

Ma thèse:

Faisceaux d'ions accélérés par l'interaction d'un laser intense avec un jet de gaz dense



et application à l'analyse élémentaire



Pilar PUYUELO VALDES
ppuyuelo@clpu.es



Schéma



Introduction à l'accélération des ions par laser



La cible: jet de gaz dense



Campagne expérimentale au LULI et simulations



Resumé et perspectives



Accélération de ions par laser à haute répétition?

Les cibles solides sont normalement utilisées

Sa fabrication est simple

Le mécanisme d'accélération (TNSA) a été étudié en détail.

Par contre:

1. Il faut **remplacer** et **aligner** la cible.
2. Les cibles solides génèrent des **débris**.

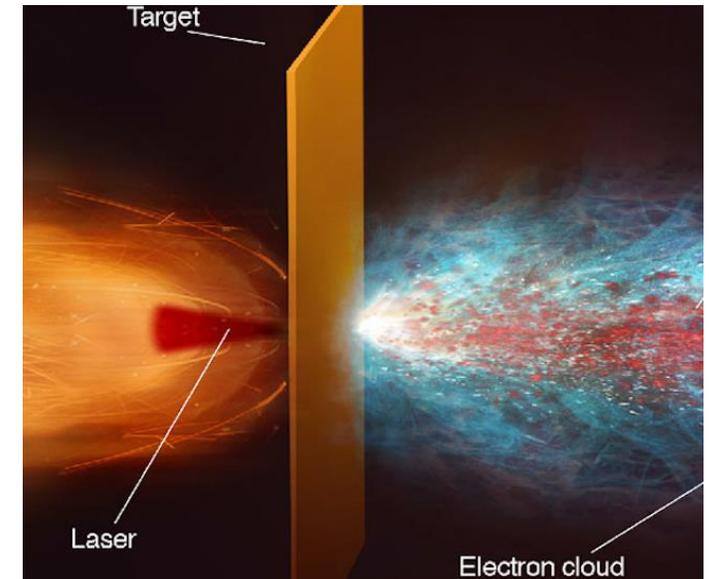


Illustration de Ref. ¹

Les cibles solides ne sont pas faciles à utiliser à haute répétition.

¹ A. Macchi *et al.*, *Rev. Mod. Phys.*, **85**, 751-793 (2013), and references therein.



Accélération de ions par laser à haute répétition?

Cibles qui peuvent travailler à haute répétition:

Les cibles sont plus complexes

Pas de réalignement ni de debris (ou très peu)

TNSA

Cibles cryogéniques²

Cible liquides³ → Jet d'eau

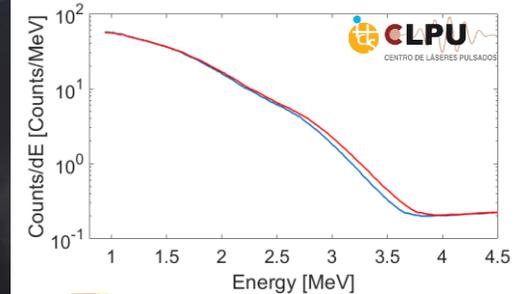
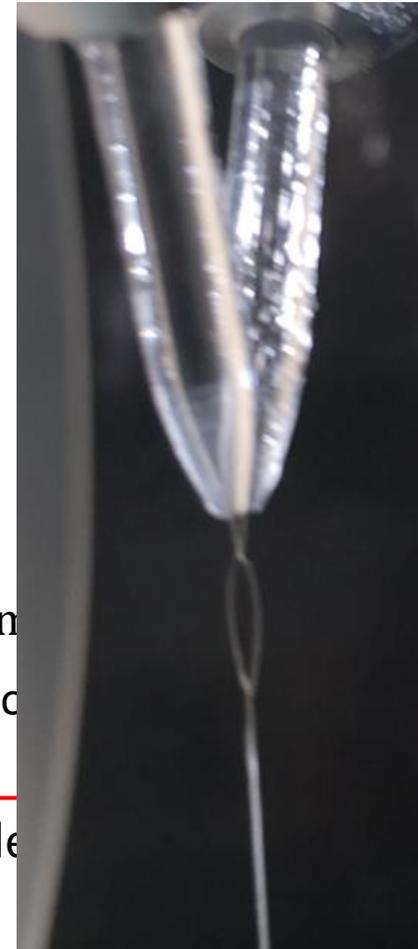
Feuille d'eau

Jet de gaz dense^{4,5}

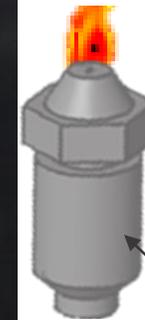


Absorption du laser est efficace $n_{cr} [\lambda_L = 1 \mu m]$

Des autres mécanismes d'accélération : shockwaves?



Spectre TNSA



Buse supersonique

² L. Obst et al., *Sci. Rep.*, **10**, 1038 (2017).

³ J. T. Morrison et al., *New J. Phys.*, **20**, 069501 (2018).

Nous avons besoin de dessiner des cibles de jet de gaz avec une densité élevée, avec un **fort gradient** et une **épaisseur fine**.

Les utiliser pour l'accélération d'ions.

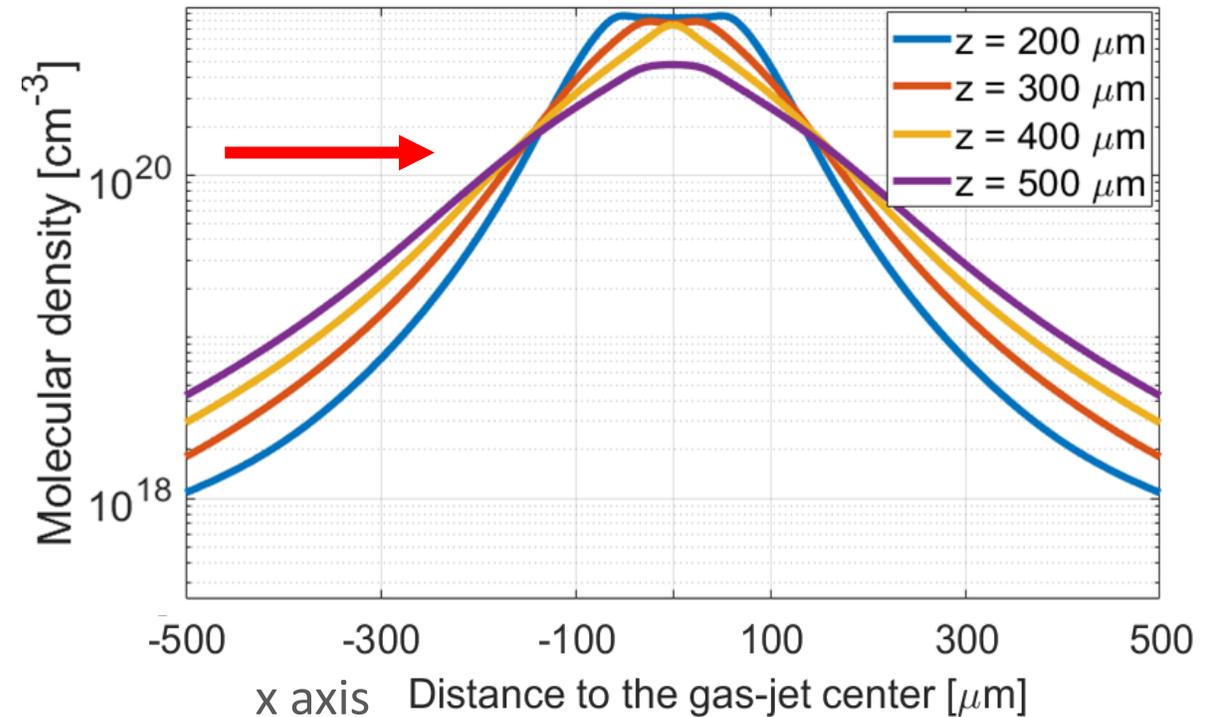
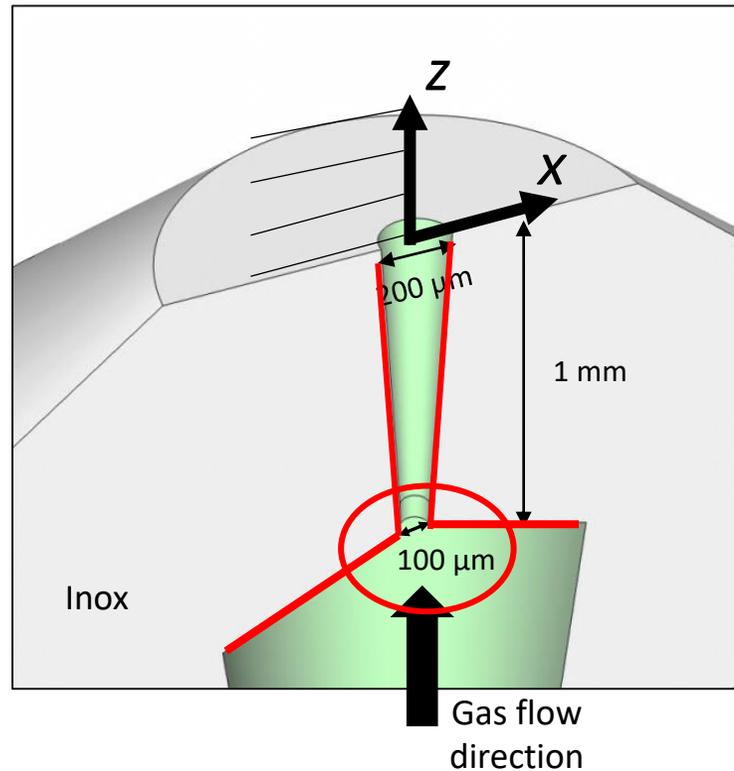
Design du jet de gaz



⁶ J.L. Henares, ..., P. Puyuelo-Valdes *et al.*, *J. Phys.: Conf Ser.*, **1079**, 012004 (2018).

⁷ J.L. Henares, P. Puyuelo-Valdes, *et al.* *Rev. Sci. Instrum.*, **90**, 063302 (2019).

Simulations 2D de dynamique des fluides (CFD) pour optimiser les designs de buses.



