

Le code *particle-in-cell* Smilei



J. Déroutat¹, A. Beck², F. Pérez³, T. Vinci³, M. Chieramello³, A. Grassi³, M. Flé⁴,
N. Auna⁵, J. Dargent^{3,6}, I. Plotnikov⁶, G. Bouchard⁷, C. Riconda³, M. Grech³

¹ Maison de la Simulation (MdS), Saclay

² Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR), Palaiseau

³ Laboratoire d'Utilisation des Lasers Intenses (LULI), Palaiseau

⁴ Institut du Développement des Ressources en Informatique Scientifique (IDRIS), Orsay

⁵ Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP), Palaiseau

⁶ Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), Toulouse

⁷ Laboratoire Interactions, Dynamique et Lasers (LIDyL), Saclay



Support financier du label PALM (ANR-10-LABX-39)
et Plas@Par (ANR-11-IDEX-004-02)



Objectifs

Haute performance

- Fortement parallèle
- Nouvelles structures (MPI + openMP)
- Équilibrage dynamique de charge
- Vectorisation

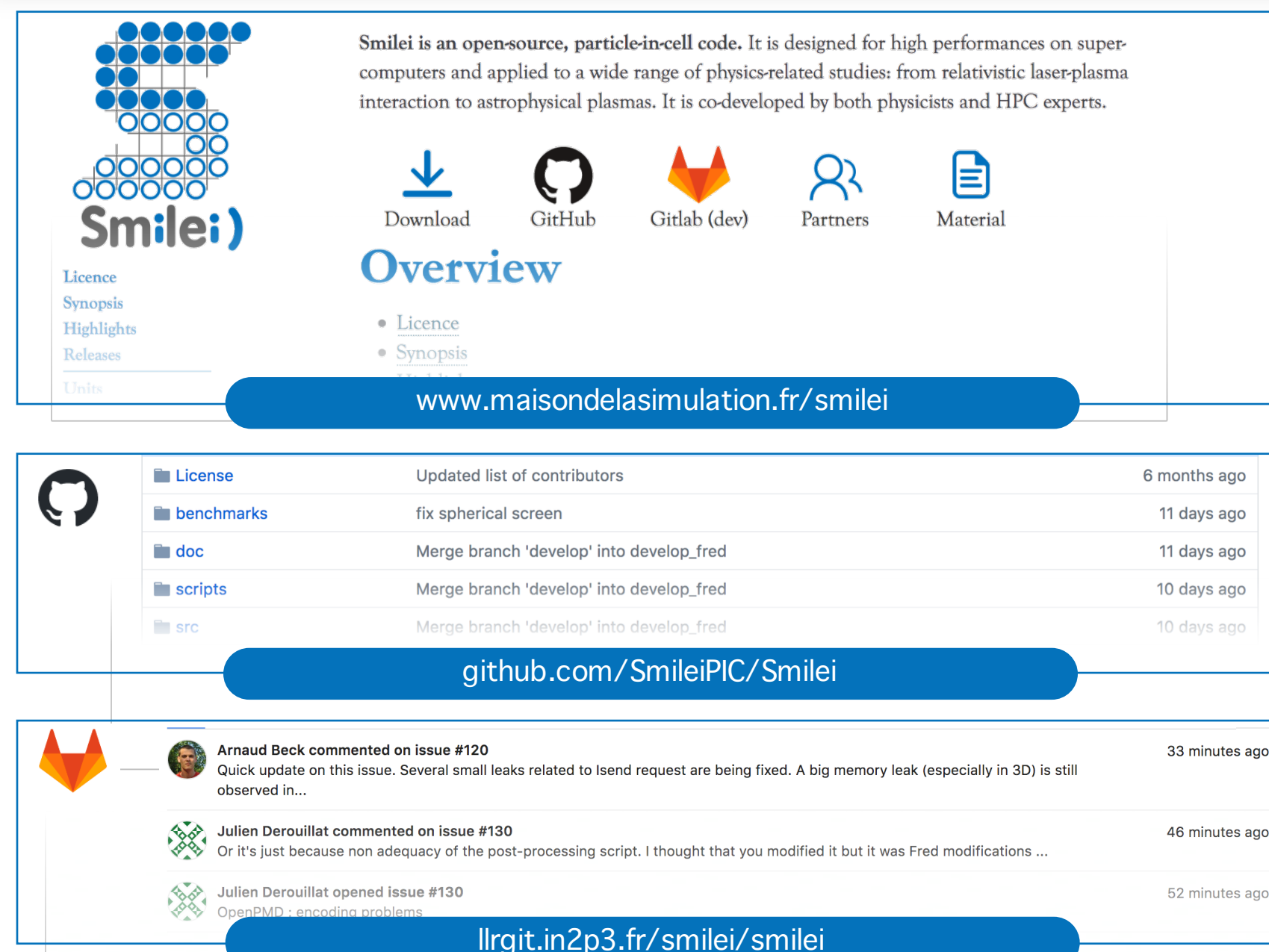
Open-source

- Licence libre CECILL-B
- Disponible sur *GitHub* & *tarball*
- Outils de développement participatif

Accessible et adaptatif

- Orienté objet pour ajouter des modules
- Laser-plasma + astrophysique
- Interface python simplifiée + post-processing
- Documentation et tutoriels

