







Frédéric Pérez, Imen Zemzemi, Arnd Specka

Arnaud Beck, Julien Derouillat, Mickael Grech,

Francesco Massimo

de l'Accélération d'Electrons par Sillage Laser dans le Code SMILEI **Modélisation Efficace** 

- Motivation
- CILEX
- Expériences multi-étages d'accélération d'électrons
- Initialisation des champs des espèces relativistes
- Equation de Poisson "relativiste"
- Champ E, faisceau statique vs faisceau relativiste
- Modèle d'enveloppe complexe pour le laser
- Modèle théorique, implementation
- Validation avec laser "standard"
- Conclusions

- Motivation
- CILEX
- Expériences multi-étages d'accélération d'électrons
- Initialisation des champs des espèces relativistes
- Equation de Poisson "relativiste"
- Champ E, faisceau statique vs faisceau relativiste
- Modèle d'enveloppe complexe pour le laser
- Modèle théorique, implementation
- Validation avec laser "standard"
- Conclusions





M M

laboratoire d'optique appliqué

d'OPTIQUE

CHARLES FABRY

**ENSTA** ParisTech

LABORATOIRE DELIACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE

RADUATE

ParisTech



# Code "Particle in Cell" (PIC) SMILEI

## http://www.maisondelasimulation.fr/smilei/

#### Caractéristiques

- Code libre, collaboratif
- Interface Python Input/Output
- "Dynamic Load Balancing" avancé
- Parallelisation hybride MPI/OpenMP
- Output OpenPMD, VTK
- Géométries 1D, 2D, 3D
- Ionisation, Collisions Binaires
- Reaction de rayonnement QED,
- Emission de photons QED

- En cours de développement
- Vectorisation
- Interface avec librairie PICSAR
- Modèle d'enveloppe pour le laser
- Initialisation des champs des espèces
- relativistes
- Decomposition azimuthale de Fourier (X-R)

J. Derouillat, et al., Comput. Phys. Commun. 222, 351-373 (2018)

- Motivation
- CILEX
- Expériences multi-étages d'accélération d'électrons
- Initialisation des champs des espèces relativistes
- Equation de Poisson "relativiste"
- Champ E, faisceau statique vs faisceau relativiste
- Modèle d'enveloppe complexe pour le laser
- Modèle théorique, implementation
- Validation avec laser "standard"
- Conclusions



Boucle PIC

![](_page_8_Figure_0.jpeg)

# Initialisation des Champs Electromagnétiques

Espèces immobiles: Equation de Poisson

$$abla^2\Phi=-
ho$$

Espèces relativistes: Equation de Poisson "relativiste"

$$egin{aligned} & \left(rac{1}{\gamma_0^2}\partial_x^2+
abla_{ot}^2
ight)\Phi=-
ho\ & =-
ho\ & = \left(-rac{1}{\gamma_0^2}\partial_x\Phi,-\partial_y\Phi,-\partial_z\Phi
ight) \end{aligned}$$

$$\mathbf{B} = rac{eta_0}{c} \mathbf{\hat{x}} imes \mathbf{E}$$

Hypothèse: dispersion en énergie négligeable

En cas de dispersion en énergie: Initialisation par tranches d'énergie

 $http://www.maisondelasimulation.fr/smilei/relativistic_fields_initialization.html$ 

J.-L. Vay, Physics of Plasmas 15, 056701 (2008)

F. Massimo, A. Marocchino and A. R. Rossi, Nucl. Instr. and Meth. A 829, 378-382 (2016) P. Londrillo, C. Gatti and M. Ferrario, Nucl. Instr. and Meth. A 740, 236-241 (2014)

![](_page_10_Figure_0.jpeg)

![](_page_11_Figure_0.jpeg)

- Motivation
- CILEX
- Expériences multi-étages d'accélération d'électrons
- Initialisation des champs des espèces relativistes
- Equation de Poisson "relativiste"
- Champ E, faisceau statique vs faisceau relativiste
- Modèle d'enveloppe complexe pour le laser
- Modèle théorique, implementation
- Validation avec laser "standard"
- Conclusions