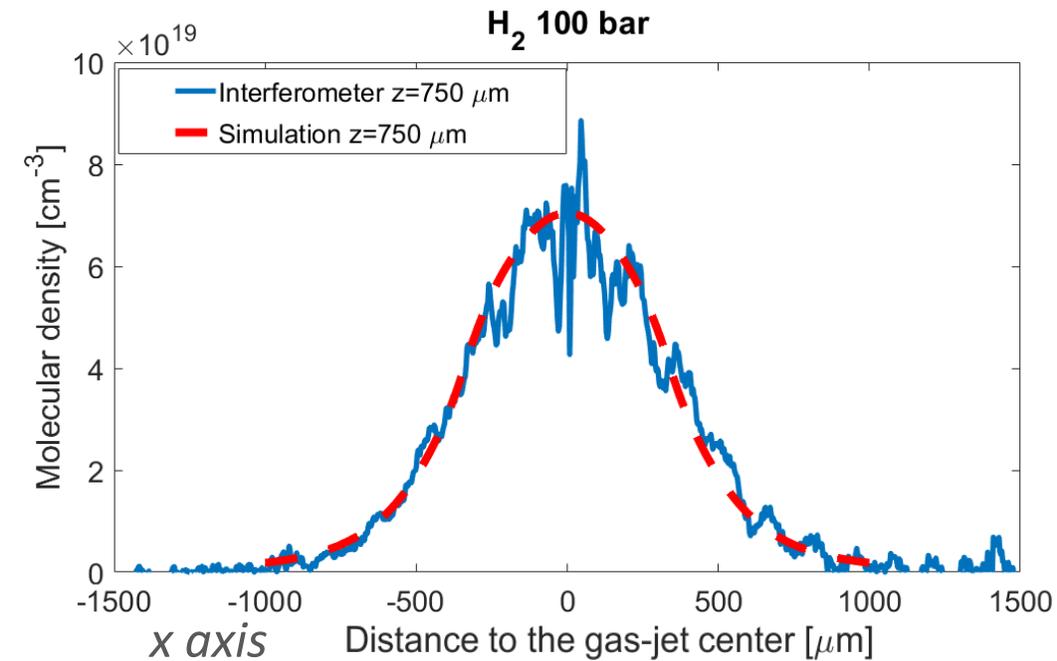
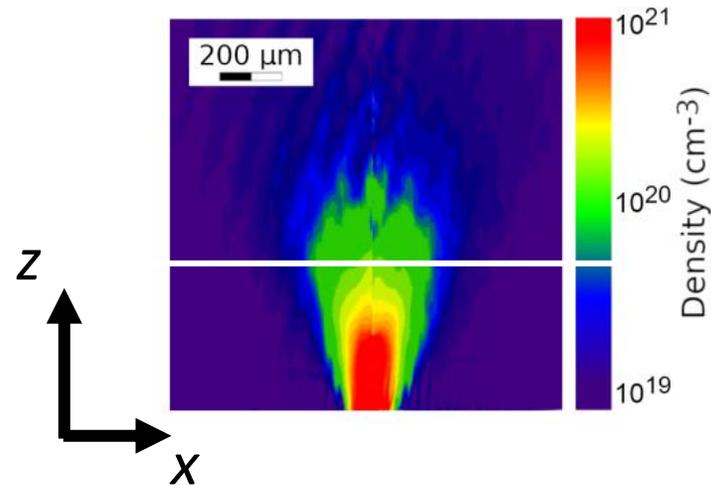
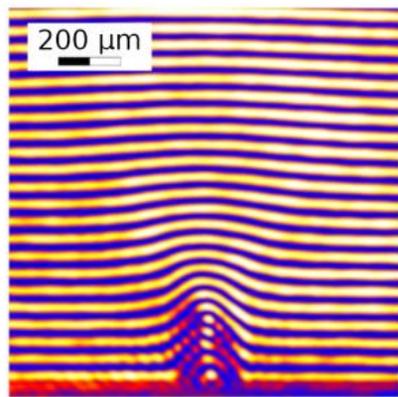
Caractérisation du jet de gaz



⁶ J.L. Henares, ..., P. Puyuelo-Valdes *et al.*, *J. Phys.: Conf Ser.*, **1079**, 012004 (2018).

⁷ J.L. Henares, P. Puyuelo-Valdes, *et al.* *Rev. Sci. Instrum.*, **90**, 063302 (2019).

Interférométrie Mach Zehnder pour mesurer les profils de densité de gaz.



Un bon accord à été trouvé entre les simulations et les mesures.



Montage

Avec le laser PICO2000 au LULI

$\lambda_L = 1 \mu\text{m}$
 $\tau_L = 1 \text{ ps}$
 $E_L = 60 \text{ J}$
 $I_L = 4 \times 10^{19} \text{ W/cm}^2$
 $R_L = 1 \text{ shot/h}$

Vue de dessus

High intensity laser

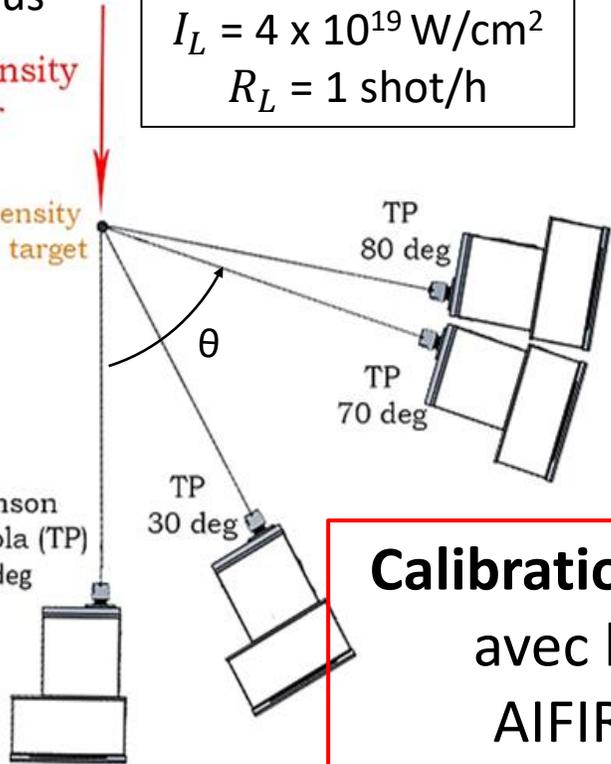
High density gas jet target

Thomson Parabola (TP) 0 deg

TP 30 deg

TP 70 deg

TP 80 deg



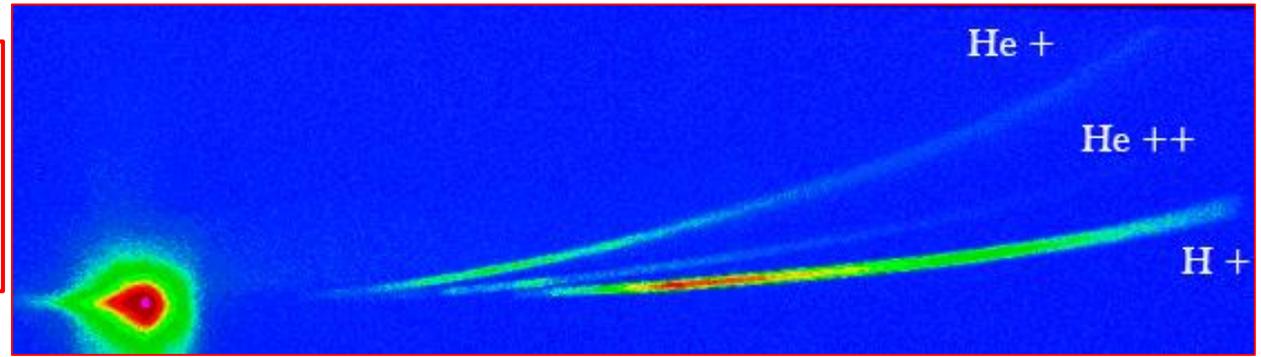
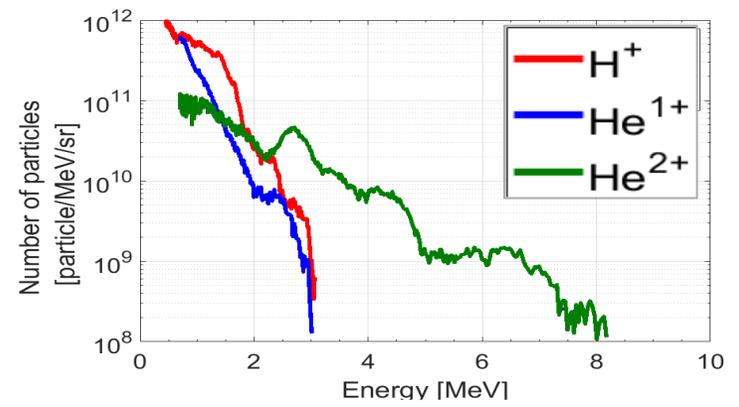
Calibration en énergie
avec l'accélérateur AIFIRA au CENBG.

