

Modélisation réaliste du laser dans l'accélération laser plasma

Ioquin Moulanier

Directrice de thèse **Brigitte Cros**

Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas
CNRS Université Paris-Saclay, Orsay, France

Journées Accélérateurs 2023 de la SFP



1



Contexte



- ➡ Sujet de thèse : **Modélisation** de l'accélération laser plasma (**ALP**)
- ➡ Analyse de données et simulations de manip sur des **installations laser** (APOLLON, Lund Laser Centre)
- ➡ [1] Mise en place d'un diagnostic de reconstruction de phase laser (**GSA-MD**)
- ➡ [2, 3] Simulations **PIC** réalistes de l'ALP, étude des effets de **l'asymétrie du laser**

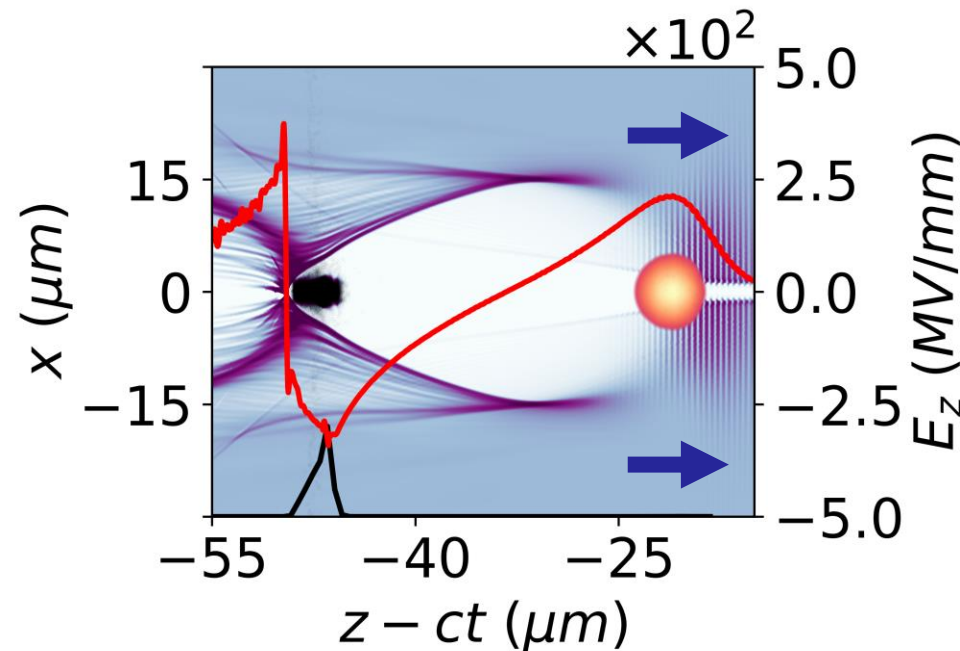
[1] *I. Moulanier et al., Physics of Plasmas 30, 053109 (2023)*

[2] *I. Moulanier et al., JOSA B 40, Issue 9, pp. 2450 – 2461 (2023)*

[3] *L. T. Dickson et al., Physical Review Accelerators and Beams 25, 101301 (2022)*



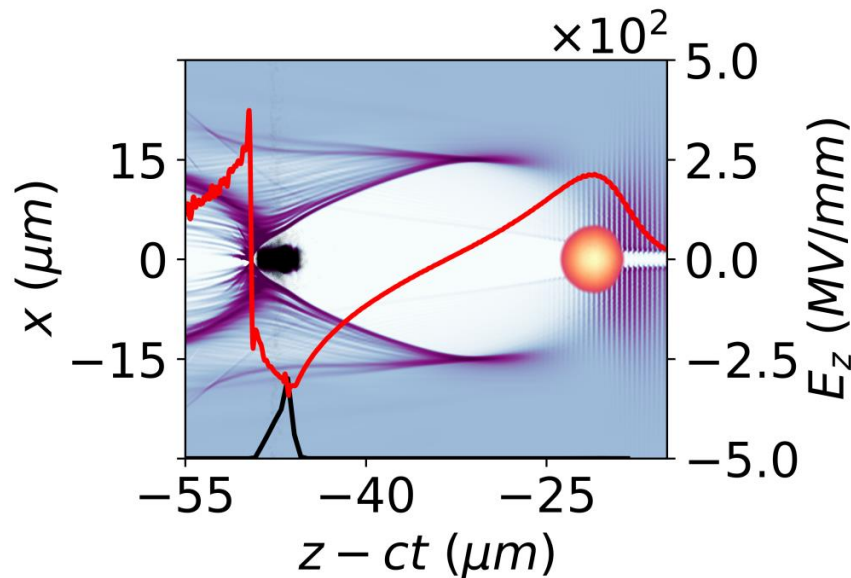
L'ALP permet de générer de fortes charges à haute énergie



