

Journées du GDR EMILI, Saint-Etienne, 27-30 octobre 2025

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

**Aurélien HOUARD**

Laboratoire d'Optique Appliquée

[loa.ensta-paris.fr](http://loa.ensta-paris.fr)

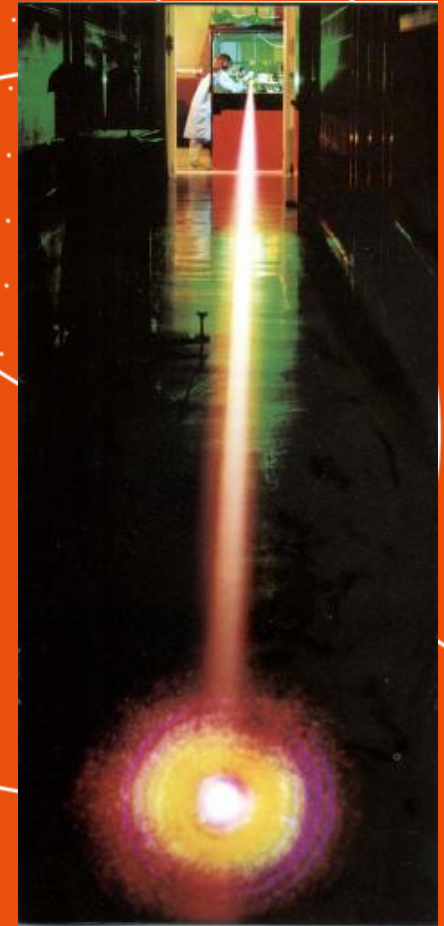


- 1. Filamentation laser dans l'air**
- 2. Le filament comme source de rayonnements**  
**Contrôle spatiotemporel des filaments**
- 3. Filaments de plasma pour le contrôle de la foudre**



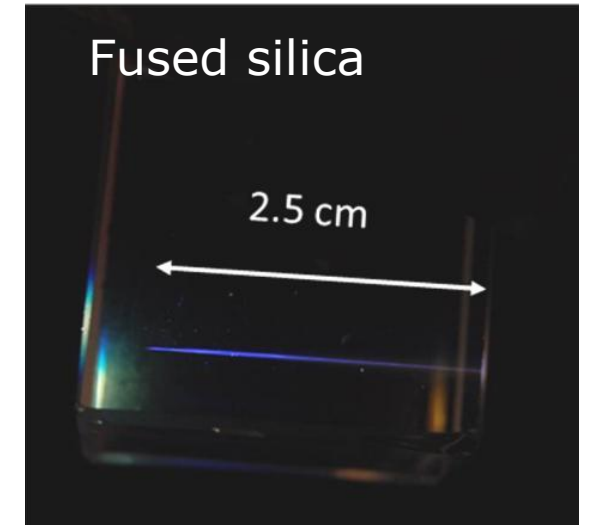
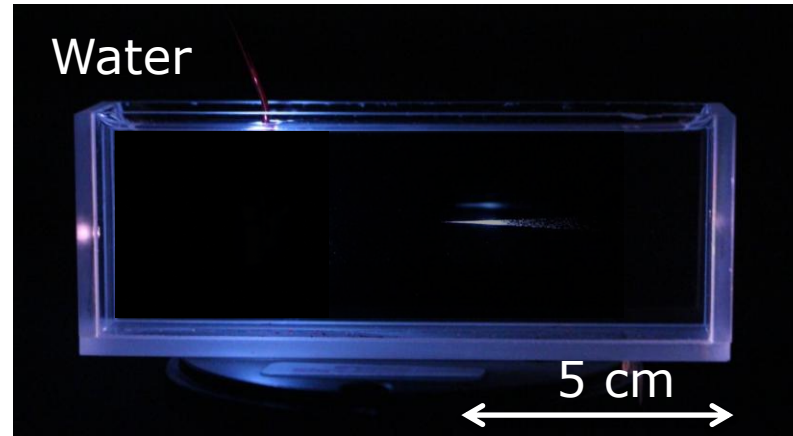
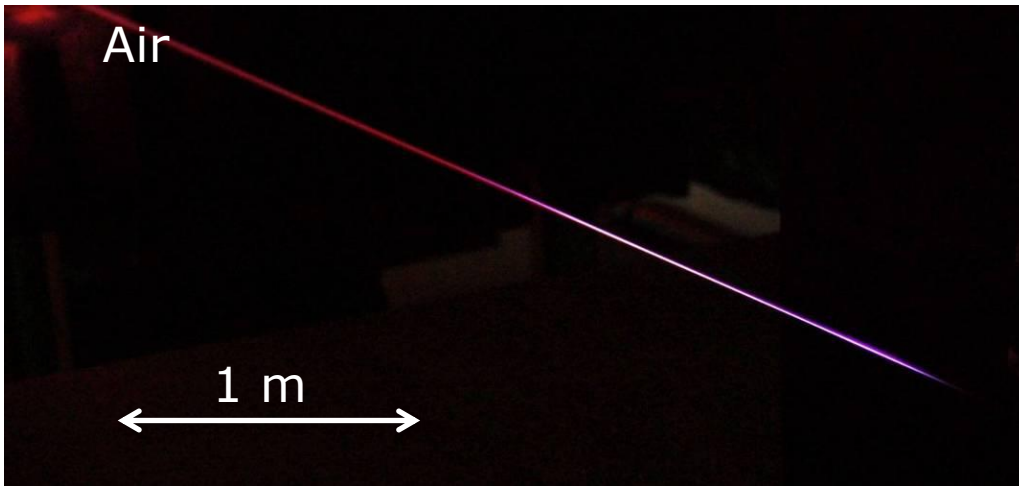
# Filamentation laser femtoseconde

