

**INTERNATIONAL CONGRESS FOR APPLIED MECHANICS JET'2018
2, 3 et 4 mai 2018, Marrakesh Maroc**

**POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES SIMULATIONS DEM GPU
POUR DES APPLICATIONS DU GENIE CIVIL**

Patrick Pizette^{1,*}, Nicolin Govender^{1,2}, Daniel N. Wilke³, Nor-Edine Abriak¹

¹IMT Lille Douai, Univ. Lille, EA 4515 -LGCgE – Laboratory of Civil Engineering and geo-Environnement, Department Civil Engineering of & Environmental, F-59000 Lille, France;

²Department of Chemical and Process Engineering, University of Surrey, Guildford GU2 7XH, UK;

³Centre for Asset and Integrity Management, ⁵University of Pretoria, Pretoria, 0086, South Africa

* patrick.pizette@imt-lille-douai.fr

Mots clés: Méthode des Eléments Discrets, GPU, Silo, simulation aux larges échelles

Keywords: DEM (Discrete Element Method); Graphical Processor Unit (GPU) ; Silo ; large scale simulation

Résumé

Dédiée à l'étude des milieux granulaires à l'échelle des particules, la méthode des éléments discrets (DEM) est limitée par des contraintes de calcul qui l'empêchent d'être appliquée à des problèmes industriels à grande échelle. Dans cet article, les dernières avancées en DEM faisant appel aux calculs sous cartes graphiques (GPU) sont montrées. En particulier, l'utilisation du GPU permet d'atteindre un nouveau niveau de performance en DEM avec la prise en compte de dizaines de millions de particules. Le code de calculs DEM BlazeDEM3D-GPU a été utilisé pour simuler, dans un laps de temps acceptable, la décharge de silo de stockage industriel de gravier (centrale à béton). Ces résultats montrent en particulier les nouveaux potentiels apportés par le Calcul Haute Performance (HPC) pour la modélisation particulaire et pour les perspectives industrielles.

Abstract

Dedicated for study the granular media at scale of particles, the Discrete Element Method (DEM) is limited by computational constraints preventing it application to large-scale industrial problems. In this paper, the latest advances in DEM using the Graphic Process Unit (GPU) to perform the computations are shown. In particular, the utilization of the GPU allows achieving new performance level of DEM with the consideration of tens of millions of particles. The BlazeDEM3D-GPU framework has been used to simulate within a practically accepted time frame discharge of the gravel industrial storage silo. These results show in particular the new potentials brought by the high performance computation (HPC) for particulate modeling and the industrial perspectives.

1. Introduction

Le traitement des matériaux granulaires est crucial pour un certain nombre d'industries telles que les produits pharmaceutiques, la construction, l'exploitation minière, la géologie et les services publics

primaires. La manipulation et le traitement des matériaux granulaires représentent environ 10% de la consommation d'énergie annuelle [1]. Dans une étude menée aux États-Unis sur les besoins énergétiques des installations d'extraction minière (charbon, métaux et granulat), il s'avère que les besoins s'élèvent à 1246 TBtu / an, alors que la consommation d'énergie minimale dite pratique est estimée à 579 TBtu / an [2] soit un potentiel de réduction de plus de 50% (la valeur théorique minimale est de 184 TBtu/yr). Il est évident que la modification de la conception pour optimiser des processus pourrait jouer un rôle important pour le développement d'un secteur industriel plus économe en énergie.

Le statu quo dans l'industrie face à la physique complexe régissant les matériaux granulaires est que les stratégies actuelles pour manipuler les matériaux granulaires restent trop conservatrices et souvent énergivores pour empêcher ou réduire les problèmes de manipulation de matériaux en vrac industriels comme la ségrégation, la formation de voûtes, manipulation. Des approches d'échelle granulaire ont également été développées pour comprendre la physique fondamentale régissant le flux granulaire et pour étudier des applications industrielles, en particulier pour améliorer la compréhension et l'estimation de la dissipation d'énergie et l'efficacité énergétique des processus d'écoulement granulaire.