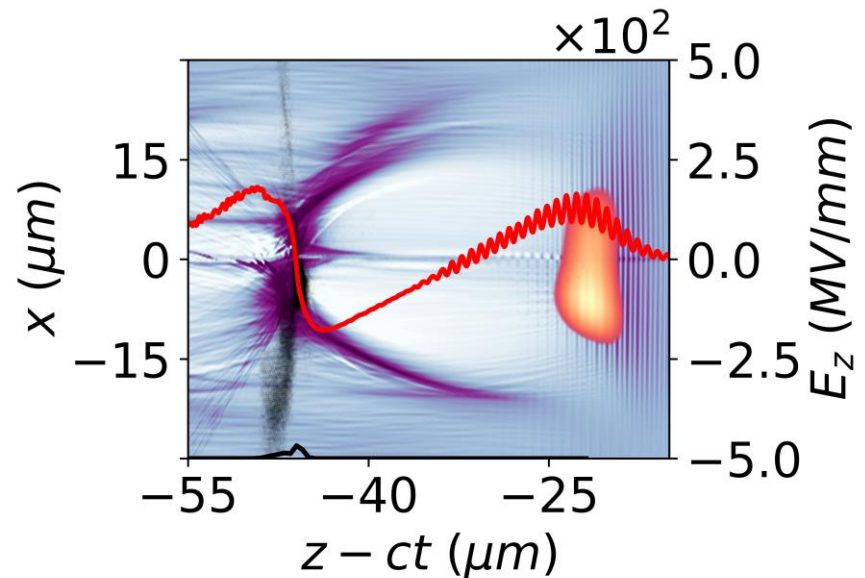
ALP, Régime de la bulle

- Laser ultra-intense focalisé sur cible plasma
- Electrons **piégés** à l'arrière de la **cavité plasma**
- Accélération sur plusieurs mm => gain de l'ordre du **GeV**
- La **qualité** du paquet d'électrons est liée à la **distribution** de l'énergie laser

La physique de l'ALP dépend de la forme du faisceau laser



Laser Gaussien

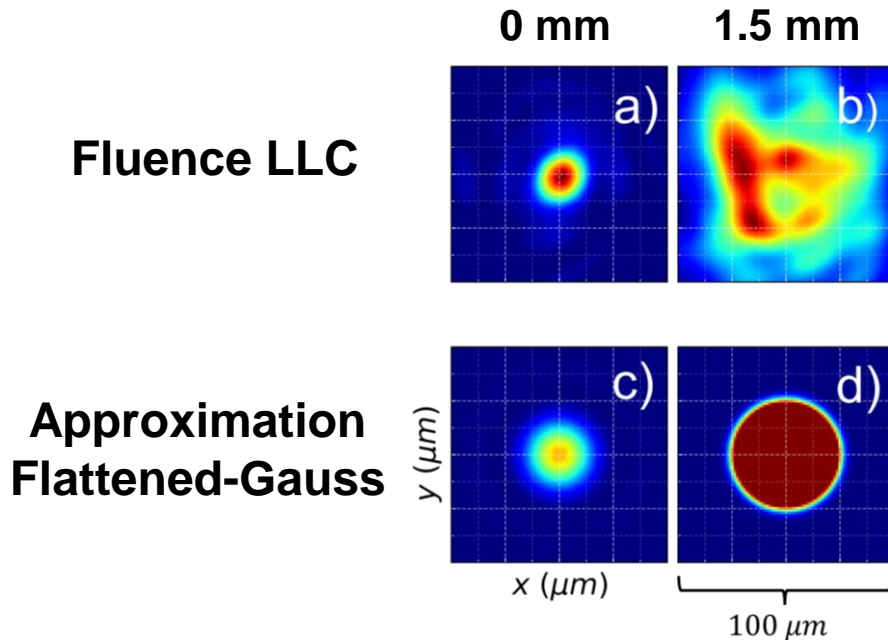


Laser Réaliste

- ➡ Insérer un profil réaliste dans les simulations PIC change **l'évolution de l'accélération**
- ➡ L'utilisation du laser mesuré en input nécessite sa **reconstruction** à partir de **mesures**



GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal

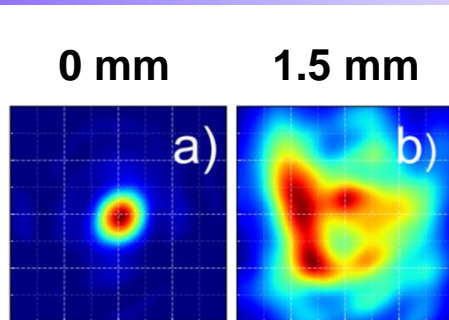


- ➡ La majorité des laser de haute puissance présentent des **imperfections transverses** autour du plan focal



GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal

Fluence LLC



Approximation Flattened-Gauss

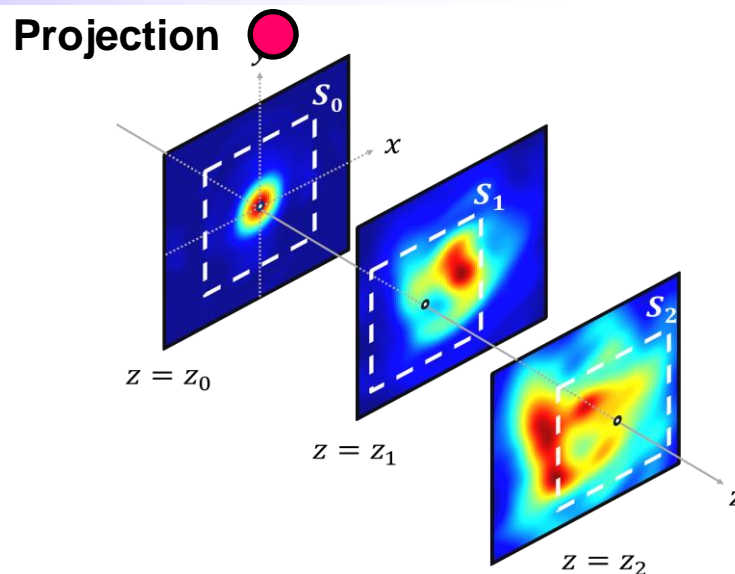
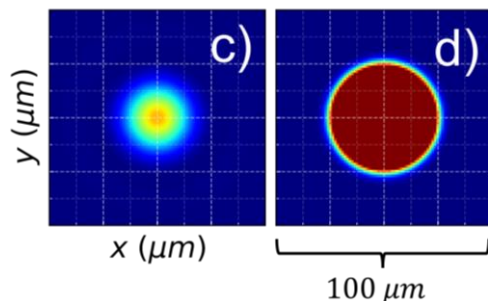


