

SMILEI

Simulation of Matter Irradiated by Light at Extreme Intensities

code de simulation laser-plasma open-source collaboratif

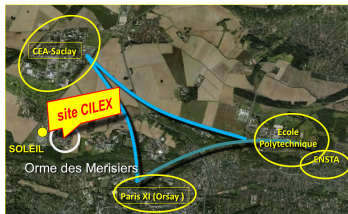
Arnaud Beck
Laboratoire Leprince - Ringuet
École Polytechnique

Journée Calcul et Simulation de l'Université Paris Sud
4 Juin 2014



MAISON DE LA SIMULATION

CILEX, berceau du laser APOLLON-10P



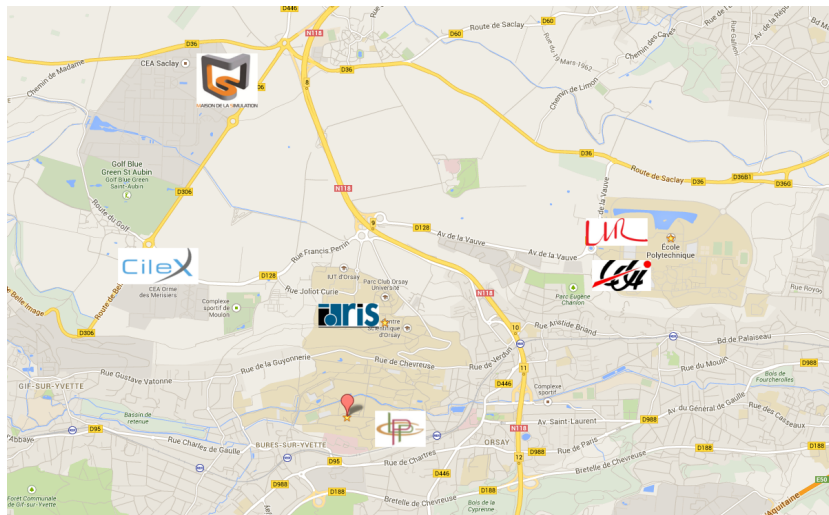
- Accélération d'électrons
- Accélération d'ions
- Source UV/X

APOLLON-10P

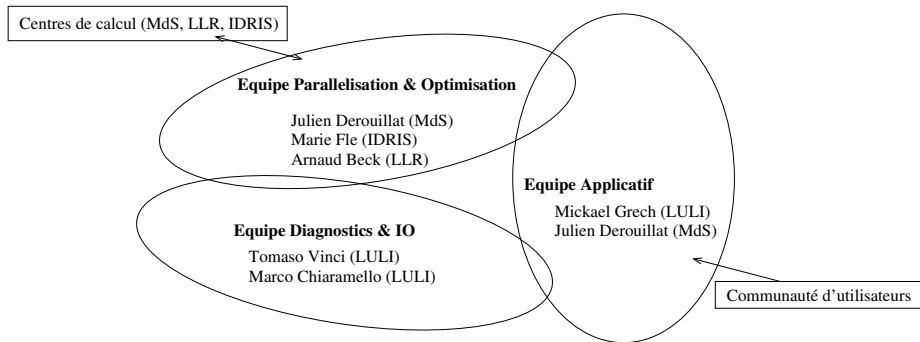
- 5 PW (10 ?)
- UHI up to 10^{24} W/cm^2
- 2 beams
- Main beam F1 :
15 fs < pulse < few ps / 75 J
- Secondary beam F2 :
15 fs < pulse < few ps / 15 J



Les laboratoires engagés dans SMILEI

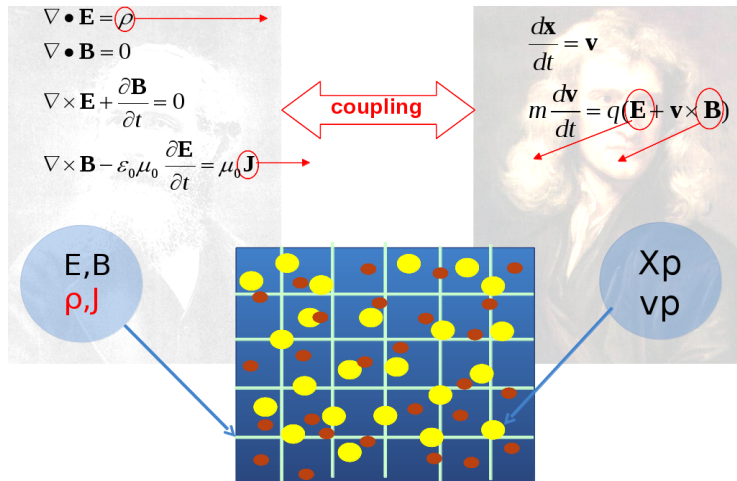


Un développement collaboratif



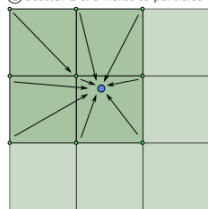
Réunion utilisateurs toutes les 6 semaines ≈

Principe du code PIC

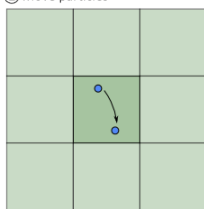


The PIC steps

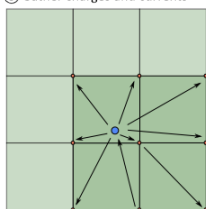
① Scatter E & B fields to particles



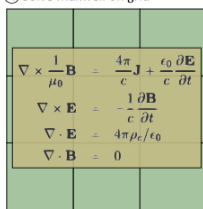
② Move particles



③ Gather charges and currents



④ Solve Maxwell on grid



L'étape de résolution des équations de Maxwell est explicite dans Smilei ce qui la rend peu coûteuse.