Gaz

Hydrogène + Hélium
Hydrogène pur

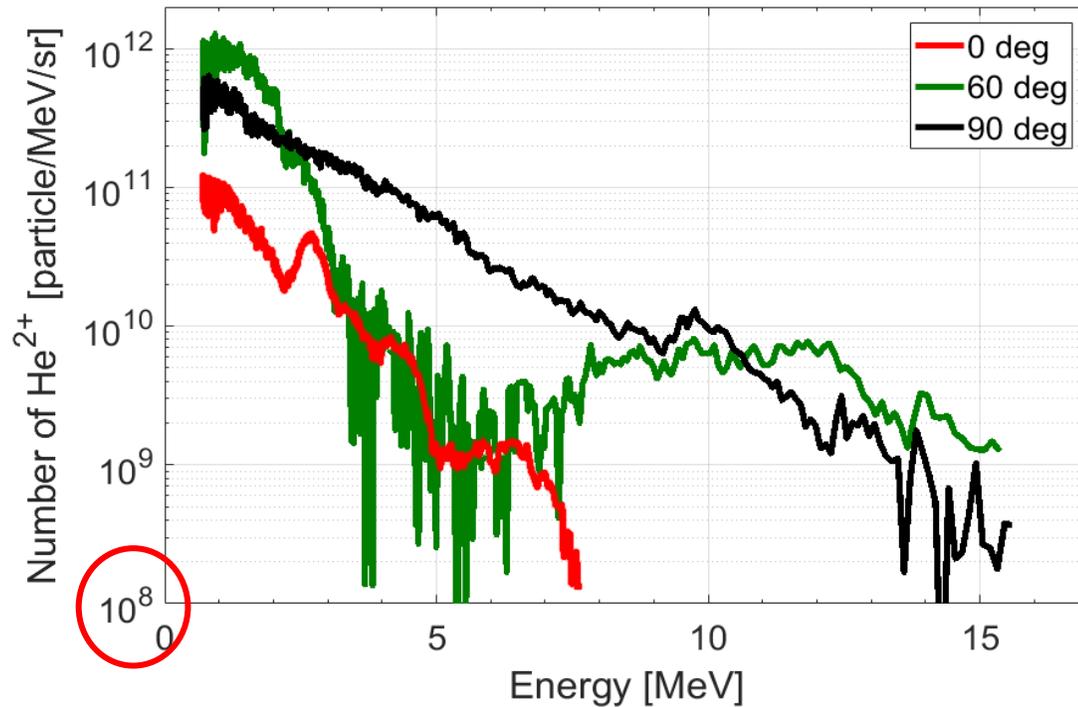
Densité
 $\sim 1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$

Détecteur des ions principaux: Paraboles de Thomson (TP)
Imaging plates (IP)



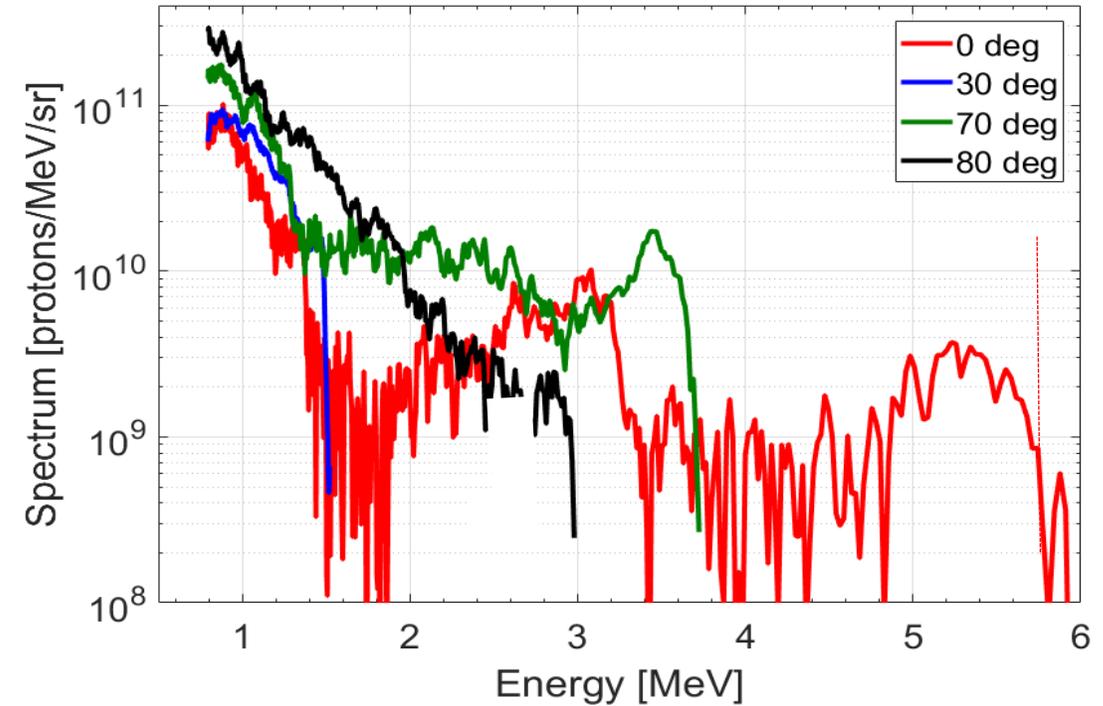
Quelques résultats

Accélération de He^{2+}



⁸ P. Puyuelo-Valdes *et al.*, *Proc. SPIE 11037, Laser Acceleration of Electrons, Protons, and Ions V*, 110370B (2019).

Accélération de protons

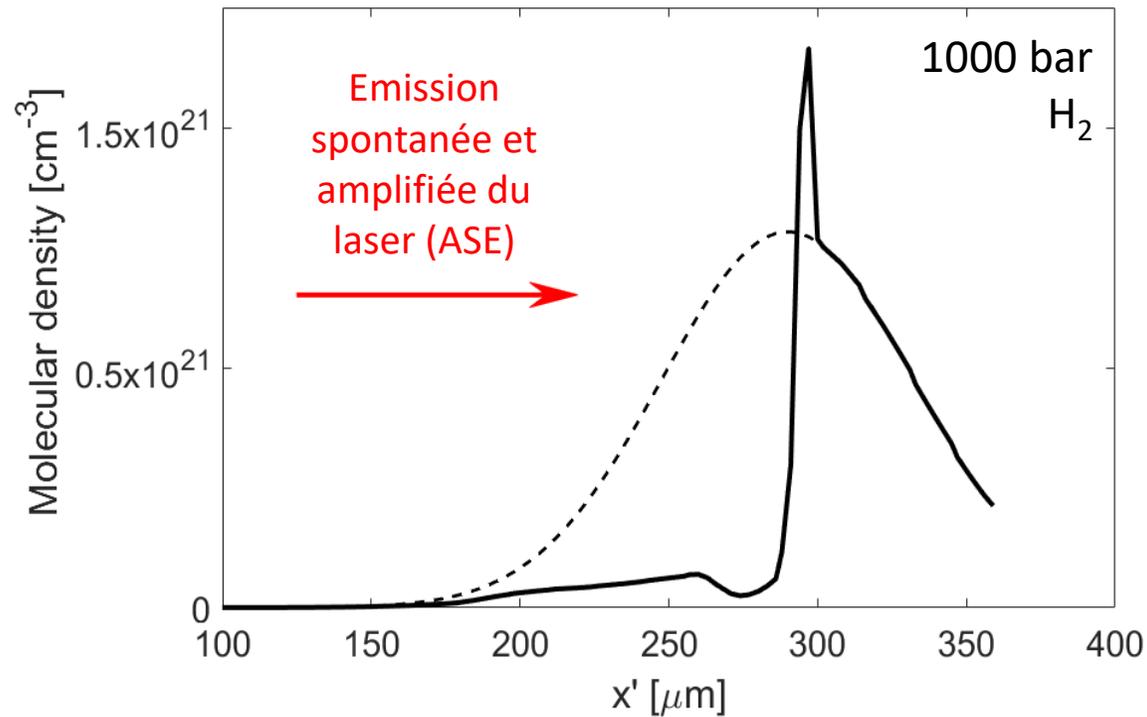


⁹ P. Puyuelo-Valdes *et al.*, *Phys Plasma*, **26**, 123109 (2019).

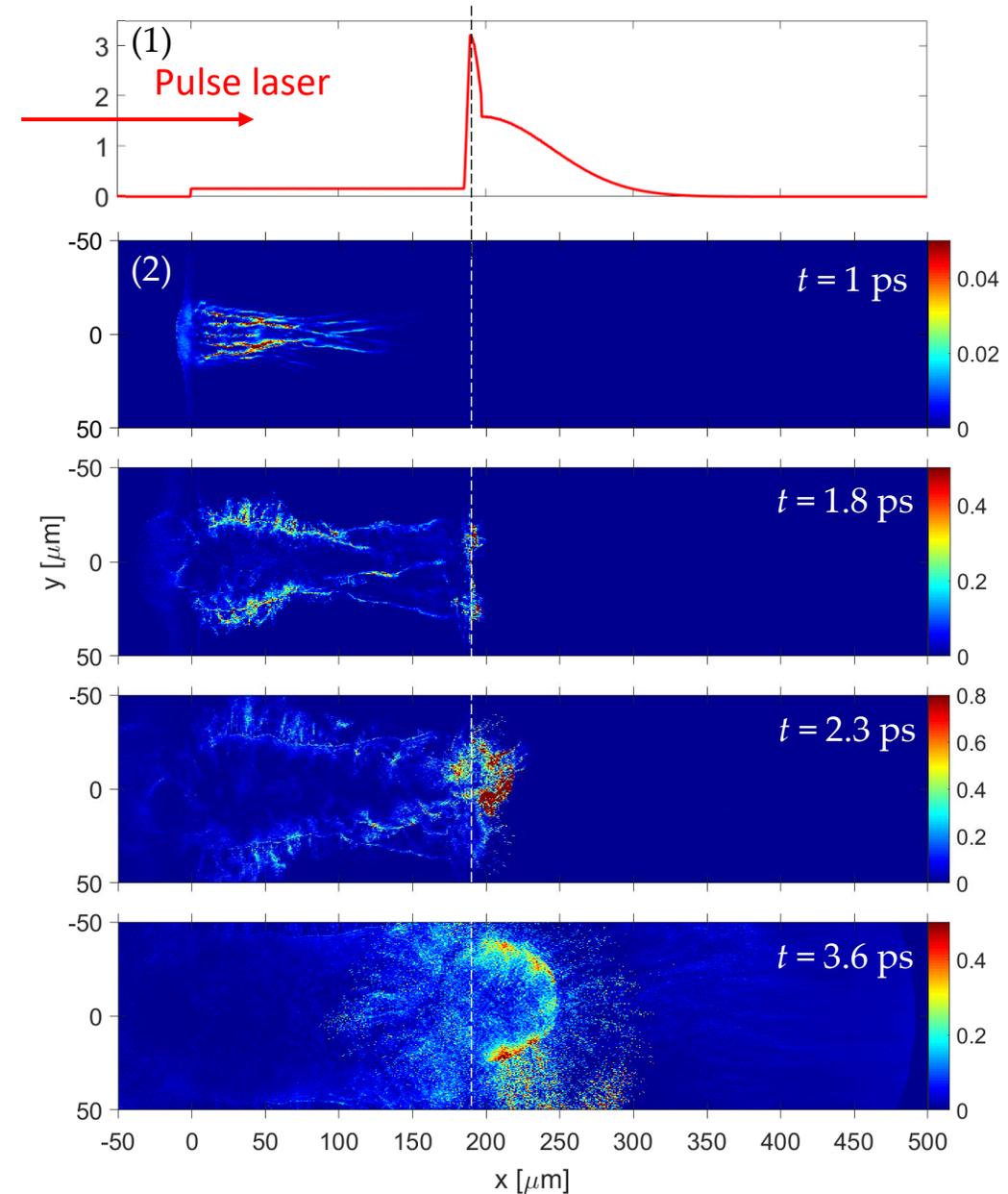
Quelle est l'origine de ces structures? Quels mécanismes d'accélération sont en jeu?