Documentation et outils participatifs en ligne



Documentation

- Description
- Installation
- Utilisation
- Post-processing
- Exemples

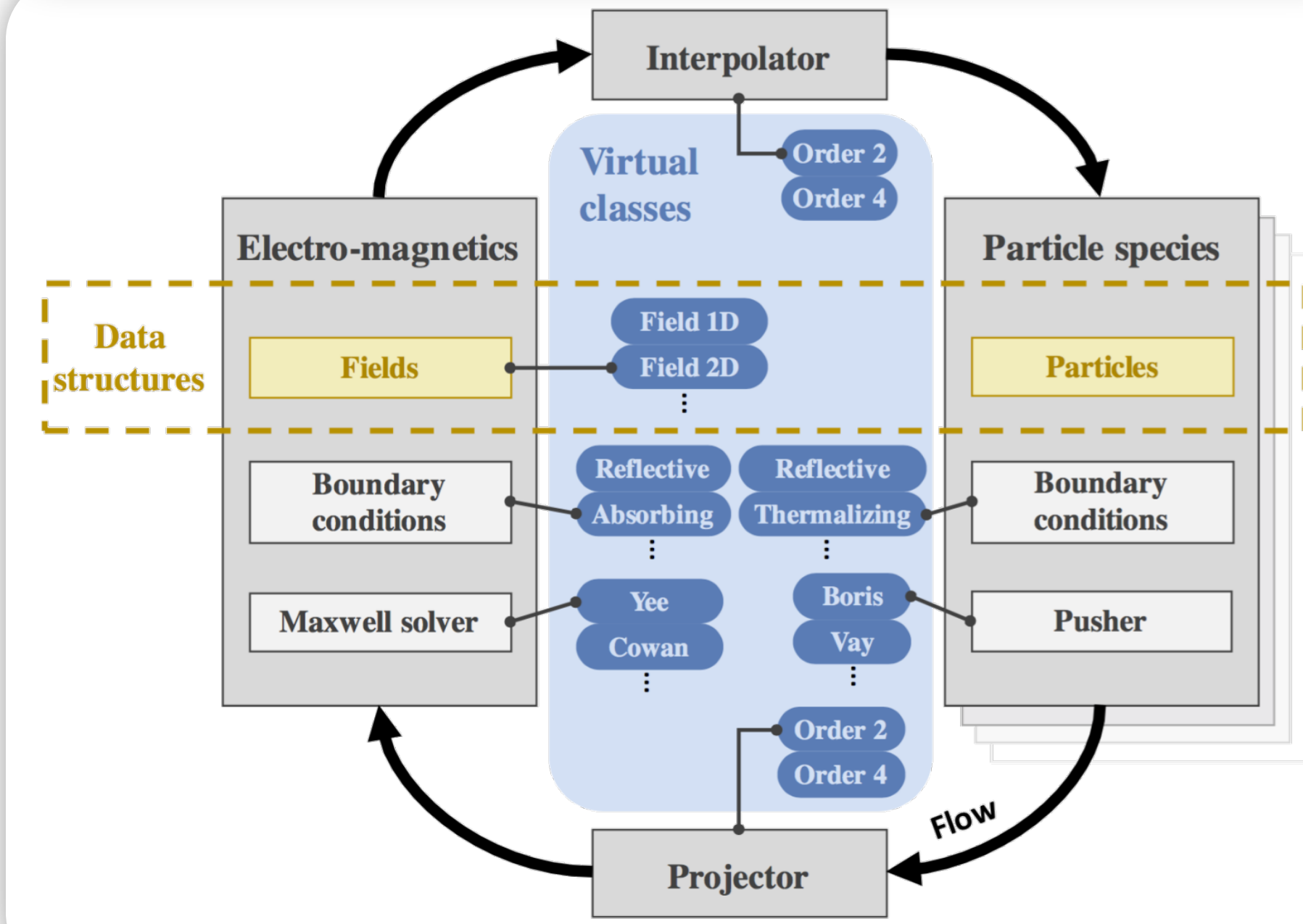
GitHub

- Code source
- Questions
- Rapports de bug

GitLab (développeurs)

- Développement

Structure et processus



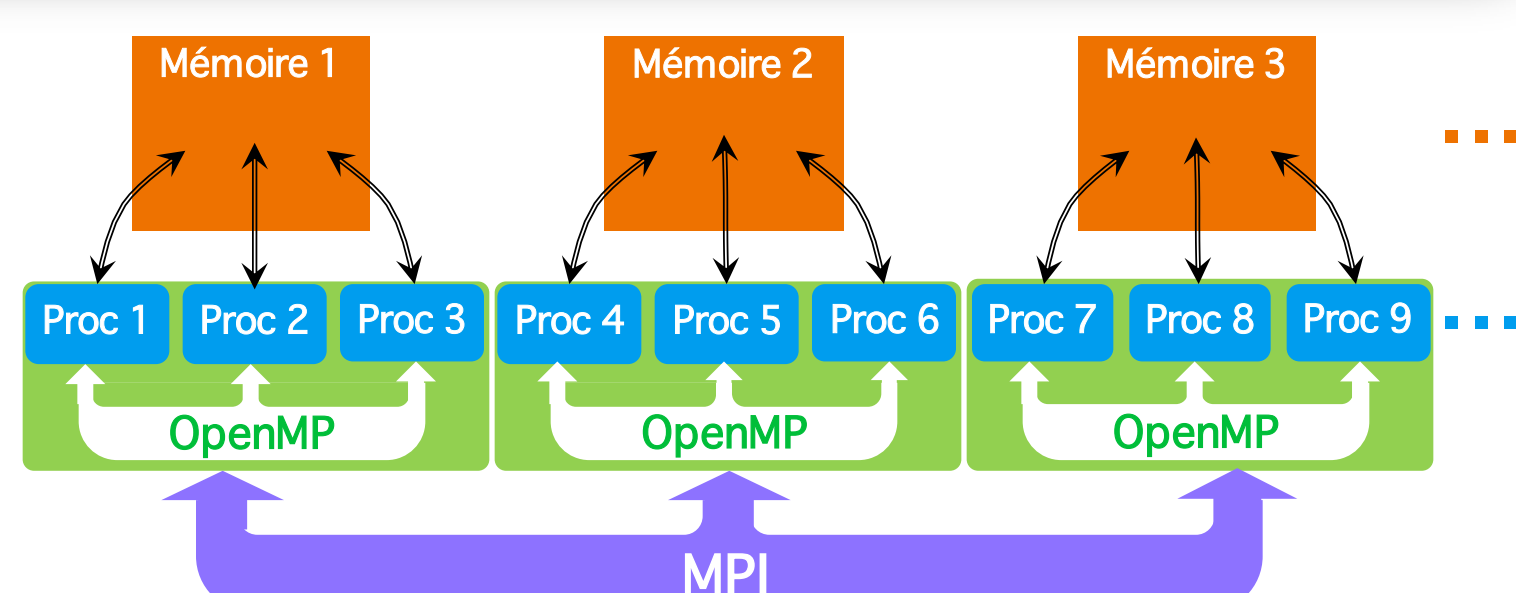
Parallélisation MPI + OpenMP

Message parsing interface (MPI)

Gère les communications entre processus ayant une mémoire séparée les uns des autres.

