

Approches numériques du contact entre une surface rugueuse et un plan rigide

J. Durand¹, V. Yastrebov¹, H. Proudhon¹, G. Cailletaud¹

¹ Centre des Matériaux, Mines Paristech, France, {julian.durand,vladislav.yastrebov,henry.proudhon,georges.cailletaud}@mines-paristech.fr

Dans une centrale nucléaire, l'écoulement fluide dans les circuits d'eau est maîtrisé par l'utilisation d'appareils de robinetterie dont l'étanchéité est assurée par un contact acier/acier. La prise en compte de surfaces rugueuses invalide l'hypothèse d'un contact parfait entre deux pièces et laisse place à l'existence d'un champ d'ouvertures entre ces deux surfaces. Dans ce cadre-ci, l'étanchéité ne peut être considérée comme parfaite. La considération de l'échelle du problème (le micromètre) rend la réalisation d'une mesure expérimentale du débit de fuite, au sein de la fracture rugueuse, réalisable mais coûteuse. Un modèle numérique doit ainsi être développé pour quantifier le débit de fuite engendré par ces champs d'ouverture. L'appréhension de ces fuites passe nécessairement par l'étude de l'écrasement d'une surface rugueuse et, a fortiori, par la détermination des modes de déformation locaux de cette surface.

Depuis cinq décennies, l'étude du contact entre des surfaces rugueuses a fait l'objet de nombreux travaux. Partant du travail de Greenwood et Williamson [1], de nombreux modèles, stochastiques et déterministes, ont pu voir le jour. Ces modèles ont permis d'introduire certains paramètres comme la forme des aspérités [2], ou encore les interactions entre aspérité [3].

Pour la résolution de ce type de problème, l'utilisation des éléments finis est une voie très intéressante qui a déjà pu faire office d'un grand nombre de travaux comme dans Pei et al. [4]. Mais cette approche reste aujourd'hui limitée du point de vue du temps de calcul. En effet, prendre en compte de façon précise l'évolution de la microgéométrie locale requiert un maillage d'une très grande finesse. Ainsi, la nécessité de développer un autre outil numérique devient indéniable. Dans ce cadre ci, deux approches numériques d'un contact normal sans frottement entre une surface rugueuse élastoplastique et un plan rigide sont développées.

Dans un premier temps, partant de l'étude détaillée du contact d'une aspérité singulière, un modèle numérique simplifié est mis en place pour déterminer l'évolution de l'aire de contact réelle en fonction de la charge appliquée. A l'aide d'un instrument optique, un profil surfacique de la rugosité d'une surface a été réalisé. Une analyse rigoureuse est ensuite effectuée afin de déterminer les propriétés de cette surface et plus particulièrement de ces aspérités. A partir de ces données, de nombreux calculs éléments finis ont été réalisés sur plusieurs géométries d'aspérité dans le but d'établir des modèles pour les réponses force-déplacement, aire de contact-force et volume libre-force. Ces derniers sont ensuite utilisés dans le modèle numérique pour venir décrire le comportement de chaque aspérité selon sa géométrie donnée. Ainsi, l'étude d'une aspérité nous permet d'inclure dans ce modèle des paramètres de première importance tels que la taille des aspérités ou encore leurs interactions mutuelles.

Dans un second temps, l'étude d'une aspérité singulière permet également de renseigner certains critères utiles, comme la finesse du maillage, à la réalisation d'un calcul élément finis sur une surface représentative élémentaire (RSE) de la surface rugueuse. Cette simulation venant écraser un RSE de dimension 54×63 micromètres discrétisé avec 1 millions de noeuds a été réalisée à l'aide du code implicite éléments finis Zset/ZéBuLoN. Les mêmes réponses que dans le modèle numérique simplifié sont déterminées (voir Fig. 1). De par sa grande précision, ce calcul éléments finis sera considéré comme référence pour la validation du modèle numérique simplifié. Cette validation passe essentiellement par

la comparaison des trois réponses critiques globales explicitées plus haut, à savoir $F(U)$, $A(F)$ et $V(F)$, mais également par la comparaison des topographies de surface obtenue en fin d'étude.

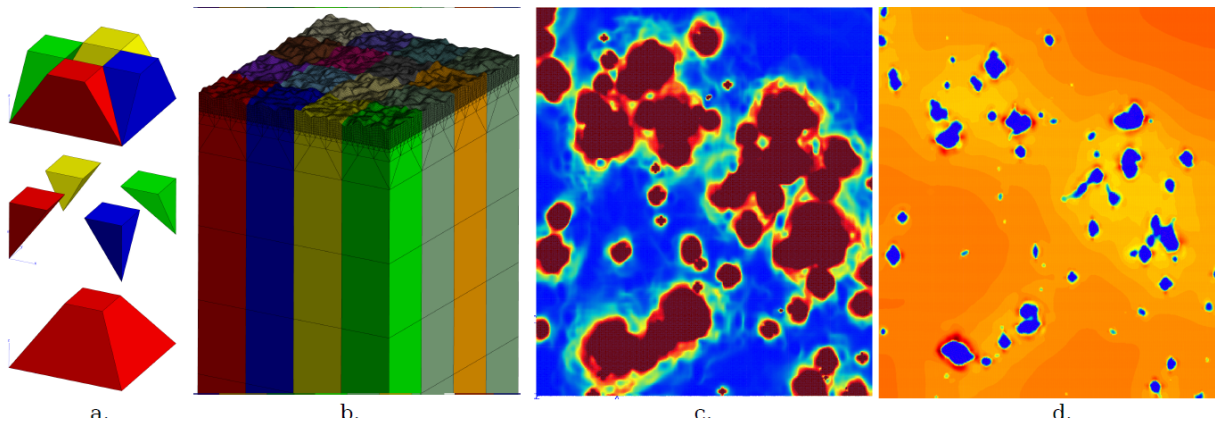


FIG. 1 – a) Maillage de transition composé de 9 éléments. b) Maillage complet de la surface rugueuse $54 \times 63 \mu\text{m}^2$. c) Distribution des contraintes de von Mises pour une aire de contact de 6%. d) Distribution des déplacements verticaux.

Ces deux approches offrent des résultats en très bon accord du point de vue de l'évolution de l'aire de contact et de la réponse en force/déplacement. Ainsi, nous pouvons observer certains traits caractéristiques déjà démontrés dans des travaux précédents comme la linéarité entre la surface de contact et la charge appliquée (phénomène également observé sur l'étude d'une seule aspérité). Par conséquent, ces travaux ont permis de développer un modèle numérique pertinent procurant un gain de temps de calcul très important (quelques minutes au lieu de plusieurs jours). Ce modèle présente cependant quelques limites (volume libre, précision sur la topographie de surface obtenue) qui pourront faire l'objet de travaux plus poussés dans un avenir proche.

Références

- [1] J.A. Greenwood, J.B.P. Williamson. *Contact of nominally flat surfaces*, Proc. Royal Soc. London, Vol. A295, 300-319, 1966.
- [2] A.W. Bush, R.D. Gibson, T.R. Thomas. *The elastic contact of a rough surface*, Wear, Vol. 35, 87-111, 1975.
- [3] Y. Zhao, L. Chang. *A Model of Asperity Interactions in Elastic-Plastic Contact of Rough Surfaces*, J. of Tribology, Vol. 123, 857-864, 2001.
- [4] L. Pei, S. Hyun, J.F. Molinari, M.O. Robbins. *Finite element modeling of elasto-plastic contact between rough surfaces*, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 53, 2385-2409, 2005.