Simulations hydrodynamiques (FLASH) et Particle-In-Cell (PIC)

En collaboration avec X. Ribeyre

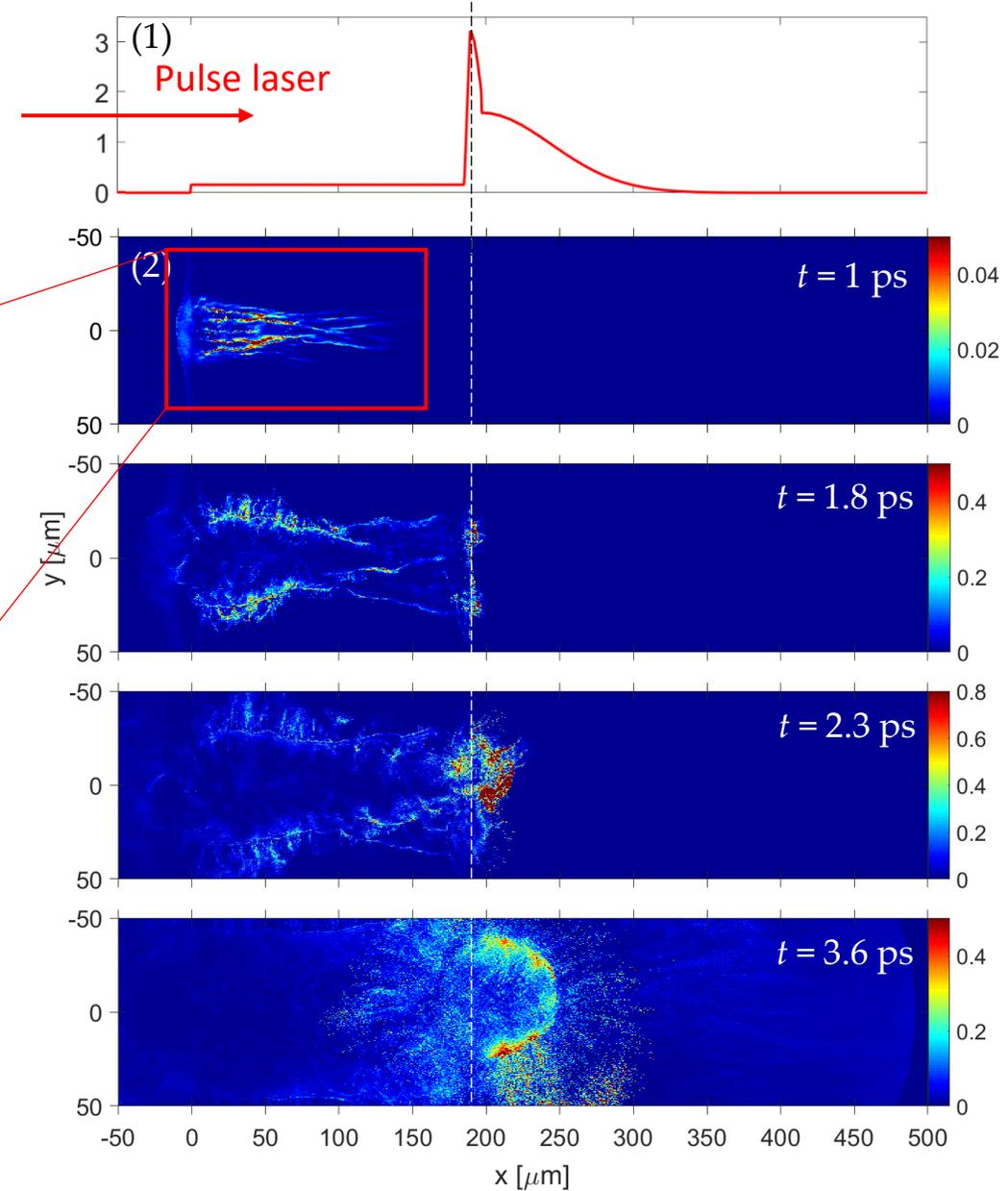
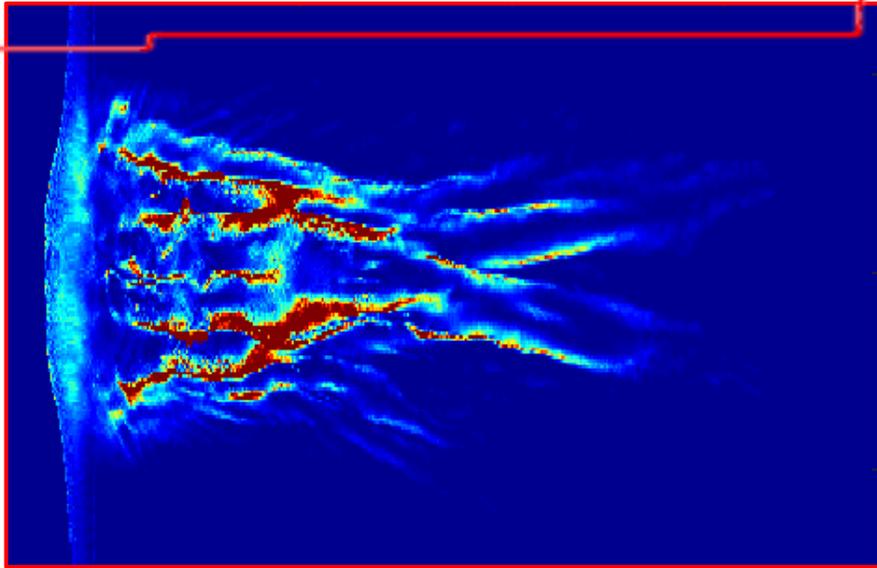


⁹ P. Puyuelo-Valdes *et al.*, *Phys Plasma*, **26**, 123109 (2019).



Simulations

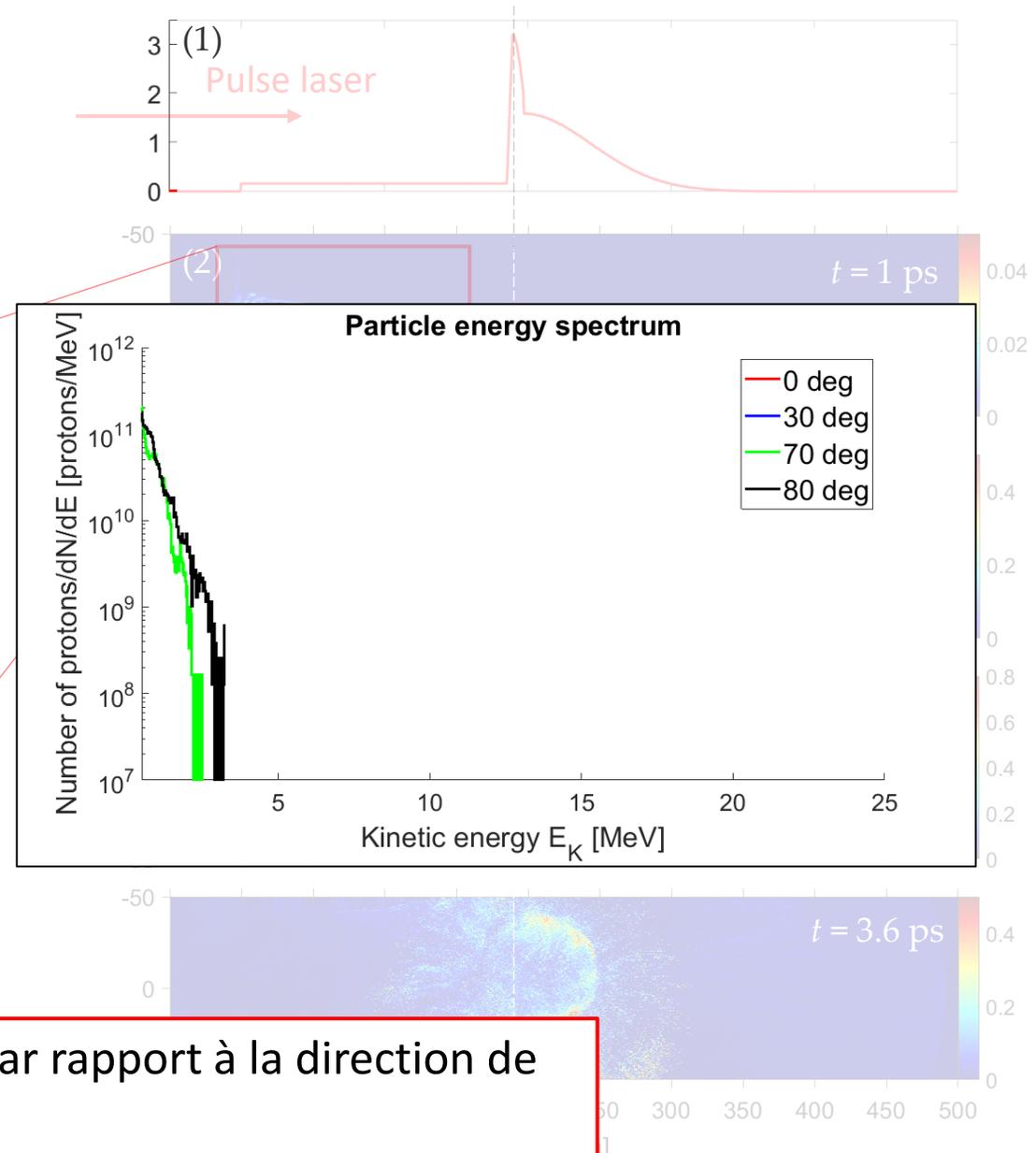
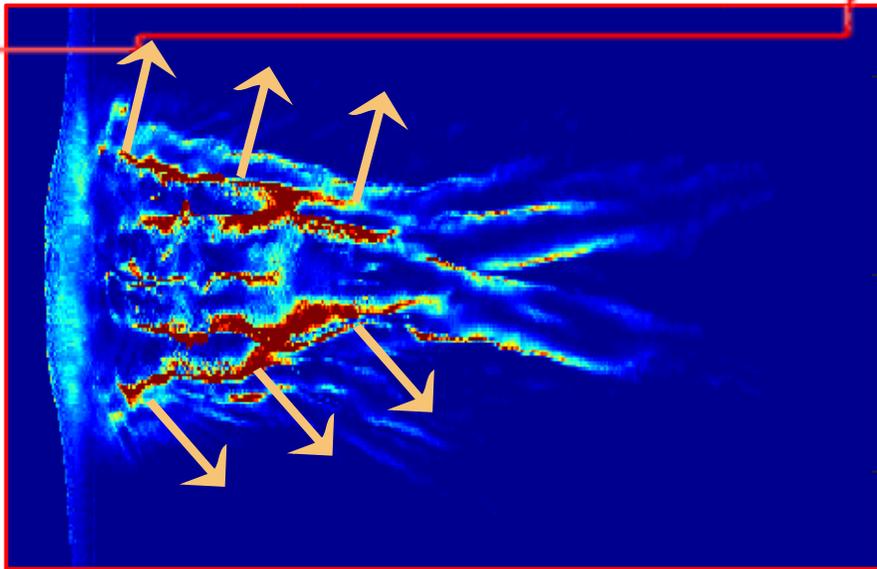
hydrodynamiques (FLASH) et Particle-In-Cell (PIC)



