



HAL
open science

Evolution dynamique des transferts thermiques dans un système multi-contacts

Viet-Dung Nguyen, Jérôme Fortin, Mohamed Guessasma, Emmanuel Bellenger, Patrice Coorevits, Claudia Cogné

► **To cite this version:**

Viet-Dung Nguyen, Jérôme Fortin, Mohamed Guessasma, Emmanuel Bellenger, Patrice Coorevits, et al.. Evolution dynamique des transferts thermiques dans un système multi-contacts. 9e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01421855

HAL Id: hal-01421855

<https://hal.science/hal-01421855>

Submitted on 23 Dec 2016

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Evolution dynamique des transferts thermiques dans un système multi-contacts

V.-D. Nguyen¹, J. Fortin², M. Guessasma¹, E. Bellenger¹, P. Coorevits¹, C. Cogné¹

Laboratoire des Technologies Innovantes (EA - 3899)
Université de Picardie Jules Verne

¹IUT de l'Aisne
48 rue d'Ostende, Saint-Quentin 02100, France
vietdung.nguyen@u-picardie.fr

²INSSET
48 rue Raspail, Saint-Quentin 02100, France
jerome.fortin@u-picardie.fr

Résumé — Ce travail a pour but de modéliser la génération de chaleur et les transferts thermiques dans un système composé d'un grand nombre de particules sphériques en contact. La résolution est basée sur la Méthode des Elements Discrets (DEM). L'objectif est de prédire le comportement énergétique d'un grand nombre de particules en mouvement. Dans un premier temps, nous avons étudié les variations de température liées au frottement en fonction de la puissance mécanique et nous avons pu localiser la présence de points chauds au sein du milieu granulaire. Dans un second temps, nous avons analysé l'influence des propriétés thermiques du matériau sur la génération de chaleur et les transferts thermiques. L'effet de la rugosité des parois est aussi discuté. Les résultats des simulations sont en bonne adéquation avec des références de la littérature.

Mots clés — Dissipation d'énergie, transfert thermique, frottement effectif, cisaillement granulaire, DEM.

1 Introduction

La dissipation d'énergie par frottement dans des contacts secs est un mécanisme complexe qui nécessitent le couplage de phénomènes physiques tels que la mécanique et la thermique [10, 5]. La température générée à l'interface des particules peut être responsable d'inflammations dans les atmosphères explosives mais aussi la cause d'incendies dans les industries. L'évolution des normes et de la sécurité ainsi que le dimensionnement de procédés industriels nécessitent une connaissance parfaite du comportement thermique de ces milieux [8, 9].

Dans la littérature, seulement quelques travaux se sont intéressés à la compréhension de ces phénomènes en utilisant la Méthode des Elements Discrets (DEM). Une étude sur les mélangeurs de particules hétérogènes pour simuler les toners des imprimantes laser haute vitesse a été développée par Karion *et al.* [3] à partir du modèle de contact de Cundall et Strack. Par ailleurs, on peut citer les travaux de Bucher *et al.* [1] qui s'intéressent à l'usure de particules en contact à l'interface rail/roue.

Dans ce travail, nous avons étudié en 2D le cas simple de particules non déformables et non pénétrables qui ont été compactées entre deux parois rugueuses. Dans une première partie, l'inté-

gration des phénomènes thermo-mécaniques dans le logiciel de calcul MULTICOR sera détaillée. Puis, nous analyserons l'influence des différents paramètres mécaniques et cinétiques du modèle sur la génération de chaleur et les transferts thermiques.

