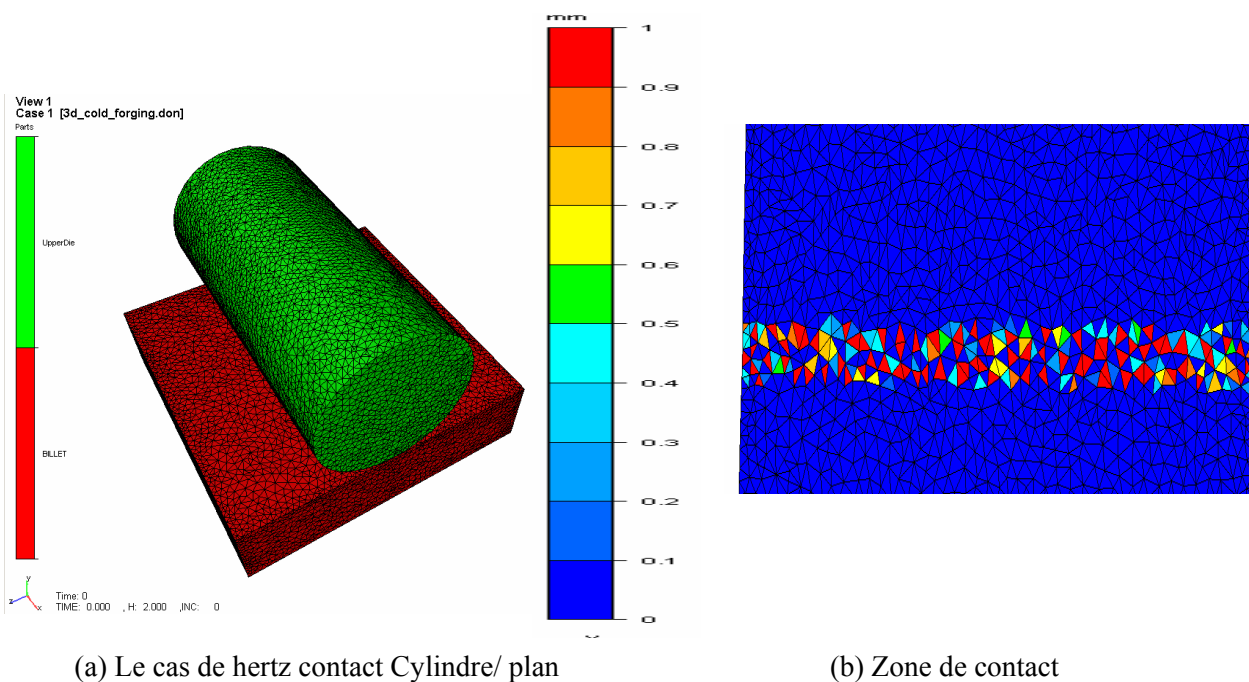


FIG. 2 – Contrainte normale de contact pour le cas de Hertz contact Cylindre/Plan (a) : oscillation de la contrainte normale (b)

2.2 Contact Implicite

Le traitement du contact aux points de la surface d'une pièce revient à étudier la fonction distance δ de ces points à la surface de l'outil. On vient imposer alors une condition de non pénétration de la matière $\delta \geq 0$. Cette condition est modifiée dans FORGE et elle est vérifiée à la fin de chaque incrément $\delta^{t+\Delta t} \geq 0$. Actuellement, dans le code, on choisit d'exprimer cette condition au temps t après une linéarisation d'ordre 1 en temps. Il s'agit d'un schéma explicite.

Au lieu de schéma explicite, on propose un schéma implicite. On écrit la condition directement à $t+\Delta t$ en utilisant une configuration des pièces et des outils estimée à $t+\Delta t$ à partir de la vitesse au début de l'incrément. Cette formulation est propre au laminage circulaire où la pièce est cylindrique. En effet, on

utilise une réactualisation cylindrique pour déterminer la configuration en fin d'incrément. On choisit, aussi, de faire une projection sur la surface analytique des outils (type cylindre pour le laminage circulaire).

