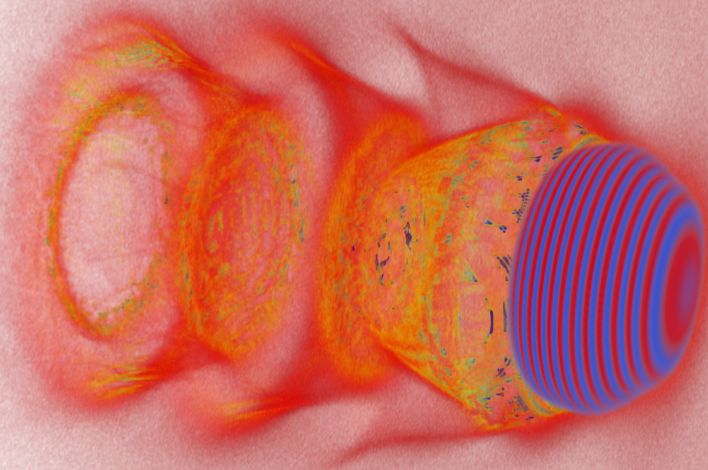


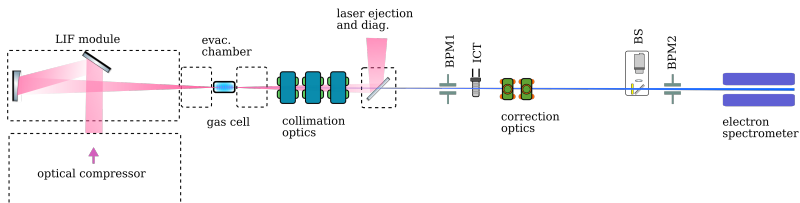
Simulations PIC pour l'accélération laser-plasma

Ingrédients et recettes

Arnaud Beck, Laboratoire Leprince-Ringuet, CNRS/IN2P3



- GDR APPEL : LLR - CEA DAM - U. Bordeaux
 - A. Beck
 - F. Massimo
 - X. Davoine
 - E. D'Humières
- Physique des plasmas numérique : LULI (X/ U. Paris-Saclay)
 - M. Grech
 - T. Vinci
 - F. Perez
- Ingénierie logicielle : Maison de la Simulation (CEA/CNRS/INRIA)
 - M. Lobet
 - J. Derouillat



- Compréhension des mécanismes d'accélération.
- Aide à la conception.
- Calcul de tolérance et estimation des performances.

Les physiciens interviewés réclament :

❶ Simulations “temps réel”

- Reproduction qualitative et quasi-instantanée de l'expérience
- Exploration de l'espace des paramètres
- Production de beaucoup de données en peu de temps
- Modèles réduits => des compromis sur la physique

❷ Simulations “fidèles”

- Reproduction “quantitative” de l'expérience
- Physique exacte - zéro compromis
- Très haute résolution
- Simulations “chères”

- 1 Rayonnement (électrodynamique et physique atomique).
- 2 QED (processus d'électrodynamique quantique).
- 3 Collisions (élastiques et inélastiques).
- 4 Ionisation.
- 5 Description hybride PIC/MHD.

Les éléments de physique sont relativement indépendants et assez bien connus.

- ❶ Géométries 3D et quasi-3D.
- ❷ Conditions absorbantes PML.
- ❸ Modèle d'enveloppe.
- ❹ Anti-Cherenkov.
- ❺ Conditions initiales réalistes.
- ❻ Merge/split des particules.
- ❼ Référentiel boosté
- ❽ Raffinement de maillage (MLMD)

Ces méthodes sont relativement bien connues et apportent fidélité et/ou performance mais se complexifient quand on les combine.

- ❶ Multi-architectures (CPU, GPU, ...).
- ❷ Parallélisation multi niveaux (MPI, openMP, SIMD, CUDA).
- ❸ Équilibrage dynamique de charge.
- ❹ I/O massivement parallèle.

Les architectures évoluent très vite et il est difficile de rester “à jour”.

- ❶ “Temps réel” : Modèle d’enveloppe en géométrie cylindrique dans un référentiel boosté et accéléré par GPU.
Challenge : **Méthode numérique +++** ; support HPC +

- ❷ “Fidèle” : Solveur spectral en géométrie 3D à multi-niveaux mettant en oeuvre des techniques avancées de parallélisation massive et optimisé pour la plus grosse machine du moment.
Challenge : Méthode numérique + ; **support HPC +++**

Chacune supportant les modules de physique comme l’ionisation par champ et le calcul de rayonnement.

- Supporter des configurations complexes de méthodes numériques.
- Maintenir les codes à jour avec les architectures.
- Garantir la robustesse des codes.

Mettre en place une structure pour mener à bien la réalisation d'un code répondant aux objectifs. Ses missions prioritaires seraient les suivantes :

- Agréger les développements nationaux / internationaux et les combiner.
- S'assurer de l'adéquation des développements avec les architectures actuelles.
- Entretenir des collaborations fortes entre physiciens et experts numériques et logiciels au delà de l'IN2P3.
- Partager le logiciel et former des utilisateurs physiciens "capables" (Power User).



Open-source
Particle-In-Cell code

Collaborative & User-Friendly

smileipic.github.io/Smilei

Educational resources

online documentation • tutorials

High-Performance Computing

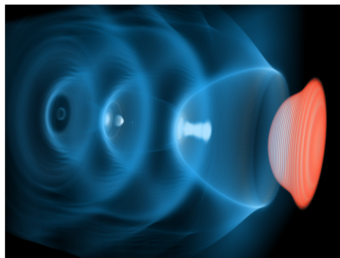
MPI-OpenMP • load balancing • vectorization

Advanced physics modules

ionisation • collisions • strong-field QED

Advanced solvers

high-order FDTD • quasi-cylindrical • laser envelope



Derouillat *et al.*, Comp. Phys. Comm. **222**, 351 (2018)



A l'international

Des alternatives existent. Mais souhaite t-on garder la maîtrise des meilleurs techniques numériques en France ?

Recommandations

- S'appuyer sur l'équipe SMILEI existante (6 permanents dont 1 IN2P3, 3 INP et 2 CEA).
- Maintenir le calculateur de développement LLRLSI hébergé au LLR (40 k€/ an. 60% IN2P3, 40% X).
- Ouverture d'un poste d'IR/chercheur dédié à ces missions pour l'ALP.
- Affectation de moyens techniques informatiques ponctuels des laboratoires.

- Proposer un outil performant qui répond aux objectifs de la communauté.
- S'assurer d'avoir les moyens humains d'utiliser cet outil.
- Bâtir une collaboration multi-physique, multi-techno autour de la physique des plasmas numérique.
- Valoriser les nouveaux développements en les pérennisant et en les appliquant à une large gamme de physique.
- Réunir une communauté d'utilisateurs mondiale.