

# Cible cryogénique pour l'accélération d'ions par interaction laser-plasma



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

J. Viswanathan<sup>1,2</sup>, D. Garcia<sup>1</sup>, A. Girard<sup>1</sup>, N. Luchier<sup>1</sup>, F. Julien<sup>2</sup>, F. Millet<sup>1</sup>, D. Chatain<sup>1</sup>, F. Souris<sup>1</sup>

Collaborateurs ELI Beamlines : T. Chagovets<sup>3</sup>, A. Velyhan<sup>3</sup>, M. Tryus<sup>3</sup>, F. Grepř<sup>3</sup>, D. Margarone<sup>3</sup>

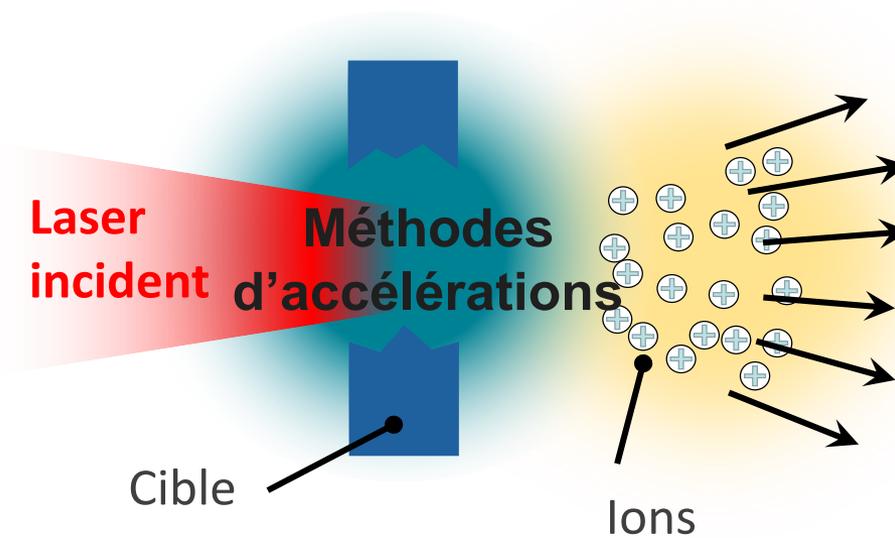
<sup>1</sup> Département Systèmes Basses Températures (D-SBT), CEA Grenoble

