HAL
open science

Plasmas produits par ablation laser

Jörg Hermann, Sylvain Iséni, Stéphane Pellerin, Sedina Tsikata

To cite this version:

Jörg Hermann, Sylvain Iséni, Stéphane Pellerin, Sedina Tsikata. Plasmas produits par ablation laser. Journées 2021 Groupement de Recherche (GdR) étude des milieux ionisés Plasmas froids créés par décharge et laser (EMILI), Oct 2021, Palaiseau, France. hal-03389166

HAL Id: hal-03389166

https://hal.science/hal-03389166v1

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

GDR Groupement de recherche
EMILI Étude des milieux ionisés
Plasmas froids créés par décharge et laser

Diagnostics optiques

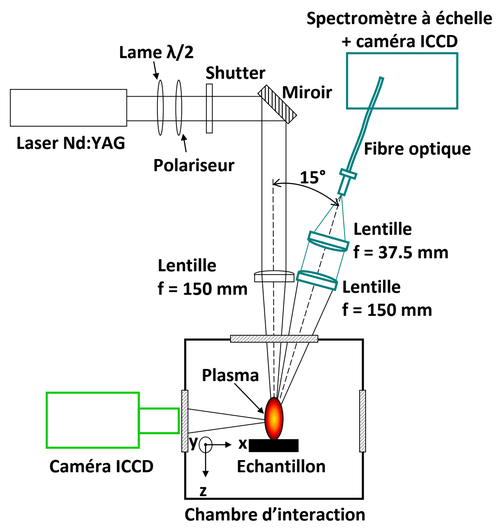
Journées 2021
25-28 octobre 2021, Palaiseau

Plasmas produits par ablation laser

Résumé

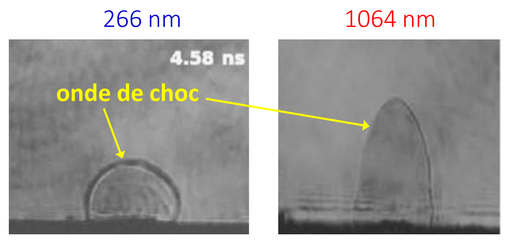
Les plasmas produits par ablation laser sont de petite taille, et caractérisés par une dynamique d'expansion rapide. Leurs propriétés dépendent de nombreux paramètres qui sont associées aux propriétés thermophysiques du matériau irradié, à son environnement ainsi qu'aux conditions d'irradiation laser. Le rayonnement intense des impulsions laser de courte durée génère des conditions extrêmes dans le volume du dépôt d'énergie, ce qui provoque la propagation d'ondes de choc et une vaporisation de la matière hors équilibre. Pour des impulsions laser d'une durée de l'ordre de la nanoseconde, le faisceau laser interagit avec la vapeur en expansion, créant ainsi un plasma fortement ionisé. En raison de la complexité des processus mis en jeu, les prédictions des propriétés du plasma et de leur évolution spatio-temporelle par la modélisation ne sont pas possibles à ce jour. Le diagnostic des plasmas d'ablation laser est alors indispensable pour améliorer la connaissance des mécanismes mis en jeu. Une vue d'ensemble des techniques couramment utilisées est proposée sur cette affiche.

Dispositif expérimental



Ombroscopie ultra-rapide

- Laser d'ablation : Nd:YAG 5 ns, 3 mJ
- Laser sonde : Ti:Saphire 100 fs, 10 µJ, 400 nm



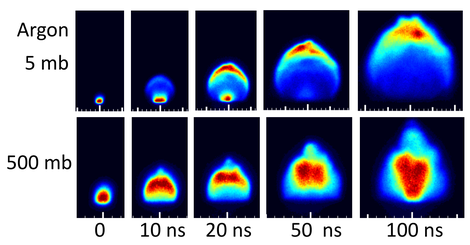
Boueri et al., Appl. Surf. Sci. 2009

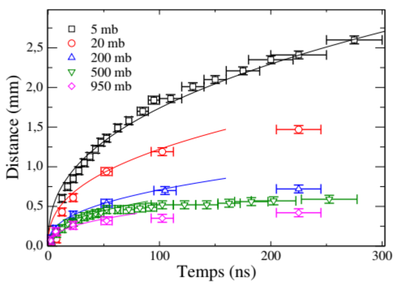
Nylon 6,6
40 Jcm^{-2}
air

laser infrarouge
- ⇨ absorption par bremsstrahlung inverse
- ⇨ dépôt d'énergie dans le front du choc
- ⇨ propagation préférentielle le long l'axe laser
- ⇨ effet d'écrantage