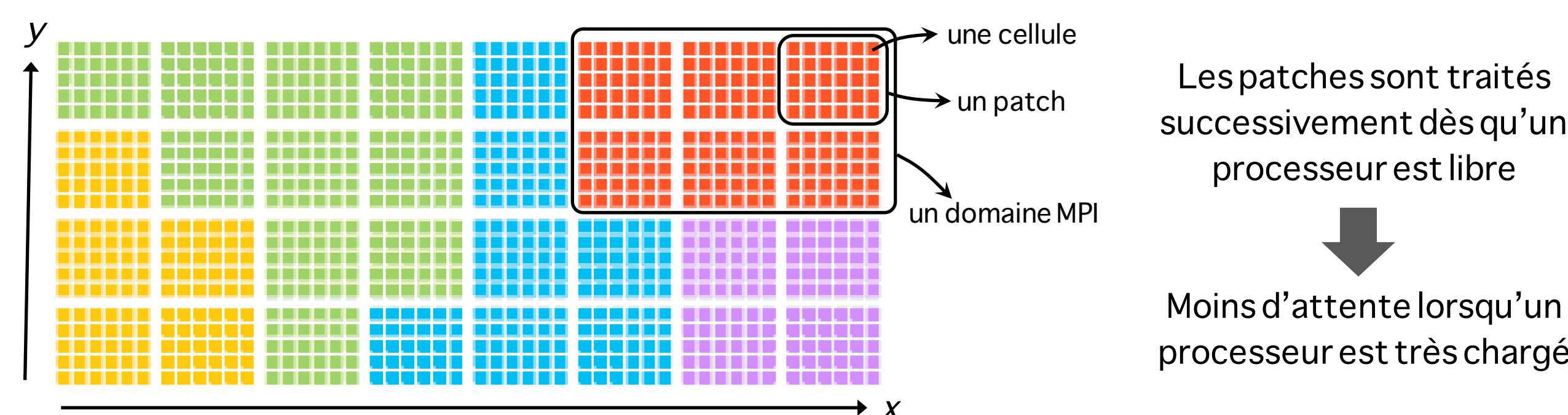
Open Multi-Processing (OpenMP)

Synchronise les processus se partageant la même mémoire

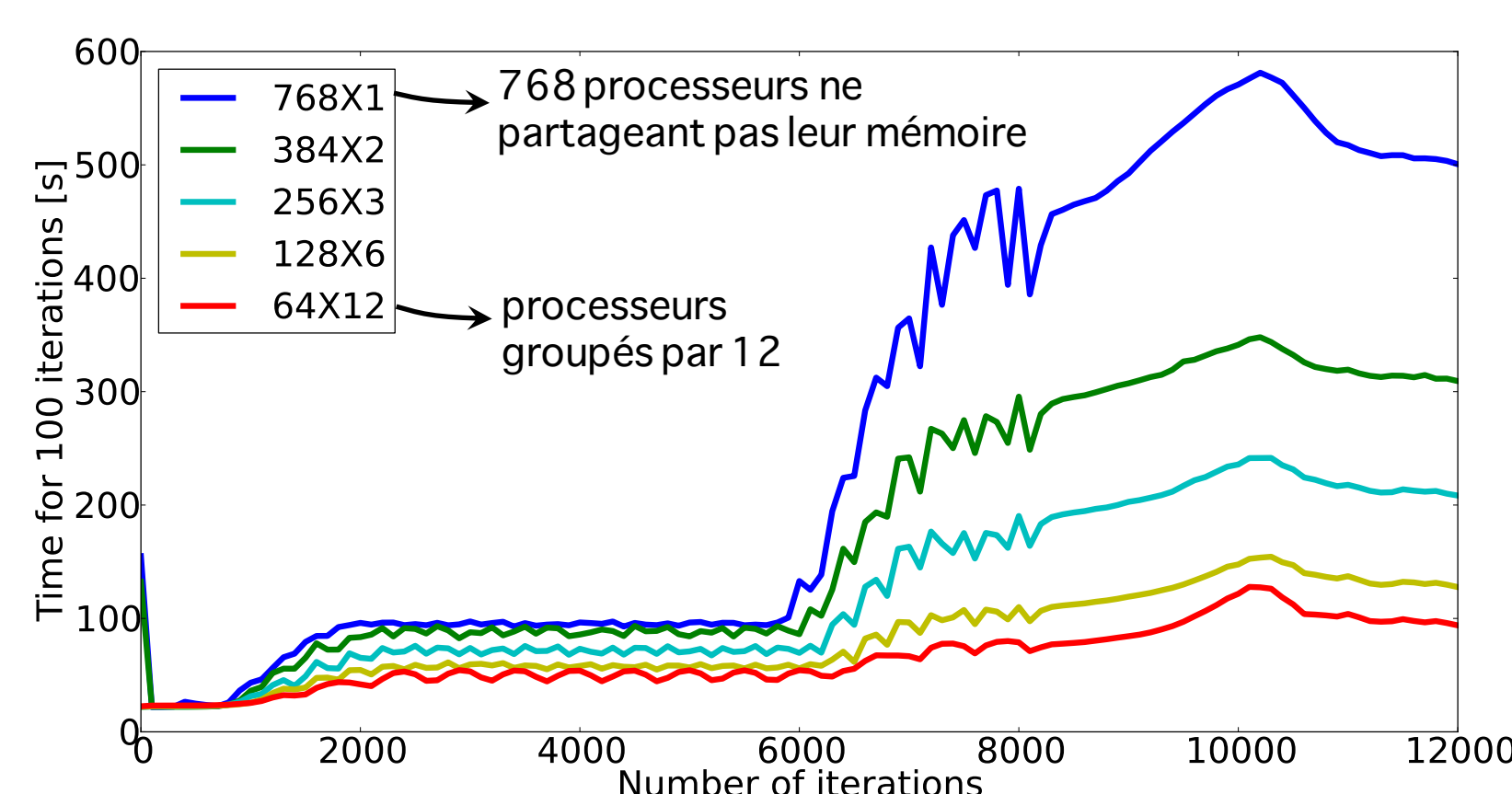


La boîte de simulation est divisée en petits domaines « patches »

Un groupement de patches résidant dans la même mémoire est un « domaine MPI »



Performance accrue pour une simulation d'accélération d'électrons par sillage.