Les résultats montrent que l'approche implicite avec des outils analytiques donne des résultats prometteurs pour ce procédé. Si on compare les résultats obtenus aux simulations avec le code actuel, le contact s'établit dès le début de la simulation avec des zones de contact plus larges et plus régulières (FIG.3). On obtient des déformations équivalentes et des vitesses de déformations moins importantes et plus homogènes (FIG.4 et FIG.5). Les résultats montrent aussi une précision remarquable dans la prise en compte de la condition de contact. En effet, on a des pénétrations qui sont moins importantes avec le modèle implicite. En outre, l'algorithme implicite s'avère plus rapide que le l'algorithme explicite comme cela avait été constaté par Mahajan [1].

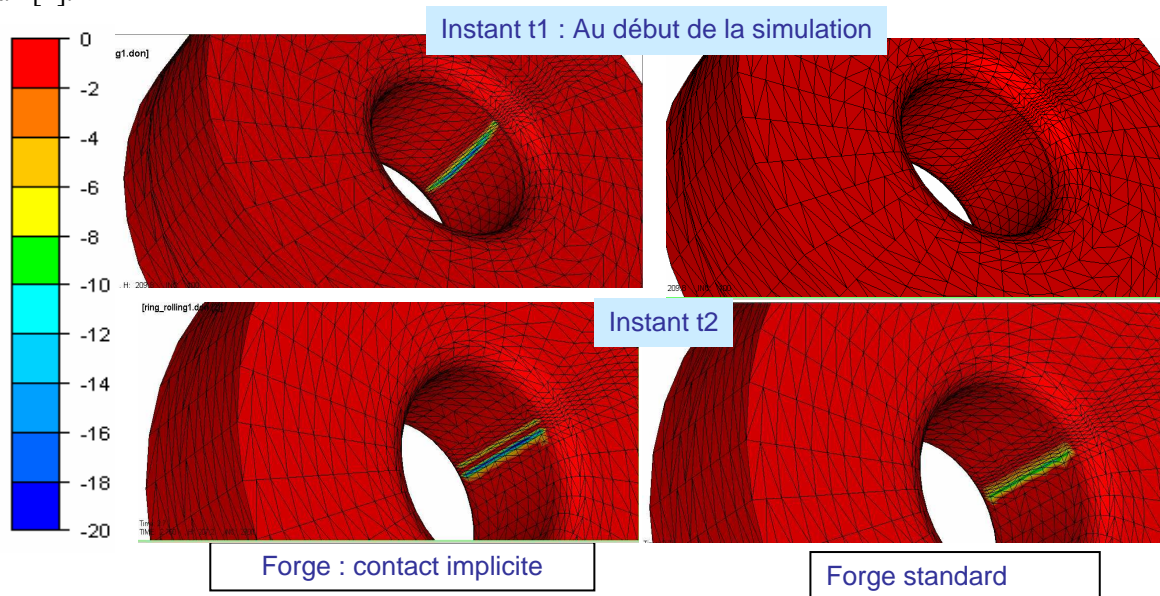


FIG. 3 – Zones de contact : contrainte normale de contact pour deux instants t1 et t2

