

Dialogue entre éléments finis - éléments lattices - éléments discrets pour un problème tribologique.

V.-H. Nhu, M. Renouf, Y. Berthier

Université de Lyon, CNRS,
LaMCoS, INSA-Lyon, F69621 Villeurbanne cedex
{Viet-Hung.Nhu, Mathieu.Renouf, Yves.Berthier}@insa-lyon.fr

Résumé —

Mots clés — dialogue, éléments finis, éléments lattices, éléments discrets, tribologie.

1 Introduction générale

Lorsque deux corps sont en contact, soumis à des sollicitations de compression et cisaillement, des instabilités dynamiques de type "adhérence-glissement-décollement" peuvent apparaître [1, 4] à l'interface de contact. Ces instabilités sont sensibles à l'évolution du coefficient de frottement local. Lorsqu'une couche de matière est créée à l'interface (3ème corps) pour répondre aux sollicitations de contact [2], le coefficient de frottement local dépend alors de la rhéologie de cette couche. Ainsi les lois de frottement classiques comme la loi de Coulomb, ne permettent pas de reproduire correctement la rhéologie de l'interface et par conséquent la question sur la capacité d'un modèle numérique à reproduire ou non des instabilités dynamique de contact reste ouverte [4]. Afin de combler ces manques, des modèles numériques, se basant sur des méthodes par éléments discrets (ED), ont été développés [6] pour permettent de simuler la formation puis la vie du 3ème corps dans un contact. Cependant, pour modéliser plus réellement la formation cette couche, il faut aussi modéliser les corps en contact dont les particules du 3e corps sont issus, qui sont quant à eux des milieux continus [7]. Néanmoins, pour modéliser les deux corps en contact avec suffisamment de précision pour modéliser de façon réaliste, un tels modèles complets macro-micro restent très coûteux en temps de calcul. Pour pallier à ce problème, un dialogue entre méthodes par éléments finis (EF) et éléments discrets (ED) est utilisé [9] comme dans de précédent travaux. Cependant, ici une méthode par éléments lattices (EL) est utilisée pour structurer plus correctement l'interface entre les modèles continu et discontinu.

Dans les présents travaux, le principe du dialogue est présenté et appliquée à un cas de référence pour lequel les instabilités de contact ont été étudiées [1] ceci afin d'évaluer le comportement dynamique des instabilités des 1er corps en contact en prenant en compte le frottement local résultant de l'écoulement du 3ème corps et l'influence des phénomènes locaux (micro échelle).

2 Modèle et principe du dialogue

L'approche NSCD est utilisé pour effectuer les simulations basée sur une formulation implicite de l'intégration temporelle (theta méthode) et du contact (résolution itérative Gauss-Seidel). A l'échelle des 1er corps, le milieu continu est modélisé par EF. Le 1er corps est construit et traité par une condition périodique (homogénéisation longitudinale). Il est soumis à des sollicitations tribologiques (compression et cisaillement) au cours de la simulation. A l'échelle du 3ème corps, le milieu discontinu est modélisé par EL et ED. Le comportement élastique avec endommagement du matériau est défini par une loi CZM [9] pour le modèle discret et par des interactions type poutre pour le EL. Les modèles numériques utilisés sont intégrés dans le code libre LMGC90 [3].

Le dialogue numérique est constitué de trois étapes décrites ci-dessous :

Etape 1 : La simulation par EF du modèle est réalisée en utilisant un coefficient de frottement de Coulomb constant (cas de référence). Cette simulation permet de déterminer pour chaque noeud à l'interface, un couple de sollicitation force normale / vitesse de glissement ($\{F_n; V_g\}$) qui sera utilisé ultérieurement comme donnée d'entrée de l'étape 2.

Etape 2 : Un couplage entre EL et ED est utilisé dans un micro modèle représentant un élément du maillage EF. Les conditions limites du modèle couplé EL-ED sont issues de l'étape 1. Les éléments latitiques utilisent une loi de contact de type élastique permettant prendre en compte un milieu quasi continue. Par contre, les paramètres de la loi CZM ont été déterminés de telle sorte que le matériau discontinu ait le même comportement mécanique global que le matériau continu. De plus, ce milieu discontinu s'endommage au cours de simulation, ce qui représente l'usure à l'échelle local du 3e corps. Ce couplage a la capacité de transférer petit à petit les informations mécaniques d'un milieu continu (1er corps) à un milieu discontinu plus complexe (3e corps). Les résultats de ces simulations donnent une évolution temporelle du coefficient de frottement en fonction d'un couple $\{F_n; V_g\}$.

Etape 3 : Une simulation EF similaire à celle de l'étape 1 est finalement réalisée mais utilise temporellement le coefficient de frottement local déterminés dans les simulations EL-ED. Ceci afin d'observer l'influence des phénomènes locaux (micro échelle) sur les instabilités de contact.

Notons que par rapport au concept du "Circuit tribologique" [2] dans ce dialogue numérique, seul les débits source et interne de troisième corps sont pris en comptes dans le modèle EL-ED. Le débit d'usure n'est pas encore pris en compte (dans le sens éjection hors du contact).

3 Résultats

Pour le cas de référence, lorsque le coefficient de frottement de Coulomb est constant, des instabilités de type "adhérence - glissement - décollement" apparaissent et semble dépendre d'une valeur seuil de frottement. Dans les simulations par EL-ED, le coefficient de frottement varie fortement et rapidement au cours du temps en prenant en compte des phénomènes de surface (rugosités), de réactivité des particules, de détachement des particules (usure). Lorsque ce dernier est introduit dans les simulations par EF alors deux cas se produisent. Dans le premier cas, la moyenne du coefficient de frottement est inférieure à valeur seuil du frottement constant et aucune instabilité n'apparaît. Dans le second cas, la moyenne du coefficient de frottement est supérieur à ce seuil et des instabilités de type "adhérence - glissement - décollement" apparaissent. Ces instabilités sont similaires mais pas identiques à celles obtenues lorsque le coefficient de frottement est constant : elles sont moins régulières en amplitude.

Références

- [1] G.G. Adams (1995), *Self-excited oscillations of two elastic half-spaces sliding with a constant coefficient of friction*, J. Appl. Mech., 62, pp. 867-872.
- [2] Y. Berthier (2005), *Wear, Materials, Mechanisms and Practice*, Wiley, Chap. 3.
- [3] F. Dubois, M. Jean (2003), .
- [4] V. Linck, L. Baillet and Y. Berthier (2003), *Modeling the consequences of local kinematics of the first body on friction and on third body sources in wear*, Wear, 255, pp. 299-308.
- [5] M. Renouf, A. Saulot, A., and Y. Berthier (2008), Proceedings of the International Join Conference on Tribology, on CDROM.
- [6] Seve, I. Iordanoff, Y. Berthier (2002)
- [7] J.-J. Moreau (1988) *Unilateral contact and dry friction in finite freedom dynamics*, Non Smooth Mechanics and Applications, CISM Courses and Lectures, J.J.Moreau et al., eds, Springer, 302, pp. 1-82.
- [8] M. Raous, M. Cangémi, M. Cocu (1999) *A consistent model coupling adhesion, friction, and unilateral contact*, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 177(3-4), pp. 383-399.
- [9] Y. Berthier, H.-P. Cao, V.-H. Nhu, M. Renouf, A. Saulot (1999) *Couplage et Dialogue entre méthode discrète et continue pour la tribologie numérique*, Proceedings du 9e colloque national en calcul des structures - 9e colloque national en calcul des structures, France (2009).