

Simulations par méthode Lattice Boltzmann de l'équation de Barré de Saint-Venant pour écoulement
environnemental de grande échelle.

Nicolas Maquignon

CEREMA-REM

134, rue de Beauvais

60280, Margny-lès-Compiègne

nicolas.maquignon@cerema.fr

Le modèle de Boltzmann sur réseau (LBM) est une méthodologie aujourd'hui présente dans de nombreux domaines de recherche ou d'application. La résolution par la méthode de Boltzmann de l'équation de Barré de Saint-Venant, encore appelée «Shallow Water Equation» (SWE), ainsi que son application aux écoulements environnementaux, est un sujet de recherche actif [2][3][4]. Les écoulements environnementaux sont généralement calculés à grande échelle, impliquant de vastes zones géographiques de plusieurs milliers de kilomètres carrés. Lorsqu'un maillage fin est utilisé, la quantité de mémoire informatique nécessaire peut rapidement croître, et peut facilement dépasser la capacité matérielle, entraînant ainsi des pertes de performance de calcul. Dans ce travail, un modèle de Boltzmann sur réseau simplifié et stable (S&S) pour les cas d'eaux peu profondes qui réduit la consommation de mémoire sera introduit et analysé. Les précédents schémas de Boltzmann étaient basés sur un algorithme d'advection-collision, et la stabilité numérique dépendaient principalement du type d'opérateur de collision utilisé. Le modèle à temps de relaxation simple (SRT) [6] résultait souvent en de fortes instabilités numériques. Dans le cadre des équations shallow water, plusieurs améliorations ont été apportées en utilisant des temps de relaxation multiples (MRT) [2][3][4], consistant à effectuer la collision dans l'espace des moments, des moments centrés ou dans l'espace des cumulants, plutôt que dans l'espace des fonctions de distribution. L'approche MRT a fourni une modélisation robuste et stable, même si elle avait l'inconvénient d'une certaine complexité d'implémentation et impliquait un calcul assez lourd par rapport à la méthode SRT. Dans ce travail, nous introduisons un modèle S&S basé sur un schéma prédicteur-correcteur, obtenu à partir d'une technique de type « fractional-step », précédemment introduite et utilisée pour les cas gazeux [1]. Afin de valider cette approche dans le domaine des simulations shallow water, les benchmarks de l'écoulement laminaire de Poiseuille, de l'état stationnaire sur une bosse, de la rupture de barrage unidimensionnel et de la rupture de barrage circulaire bidimensionnelle seront présentés. Pour chaque cas, les résultats concordent très bien avec les profils de référence, et des comparaisons aux modèles précédents basés sur l'advection-collision sont réalisées. Les résultats montrent que l'approche S&S LBMSW est un concurrent sérieux pour les meilleurs modèles d'advection-collision optimisés en termes de stabilité numérique et d'isotropie, et qu'elle diminue la consommation de mémoire à 70% de la meilleure optimisation de la mémoire, comme le modèle de compression de grille AA pattern [5]. Ces améliorations sont apportées par le S&S LBMSW en conservant un algorithme très simple, ce qui en fait une méthode très maintenable et efficace pour l'implémentation de codes de recherche et d'éventuels futurs codes industriels. Des cas pratiques de simulation d'écoulements environnementaux obtenus avec un GPU (unité de traitement graphique) seront présentés, impliquant une simulation réelle de rupture de barrage, ainsi que des inondations causées par des chutes de pluie. La topologie du terrain à grande échelle sera fournie par un modèle numérique d'élévation, qui sera utilisé pour déterminer les gradients dans le terme de force S&S LBMSW.

Key-words

Lattice Boltzmann – Shallow Water – Grande echelle

References

- [1] Z.Chen, C.Shu, and D.Tan. High-order simplified thermal lattice Boltzmann method for incompressible thermal flows. International Journal of Heat and Mass Transfer, 127:1–16, 2018. [2] Kevin R. Tubbs and Frank T.-C. Tsai. GPU accelerated lattice Boltzmann model for shallow water flow and mass transport. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 86(3):316–334, 2011. [3] Alessandro De Rosis. A central moments-based lattice Boltzmann scheme for shallow water equations. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 319:379 – 392, 2017. [4] Sara Venturi, Silvia Di Francesco, Martin Geier, and Piergiorgio Manciola. A new collision operator for lattice Boltzmann shallow water model: a convergence and stability study. Advances in Water Resources, 135:103474, 2020. [5] Peter Bailey, Joe Myre, Stuart Walsh, David Lilja, and Martin Saar. Accelerating lattice boltzmann fluid flow simulations using graphics processors. Proceedings of the International Conference on Parallel Processing, pages 550–557, 09 2009. [6] J.G. Zhou. A lattice Boltzmann model for the shallow water equations. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 191(32):3527–3539, 2002.