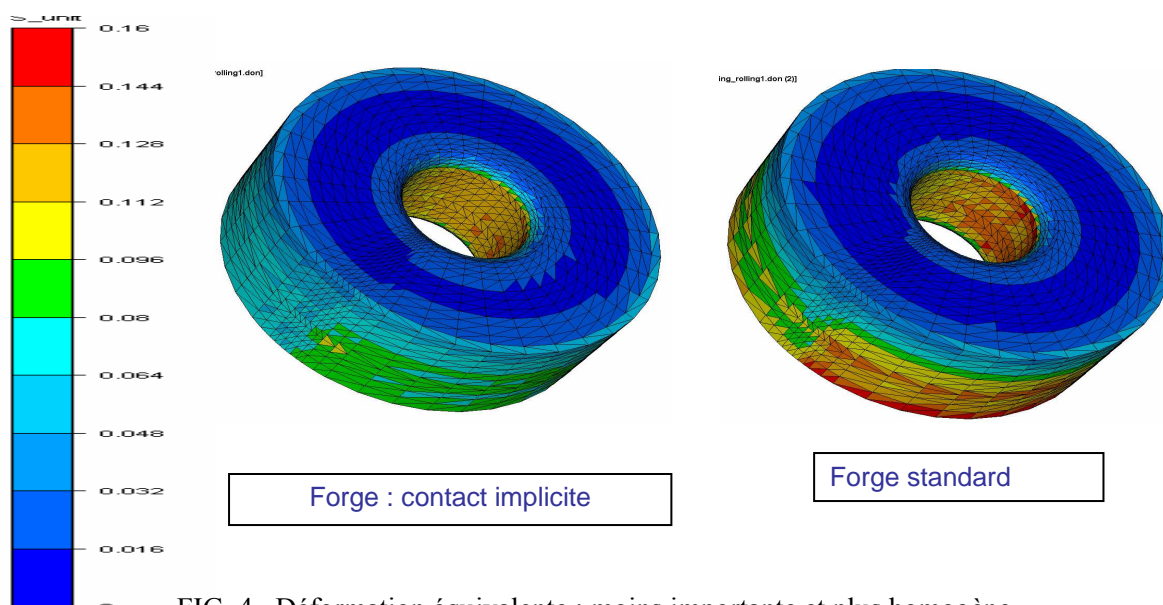


FIG. 4– Déformation équivalente : moins importante et plus homogène

hal-00509316, version 1 - 26 Jan 2012

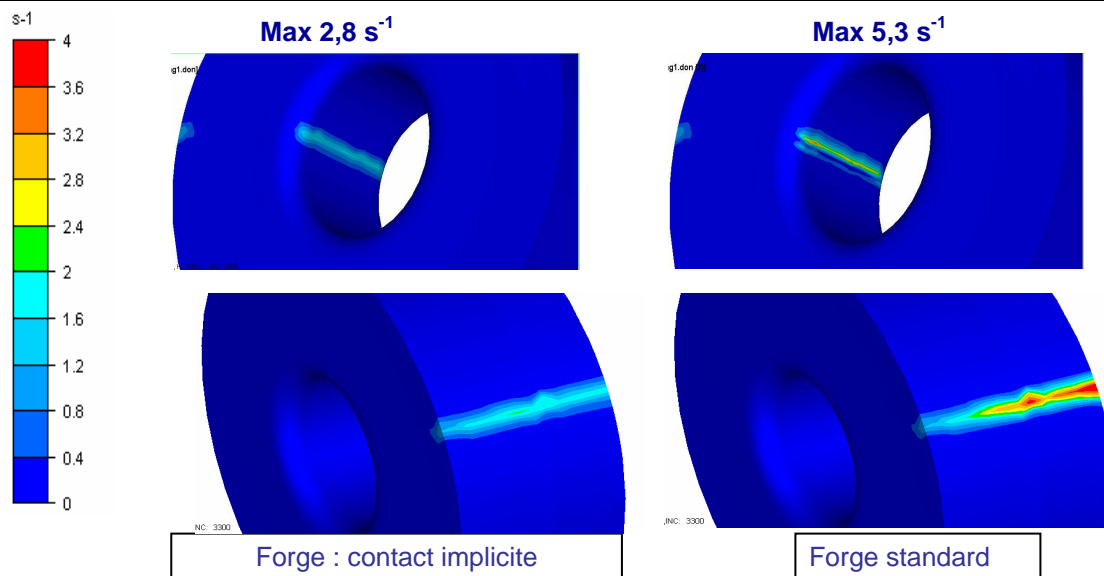


FIG. 5 – Vitesse de déformation : moins importante et plus homogène

2.3 Lissage des outils

Dans Forge, on projette sur la surface discrète des outils. On fait donc une approximation locale de la surface de l'outil par un plan. Pour minimiser ainsi les erreurs d'approximation qu'on commet sur les géométries des outils rigides, on propose de lisser la surface discrétisée des outils. Dans une première approche, on a utilisé la surface analytique des outils (sphère, cylindre, plan, cône...), puis on a travaillé sur une approximation C^2 pour des géométries plus complexes.