Hypothèse: Equation d'Enveloppe:  $A(\mathbf{x},t)=Re\left| ilde{A}(\mathbf{x},t)e^{ik_0(x-ct)}
ight|$ Equations du Mouvement des Macroparticules:  $rac{d \mathbf{u}_p}{dt} = r_s \, \left( ar{\mathbf{E}}_p + rac{\mathbf{u}_p}{ar{\gamma}_p} imes ar{\mathbf{B}}_p 
ight) - r_s^2 \, rac{1}{4 ar{\gamma}_p} 
abla \left( | ilde{A}_p|^2 
ight)$  $abla^2 ilde{A} + 2i \left( \partial_x ilde{A} + \partial_t ilde{A} 
ight) - \partial_t^2 ilde{A} = \chi ilde{A} ext{ Laser "Standard"} \hat{A}$ S. Sinigardi et al., ALaDyn v2017.1 zenodo (2017) B. Quesnel and P. Mora, Physics Review E 58, 3719 (1998) P. Mora and T. M. Antonsen Jr, Physics of Plasmas 4, 217 (1997) Modèle d'Enveloppe Complexe pour le Laser Force de Lorentz **Enveloppe** Complexe Susceptibilité du plasma Force Pondéromotrice Laser Enveloppe Ä  $ar{\gamma}_p = \sqrt{1+ar{\mathbf{u}}_p^2 + ar{\mathbf{u}}_p^2 + ar{\mathbf{u}}_p^2$  $r_s = q_s/m_s$  $\left|A(\mathbf{\bar{x}}_p)\right|^2$ 

![](_page_14_Figure_0.jpeg)

C. Benedetti et al., IEEE Transactions on Plasma Science 36, 1790 (2008) S. Sinigardi et al., ALaDyn v2017.1 zenodo (2017) Mise à jour des des particules et des champs électromagnétiques de courant sur le maillage positions Projection des densités Initialisation des particules Equation d'enveloppe Mise à jour de l'enveloppe: des champs électromagnétiques: (PIC "Pondéromotif") Equations de Maxwell Mise à jour Particules du Plasma + E, B, A sur grille Mise à jour des des particules Code "PIC Pondéromotif" =Impulsions Interpolation de la force sur les particules de la susceptibilité sur le maillage Projection

**Boucle PIC avec Enveloppe** 

![](_page_16_Figure_0.jpeg)

![](_page_17_Figure_0.jpeg)

Comparaison Laser "Standard" vs Laser "Enveloppe"; **Régime Faiblement Non-linéaire** 

![](_page_18_Figure_0.jpeg)

### Conclusions

Expériences multi-étages d'accélération laser plasma

d'électrons envisagées pour CILEX: enjeux de modélisation

Plusieurs travaux en cours dans le code SMILEI, nouveaux

modèles physiques

Implementation de l'initialisation des champs des faisceaux

d'électrons relativistes

- Implementation d'un modèle d'enveloppe pour le laser
- Prochain développement: coupler laser enveloppe + faisceau

## Remerciements

## Groupe GALOP

Arnaud Beck, Imen Zemzemi, Francesco Massimo M. Khojoyan, A. Specka

Développeurs de **Smilei )** http://www.maisondelasimulation.fr/smilei/

- Francesco Massimo, Arnaud Beck, Imen Zemzemi
- Frédéric Pérez, Mickael Grech
- Julien Derouillat, Heithem Kallala, Mathieu Lobet

Développeurs de ALaDyn

- Alberto Marocchino
- Stefano Sinigardi, Pasquale Londrillo
- Davide Terzani
- Gilles Maynard
- Alban Mosnier

![](_page_20_Picture_13.jpeg)

FEDERICO II

SPARC LAB

Alma mater studiorum Università di bologna

INFN

de Calcul Intensif) l'allocation de ressources 2018-A0010510062 attribuée par GENCI (Grand Equipement National Ces travaux ont bénéficié d'un accès aux moyens de calcul du TGCC, du CINES, au travers de

![](_page_21_Picture_0.jpeg)