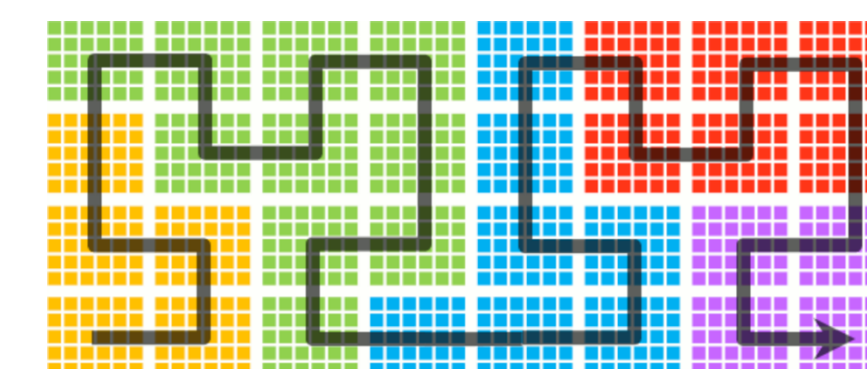
Équilibrage dynamique de la charge de calcul

Si un domaine MPI contient trop de charge de calcul, il envoie des patches à ses voisins.

Équilibrage de charge

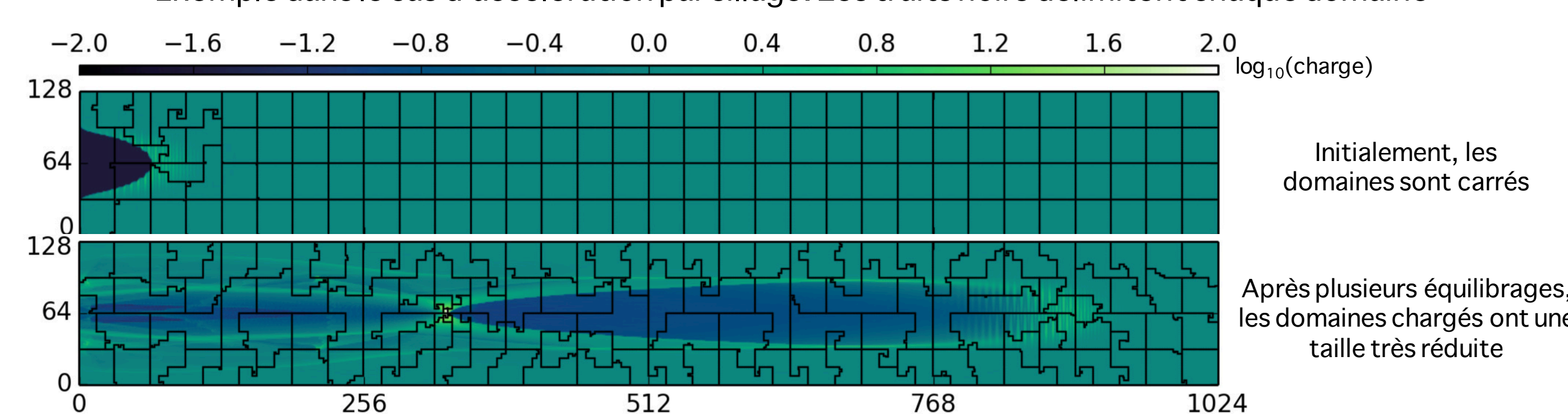
Comment déterminer les « voisins » ?

Les patches sont ordonnés le long d'une courbe de Hilbert. Il suffit de suivre la courbe pour trouver les patches voisins.



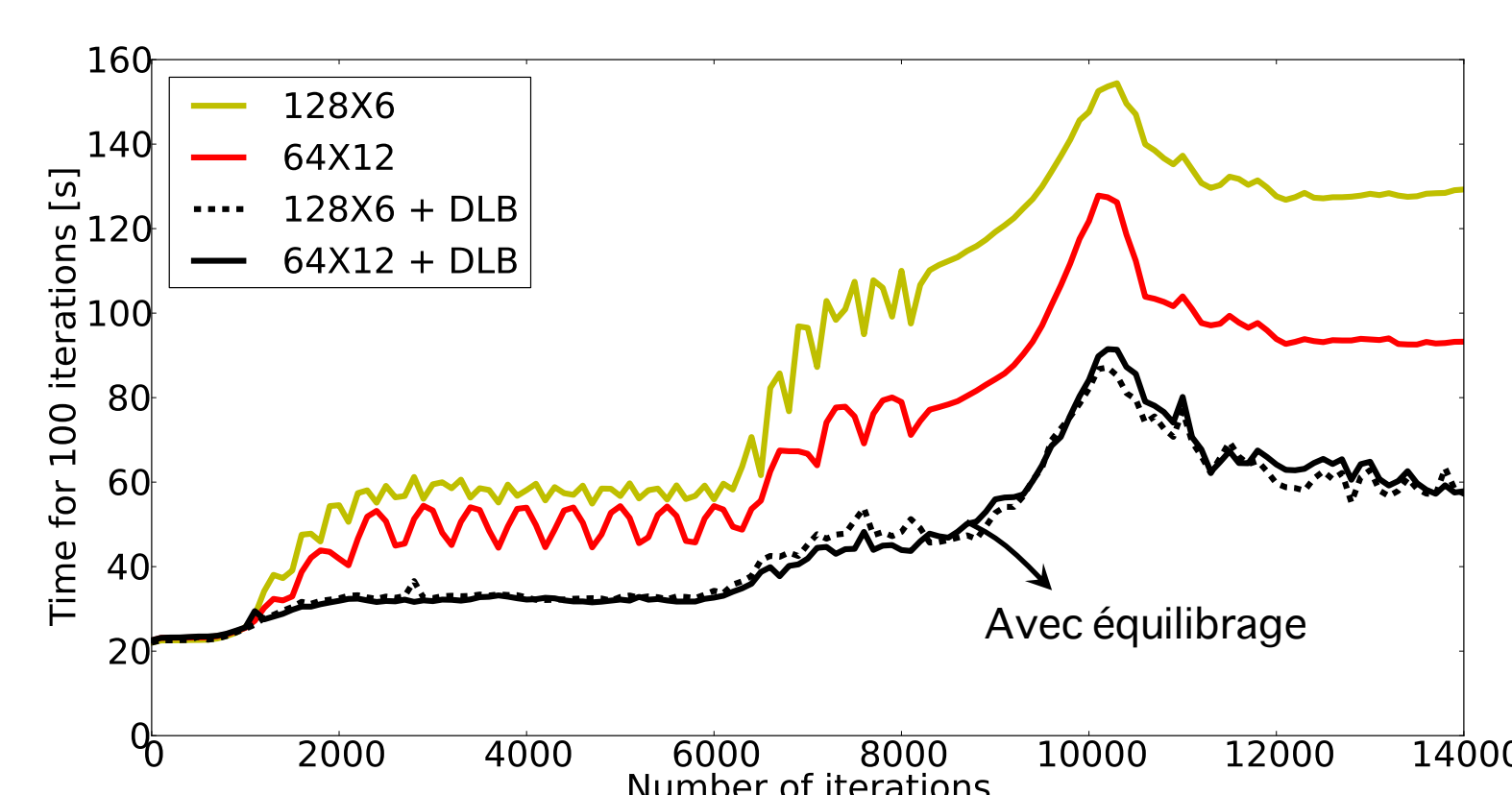
L'étendue spatiale gérée par chaque domaine MPI change à chaque équilibrage