2.3.1 Utilisation surface analytique des outils

Au lieu de la facettisation des obstacles, on propose de projeter les nœuds de surface sur la surface analytique de l'outil. Cette approche a été étudiée pour des procédés avec outils cylindres, sphères, plans et cônes.

Les résultats obtenus montrent l'intérêt de cette méthode. On observe une aire de contact plus régulière, avec moins d'oscillations et des zones de contact plus larges (FIG.7). On obtient des champs de vitesse et de vitesses de déformation plus lisses et plus homogènes (FIG.8 et FIG.9).

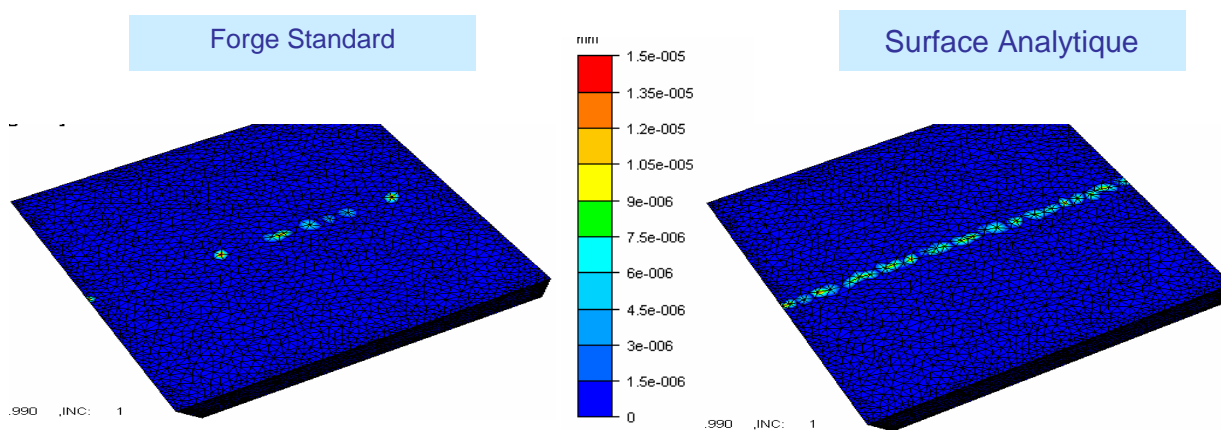


FIG. 7 – Zones de contact : contrainte normale de contact pour le cas contact Hertz Cylindre/Plan

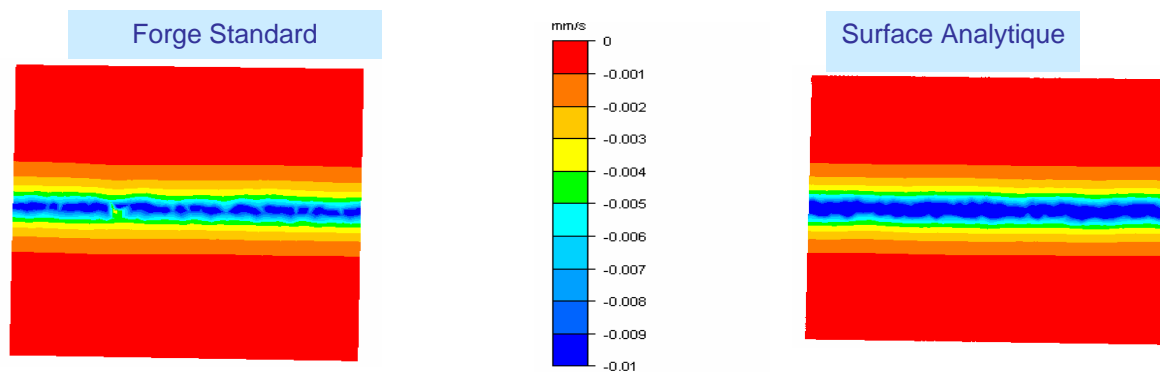
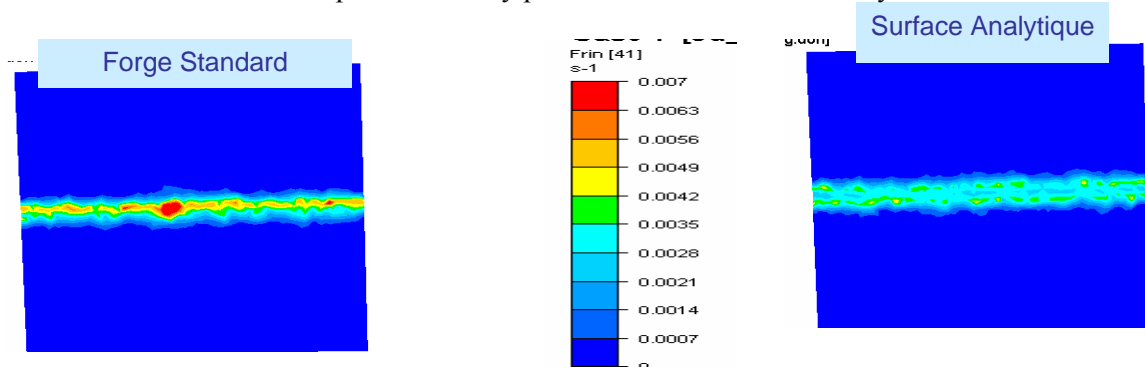
FIG. 8 – Champ de vitesse V_y pour le cas de Hertz contact Cylindre/Plan