Les opérations coûteuses sont les interpolations entre grille et particules.

Un développement open source

En 18 mois de développement :

- Couche de base en C++, orientée objet.
- Structure de donnée de type “Structure of Arrays”.
- Solveur explicite de Maxwell.
- Pousseur de particule relativiste à conservation de charge (Esirkepov).
- Interpolateur grille/particule ordre 2 et 4.
- Géométrie cartésienne 1D & 2D disponible.
- Ionisation par champ.
- Parallélisation hybride MPI-openMP.
- Sortie au format HDF5.
- Outils de visualisation en python.

Le code est disponible sur un depot git :

<https://sourcesup.renater.fr/projects/smilei/>

==> créez un compte et demandez à un admin de vous associer au projet.

Uploadez une clef ssh et vous aurez accès au code, mailing list et Wiki.

Un exemple de grand challenge numérique

L'accélération d'électrons par interaction laser-plasma

Performance

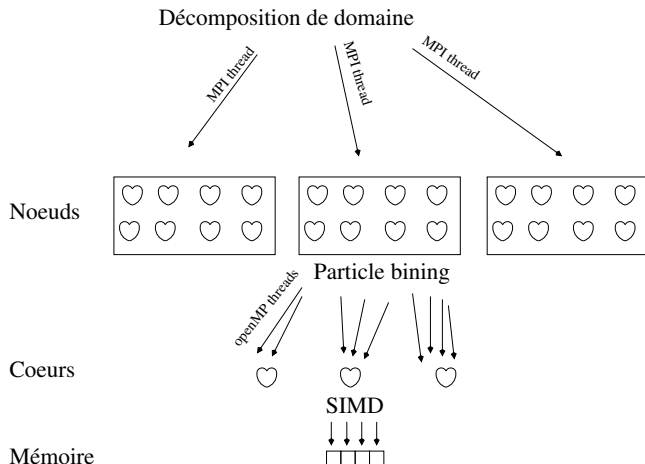
- Les simulations 3D sont LOURDES ! $\simeq 10^9$ cellules, 8 particules/cellule, $\simeq 10^7$ pas de temps $\implies 10^{19}$ opérations \iff 85 heures sur le plus gros système du monde (3M+ coeurs).
- Problèmes critiques d'équilibre de charge : la densité de particule peut aller jusqu'à 9X la densité moyenne par endroits.

R. Fonseca et al, Exploiting multi-scale parallelism for large scale numerical modeling of laser wakefield accelerators, Plasma Phys. Control. Fusion (2013)

Précision

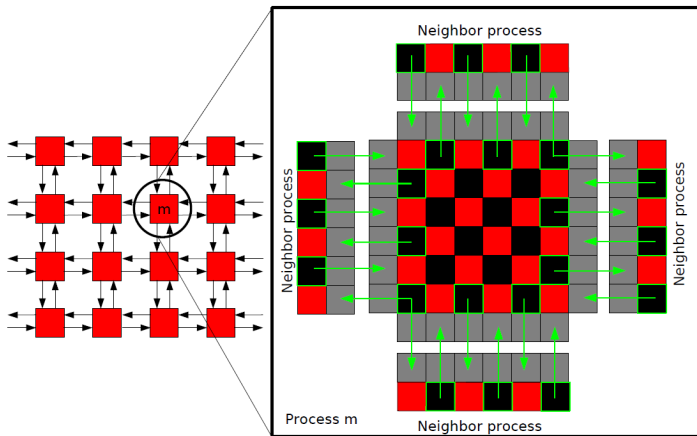
- Dispersion numérique : le laser DOIT se propager à la vitesse de groupe théorique sans être atténué.
- Dans la communauté, il n'y a pas encore d'accord quantitatif entre expérience et simulation pour le moment.