2 Modèle thermo-mécanique

2.1 Description du modèle

La géométrie du modèle développée est décrite sur la Figure 1. Les particules sont compactées par gravité entre deux parois rugueuses, parallèles et distantes d'une hauteur H . La paroi inférieure est maintenue en mouvement à la vitesse V . Le système est compressé en imposant une charge verticale F sur la paroi supérieure. Des conditions de périodicité sont imposées aux limites de la géométrie : on remplace immédiatement une particule qui sort de la frontière par une autre particule avec les mêmes propriétés physiques et dynamiques sur la face opposée. Cette technique nous permet de modéliser un espace infini à partir d'un nombre limité de particules ; elle est similaire au choix d'un VER dans les techniques d'homogénéisation. L représente la longueur du flux de particules simulée, la taille étant choisie de telle sorte que les effets de bords soient négligeables. Dans cette partie, la rugosité des parois est modélisée en assemblant des grains de mêmes caractéristiques que les particules en mouvement.

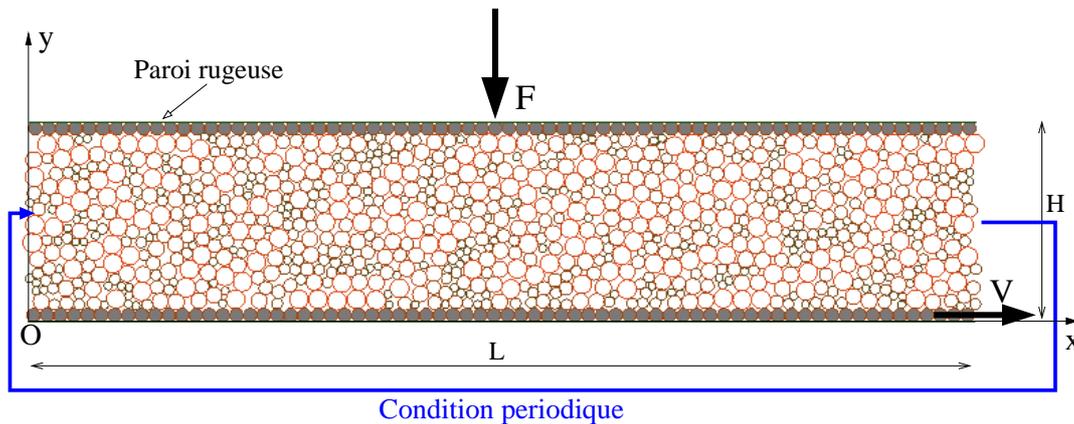


Figure 1 – Modèle utilisé.

2.2 Dissipation d'énergie et transferts thermiques

La modélisation par MULTICOR des transferts thermiques par conductance et la génération de chaleur par frottement a été détaillée et validée dans des articles précédents [6, 7].

En accord avec ces études, l'augmentation de température d'une particule Ω_i est liée à la fois au transfert de chaleur par contact avec les corps voisins et à la dissipation d'énergie mécanique. Ainsi, la dynamique du transfert de chaleur d'un corps Ω_i , en considérant qu'il est en contact avec α particules voisines Ω_j est donnée par l'expression (1) :

$$m_i C_{P_i} \frac{\Delta T_i}{\Delta t} = \sum_{j=1}^{\alpha} (H_c^{ij} (T_j - T_i) + \beta_{ij} \Phi_{\mu}^{ij}) \quad (1)$$

où m_i est la masse et C_{P_i} la capacité thermique de la particule. β_{ij} est le coefficient de répartition de la chaleur et H_c représente la conductance de contact estimée à partir de la théorie de Hertz (2) :

$$H_c^{ij} = 2\lambda \left(\frac{3r_n^{ij} a^*}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

avec λ , la conductivité thermique du matériau, a^* le rayon effectif et E^* le module d'Young effectif.

Φ_μ^{ij} donné par (3) représente le flux de dissipation d'énergie par frottement qui est proportionnel au coefficient de frottement inter-particules μ , à la vitesse de glissement \dot{u}_t^{ij} et à la réaction de contact r_n^{ij} :

$$\Phi_\mu^{ij} = \mu \dot{u}_t^{ij} r_n^{ij}. \quad (3)$$

Le bilan thermique (1) est résolu avec un pas de temps suffisamment petit ($\Delta t = 10^{-6}s$) pour supposer que les perturbations thermiques ne se propagent pas plus loin que les particules voisines immédiates pendant un pas de temps Δt . La deuxième hypothèse concerne les résistances de transfert : la résistance de transfert au sein d'une particule (conduction) est supposée nulle, donc il n'y a pas de gradient de température au sein d'un grain.

