

Simulation et analyse d'un broyeur à billes par éléments discrets

R. Laniel¹, M. Tchikou¹, J.-C. Sangleboeuf¹

¹ Larmaur, Université de Rennes 1, France, {romain.laniel, madina.tchikou, jean-christophe.sangleboeuf}@univ-rennes1.fr

Résumé — Les broyeurs à billes utilisés dans l'industrie permettent de fragmenter des particules en suspension en agitant un domaine broyant. Les multiples impacts peuvent endommager les billes et diminuer l'efficacité de broyage. Pour étudier finement ce phénomène, une approche numérique discrète incluant des effets fluides est proposée et mise en œuvre. Les résultats obtenus permettent de remonter aux variables internes des corps broyants et de localiser les zones de haute énergie.

Mots clés — Broyage, Simulation par éléments discrets, Interaction fluide vs. grains.

1 Contexte industriel

Un grand nombre de procédés industriels utilisent la fragmentation de particules. En outre, les broyeurs à billes agitées sont très largement utilisés pour les broyages fins dans des domaines tels que les céramiques, la peinture, l'industrie pharmaceutique ou, plus récemment, l'industrie minière. Les particules à broyer sont généralement en suspension dans un fluide qui peut soit être enfermé soit recirculer dans l'enceinte cylindrique de broyage. Les corps broyants sont mis en mouvement par un arbre d'agitation, généralement à doigts ou à excentriques. La dynamique du domaine broyant crée, *via* les impacts multiples, des contraintes dans les particules à broyer présentes aux interfaces, favorisant ainsi leur fragmentation. Le principal problème de ce procédé est que les efforts de contacts associés à d'autres paramètres physico-chimiques induisent des endommagements, plus ou moins sévères, des corps broyants. L'influence des paramètres liés aux conditions opératoires peut être étudiée expérimentalement d'un point de vue macroscopique [6], mais sans connaissance de leur influence à l'échelle locale. Pour faire progresser cette problématique, il faut accéder aux informations sur les écoulements, vitesses et forces de contact au sein du domaine broyant par la simulation numérique. L'approche numérique de ce problème a souvent été abordée au travers de la mécanique des fluides en considérant le mélange granulat et fluide comme un fluide équivalent [1, 3, 7]. Néanmoins, ces simulations homogénéisées ne permettent pas de rendre compte du problème localisé du contact qui, par nature, est un problème discret. Seule la simulation granulaire couplée à des actions fluides permettent de remonter aux variables internes des corps broyants, comme les efforts de contact.

2 Simulation du procédé de broyage

Une méthode de simulation de problèmes d'interactions fluide vs. particules a été proposée dans [2]. Néanmoins, cette méthode reste coûteuse et peu adaptée aux problèmes comportant un grand nombre de corps et de contacts. Dans le cadre de cette étude, nous proposons alors d'utiliser la théorie de la dynamique des contacts non réguliers (NSCD) [4, 5]. Cette méthode est parfaitement adaptée aux problèmes d'interactions entre corps rigides. Le problème d'interactions fluide vs. particules sera simplifié en un problème de détermination des actions fluides sur les particules. En effet, en première approximation, nous considérerons un écoulement de Couette stationnaire pour le fluide induisant des efforts d'inertie sur le milieu granulaire. Grâce à la méthode NSCD, la position d'un corps rigide peut donc être déterminée en fonction, entre autre, des forces extérieures appliquées sur ce corps, incluant des contributions hydrodynamiques. Plusieurs campagnes de simulations ont été menées sur deux échantillons de billes de diamètres approchant $\varnothing 3$ mm et $\varnothing 1$ mm dans des conditions d'utilisation voisines de celles d'un broyeur industriel. Plus précisément, une seule "tranche" granulaire est considérée. Elle est soumise à la rotation d'un arbre agitateur à doigts et, suivant les conditions, à un mouvement fluide ou non. Une

analyse préliminaire des résultats issues de ces simulations a permis de comparer ces deux cas de figure. Quels que soient les efforts extérieurs, la simulation discrète donne des efforts de contact maximums bien plus importants que ceux issues des simulations fluides homogénéisées, cf. Tab. 1. Ceci s'explique par la présence, à certains pas de temps de la simulation, de configurations granulaires localement plus stables, *i.e* configurations de blocage. Ces structures, résistant mieux aux sollicitations, génèrent des chaînes de forces importantes comme le montre la Fig. 1. Celles-ci sont favorisées par la présence du fluide qui réduit la mobilité des billes sur les parois extérieures. Le champ de vitesse fluide est actuellement affiné afin de simuler des cinétiques de billes plus réalistes, d'identifier les énergies de broyages et de localiser leur zone d'influence.