FIG. 9 – Vitesse de déformation pour le cas de Hertz contact Cylindre/Plan

2.3.2 Généralisation du lissage des outils : utilisation de surface courbe

Encouragés par les résultats obtenus avec une description analytique des outils, on propose de généraliser cette idée de lissage des obstacles pour des géométries plus complexes. Cela permettra d'étendre l'utilisation de cette approche à plusieurs autres procédés. Plusieurs techniques ont été proposées pour lisser des surfaces discrétisées comme les surfaces de Grégory, les courbes de Bézier, NURBS [2-4]. Ces méthodes utilisent en général des paramètres et des hypothèses qui doivent être donnés a priori, mais ces approximations deviennent difficiles à être déterminées dès que les propriétés analytiques des surfaces de départ sont inconnues. Notre choix a porté alors sur une méthode d'approximation locale facette par facette de la surface courbe générale. C'est la méthode de Nagata [5]. Cette approche simple permet une interpolation quadratique de chaque face en utilisant seulement les positions des nœuds de la face et les normales aux nœuds. Une facette d'une surface triangulée comprend trois arêtes. On estime tout d'abord la courbe pour chaque arête à l'aide d'un polynôme quadratique. On déduit de ces trois courbes « frontières » la surface courbe pour l'ensemble de la facette (FIG.10). Le caractère complètement local de cette méthode rend une éventuelle parallélisation aisée. En outre, cette méthode garantit la continuité de la surface C^2 sur l'ensemble du domaine. Elle est également robuste et efficace du fait du faible degré d'interpolation. Elle permet aussi une meilleure description de la géométrie sans avoir à augmenter exponentiellement le nombre des éléments de discrétisation de l'outil.

Dans une première, on a implémenté la méthode de Nagata pour lisser des géométries discrètes. La FIG.11 donne un exemple des résultats de lissage pour des géométries comme la sphère et le cylindre. On voit sur ces figures l'intérêt de cette méthode, en effet, partant d'un maillage grossier, on arrive à obtenir des géométries lisses qui s'approchent des géométries réelles.