L'évolution de la température pour chaque particule est estimée à partir de l'équation (1). L'algorithme général de résolution est le suivant :

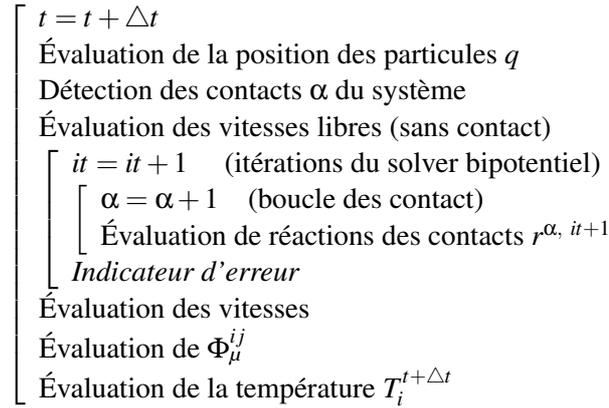


Figure 2 – Algorithme avec l'intégration thermique.

3 Simulations numériques et discussions

Les résultats présentés ci-dessous sont obtenus lorsque le régime permanent est atteint, c'est-à-dire lorsque les variations d'énergie cinétique et de fraction de solide sont stabilisées. L'équilibre du cisaillement est obtenu au bout de 0.5 ms. Les simulations sont réalisées avec une charge comprise entre 5 et 70 kN et la vitesse de cisaillement varie de 6 à 15 m.s⁻¹. Les propriétés du matériaux simulé sont celles de l'acier.

3.1 Influence de la puissance mécanique

D'un point de vue thermomécanique, la température maximale générée dans le milieu granulaire dépend fortement de la puissance mécanique fournie exprimée par le produit de la force normale F par la vitesse de cisaillement V (Fig. 3), où I représente le nombre inertiel qui permet de qualifier l'écoulement de quasi-statique ($I \ll 0.01$) ou d'écoulement dynamique ($I > 0.1$) :

$$I = \frac{Va^*}{H} \sqrt{\frac{\rho L}{F}} \quad (4)$$

où V représente la vitesse de cisaillement, a^* le rayon effectif, H la hauteur entre les deux parois, L la longueur du flux de particules, ρ la masse volumique du matériau et F la charge verticale.

On note que la génération de chaleur dans le lit de particules est plus importante dans la partie cisailée proche de la paroi mobile, comme le confirme les travaux de Mair *et al.* [4].

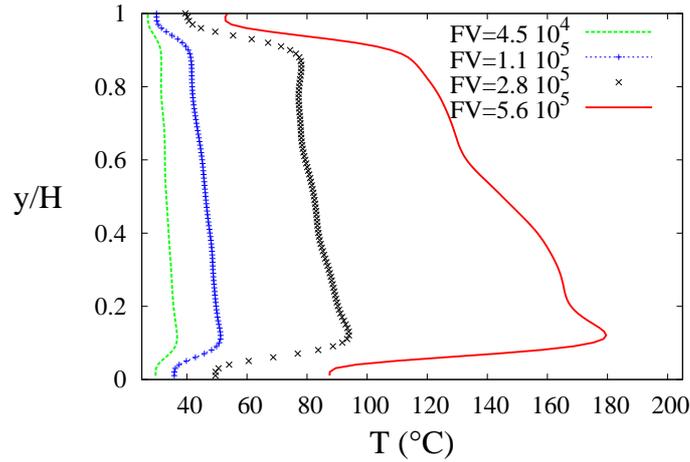


Figure 3 – Profils de température générée ($\mu = 0,3; t = 0,02s$).

