

Plasmas produits par filamentation laser dans l'air : dernières avancées et nouveaux challenges

Aurélien HOUARD¹

¹ *Laboratoire d'Optique Appliquée, ENSTA, Ecole Polytechnique, CNRS, IP Paris, Palaiseau*
mél: aurelien.houard@ensta.fr

Lorsqu'une impulsion laser ultrabrève de quelques gigawatts de puissance crête se propage dans l'air, elle va spontanément s'auto-focaliser pour former de longs canaux de lumière intense appelés filaments. Ce phénomène est lié à différents effets optiques non linéaires qui apparaissent en présence d'un champ laser intense. Les filaments laissent dans leur sillage un plasma faiblement ionisés (10^{16} - 10^{17} e⁻/cm³) dont les rayonnements secondaires et l'évolution hydrodynamique peuvent être mis à profit pour de nombreuses applications.

Ainsi, un filament court et intense peut générer un rayonnement cohérent et très large bande dans le domaine térahertz [1], utile pour de la spectroscopie THz. De même, les molécules d'azote ionisées ou excitées du plasma peuvent émettre et amplifier un rayonnement laser UV dans l'axe du filament [2] et leur fluorescence peut être utilisée pour mesurer des champs de vitesses dans des écoulements réactifs (technique FLEET) [3]. A plus grande échelle, les filaments permettent de déclencher et de guider des décharges électriques. Une récente expérience a ainsi démontré qu'ils pouvaient guider des décharges de foudre sur plus de 60 m [4].

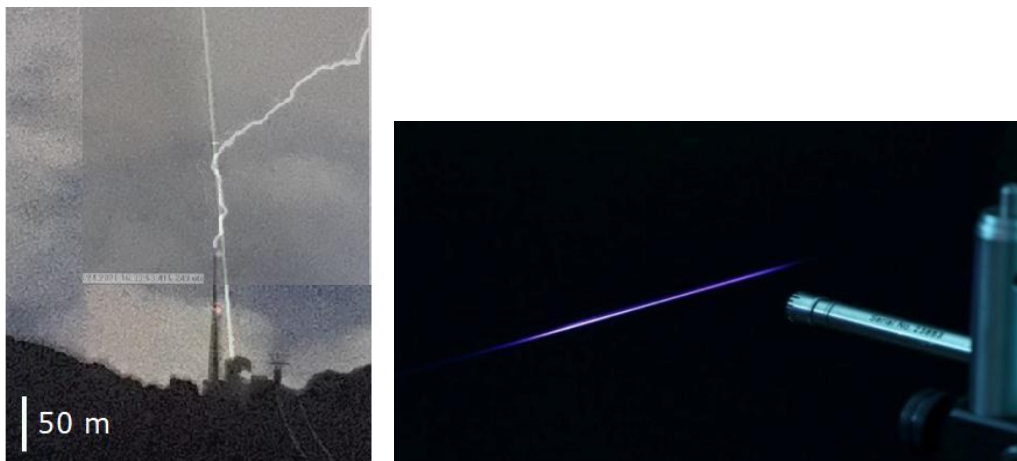


Figure 1 : A gauche : image d'une décharge de foudre guidée par laser [4]. A droite : photo d'un filament de 5 cm produit en focalisant dans l'air un laser de quelques GW avec une lentille $f = 1$ m.

L'atout de la filamentation femtoseconde réside dans sa capacité à concentrer naturellement l'énergie laser pour générer de minces canaux de plasma homogènes, même à des distances kilométriques [5]. Mais pour passer d'une preuve de concept en laboratoire à une application atmosphérique, le challenge consiste aujourd'hui à contrôler précisément les paramètres du plasma créé, notamment en organisant spatialement les filaments [6] ou en prolongeant la durée de vie du plasma.

Références

- [1] C. D'Amico, *et al.* Phys. Rev. Lett. **98**, 235002 (2007) ;
- [2] G. Point, *et al.* Opt. Lett. **39**, 1725 (2014)
- [3] L. Bernadot, *et al.* Laser Diagnostics in Energy and Reacting Flows, Jun 2025, Les Diablerets, Switzerland.
- [4] A. Houard, *et al.* Laser-guided lightning, Nature Photonics **17**, 231 (2023)
- [5] M. Durand, *et al.* Opt. Express **21**, 26836 (2013)
- [6] S Fu, *et al.* Phys. Rev. Lett. **134** (4), 045001 (2025) ; S Fu, *et al.* Opt. Lett. **49** (13), 3540-3543 (2024)

Permanent