Illustration du GSA-MD

- ➡ La majorité des laser de haute puissance présentent des **imperfections transverses** autour du plan focal
- ➡ Le **GSA-MD** (GSA with Mode Decomposition) décompose le champ électrique en modes **Hermite-Gauss** et le propage de plan en plan



GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal

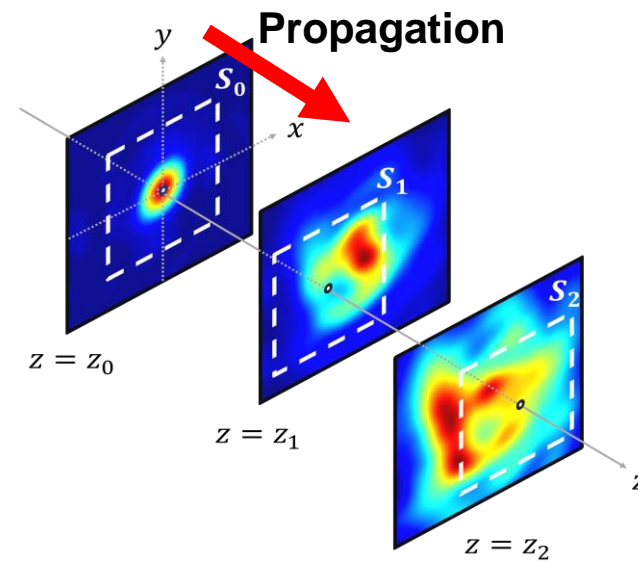
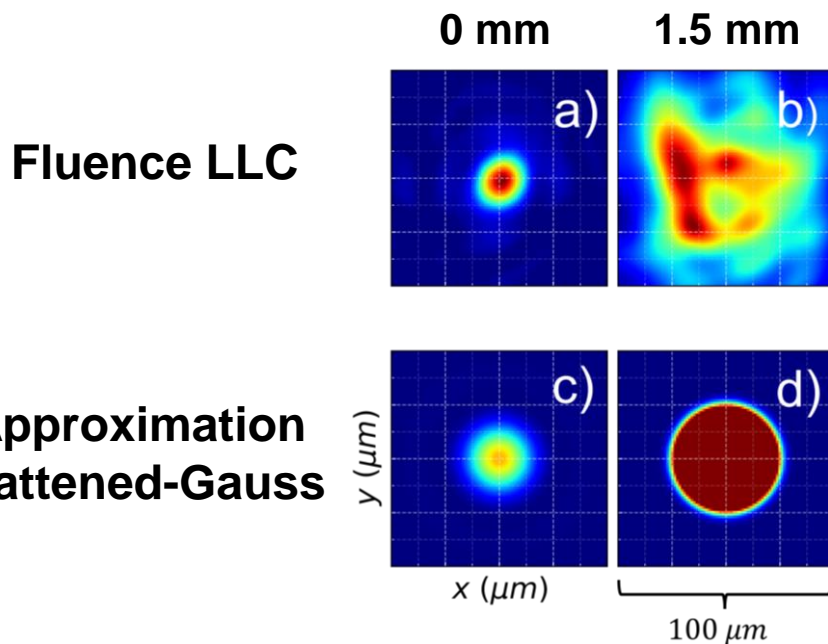


Illustration du GSA-MD

- ➡ La majorité des laser de haute puissance présentent des **imperfections transverses** autour du plan focal
- ➡ Le **GSA-MD** (GSA with Mode Decomposition) décompose le champ électrique en modes **Hermite-Gauss** et le propage de plan en plan



GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal

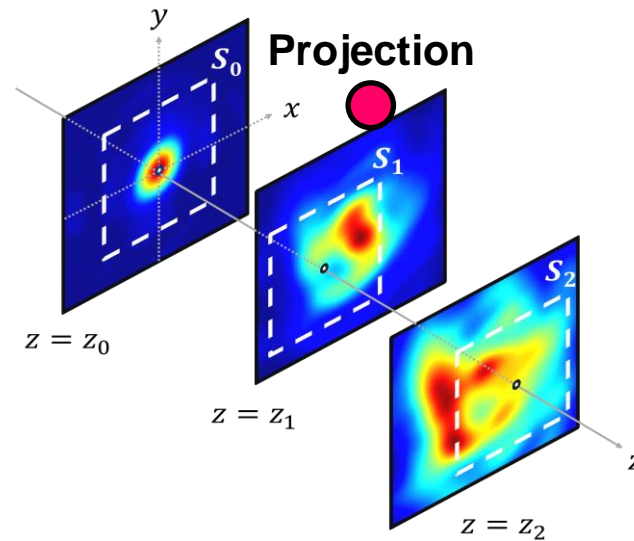
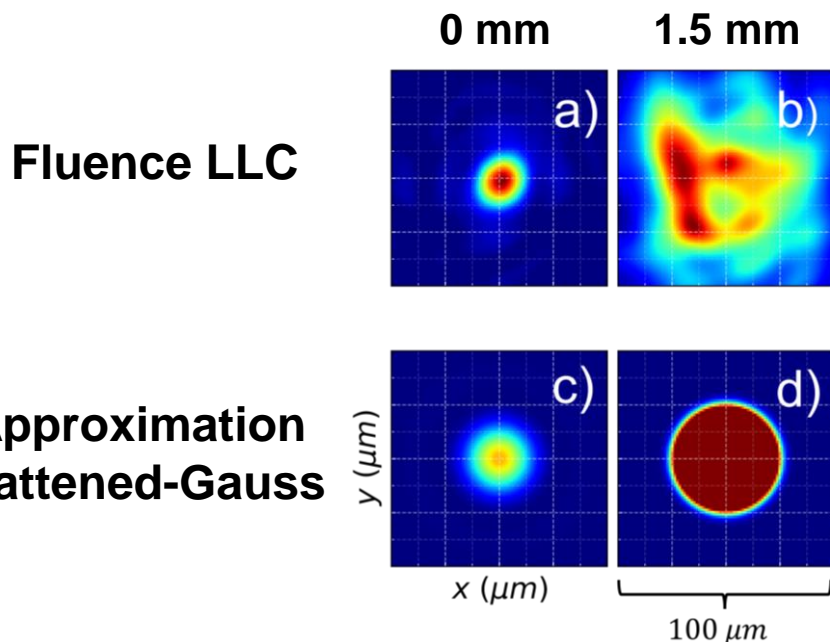


Illustration du GSA-MD

- ➡ La majorité des laser de haute puissance présentent des **imperfections transverses** autour du plan focal
- ➡ Le **GSA-MD** (GSA with Mode Decomposition) décompose le champ électrique en modes **Hermite-Gauss** et le propage de plan en plan



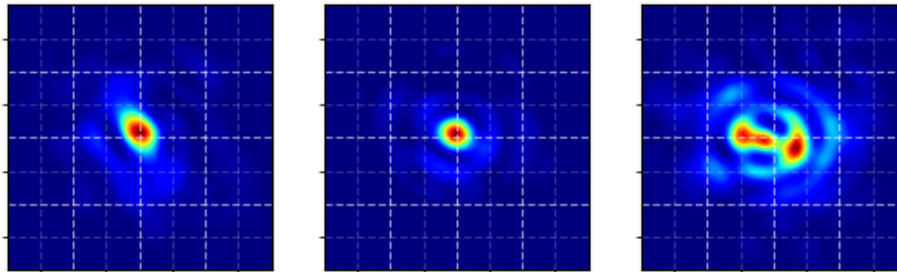
GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal



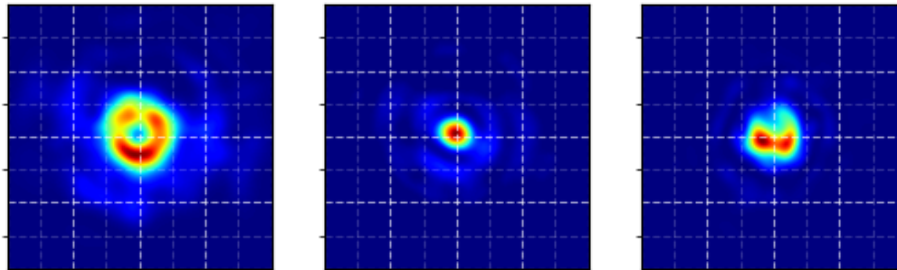
-1.8 mm 0 mm +1.2 mm



Mesuré

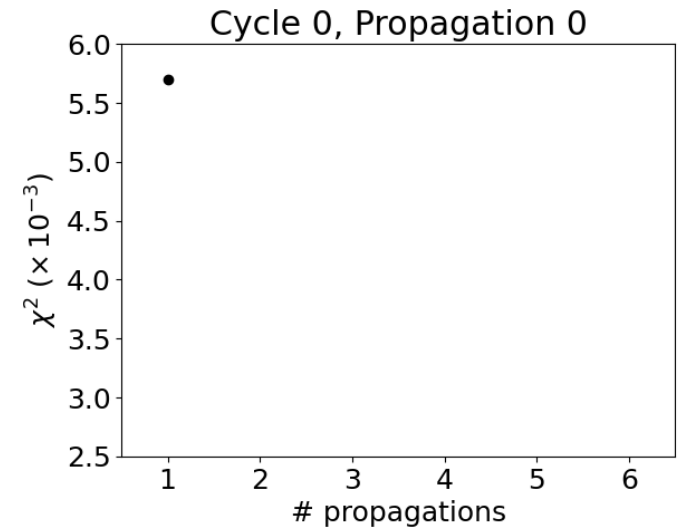


GSA-MD



Cycle 0, Propagation 0

Fluence sur Apollon F2 (haut) &
reconstruction GSA-MD (bas)



Erreur du fit GSA-MD



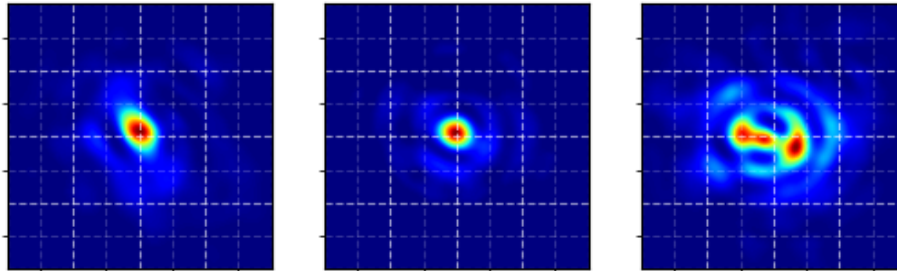
GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal



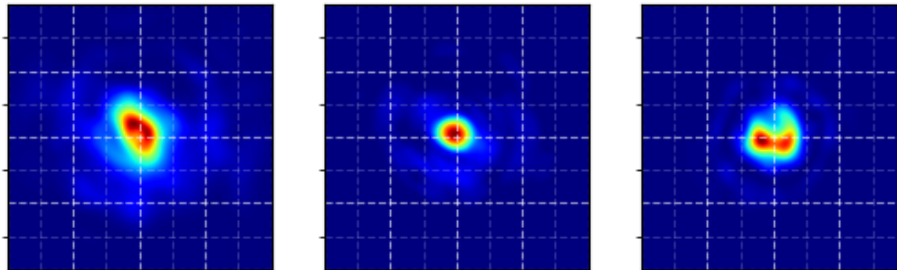
-1.8 mm 0 mm +1.2 mm



Mesuré

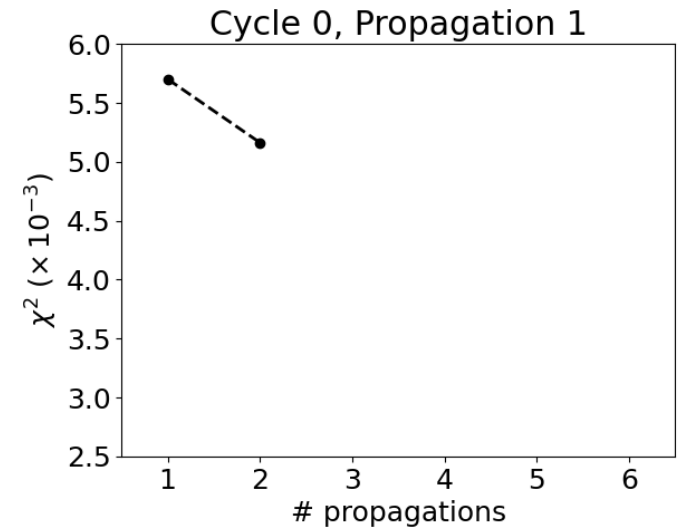


GSA-MD



Cycle 0, Propagation 1

Fluence sur Apollon F2 (haut) &
reconstruction GSA-MD (bas)



Erreur du fit GSA-MD



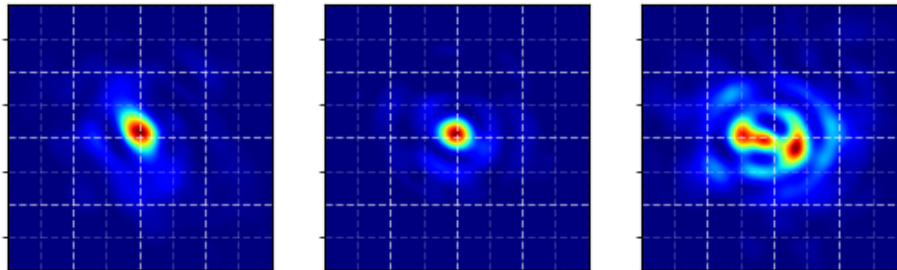
GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal



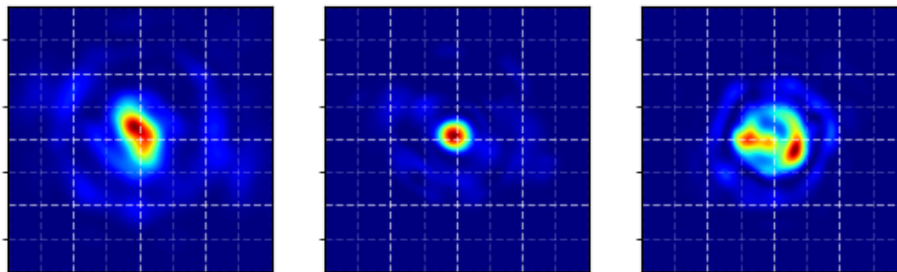
-1.8 mm 0 mm +1.2 mm



Mesuré

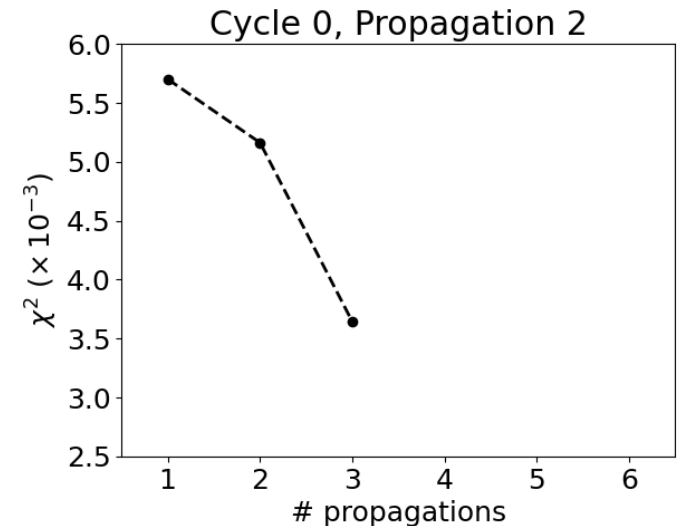


GSA-MD



Cycle 0, Propagation 2

Fluence sur Apollon F2 (haut) & reconstruction GSA-MD (bas)