3.2 Influence des propriétés thermiques du matériau

La Figure 4a illustre la génération de chaleur pour trois valeurs de conductivité de matériau. Le gradient thermique, liée à la vitesse de propagation de la chaleur est plus important pour de fortes conductivités thermiques. Inversement, pour de faibles valeurs, la chaleur générée reste accumulée le long de la paroi mobile créant des points chauds, en accord avec des résultats issus de la littérature [3].

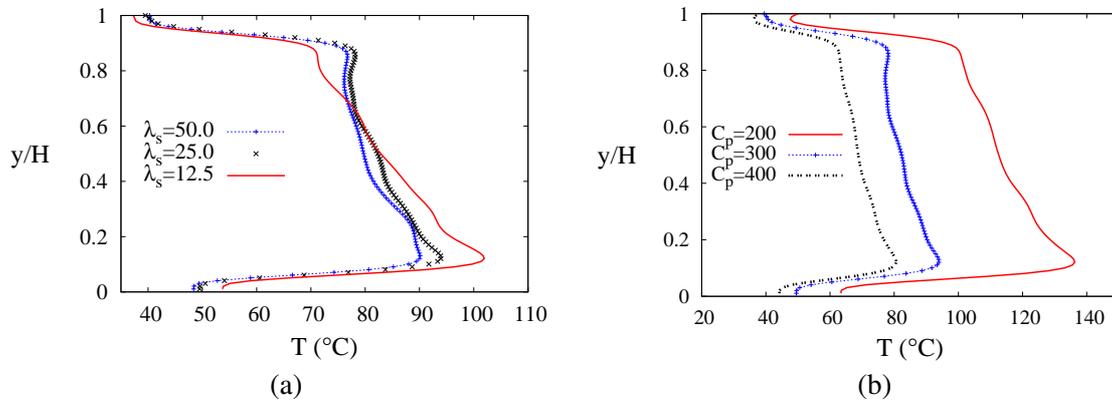


Figure 4 – (a) Influence de la conductivité thermique (b) Influence de la capacité calorifique ($I = 0.0555; t = 0.02s$).

De la même façon, nous avons testé l'influence de la capacité calorifique C_p . Comme prévu, la Figure 4b montre que les faibles capacités calorifiques conduisent à de fortes générations de chaleur et à l'existence de points chauds, dans la mesure où il faut peu d'énergie pour augmenter la température des particules.

3.3 Influence de la rugosité du matériau

Afin d'étudier l'influence de la rugosité de la paroi supérieure sur la dissipation d'énergie, nous avons construit trois modèles de cisaillement (Fig. 5). Le modèle 1 est composé de deux parois homogènes. La paroi inférieure du modèle 2 est constituée de particules de granulométrie hétérogène, répartie de façon aléatoire. Le modèle 3 est construit sur le même principe que le modèle 2, mais il modifie aussi la paroi supérieure.