La méthode des éléments discrets (Discrete Element Method, DEM) consiste à modéliser des assemblages de particules en prenant en compte de façon distinctes chacune d'elles ainsi que les interactions entre chaque particule [3]. La méthode est donc adaptée aux problématiques des milieux granulaires, et en particulier celles liées aux génies civil. Cependant, l'approche DEM est restée limitée en termes de temps de calcul au niveau des applications. Dans ce contexte, cette étude discute des nouvelles avancées et des perspectives rendues possibles par l'utilisation du calcul Haute Performance (HPC) pour appliquer la DEM aux grandes échelles en visant en particulier des installations industrielles. Dans cette étude, on s'intéresse en particulier aux calculs menés sous GPU. L'attention est spécifiquement concentrée sur le framework BlazeDEM3D-GPU nouvellement développé [5] en montrant via cette présentation des applications d'écoulement de milieu granulaire pour des applications industrielles touchant le domaine du génie civil.

2. Méthode des Elément discrets et approche sous GPU

La méthode des éléments discrets (DEM) proposée par Cundall et Strack [3] a mûri au cours des trois dernières décennies dans une approche systématique pour estimer et prédire la réponse des systèmes granulaires. Malheureusement, le nombre de particules simulées dans les systèmes granulaires est principalement limité à des centaines de milliers de particules. Ceci est dû à l'approche de modélisation qui se fait directement au niveau de la particule et aux points de contact, ce qui rend le calcul de DEM intensif. Bien que la DEM soit particulièrement adapté pour étudier l'efficacité énergétique des processus, elle n'a pas été largement adoptée en raison des limitations du nombre de particules que le DEM peut simuler dans des délais réalistes. Ce point est crucial notamment dans la perspective de problème de géomécanique et de génie civil [4].

Les simulations DEM sur les clusters de calcul (CPU) sont limitées à des millions de particules qui entraînent encore des temps de calcul importants. Cependant, avant que le DEM puisse être pratiquement considéré pour des applications industrielles, le nombre de particules doit être augmenté à des dizaines ou des centaines de millions de particules tout en étant simulées dans un laps de temps réaliste. Ainsi, les développements actuels du calcul parallèle des calculs DEM sur des clusters de calcul (CPU) ou de cartes GPU (Graphical Processor Unit) permettront d'augmenter les capacités de calcul et de résoudre les problèmes granulaires industriels à grande échelle dans des temps de calcul réalistes.

Le GPU (Graphic Processor Unit) par l'architecture matérielle fortement parallélisée peut offrir de nouvelles opportunités pour les applications industrielles. Dans cette étude, nous utilisons le framework BlazeDEM3D-GPU développé par Govender et al. [5]. BlazeDEM3D-GPU est un code DEM open-source qui a été validé pour des simulations de broyeurs à boulets industriels [6] et à l'échelle-laboratoire [10] et

pour des applications de décharge de trémie [7, 8]. Dans le cas de la décharge de la trémie de particules, des simulations DEM GPU ont récemment été réalisées pour simuler des systèmes de particules sphériques et polyédriques dans une configuration à grande échelle [9]. La présente étude met en évidence le potentiel des simulations DEM basées sur GPU pour résoudre des problèmes industriels à grande échelle ciblés vers le génie civil.

3. Exemples de simulation DEM de problèmes aux larges échelles

Des applications DEM avec l'apport du GPU ont été étudiées sur des problèmes d'écoulement granulaire typiques rencontrés dans l'industrie du béton. Des exemples de simulation DEM avec l'apport des calculs sous GPU est illustrée sur la figure suivante. En particulier, des décharges de silo de stockage de gravier ou de sable (cf. figure 1.a) ont été modélisées et simulées en conditions réelles de service avec un remplissage pouvant atteindre des dizaines de millions de particules. Par exemple la figure 1.b illustre un écoulement à 8 millions de particules réalisés dans des temps de calculs raisonnables (1 à 2 heures pour 30 secondes de temps physique sur une carte de calcul NVIDIA TITAN).

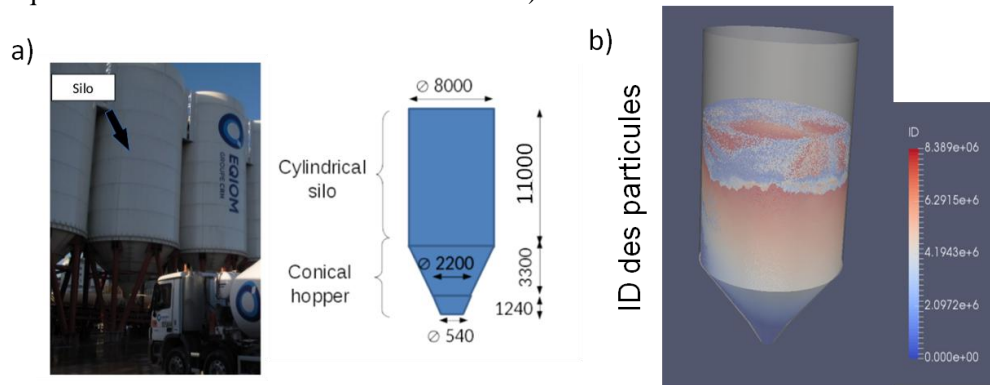


Figure 1 : (a) Description d'un exemple de silo de centrale à Béton (taille en mm) (b) Fin de remplissage du silo (coloration en fonction des ID, 8 millions de particules)