<sup>2</sup> Laboratoire pour l'Utilisation des Laser Intenses (LULI), Palaiseau

<sup>3</sup> ELI Beamlines, Institute of Physics, Prague, Czech Republic



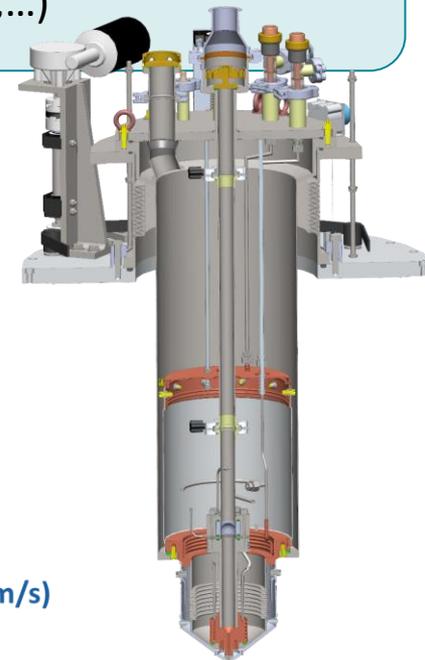
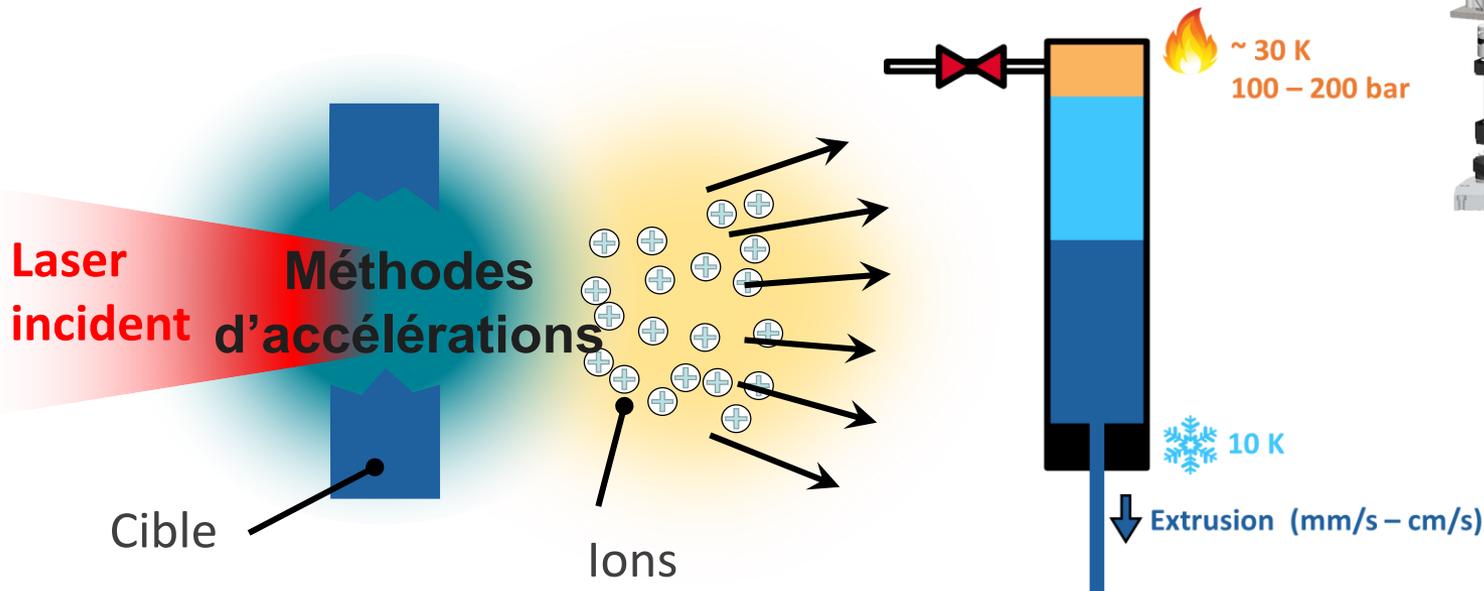
Présentation pour les journées accélérateurs le 13/10/2021



*Technique d'accélération laser-plasma*

## Avantages de l'hydrogène solide

- Densité faible et profil de densité abrupt
- Haute pureté et source de protons purs
- **Renouvelable continûment**
- Pas de contamination des optiques
- Extrapolable avec d'autres éléments (deutérium, méthane, krypton, néon,...)



*Technique d'accélération laser-plasma*

*Principe d'extrusion thermomécanique sans parties mobiles  
(Brevet CEA-DSBT EP 2 682 695 A1)*

## Campagnes collaboratives

- 5 campagnes de mesures menées avec succès : France, République Tchèque, Royaume-Uni

## Première accélération laser-plasma d'H<sub>2</sub> solide

- Preuve de principe
- Margarone et al., PRX (2016)
- 1 kJ, 330 ps, 3 TW,  $3 \times 10^{16}$  W.cm<sup>-2</sup>
- 1 MeV protons

2015

PALS



## Campagnes collaboratives

- 5 campagnes de mesures menées avec succès : France, République Tchèque, Royaume-Uni

## Augmentation des énergies de protons

- Plus grande intensité laser
- 20 J, 200 fs, 100 TW,  $10^{19}$  W.cm<sup>-2</sup>
- Protons 15 MeV
- Kraft et al., *Plasma Physics And Fusion Control* (2018)

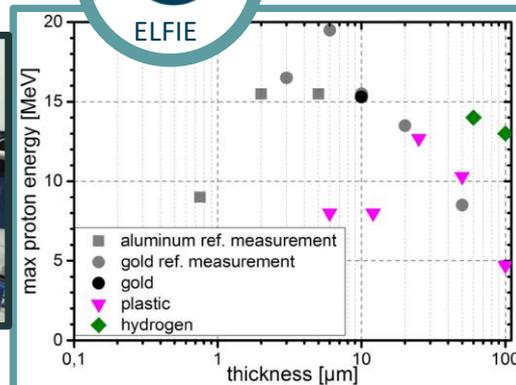
## Première accélération laser-plasma d'H<sub>2</sub> solide