Plasma sous-dense : formation d'un canal par le laser, auto-focalisation et multi-filamentation.

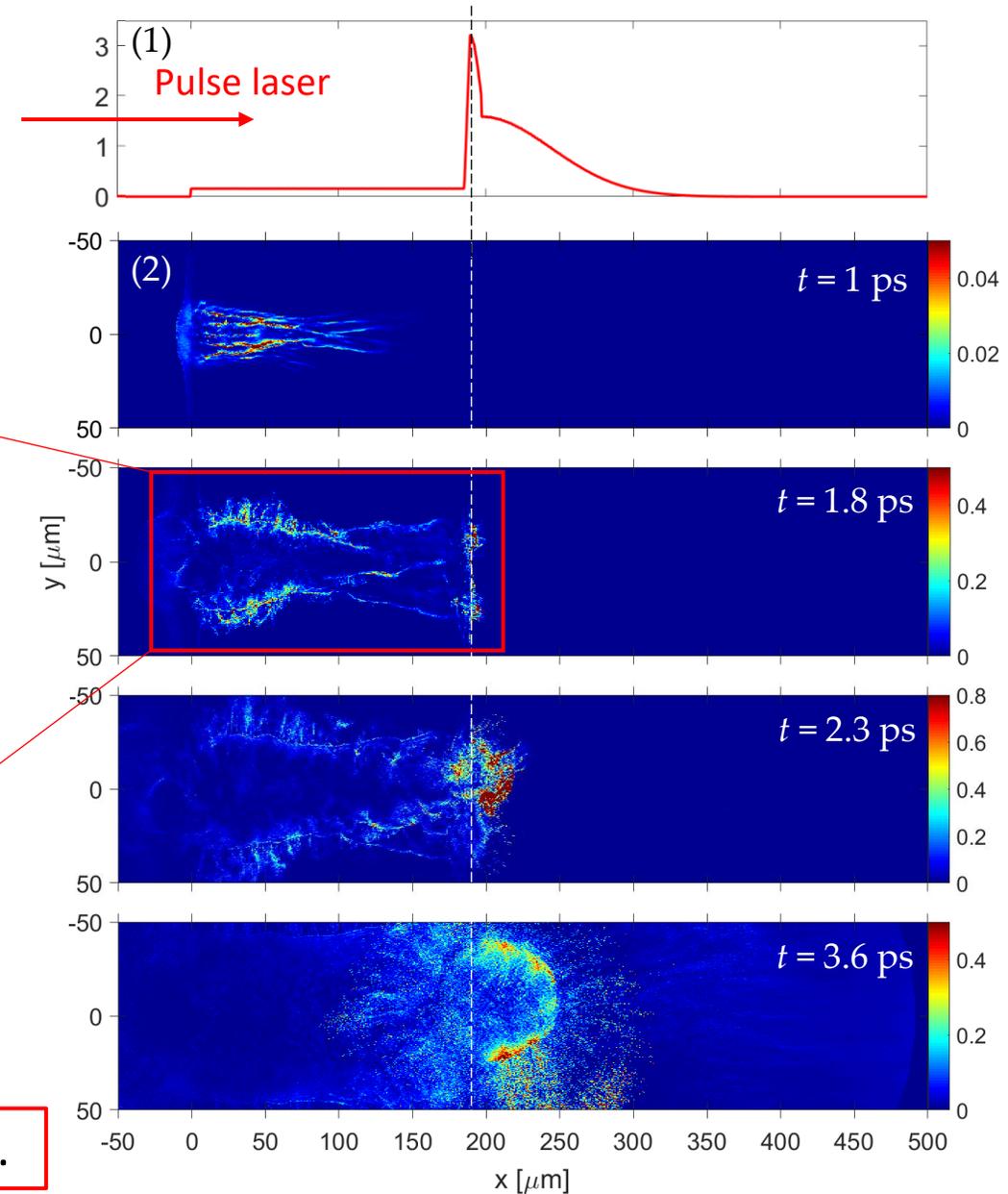
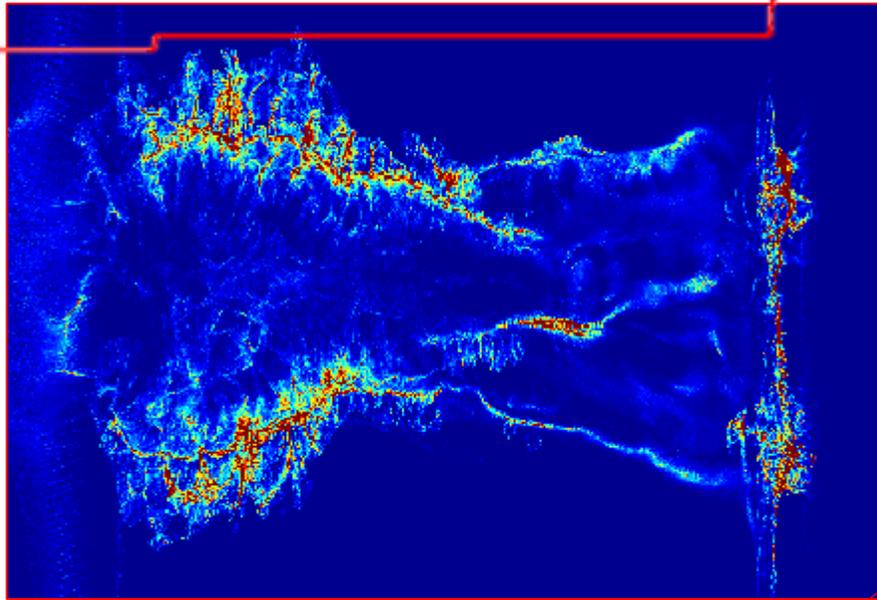
Simulations

hydrodynamiques (FLASH)
et Particle-In-Cell (PIC)