La figure 2 illustre aussi les possibilités des variables pouvant être vues avec la modélisation DEM en particulier les champs de vitesse avec une vue en coupe effectuée à l'intérieur du silo. De plus, les courbes de décharges sont aussi comparées dans cette étude avec l'approche empirique de type loi de Beverloo permettant ainsi de confronter les simulations avec des données réelles.

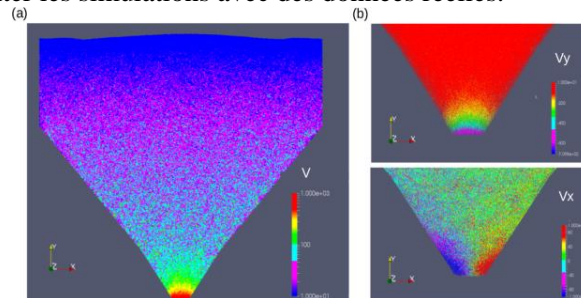


Figure 2 : Vues en coupe des champs de vitesse linéaires après 20 s de temps de décharge (a) amplitude (échelle logarithmique) (b) composantes (dans les directions x et y) (environ 34 millions de particule)

4. Conclusion et perspectives

Comme requis pour une application industrielle pertinente, jusqu'à plusieurs dizaine de millions de particules ont été simulées avec la DEM dans un laps de temps pratiquement acceptable. Cette étude met aussi en évidence que des simulations DEM à grande échelle peuvent être effectuées dans un délai raisonnable lorsque les calculs sont effectués sous carte graphique GPU. Cet apport du calcul Hautes performances rend l'analyse à grande échelle pertinente. L'objectif est de permettre d'effectuer un certain nombre d'analyses pour orienter les processus granulaires vers une efficacité améliorée à la fois au niveau du process mais aussi d'un point de vue énergétique.

Remerciements

Nous remercions NVIDIA Corporation pour le soutien apporté dans cette étude par l'obtention d'une carte GPU Titan X Pascal.

Références

- [1] DURAN J., Sands, powders, and grains: An introduction to the physics of granular materials. Springer Science & Business Media, 2012
- [2] Mining Industry Bandwidth Study, US Department of Energy, BCS Incorporated, June 2007
- [3] Cundall P.A. and Strack O.D.L, A discrete numerical model for granular assemblies, *Geotechnique* 29, 47-65, 1979
- [4] O'Sullivan C., Particulate Discrete Element Modeling : A Geomechanics Perspectives (Spon Press, New York, 2011) 561
- [5] Govender N., Wilke D.N., Kok S., Blaze-DEMGPU: Modular high performance DEM framework for the GPU architecture, *SoftwareX* 5, 62-66 (2016)
- [6] Govender N., Rajamani R.K, Kok S., Wilke D.N, Discrete element simulation of mill charge in 3D using the BLAZE-DEM GPU framework, *Miner. Eng.* 79, 152-168, 2015
- [7] Govender N., Pizette P., Wilke D.N, Abriak N.E., validation of the GPU based BLAZE-DEM framework for hopper discharge, *PARTICLES* 2015, Barcelona
- [8] Govender N, Wilke D N , Pizette P, Rajamani R.K., Industrial Scale Particle Simulations on the GPU Using the Blaze-DEM Code, *Proceedings of the 7th International Conference on Discrete Element Methods*, Springer Proceedings Phys. 188 (2017)
- [9] Govender N., Wilke D.N., Pizette P., Abriak N-E, A study of shape non-uniformity and polydispersity in hopper discharge of spherical and polyhedral particle systems using the BlazeDEM3DGPU code, *Appl. Math. Comput.* (in press)
- [10] Pizette P, Govender N, Abriak N-E, Wilke D.N, GPU DEM simulations and Experimental studies of ball milling process for various particle shapes, *Proceedings of the 7th International Conference on Discrete Element Methods*, Springer Proceedings Phys. 188 (2017)