- Preuve de principe
- Margarone et al., *PRX* (2016)
- 1 kJ, 330 ps, 3 TW,  $3 \times 10^{16}$  W.cm<sup>-2</sup>
- 1 MeV protons

2015



2016



## Campagnes collaboratives

- 5 campagnes de mesures menées avec succès : France, République Tchèque, Royaume-Uni

### Première accélération laser-plasma d'H<sub>2</sub> solide

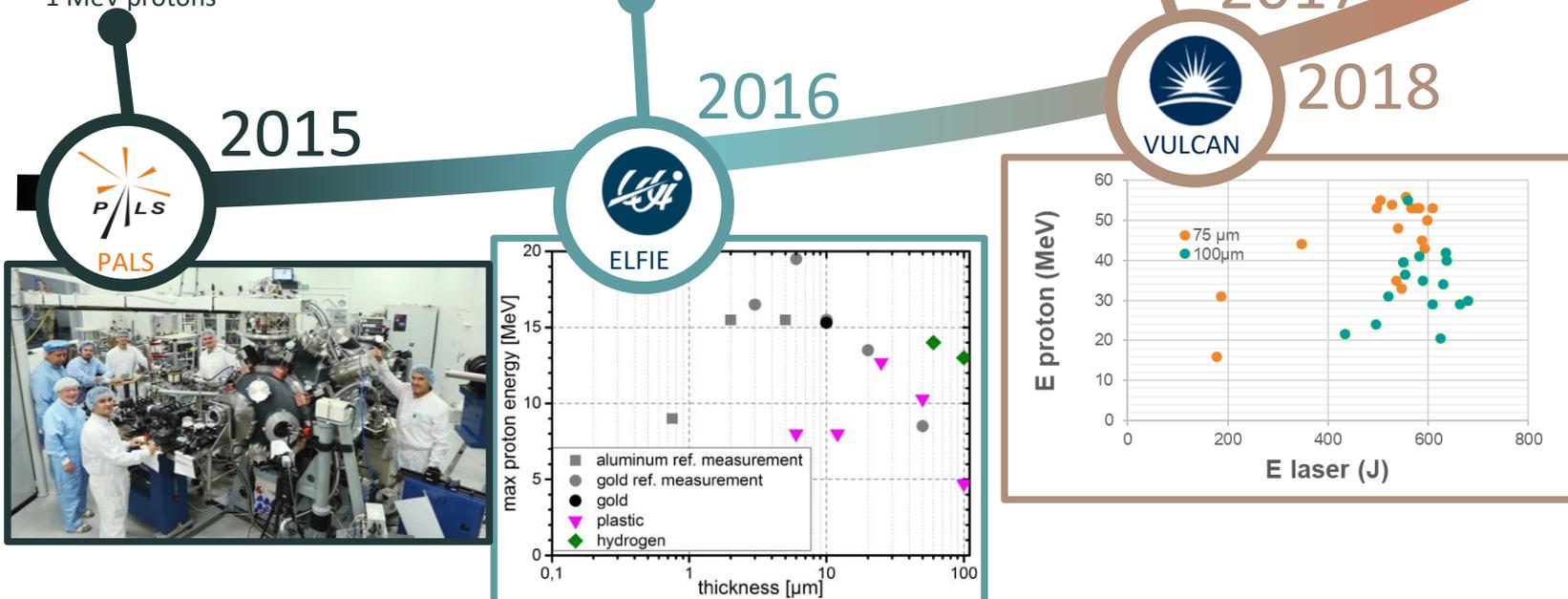
- Preuve de principe
- Margarone et al., PRX (2016)
- 1 kJ, 330 ps, 3 TW,  $3 \times 10^{16}$  W.cm<sup>-2</sup>
- 1 MeV protons