Exemple dans le cas d'accélération par sillage. Les traits noirs délimitent chaque domaine



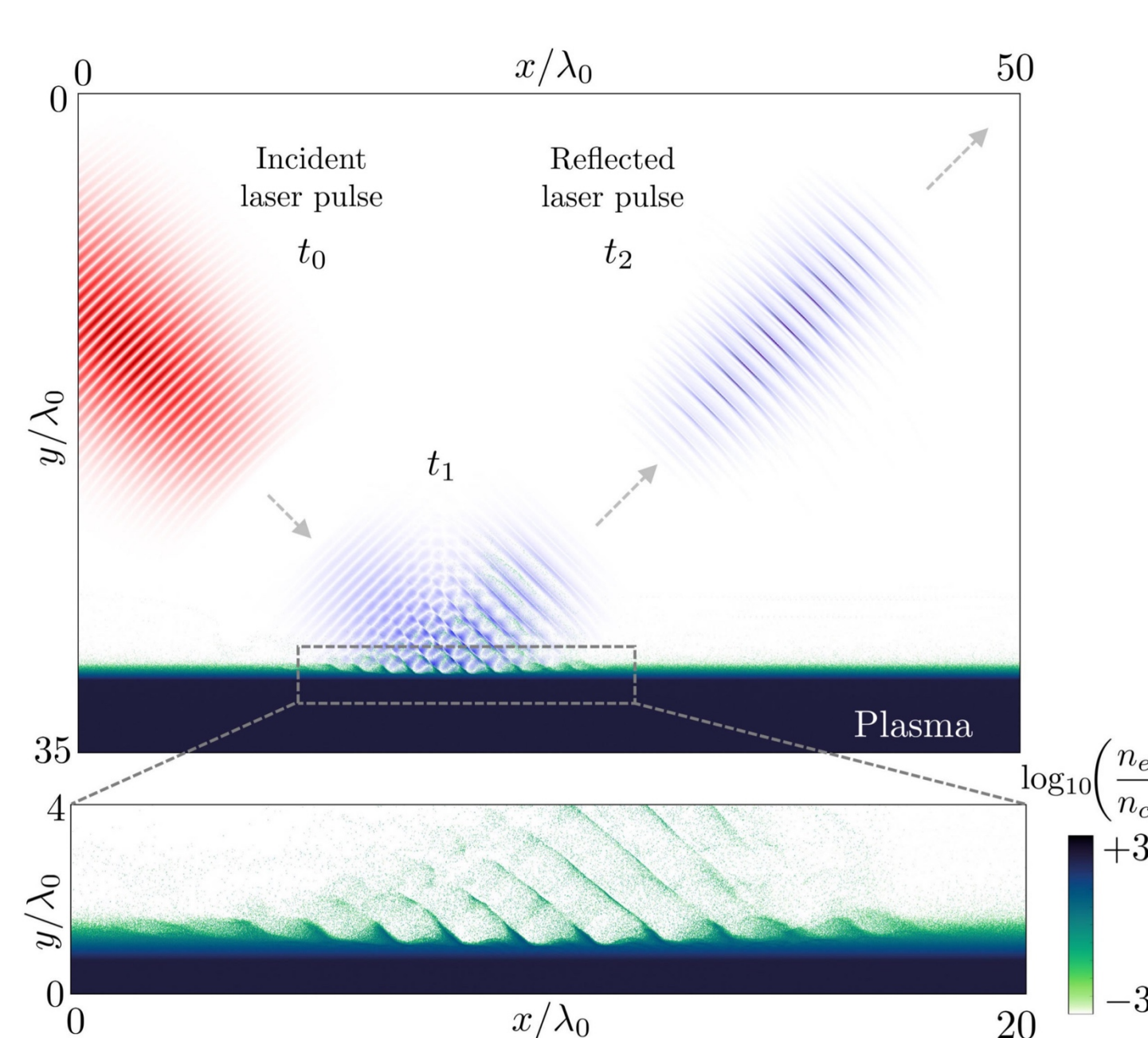
La performance est accrue si l'équilibrage dynamique est activé.

Les patches étant petits, les communications et l'utilisation du cache sont optimisés.