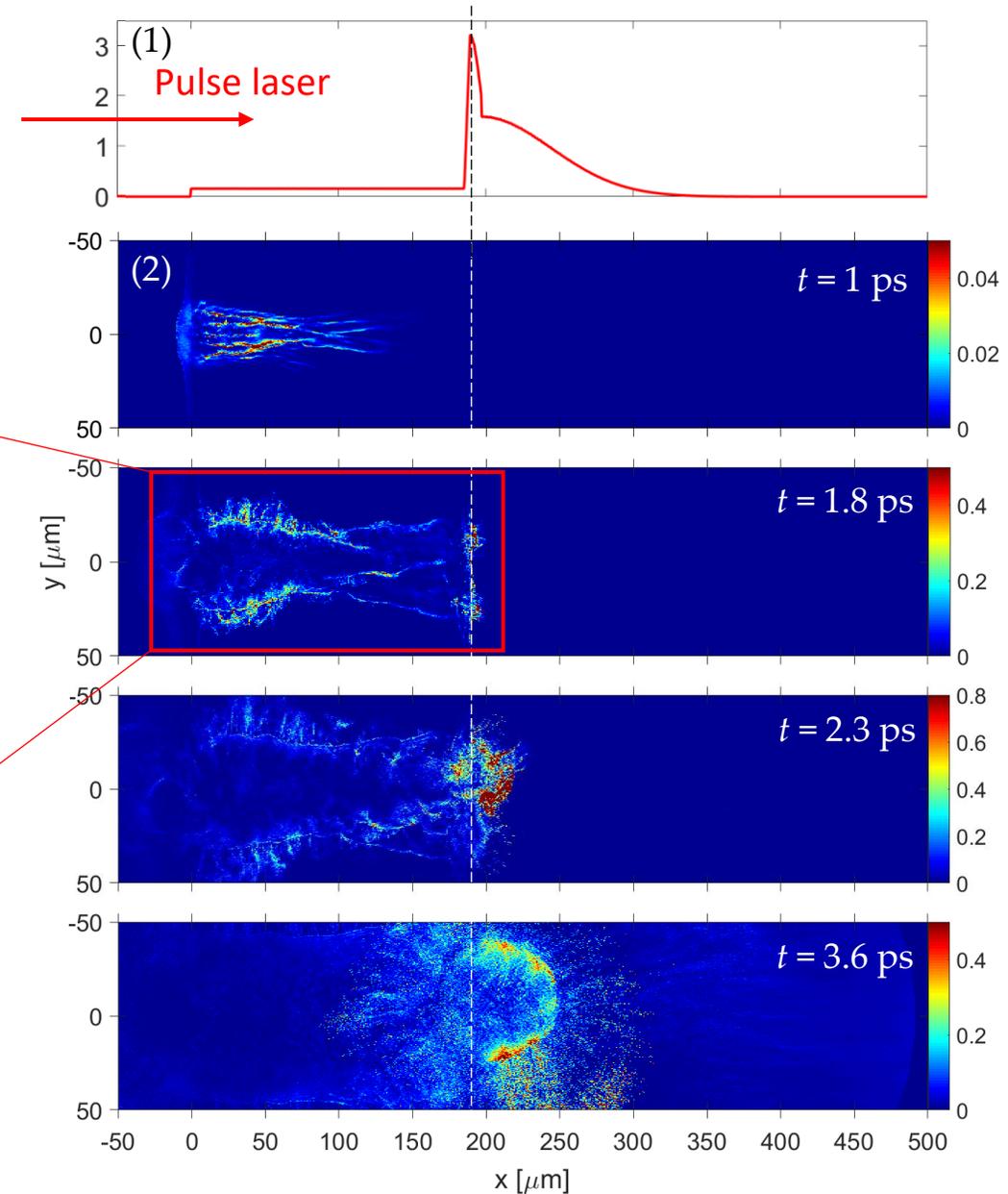
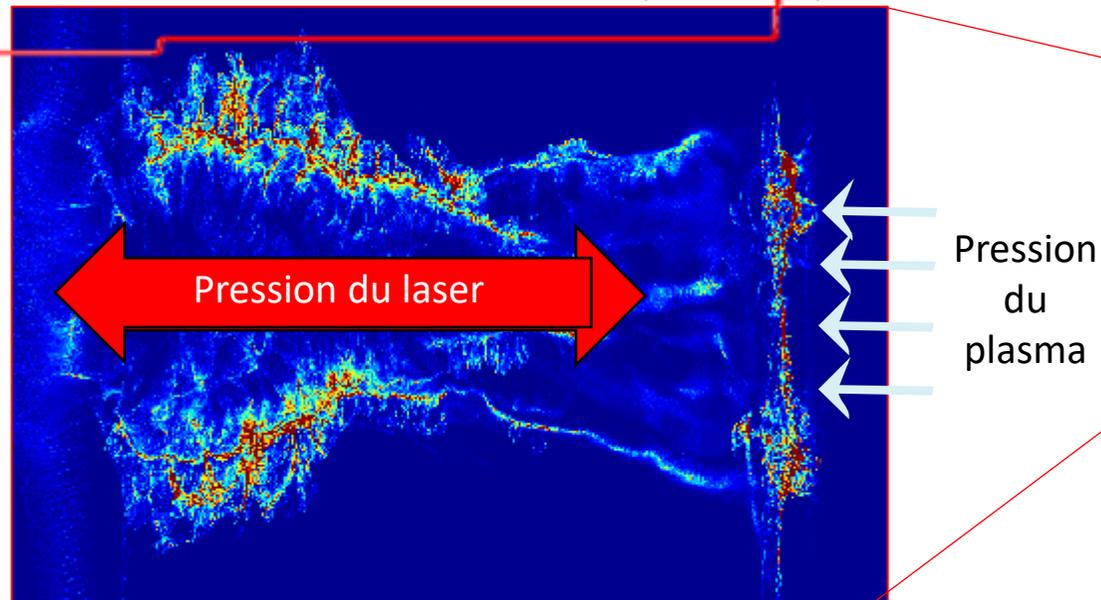
Les protons étaient accélérés en direction transversale par rapport à la direction de propagation du laser.

Simulations hydrodynamiques (FLASH) et Particle-In-Cell (PIC)



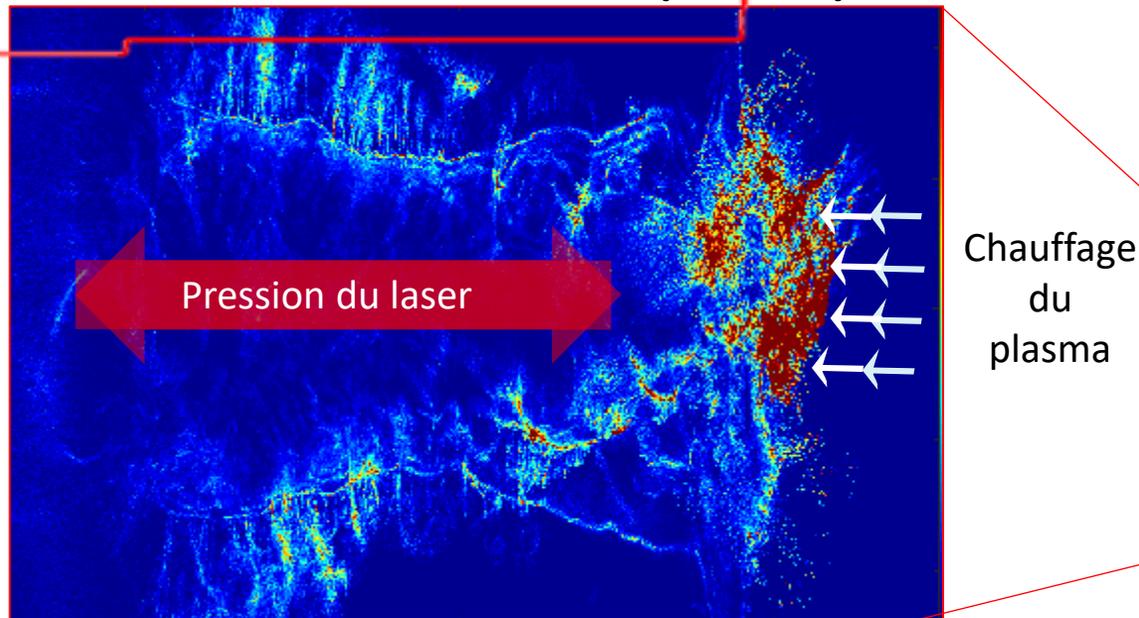
Le laser interagit avec la partie du plasma de densité maximale.

Simulations hydrodynamiques (FLASH) et Particle-In-Cell (PIC)

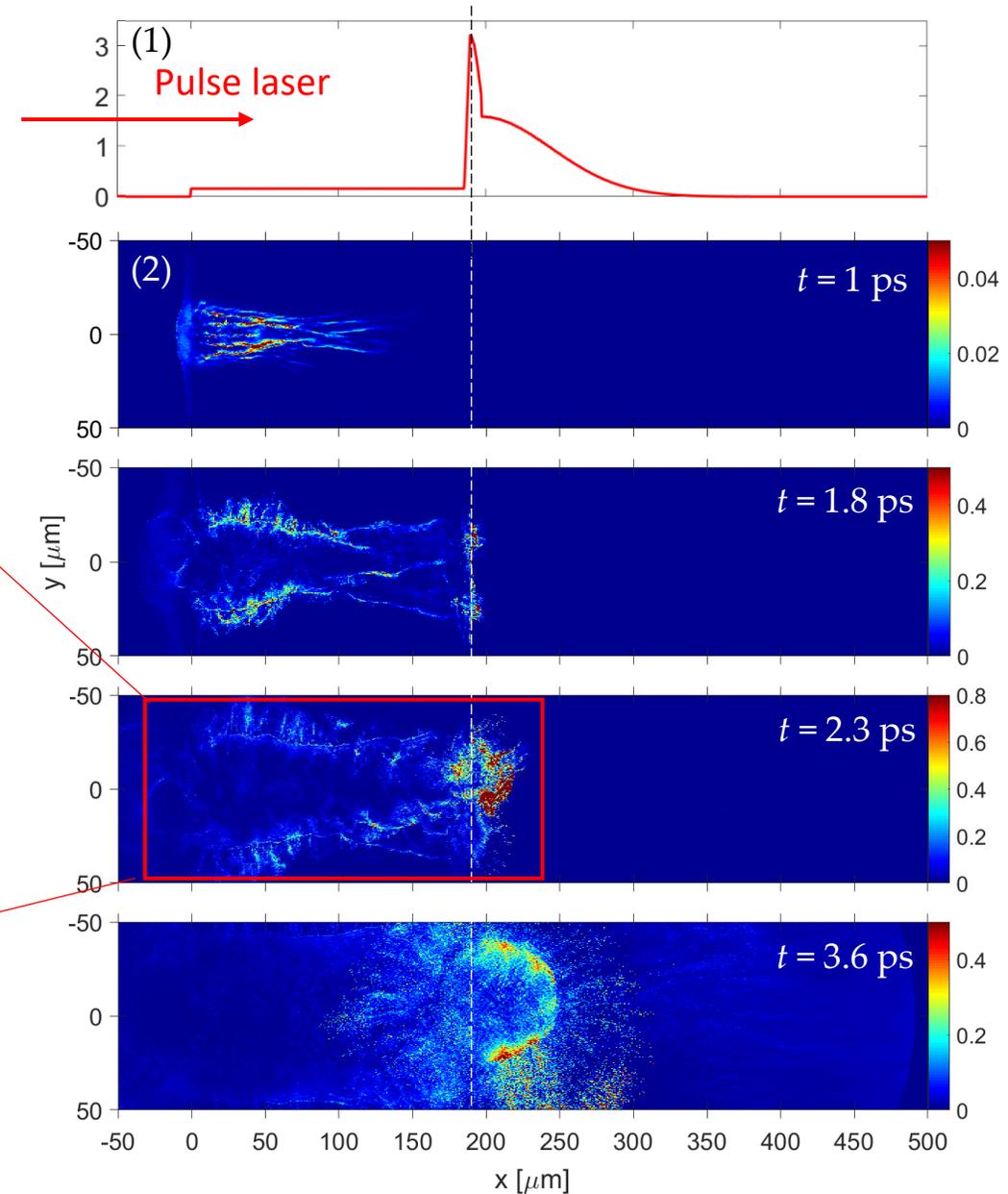


La pression du plasma n'était pas suffisante pour réfléchir le laser. Il y a une perturbation du plasma

Simulations hydrodynamiques (FLASH) et Particle-In-Cell (PIC)