### Augmentation des énergies de protons

- Plus grande intensité laser
- 20 J, 200 fs, 100 TW,  $10^{19}$  W.cm<sup>-2</sup>
- Protons 15 MeV
- Kraft et al., Plasma Physics And Fusion Control (2018)

### Augmentation des énergies de protons/production de neutrons

- Article dans les mains des referees
- Extrusion H<sub>2</sub> et D<sub>2</sub>
- 1 kJ, 1 ps, 1 PW
- Protons 55 MeV



## Campagnes collaboratives

- 5 campagnes de mesures menées avec succès : France, République Tchèque, Royaume-Uni

## Première accélération laser-plasma d'H<sub>2</sub> solide

- Preuve de principe
- Margarone et al., PRX (2016)
- 1 kJ, 330 ps, 3 TW,  $3 \times 10^{16}$  W.cm<sup>-2</sup>
- 1 MeV protons

## Augmentation des énergies de protons

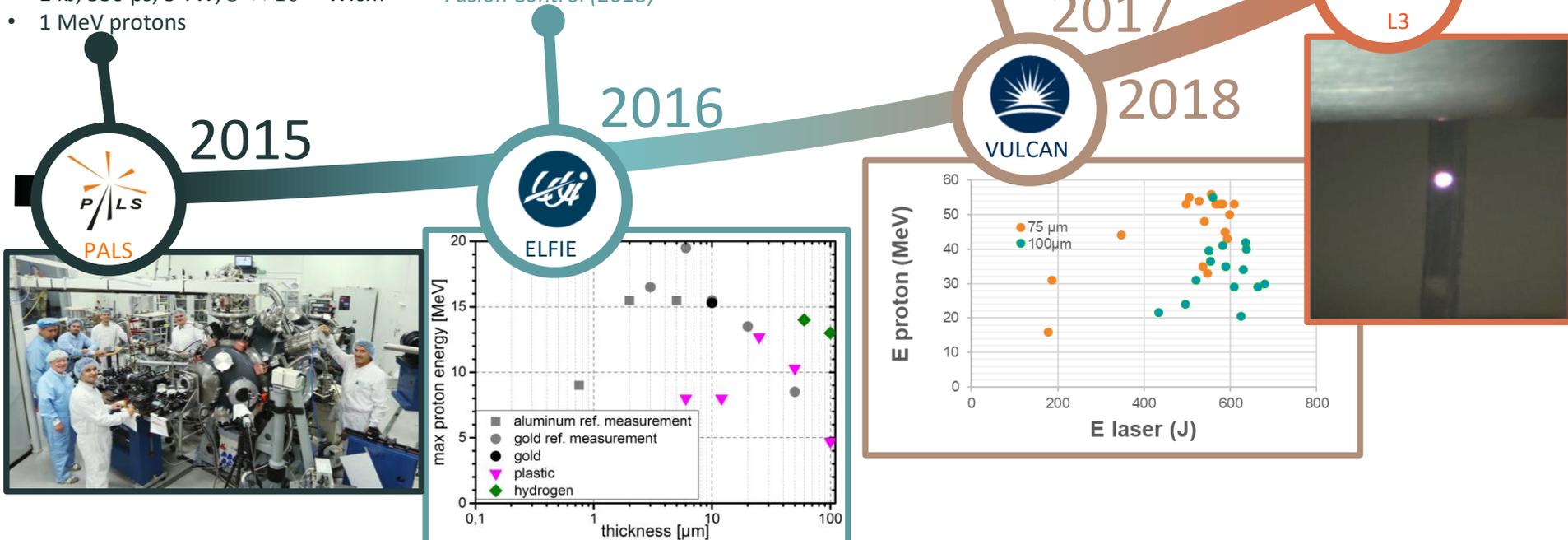
- Plus grande intensité laser
- 20 J, 200 fs, 100 TW,  $10^{19}$  W.cm<sup>-2</sup>
- Protons 15 MeV
- Kraft et al., Plasma Physics And Fusion Control (2018)

## Augmentation des énergies de protons/production de neutrons

- Article dans les mains des referees
- Extrusion H<sub>2</sub> et D<sub>2</sub>
- 1 kJ, 1 ps, 1 PW
- Protons 55 MeV