Génération d'harmoniques par laser femtoseconde

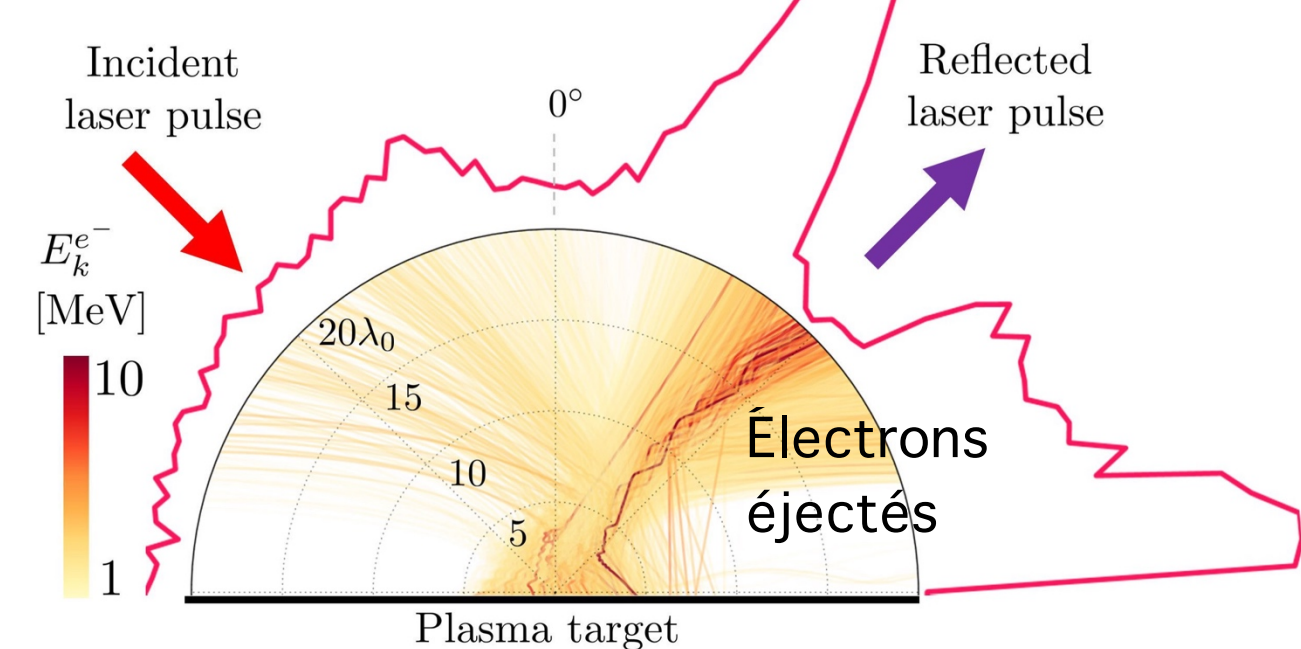
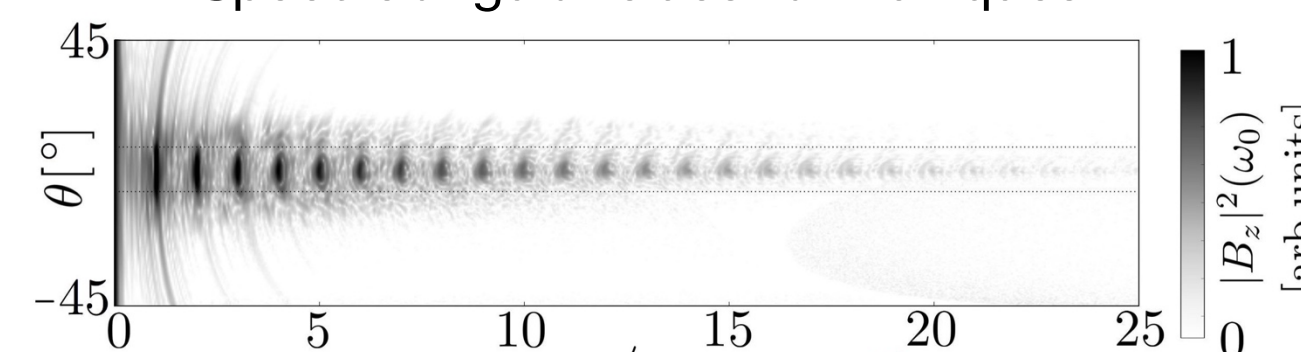
Laser incident et réfléchi + oscillations de surface



$\lambda = 0.8 \mu\text{m}$
 $2 \times 10^{19} \text{ W/cm}^2$
Waist = 4λ
Incidence 45° , polarisé p

$200 n_c$ + gradient 0.14
Boîte $80 \lambda \times 60 \lambda$
Résolution $\lambda/256$
Pas de temps $\lambda/384$

Spectre angulaire des harmoniques



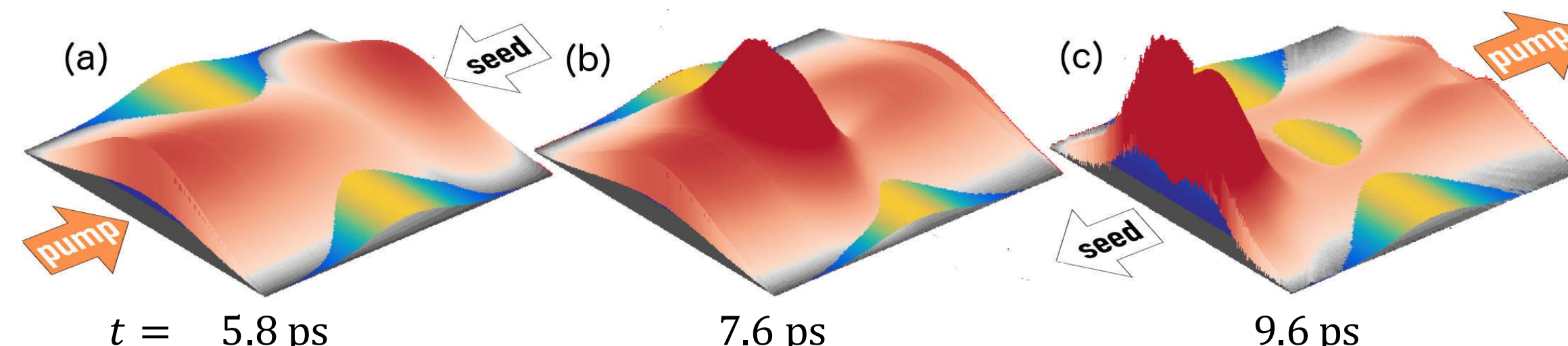
Amplification de pulse laser par diffusion Brillouin