Erreur du fit GSA-MD

GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal



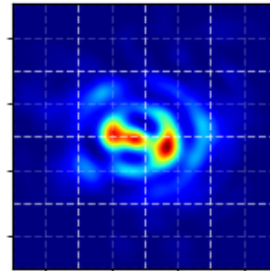
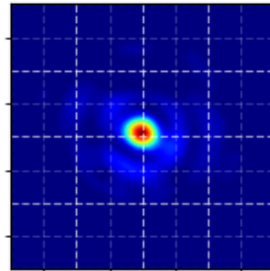
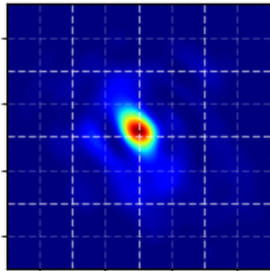
-1.8 mm

0 mm

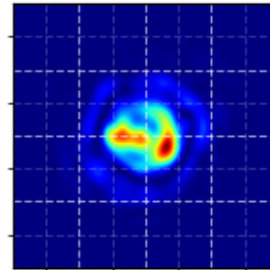
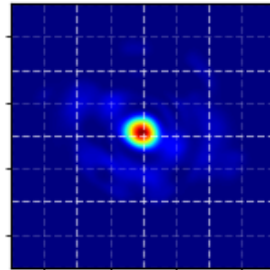
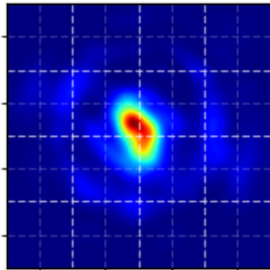
+1.2 mm



Mesuré

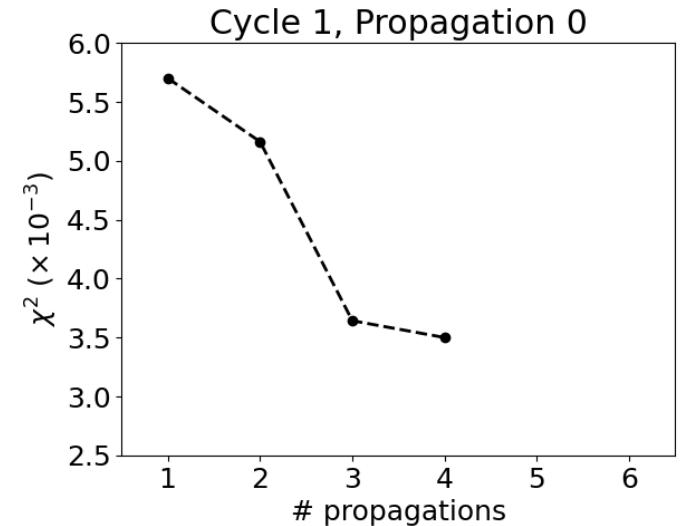


GSA-MD



Cycle 1, Propagation 0

Fluence sur Apollon F2 (haut) & reconstruction GSA-MD (bas)



Erreur du fit GSA-MD

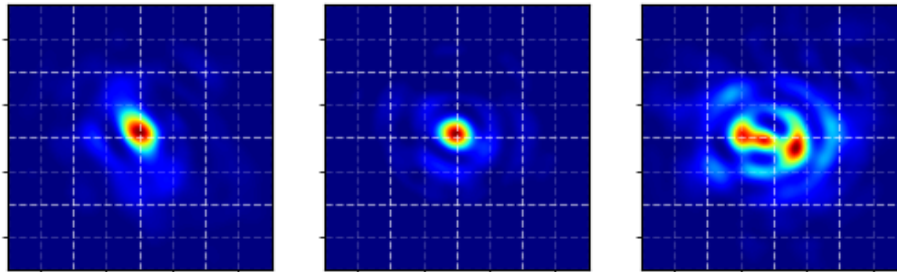
GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal



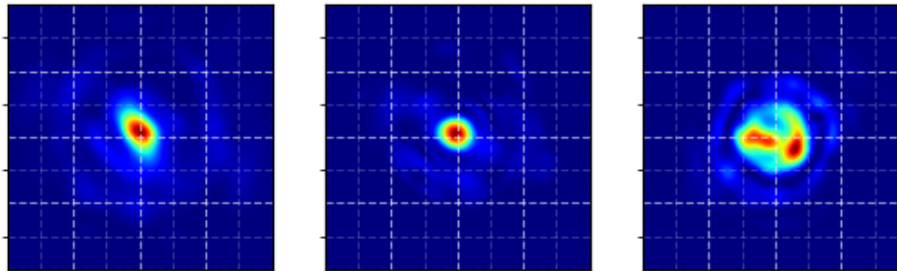
-1.8 mm 0 mm +1.2 mm



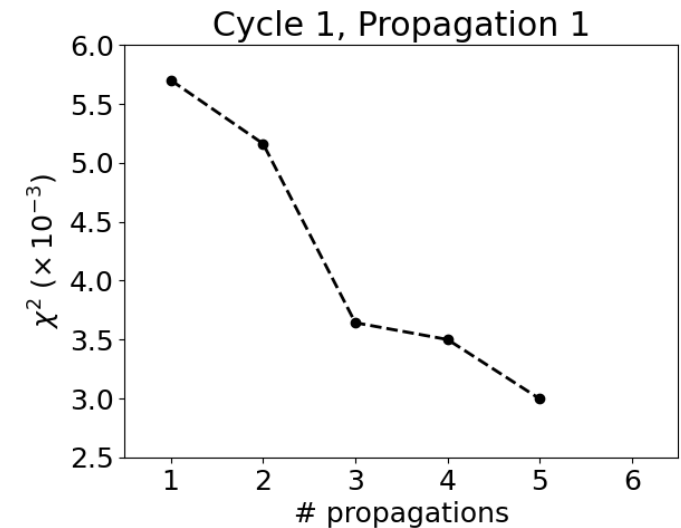
Mesuré



GSA-MD



Cycle 1, Propagation 1



Erreur du fit GSA-MD

Fluence sur Apollon F2 (haut) &
reconstruction GSA-MD (bas)



GSA-MD: Une reconstruction fidèle des asymétries du laser dans le volume focal



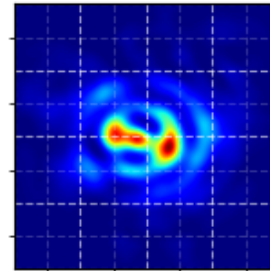
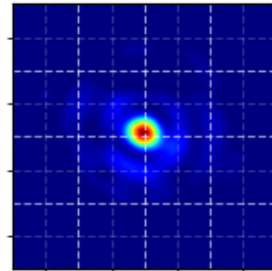
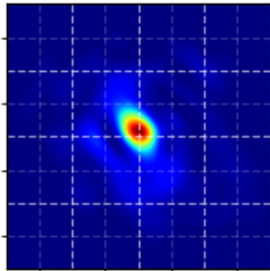
-1.8 mm

0 mm

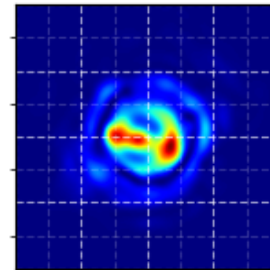
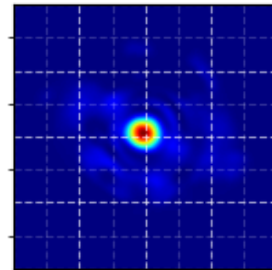
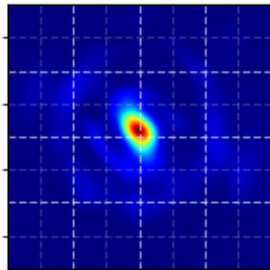
+1.2 mm



Mesuré

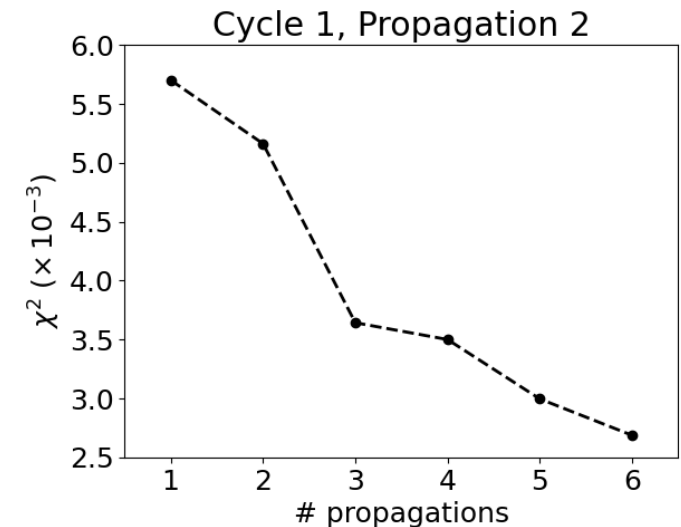


GSA-MD



Cycle 1, Propagation 2

Fluence sur Apollon F2 (haut) & reconstruction GSA-MD (bas)