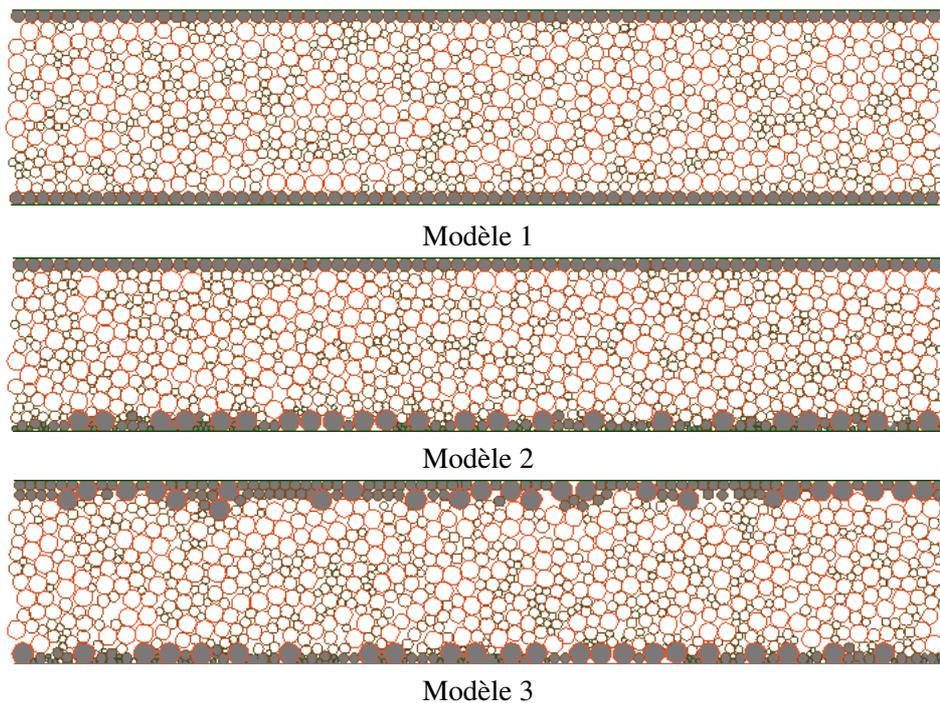


Figure 5 – Modèles de rugosité.

L'analyse des résultats montre une forte augmentation de température locale pour le modèle 3. Ceci est en accord avec la littérature [3, 2]. L'énergie dissipée entre les particules de grande taille est plus importante. L'augmentation de température est comprise entre 10 et 30% par rapport à des interfaces de rugosité homogène.

4 Conclusion

Cette étude a permis d'intégrer dans le code de calcul MULTICOR, les dissipations d'énergie et les transferts thermiques par contact lors d'un cisaillement de grains. Nous avons pu montrer l'importance des propriétés thermiques des matériaux sur la génération de chaleur, ainsi que l'influence de la rugosité des parois. Nous envisageons de valider notre modélisation avec une étude expérimentale réalisée en collaboration avec l'Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques (INERIS).

Références

- [1] F. Bucher, A.I. Dmitriev, M. Ertz, K. Knothe, V.L. Popov, S.G. Psakhie, E.V. Shilko. Multiscale simulation of dry friction in wheel/rail contact. *Wear*, 261, 874–884, 2006.
- [2] M. Ertz. *Temperatur, Materialbeanspruchung und Kraftschluss im Rad-Schiene-Kontakt*, Technische Universität Berlin, 2003.
- [3] A. Karion, M. L. Hunt. Energy dissipation in sheared granular flows. *Journal of Heat Transfer*, 121, 984–991, 1999.
- [4] K. Mair, C. Marone. Shear heating in granular layers. *Pure Appl. Geophys.*, 157, 1847–1866, 2000.
- [5] D. Majcherczak, P. Dufrénoy, M. Naït. Third body influence on thermal friction contact problems : application to braking. *ASME J. of Tribology*, 127, 89–95, 2005.
- [6] V.D. Nguyen, J. Fortin, M. Guessasma, E. Bellenger, C. Cogné. Heat transfer modeling by Discrete Element Method. *Journal of the Mechanics of Materials and Structures*, A paraître.
- [7] V.D. Nguyen, C. Cogné, J. Fortin, M. Guessasma, E. Bellenger. Discrete modelling of granular flow with thermal transfer : application to the discharge of silos. *Applied Thermal Engineering*, A paraître.
- [8] C. Proust, S. Hawksworth, R. Rogers, M. Beyer, D. Lakic, D. Raveau, P. Hervé, V. Pina, C. Petitfrère, X. Lefebvre. Development of a method for predicting the ignition of explosive atmospheres by mechanical friction and impacts (MECHEX). *Journal of Loss Prevention*, 20, 349–365, 2007.
- [9] R.L. Rogers, S. Hawksworth, M. Beyer, Ch. Proust, D. Lakic, J. Gummer, D. Raveau. Ignition of dust clouds and dust deposits by friction sparks and hotspot. *Communication to Hazards XIX, Institution of Chemical Engineers, Manchester*, 2006.
- [10] D. Thuresson. Influence of material properties on sliding contact braking applications. *Wear*, 257, 451–460, 2004.