Dans un plasma sous-critique, la diffusion Brillouin peut transférer de l'énergie depuis un laser *pompe* à un laser *source*

Source :
 $\lambda = 1 \mu\text{m}$
 10^{15} W/cm^2
0.5 ps
Waist = $130 \mu\text{m}$

Pompe :
 $\lambda = 1 \mu\text{m}$
 10^{15} W/cm^2
4.2 ps
Waist = $130 \mu\text{m}$

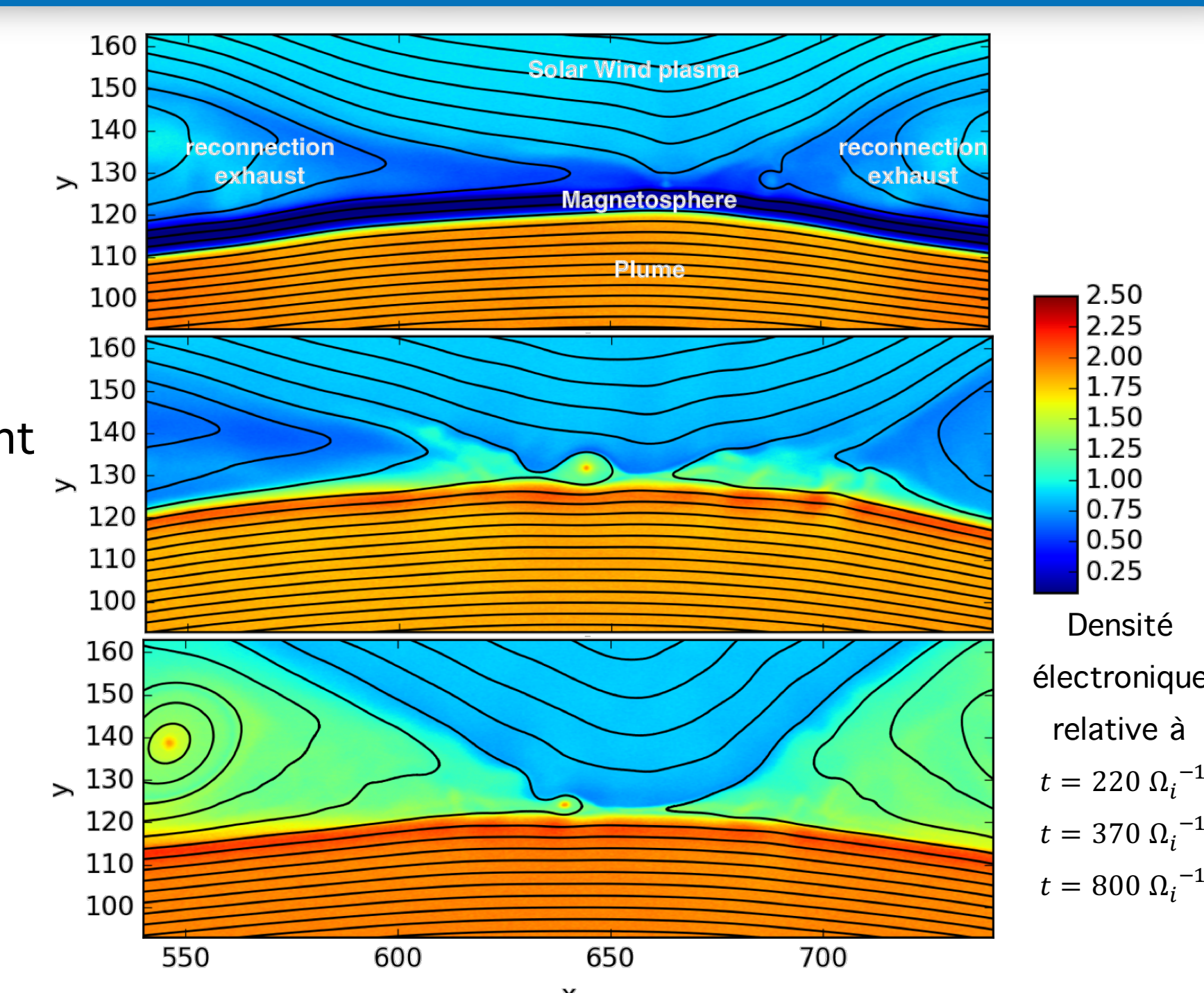
$0.1 n_c$
Boîte $1024 \mu\text{m} \times 512 \mu\text{m}$
Résolution 33 nm
Pas de temps $7 \times 10^{-2} \text{ fs}$



Reconnexion magnétique à la magnétopause terrestre

Impact d'une plume plasmasphérique sur la reconnexion magnétique à la magnétopause terrestre.