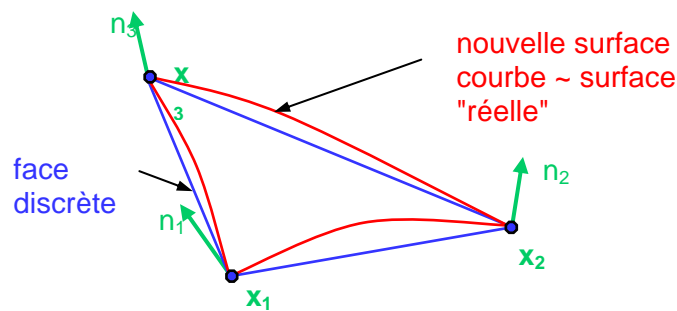


FIG. 10– Principe de la recherche de la surface courbe à partir de la face plan

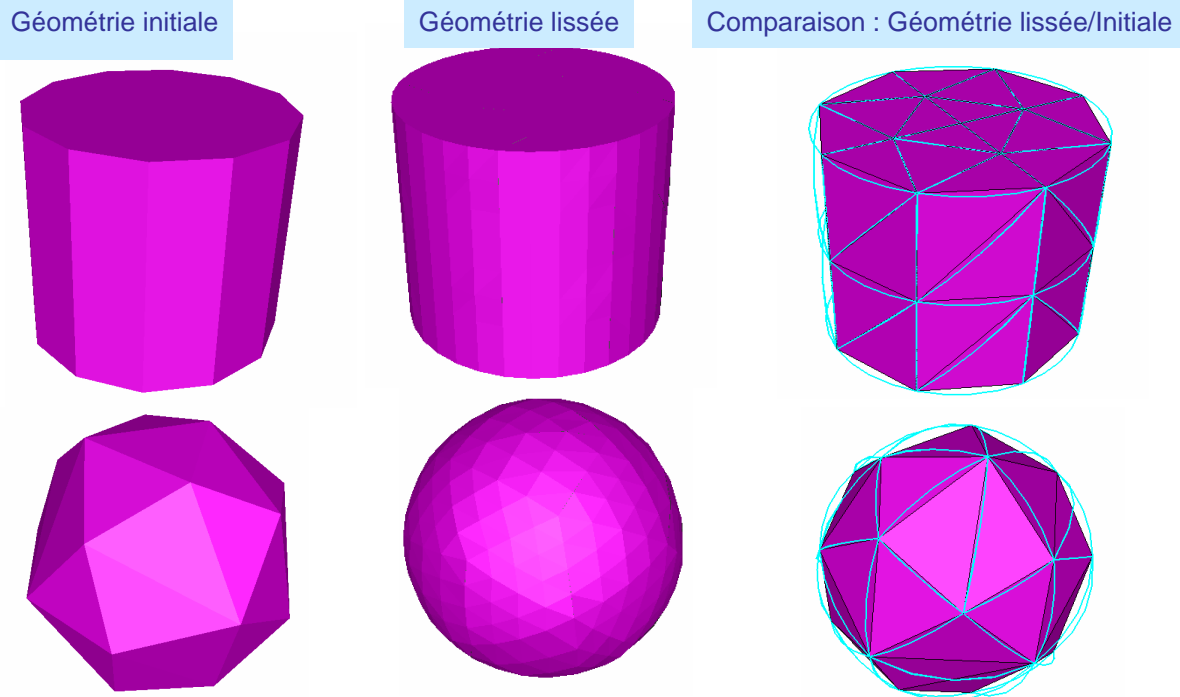


FIG. 11 – Effet de l'interpolation C2 pour une sphère et un cylindre

3 Conclusion

Plusieurs approches ont été étudiées pour améliorer la modélisation du contact dans les procédés à faibles zones de contact, et principalement pour celui de laminage circulaire. On a vu que le modèle intégré P0 n'est pas prometteur, contrairement à l'approche implicite et la description analytique des outils qui donnent des résultats très encourageants pour ce procédé. Enfin, nous avons établi une manière de généraliser ces travaux à des géométries d'outils tout à fait quelconques.

References

- [1] P. MAHAJAN, L. FOURMENT, J.L. CHENOT «Implicit scheme for contact analysis in non steady state forming» Engineering Computations, vol. 15, n°7, 908-924 (1998).
- [2] Puso MA, Laursen TA. A 3D contact smoothing method using Gregory patches. International Journal for Numerical Methods in Engineering 2002.
- [3] Wriggers P, Krstulovic-Opara L, Korelc J. Smooth C1-interpolations for two-dimensional frictional contact problems. International Journal for Numerical Methods in Engineering 2001.
- [4] Stadler M, Holzapfel GA, Korelc J. Cn continuous modeling of smooth contact surfaces using NURBS and application to 2D problems. International Journal for Numerical Methods in Engineering 2003.
- [5] Nagata T. Simple local interpolation of surfaces using normal vectors. Computer Aided Geometric Design 2005.