Imagerie rapide

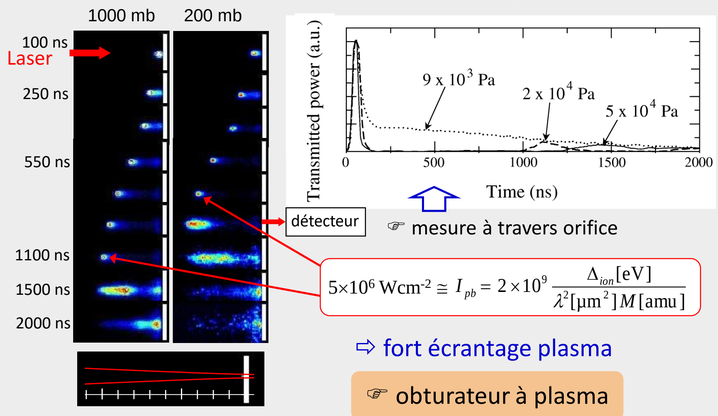
- laser Nd:YAG 5 ns, 266 nm





modèle Sedov-Taylor ☞ propagation l'onde de choc $Z = \gamma(\frac{E_0}{\rho_0})^{1/2} t^{2/5}$

- laser CO_2 10,6 µm ☞ densité critique = 10^{19} cm^{-3} ($\omega_{laser} = \omega_{plasma}$)



☞ mesure à travers orifice

$5\times10^6\ \mathrm{Wcm^{-2}} \cong I_{pb} = 2\times10^9 \frac{\Delta_{ion}[\mathrm{eV}]}{\lambda^2[\mu\mathrm{m}^2]M[\mathrm{amu}]}$

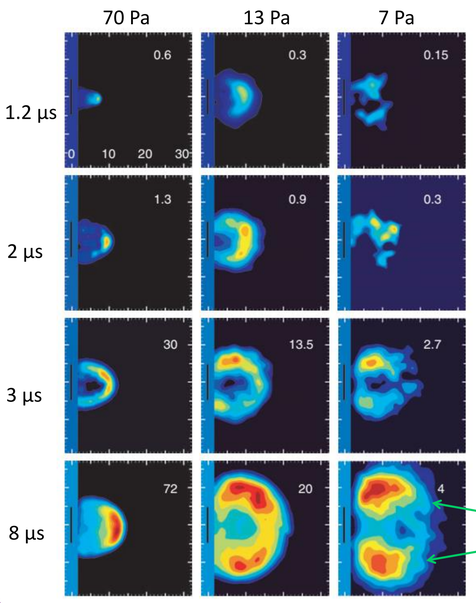
⇨ fort écrantage plasma

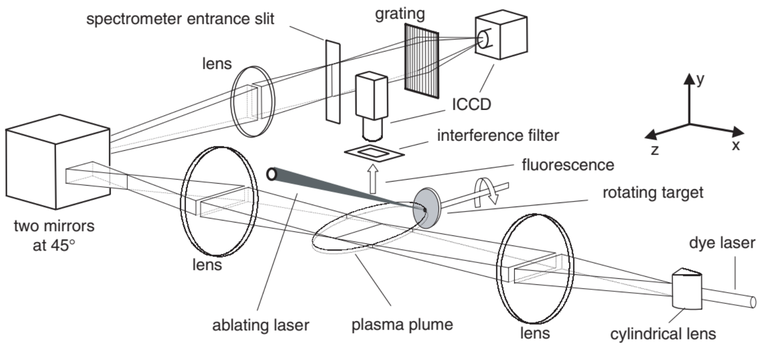
☞ obturateur à plasma

Hermann & Le Floch, J. Appl. Phys. (2004)

Fluorescence induite par laser

ablation de l'aluminium sous O_2 à basse pression, FIL de AlO $B\,^2\Sigma^+ - X\,^2\Sigma^+$





Dutouquet et Hermann, J. Phys. D. (2001)