## Premiers tirs à haute cadence

- Article dans les mains des referees
- Fréquence de tir jusqu'à 3 Hz
- 700 tirs, 1 J, 50 TW,  $3 \times 10^{19}$  W.cm<sup>-2</sup>



## Campagnes collaboratives

- 5 campagnes de mesures menées avec succès : France, République Tchèque, Royaume-Uni

## Augmentation des énergies de protons

- Plus grande intensité laser
- 20 J, 200 fs, 100 TW,  $10^{19}$  W.cm<sup>-2</sup>

## Augmentation des énergies de protons/production de neutrons

- Article dans les mains des referees
- Extrusion H<sub>2</sub> et D<sub>2</sub>
- 1 kJ, 1 ps, 1 PW
- Protons 55 MeV

## Premiers tirs à haute cadence

- Article dans les mains des referees
- Fréquence de tir jusqu'à 3 Hz
- 700 tirs, 1 J, 50 TW,  $3 \times 10^{19}$  W.cm<sup>-2</sup>

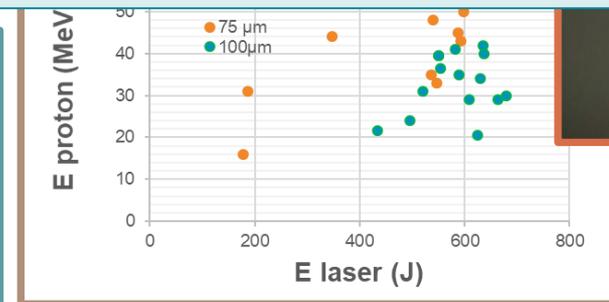
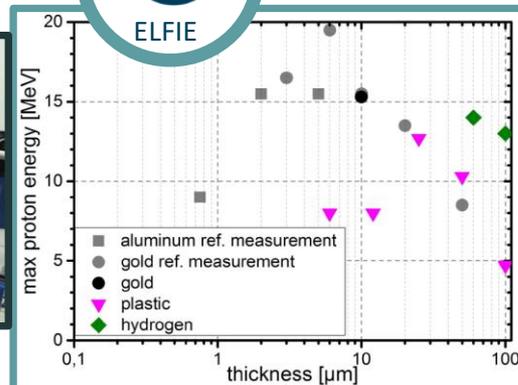
2019

## Première accélération laser-plasma d'H<sub>2</sub> solide

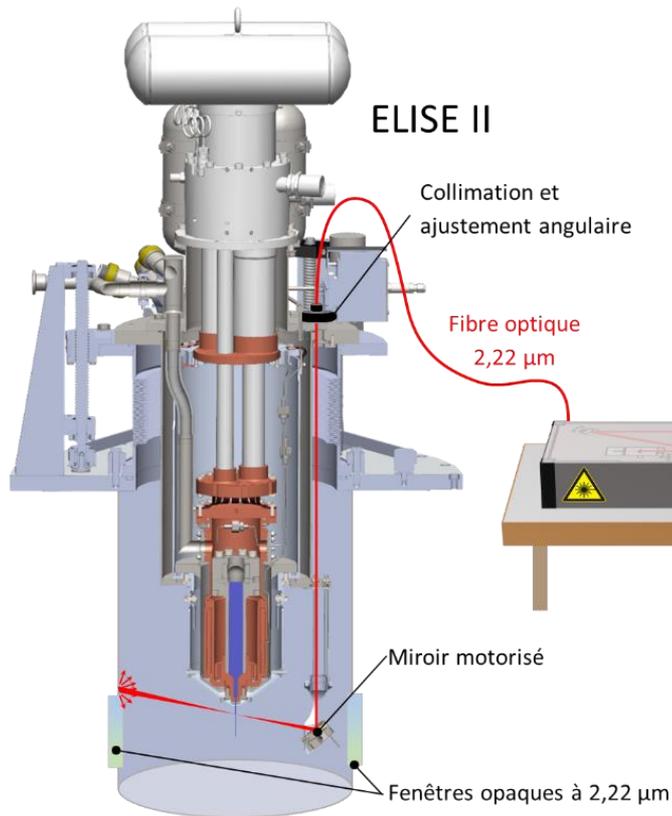
- Preuve
- Marga
- 1 kJ, 33
- 1 MeV

## Objectif

Des épaisseurs micrométriques de cibles permettraient d'améliorer l'énergie des ions produits

