

Réduire les temps de calcul dans la résolution de Vlasov-Poisson

Anaïs CRESTETTO, Université de Strasbourg

Les modèles cinétiques sont utilisés dans de nombreux domaines des sciences. Ils interviennent par exemple dans la modélisation des plasmas ou des écoulements de poudres ou de bulles dans des gaz ou des liquides. La fonction de distribution dépend dans le cas général de sept variables (le temps, trois variables de position et trois variables de vitesse), ce qui rend les calculs très lourds. C'est pourquoi on s'intéresse à différents moyens de diminuer les temps de calcul.

La première idée est de réduire les modèles cinétiques en les couplant à des modèles fluides. On propose dans ce sens de coupler la méthode PIC à la méthode des moments. La méthode PIC (Particle In Cell) est une méthode particulière très utilisée pour la modélisation des plasmas. On s'intéresse par exemple à la résolution du système d'équations de Vlasov-Poisson :

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial t} + v \frac{\partial f}{\partial x} + E(x) \frac{\partial f}{\partial v} = 0 \\ \frac{dE}{dx} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, v, t) dv - n_0 \end{cases} \quad (1)$$

où $f(x, v, t)$ est la fonction de distribution et $E(x)$ est le champ électrique.

On considère un ensemble de N macroparticules, que l'on avance par les équations du mouvement, et on résout le champ électrique de manière classique, sur maillage.

Lorsque la fonction de distribution reste proche d'un état d'équilibre connu analytiquement, on peut utiliser la méthode δf , présentée par S. J. Allfrey et R. Hatzky [1] ou R. D. Sydora [2]. Elle consiste à écrire que la fonction de distribution est la somme de la solution d'équilibre f^0 connue, et d'une perturbation δf . On ne résout alors que la perturbation par la méthode PIC. Cela permet de diminuer le bruit, ou encore d'obtenir d'aussi bons résultats en considérant moins de particules, ce qui réduit le temps de calcul.

Dans le cas où la fonction d'équilibre f^0 dépend de x et de t et où il faut la calculer à chaque pas de temps, on se propose de la résoudre par la méthode des moments, et de calculer δf par la méthode PIC. Le fait de résoudre f^0 par la méthode des moments, donc sur maillage, apporte des imprécisions que nous n'avons pas dans la méthode δf où f^0 est connue analytiquement. Ce couplage prend donc tout son intérêt lorsqu'on ne peut pas appliquer la méthode δf .

Par ailleurs la programmation sur GPU (Graphics Processing Unit) ou carte graphique se répand de plus en plus, en raison de son efficacité, son accessibilité et sa portabilité qui ne cessent de progresser. Pour profiter de ses avantages on a implémenté en OpenCL (Open Computing Language) la méthode PIC appliquée au système d'équations de Vlasov-Poisson. Le programme est environ huit fois plus rapide que sur CPU (Central Processing Unit). La méthode des volumes finis implémentée sur GPU promet une accélération bien meilleure, de l'ordre de vingt, voire plus.

Références

- [1] S.J. ALLFREY ET R. HATZKY, *A revised δf algorithm for nonlinear PIC simulation*, Computer Physics Communications, 154 (2003) 98-104.
- [2] R. D. SYDORA, *δf Particle-in-Cell Plasma Simulation Model: Properties and Applications*, Advanced Methods for Space Simulations, edited by H. Usui and Y. Omura, pp. 47-60, 2007.