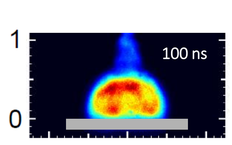
☞ formation d'AlO dans le volume d'interdiffusion vapeur-gaz

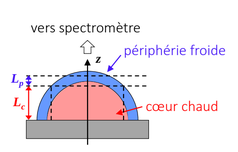
vortex

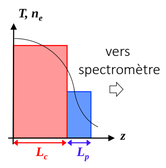
Bulgakov & Bulgakova, J. Phys. D. (1998)

Spectroscopie d'émission couplée à la modélisation

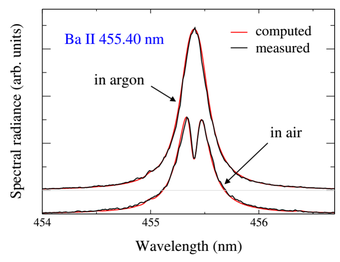
plasmas d'ablation laser
- ☞ densité élevée
- ☞ équilibre thermodynamique local
- ☞ autoabsorption significative







- raie de résonance



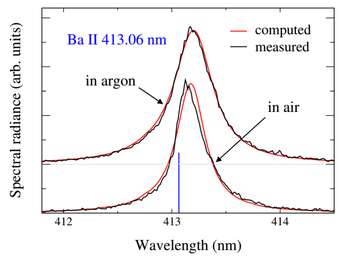
Solution analytique de l'équation de transfert de rayonnement :

luminance spectrale $B = U_C\left(1-e^{-\alpha_C L_C}\right)e^{-\alpha_P L_P} + U_P\left(1-e^{-\alpha_P L_P}\right)$

coefficient d'absorption : $\alpha(\lambda,T) = \pi r_0 \lambda^2 f_{lu} n_l P(\lambda_0,\lambda)\left(1-e^{-hc/\lambda kT}\right)$

sous air ☞ creux d'absorption ⇨ plasma non-uniforme
sous argon ☞ creux d'absorption absent ⇨ plasma uniforme

- raie à fort déplacement Stark

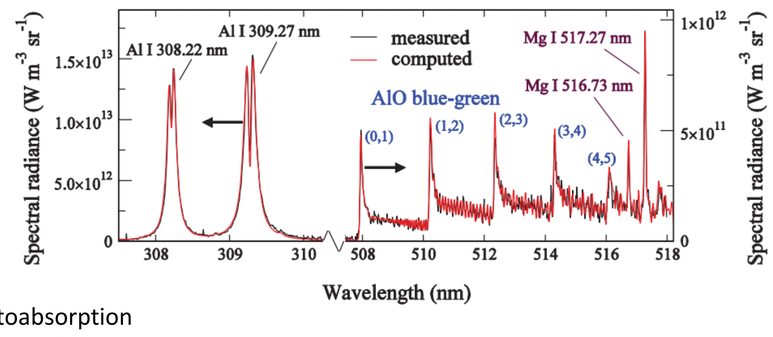


sous air ☞ raie asymétrique ⇨ plasma non-uniforme
sous argon ☞ raie symétrique ⇨ plasma uniforme

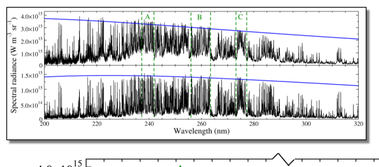
chimie à l'équilibre

Guldberg-Waage : $\frac{n_A n_B}{n_{AB}} = \frac{(2\pi\mu kT)^{3/2}}{h^3}\frac{Q_A Q_B}{Q_{AB}} e^{-D_0/kT}$

ablation laser d'aluminium sous air
- **cœur chaud ☞ émission atomique**
- **bords froids ☞ émission moléculaire et absorption des raies atomiques**