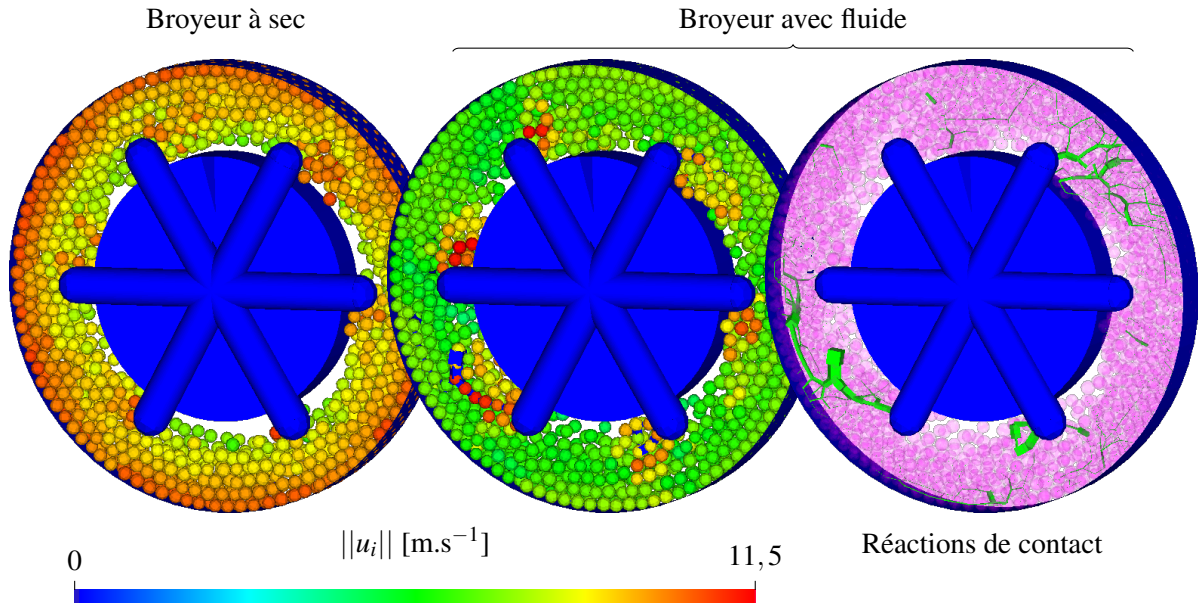


FIGURE 1 – Simulations de broyage pour des billes de $\varnothing 3$ mm, avec $\|u_i\|$ la norme de la vitesse d'un élément i .

	N_{max}	N_{moy}	T_{max}	T_{moy}
Broyage à sec	83,9	1,37	7,34	0,11
Broyage avec fluide	104	1,64	9,47	0,13

TABLE 1 – Composantes normales et tangentielles des efforts de contact [N].

Références

- [1] L. Blecher, J. Schwedes. *Energy distribution and particle trajectories in a grinding chamber of a stirred ball mill*, Int. J. Miner. Process., Vol. 44-45, 617-627, 1996.
- [2] B.K. Cook, D.R. Noble, J.R. Williams. *A direct simulation method for particle-fluid system*, Engineering Computations, Vol. 21, 151-168, 2004.
- [3] R. Gers, E. Climent, D. Legendre, D. Anne-Archard, C. Frances. *Numerical approach of grinding process in a stirred media mill*, PARTEC, Nuremberg, 27-29 mars 2007.
- [4] M. Jean. *The non smooth contact dynamics method*, Comp. Meth. App. Mech. Eng., Vol. 177S, 235-257, 1999.
- [5] J.-J. Moreau. *Some numerical methods in multibody dynamics : application to granular material*, Eur. J. Mech. A Solids, Vol. 13, 93-114, 1994.
- [6] H.-H. Stender, A. Kwade, J. Schwedes. *New results of grinding media wear analysis in stirred media mills under changing operation conditions*, PARTEC, Nuremberg, 27-29 mars 2001.
- [7] H.-H. Stender, A. Kwade, J. Schwedes. *Stress energy distribution in different stirred media mill geometries*, Int. J. Miner. Process., Vol. 74S, 103-117, 2004.