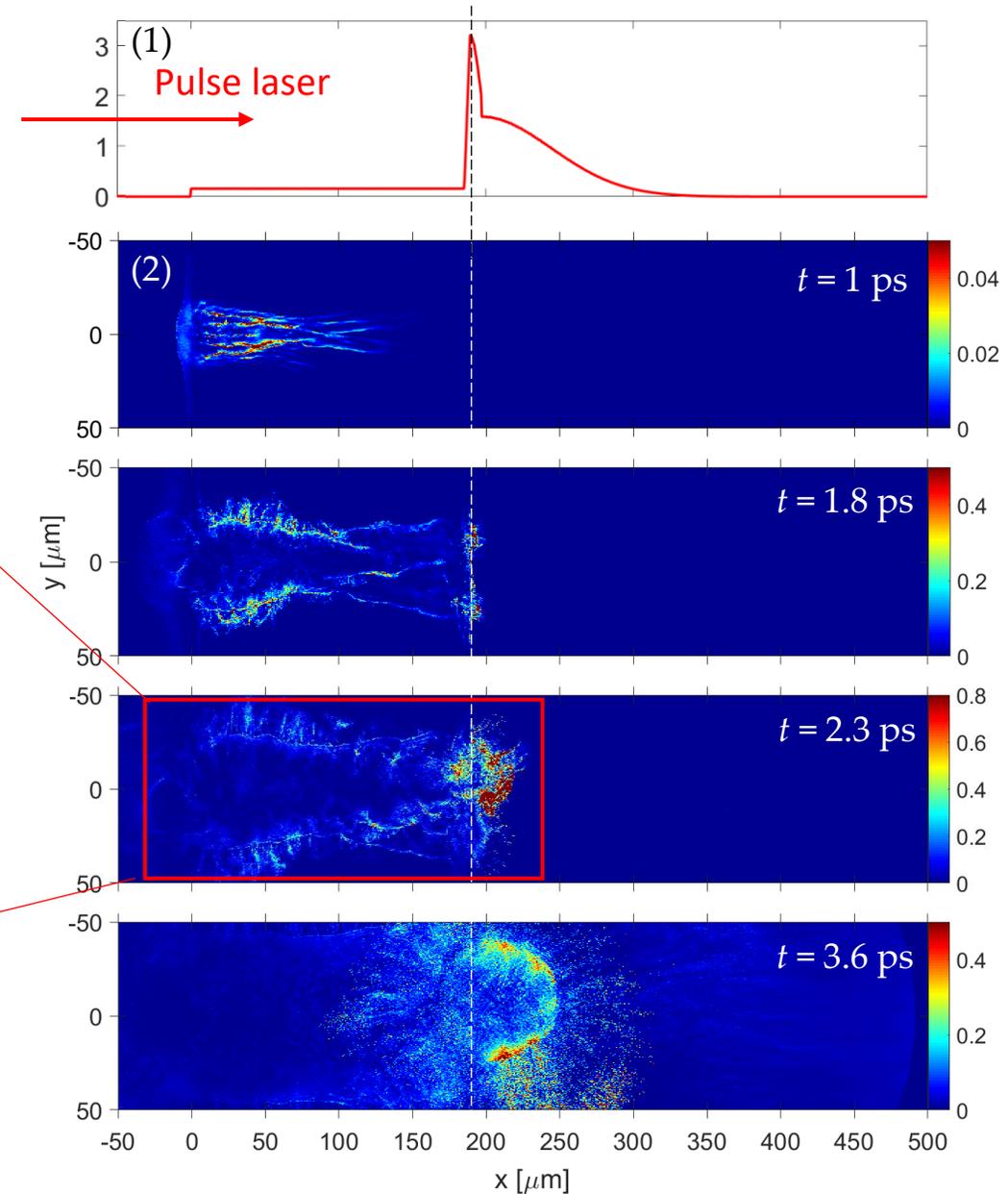
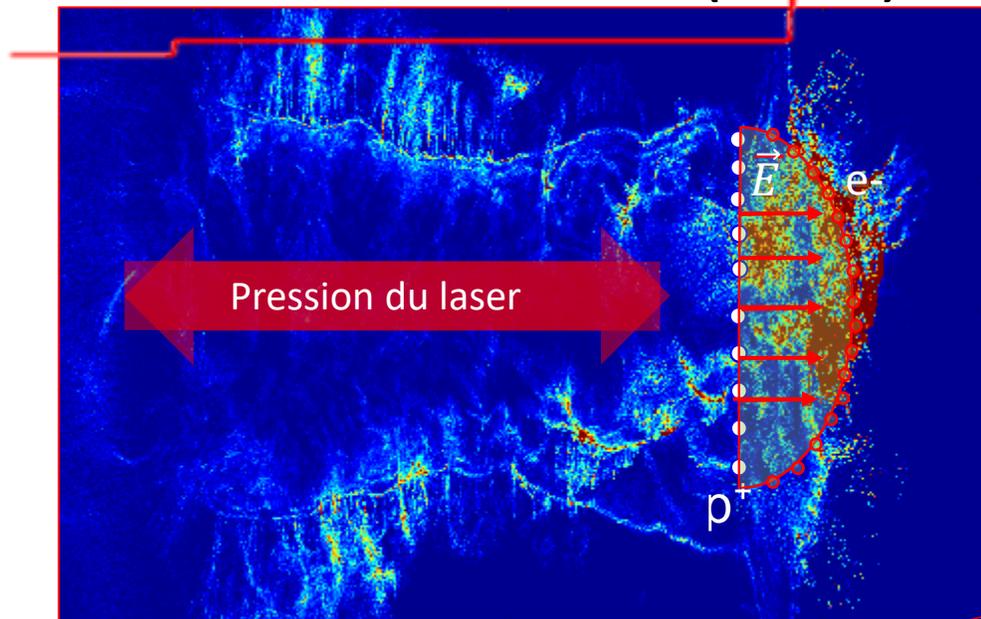


Accélération par pression de radiation- Hole Boring (RPA-HB) prend place.



Simulations

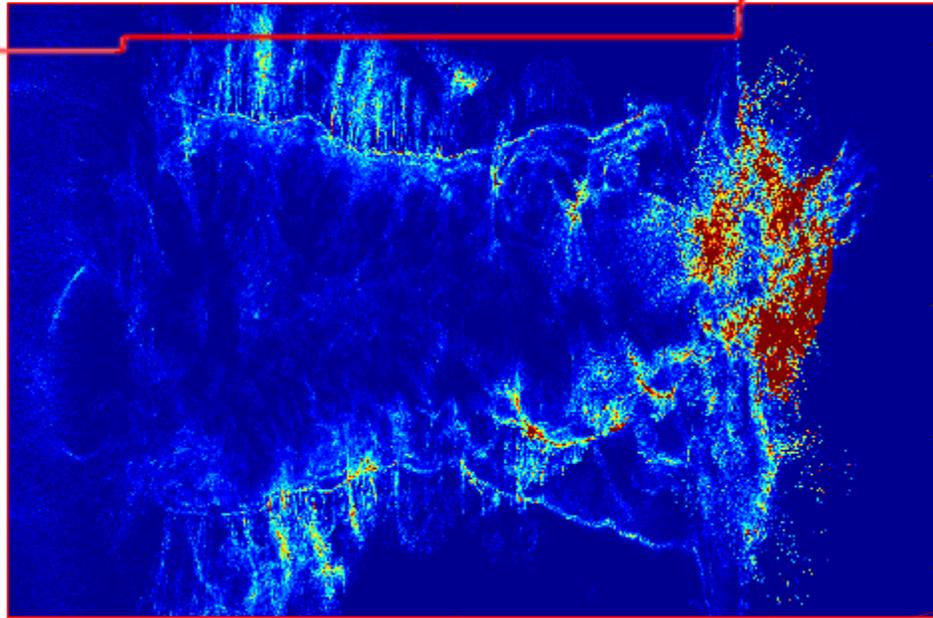
hydrodynamiques (FLASH) et Particle-In-Cell (PIC)



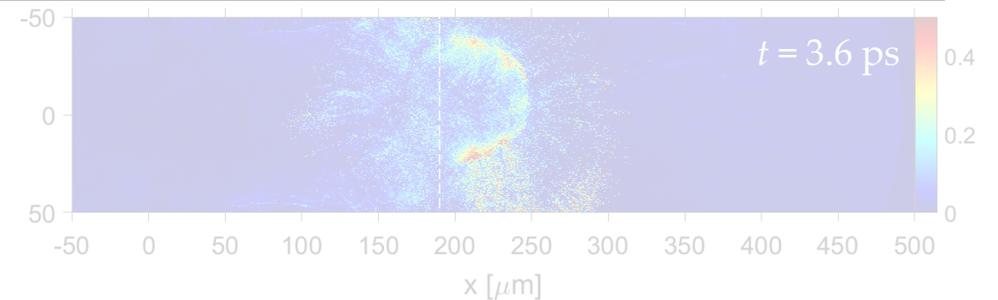
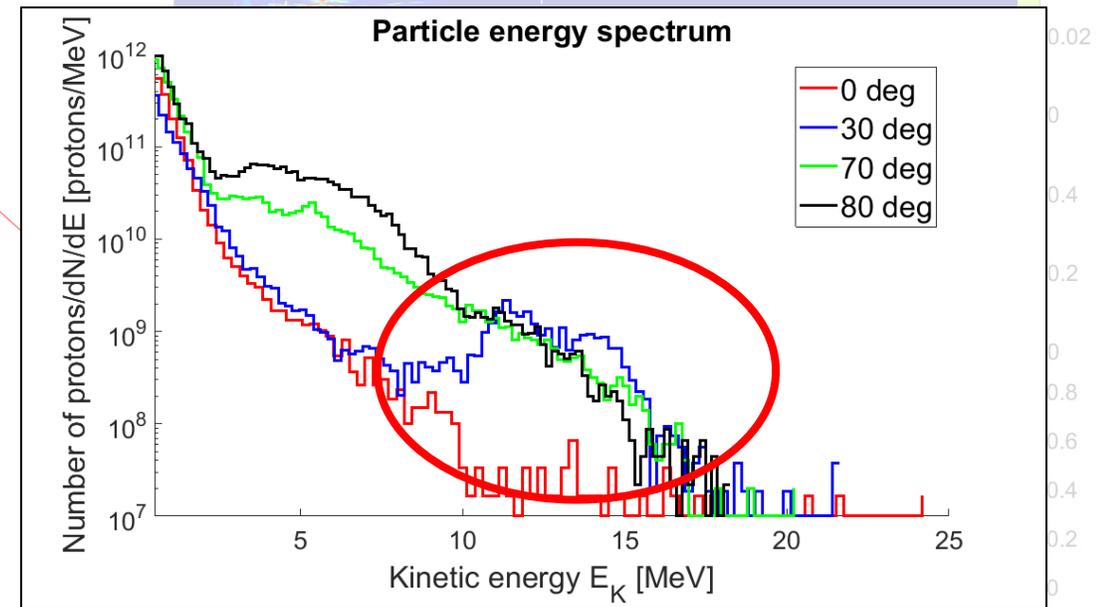
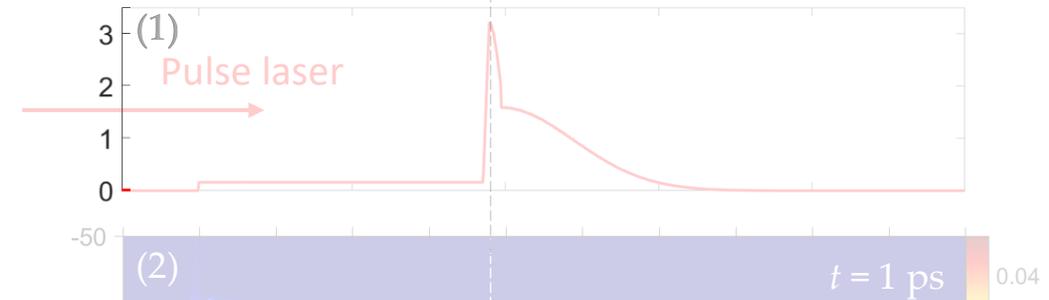
Accélération par pression de radiation- Hole Boring (RPA-HB) prend place.