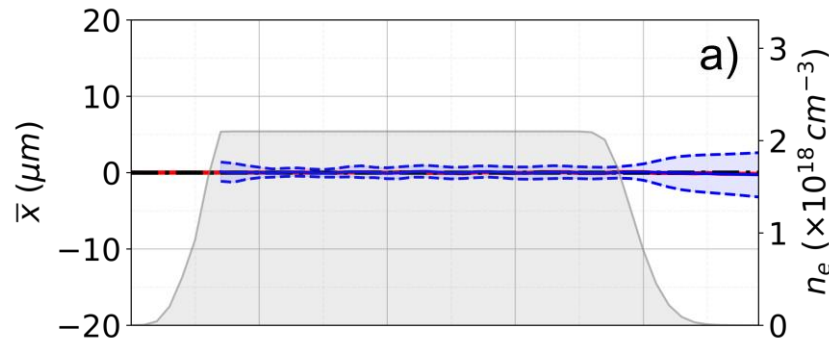


Erreur du fit GSA-MD

Les simulations réalistes permettent d'analyser les effets non-linéaires

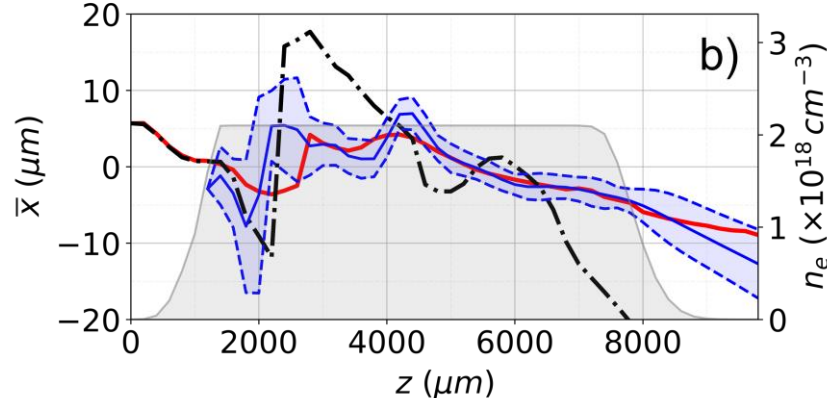


Gauss



➡ **Corrélation** entre les fluctuations des centroïdes laser - électrons

Réaliste

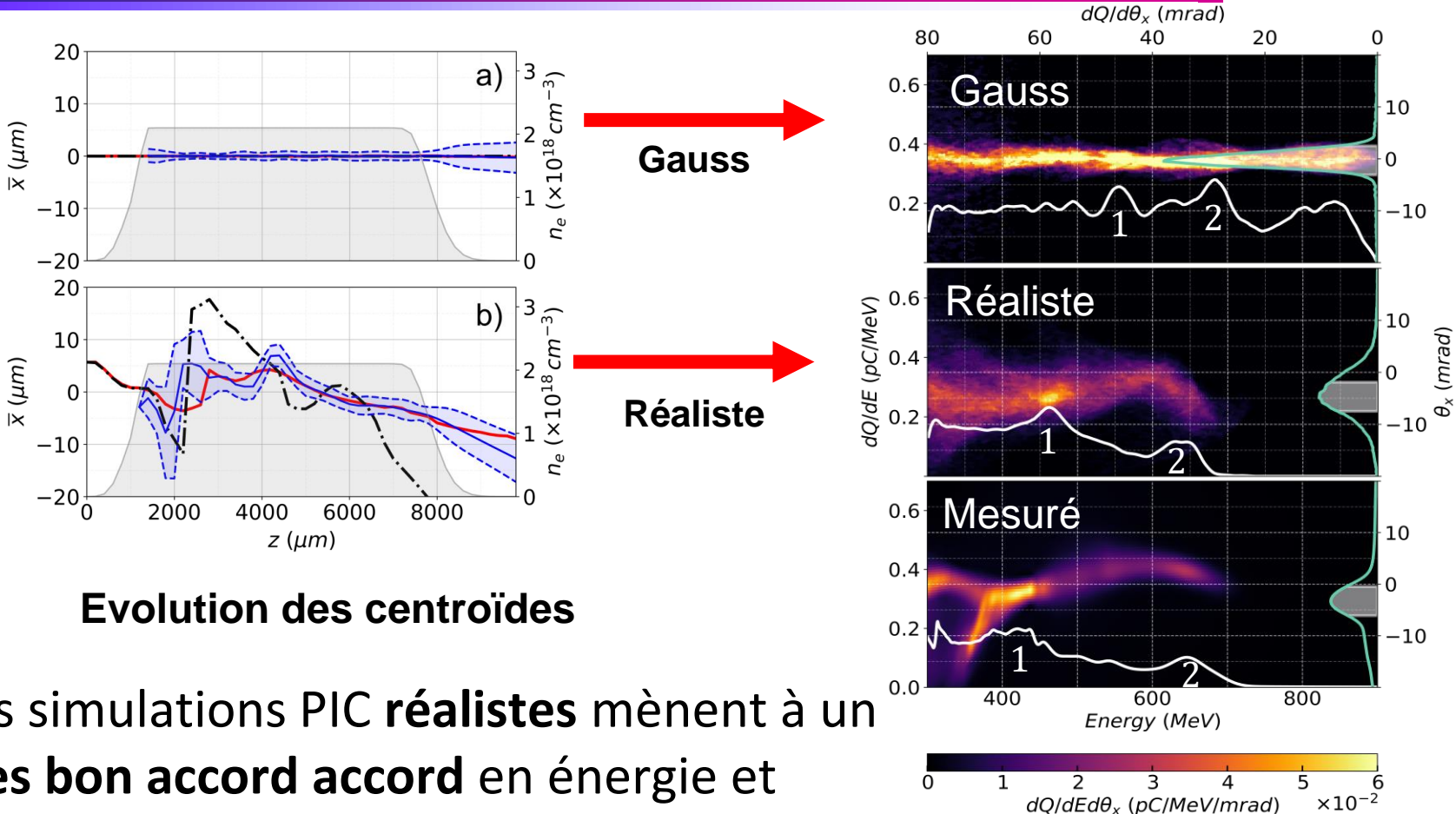


➡ **L'asymétrie du laser** engendre un **décalage spatial** du faisceau d'électrons en sortie du plasma

Evolution du centroïde des électrons et du laser



Les simulations réalistes permettent de reproduire les mesures expérimentales



Evolution des centroïdes

➡ Les simulations PIC **réalistes** mènent à un **très bon accord** en énergie et divergence avec la mesure

Spectre Energie – Angle



Conclusion



- ➡ L'ALP requiert des simulations PIC **réalistes** pour être correctement analysée numériquement
- ➡ Le **GSA-MD** permet de **reconstruire** la partie spatiale de la phase complexe
- ➡ La simulation de l'ALP avec la **distribution laser mesurée** permet de **prédire** plus précisément les caractéristiques des paquets d'électrons produits