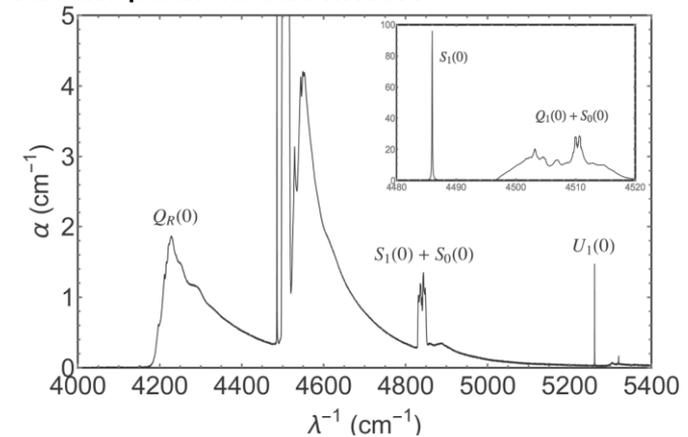


## Sublimation du ruban par un laser Mid-IR à 2,22 $\mu\text{m}$



*Dispositif de sublimation par laser*

- Un laser infrarouge accordé sur une raie vibrationnelle de l' $\text{H}_2$  permet de chauffer localement le ruban pour le sublimer.

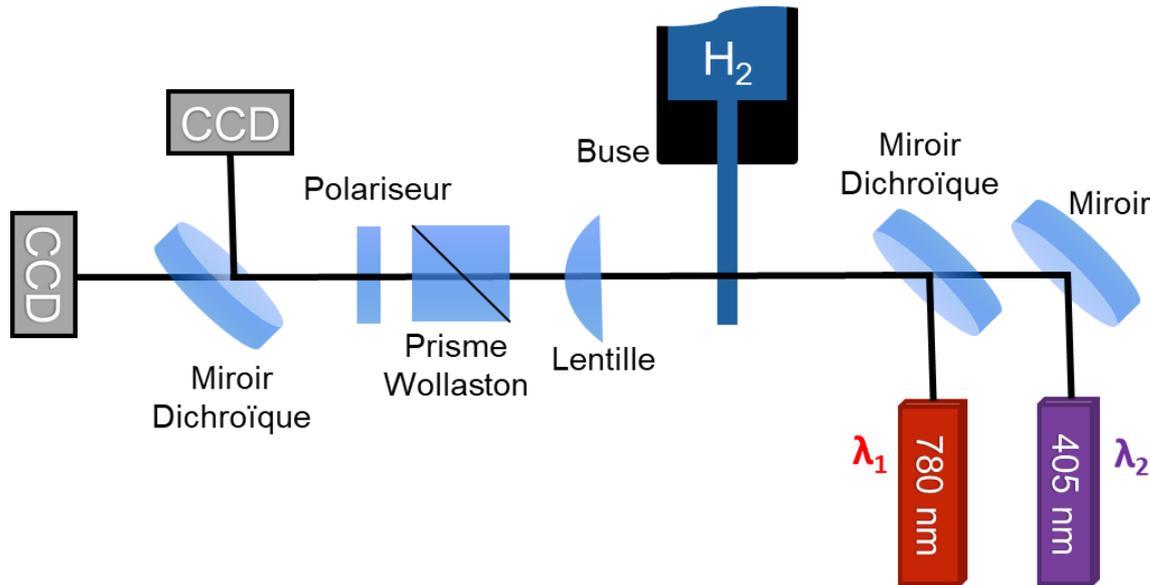


S.C. Kettwich et al, MNRAS 450, 1032-1041 (2015).

- Des simulations numériques préliminaires (sous COMSOL) montrent que la **rugosité initiale** sera prépondérante pour atteindre des épaisseurs micrométriques.