Simulations

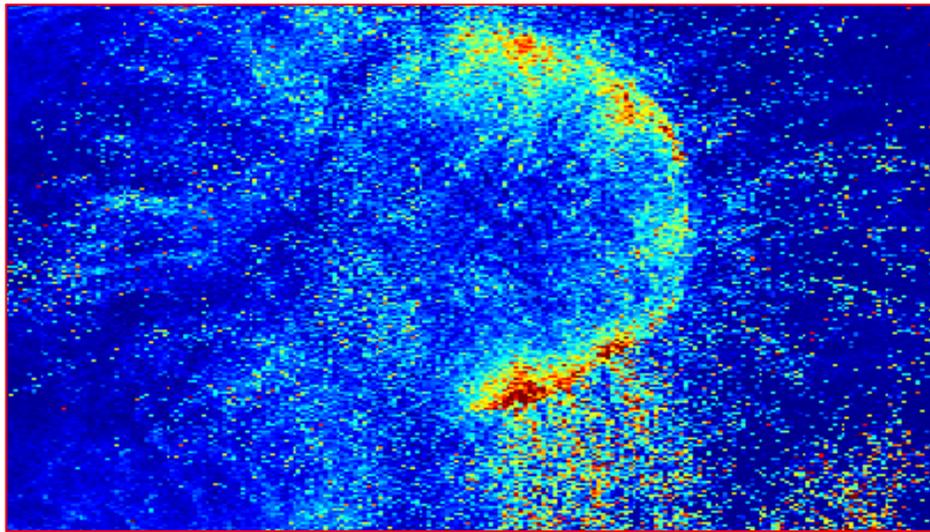
hydrodynamiques (FLASH)
et Particle-In-Cell (PIC)



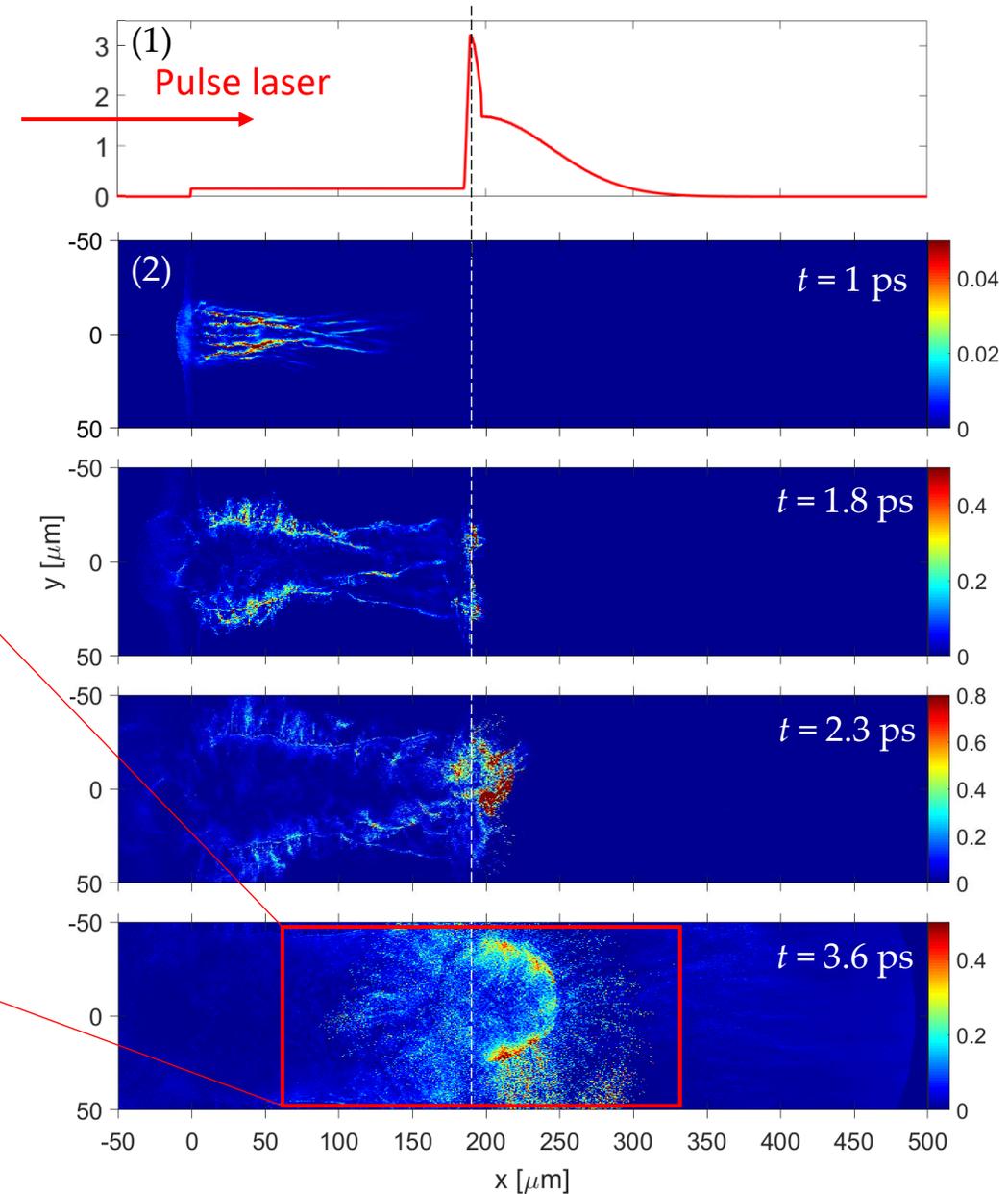
Les protons étaient accélérés à peu près dans la direction du laser.



Simulations hydrodynamiques (FLASH) et Particle-In-Cell (PIC)



Fin de la simulation.





Resumé et perspectives

- Nous avons mesuré des protons avec des énergies jusqu'à **6 MeV** dans la direction de propagation du laser (avant seulement 0.8 MeV (Chen *et al.*) avait été observé).
- Nous avons expliqué les spectres d'énergie de protons en utilisant des simulations **hydrodynamiques** du plasma et **PIC**.

Plusieurs mécanismes étaient en jeu, et ils ont contribué à former les structures dans les spectres. Le laser a perdu une partie de son énergie à cause de son interaction avec le plasma sous dense.

Perspectives:

Améliorer l'accélération dans une direction et avec une distribution en énergie bien définie

Améliorer le profil de densité:

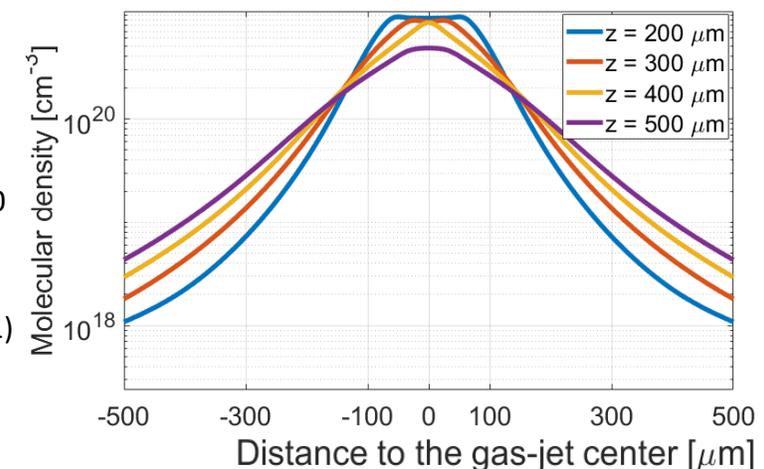
- Ajouter du « shaping optique » au plasma de la cible¹⁰
- Concevoir des nouvelles buses

Travailler à **haute cadence**:

Ne pas abîmer les buses

Extraire le gaz de la chambre sous-vide

¹⁰ J.R. Marquès *et al.*, *Phys. Plasma.*, **28**, 023103 (2021)



Merci à:

toutes les équipes techniques et administratives ainsi
qu'aux collaborateurs du LULI, CELIA et du CENBG



Merci pour votre attention

Ceccotti, Tiberio
d'Humières, Emmanuel

Ehret, Michael

Domange, Jocelyn

Hannachi, Fazia

Henares, Jose Luis

Lancia, Livia

Marques, Jean Raphael

Ribeyre, Xavier

Santos, Joao

Tarisien, Medhi

Tikhonchuk, Vladimir