plasma uniforme : $B_\lambda = U_\lambda\left(1-e^{-\alpha L}\right)$



forte autoabsorption
⇨ $B_\lambda = U_\lambda$

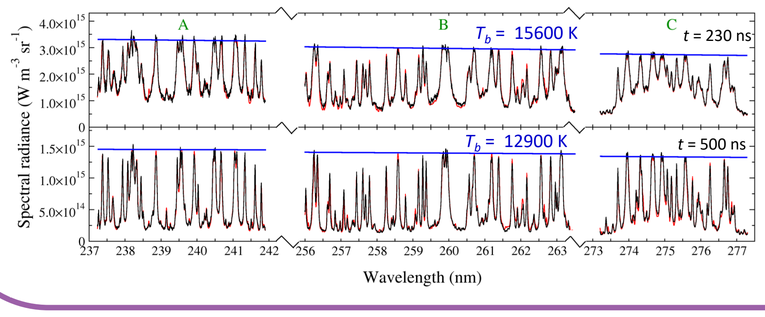
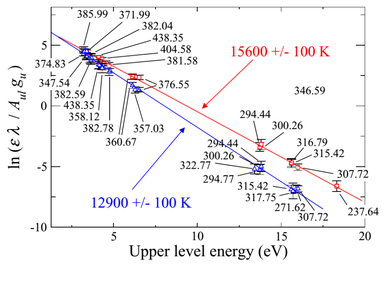
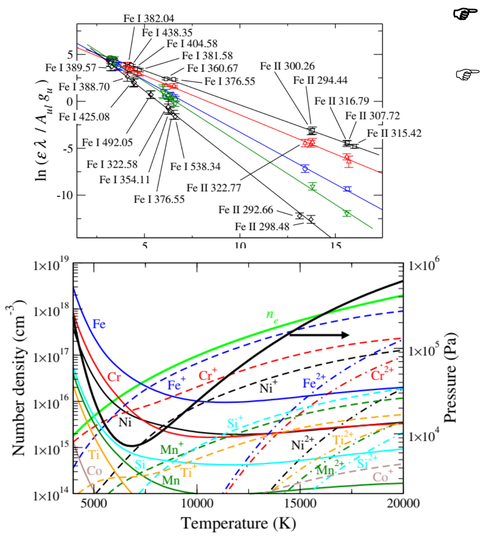


diagramme Saha-Boltzmann ⇨ mesure de T
(avec raies optiquement minces)

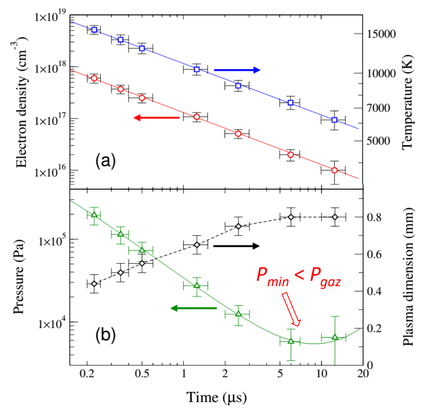


Evaluation de la pression



☞ mesures précises de T et n_e

☞ calcul ETL $P = \left(n_e + \sum_A \sum_{z=0}^{z_{max}} n_A^z\right)kT - \Delta P$



Conclusions

- Plasmas d'ablation laser atmosphériques ☞ état proche d'ETL
- Spectroscopie d'émission couplée à la modélisation
  - ☞ moyen efficace de diagnostic
- A pression réduite ☞ durée de vie réduite ☞ mesures FIL
- Défis ☞ chimie des plasmas (matériaux organiques)
  - ☞ diagnostic des plasmas induits par impulsions laser ultrabrèves (durée de vie réduite, état fortement hors équilibre)

- Y. B. Zel'dovich and Y. P. Raizer, Physics of Shock Waves and High Temperature Phenomena (Academic, New York, 1966)
- Sedov, Similarity and Dimensional Methods in Mechanics (Academic, London, 1959)
- Taleb et al., Anal. Chim. Acta. 1185, 339070 (2021)
- I. N. Mihailescu and J. Hermann, in Laser Processing of Materials, edited by P. Schaaf (Springer, Berlin, 2010), pp. 49–88
- Taleb et al., Spectrochim. Acta Part B 178, 106144 1–13 (2021)
- Touchet et al., Spectrochim. Acta Part B 168, 105868 1–7 (2020)
- Chen et al., Spectrochim. Acta Part B 150, 77–85 (2018)
- De Giacomo et Hermann, J. Phys. D: Appl. Phys. 50, 183002 1-17 (2017)
- Hermann et al., Phys. Rev. E 96, 053210 1-6 (2017)
- Burger et Hermann, Spectrochim. Acta Part B 122, 118-126 (2016)
- Hermann et al., Phys. Rev. E 92, 053103 1-15 (2015)