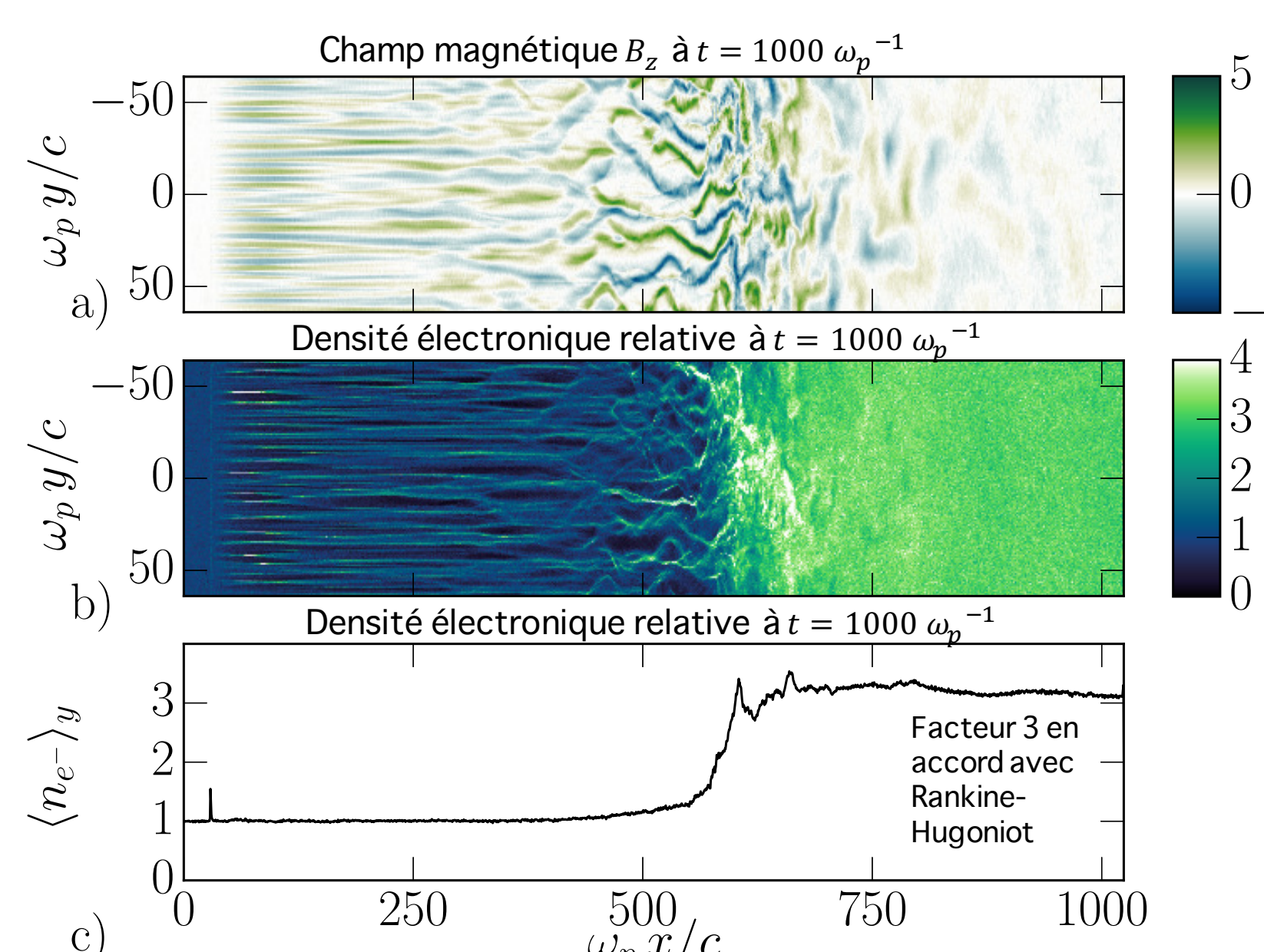
La région à haute densité (la plume), en orange, est lentement advectée vers le site de reconnexion magnétique.



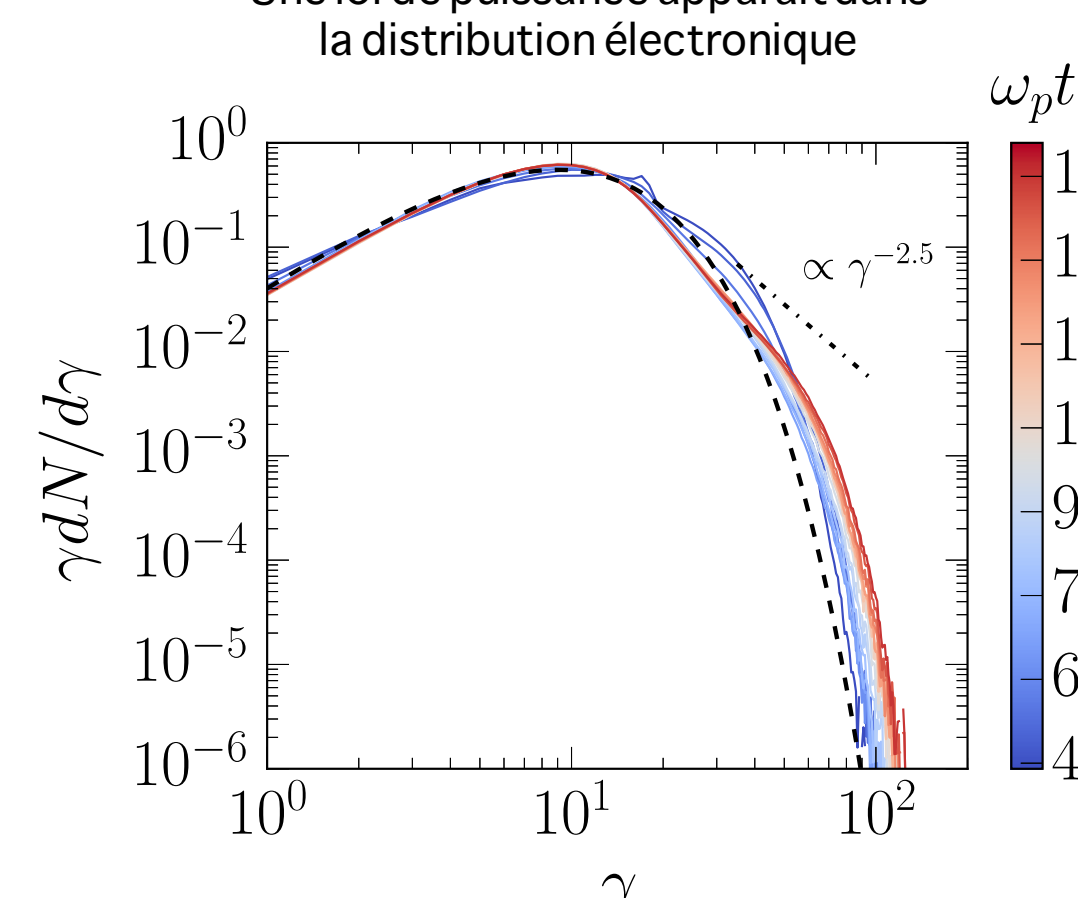
Choc non-collisionnel dans un plasma de paires

Une collision relativiste de plasmas de paires peut engendrer des instabilités plasmas (ici, Weibel) qui forment un choc.

Dérive à $\gamma = 10$
Boîte $2048 \delta_e \times 128 \delta_e$
Résolution $\delta_e/16$
Pas de temps $\delta_e/32$



Une loi de puissance apparaît dans la distribution électronique



Conclusions

Smilei =

orienté objet, interface python, multi-fonction
hautes performances, équilibrage dynamique
open-source, collaboratif