Les niveaux de parallélisme



MPI, première couche de parallélisme

Décomposition de domaine





Contents lists available at [ScienceDirect](#)

J. Parallel Distrib. Comput.

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jpdc



Fast parallel particle-to-grid interpolation for plasma PIC simulations on the GPU

George Stantchev^{a,*}, William Dorland^a, Nail Gumerov^b

^a Center for Scientific Computing and Mathematical Modeling, University of Maryland, United States

^b Institute for Advanced Computer Studies, University of Maryland, United States

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 March 2008

Received in revised form

10 May 2008

Accepted 10 May 2008

Available online xxxx

Keywords:

GPU computing

Scientific computing

Parallel algorithms

Numerical simulations

Particle-in-cell methods

Plasma physics

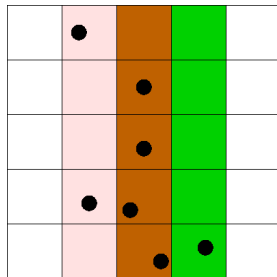
ABSTRACT

Particle-in-Cell (PIC) methods have been widely used for plasma physics simulations in the past three decades. To ensure an acceptable level of statistical accuracy relatively large numbers of particles are needed. State-of-the-art Graphics Processing Units (GPUs), with their high memory bandwidth, hundreds of SPMD processors, and half-a-teraflop performance potential, offer a viable alternative to distributed memory parallel computers for running medium-scale PIC plasma simulations on inexpensive commodity hardware. In this paper, we present an overview of a typical plasma PIC code and discuss its GPU implementation. In particular we focus on fast algorithms for the performance bottleneck operation of particle-to-grid interpolation.

© 2008 Elsevier Inc. All rights reserved.

De l'importance d'être trié

- Les particules sont triées avec une certaine granulosité.
- A chaque cluster de cellule correspond un bin de particule en mémoire.
- Chaque cluster-bin peut être traité efficacement et indépendamment par un thread (openMP, CUDA, ...). C'est le deuxième niveau de parallélisme.



Grid



Memory

La vectorisation, 3ème niveau de parallélisme

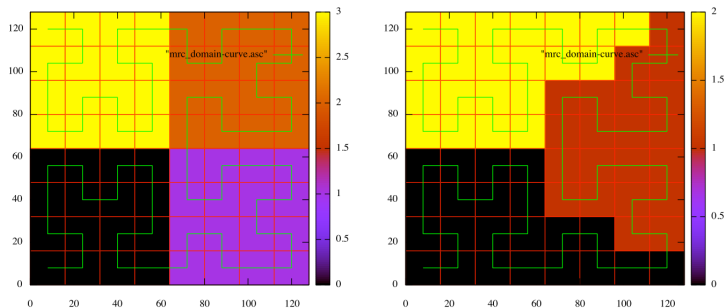
Nous essayons de favoriser des accès contigus en mémoire pour profiter des unités vectorielles qui existent dans les CPUs modernes.

L'auto-vectorisation, faite par les compilateurs, est un début mais l'utilisation directe d'opération "simple instruction multiple data" (SIMD) comme "memcpy" sont utiles pour limiter le coût de mouvement de donnée qui sont devenus plus cher que le calcul.

Equilibre de charge

Preview

Les clusters et bins forment des sous-patches des domaines MPI.
Les domaines adjacents s'échange des bins en suivant une "space filing curve".



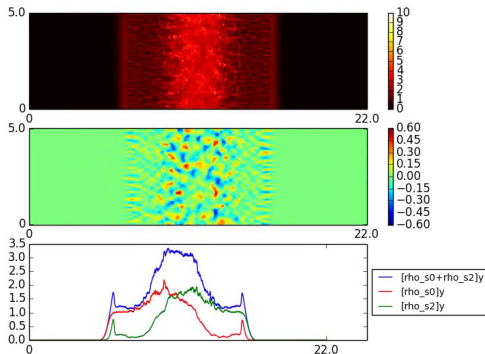
K. Germaschewski, W. Fox and A. Bhattacharjee *et al*, *Load Balancing PIC simulations*, private communication.

Electron-positron plasma crossing

Densité

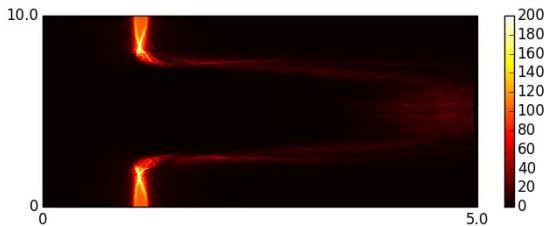
Champ
electrique

Densité par
espèce

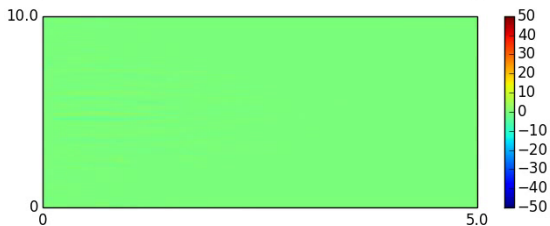


Radiation pressure acceleration

Densité
ionique



Champ
électrique



- Profil et angle incident quelconques pour le(s) laser(s).
- Conditions aux limites absorbantes.
- Conditions aux limites parfaitement absorbantes.
- Particules virtuelles pour l'injection du laser.
- Milieu ayant une permittivité donnée.
- Solveur de Maxwell avancé.
- Fenêtre glissante.
- Electrodynamique quantique.
- Lorentz boosted frame.

Votre contribution ?

- 1 Utiliser le code. Donner un feedback.
- 2 Assister aux réunions utilisateurs. Proposer des développements.
- 3 Développer.