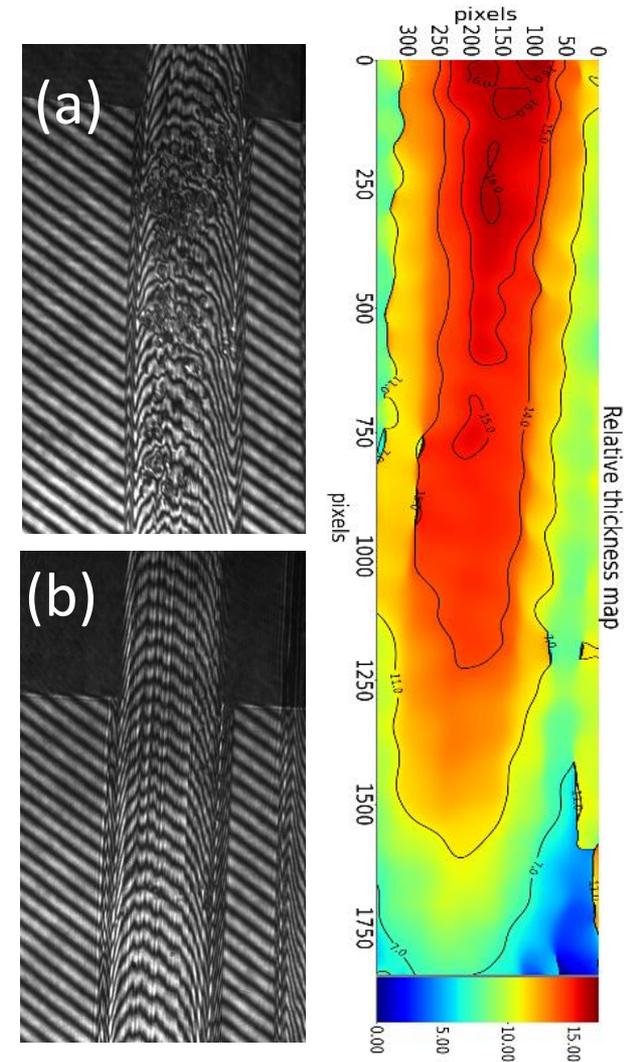


*Sublimation d'un ruban d'hydrogène (durée 0,5 s)*



## Imagerie interférométrique à deux longueurs d'onde

- Une longueur d'onde permet de déterminer l'épaisseur optique modulo  $\lambda_1$
- Une seconde mesure à  $\lambda_2$  permet d'augmenter la plage de mesure accessible, jusqu'à l'épaisseur du ruban.
- L'imagerie interférométrique révèle un **état de surface dépendant des conditions d'extrusion**.



*Cartographie interférométrique de la surface du ruban*

- **L'accélération laser-plasma est en plein essor** avec le développement des lasers de puissance à haut taux de répétition
- Les cibles d'hydrogène solide répondent à certaines **problématiques des tirs à haute cadence** (renouvellement rapide, pureté, propreté, niveau de vide)
- Plusieurs campagnes d'essais ont permis de :
  - produire des faisceaux de protons jusqu'à des **énergies de 55 MeV**
  - démontrer la compatibilité de l'installation **avec des tirs à haute cadence**
- Atteindre des épaisseurs micrométriques optimiserait le processus d'accélération laser-plasma, il faut encore:
  - Maitriser la **réduction d'épaisseur** (sublimation par laser Mid-IR)
  - Mesurer in-situ l'épaisseur** du ruban



**Merci de votre attention**

**Un grand merci à :**

**CEA Grenoble :** F. Viargues, J Manzagol, JP Périn, F. Bancel, B. Rollet, T. Goy, P. Bonnay, J.M. Mathonnet, J. Cezkowsky, S. Michaux

**ELI Beamlines :** T. Chagovets, M. Tryus, F. Grepl, A. Velyhan, D. Margarone

**Queen's University Belfast :** H. Ahmed, S. Kar, M. Borghesi

**PALS team**

**HZDR Dresde :** S. Kraft, T. Cowan, et al, and M. Gauthier (SLAC).

**LULI :** ELFIE team