A. Braun, G. Korn, X. Liu, D. Du, J. Squier, and G. Mourou, "Self-channeling of high-peak-power femtosecond laser pulses in air," Opt. Lett. **20**, 73-75 (1995)

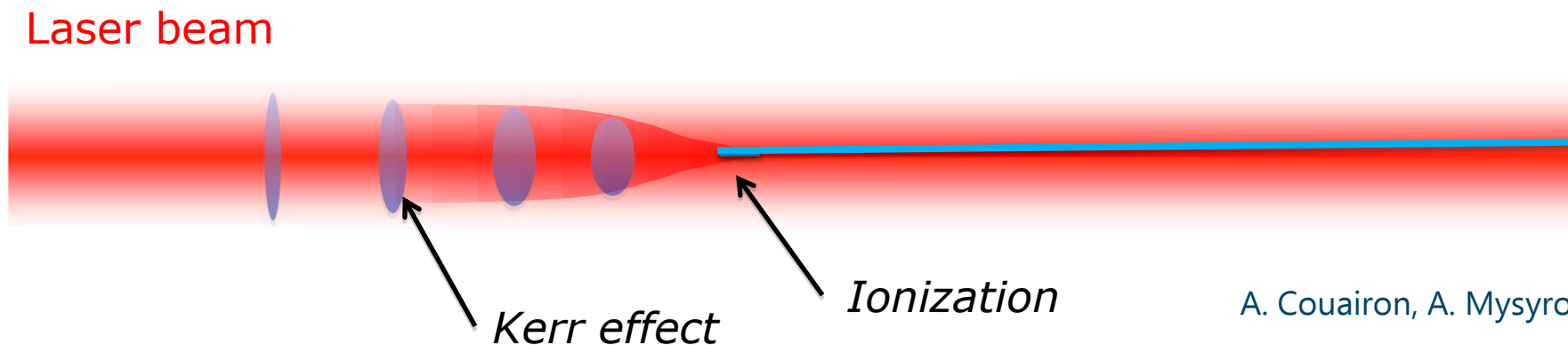


CUOS 1995

# Un phénomène universel dans les milieux transparents



**Filament fs** : canal de lumière intense ( $I > 10^{13} \text{ W/cm}^2$ ) formé par autofocalisation Kerr

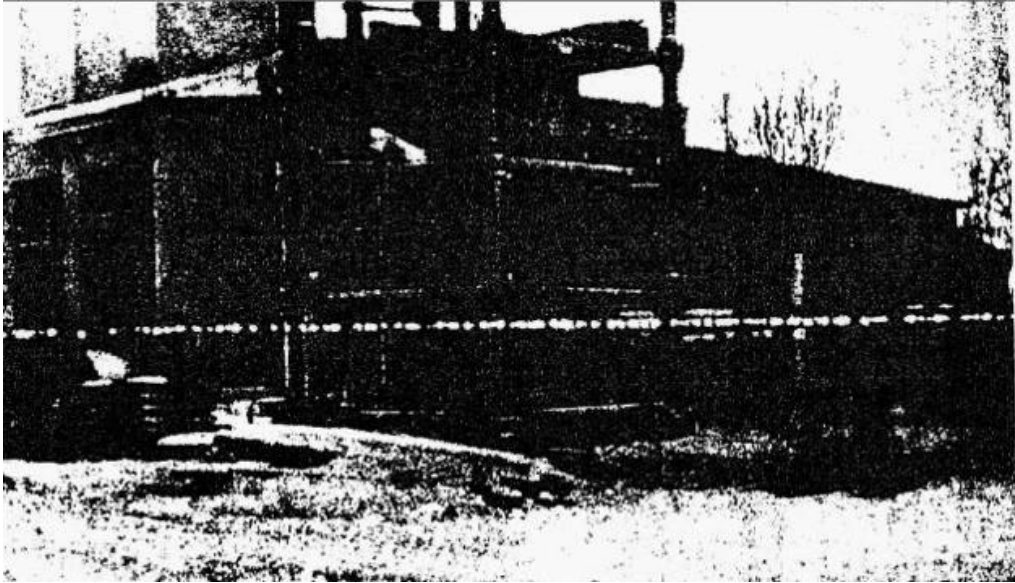


A. Couairon, A. Mysyrowicz, Phys. Rep. **441**, 47 (2007)

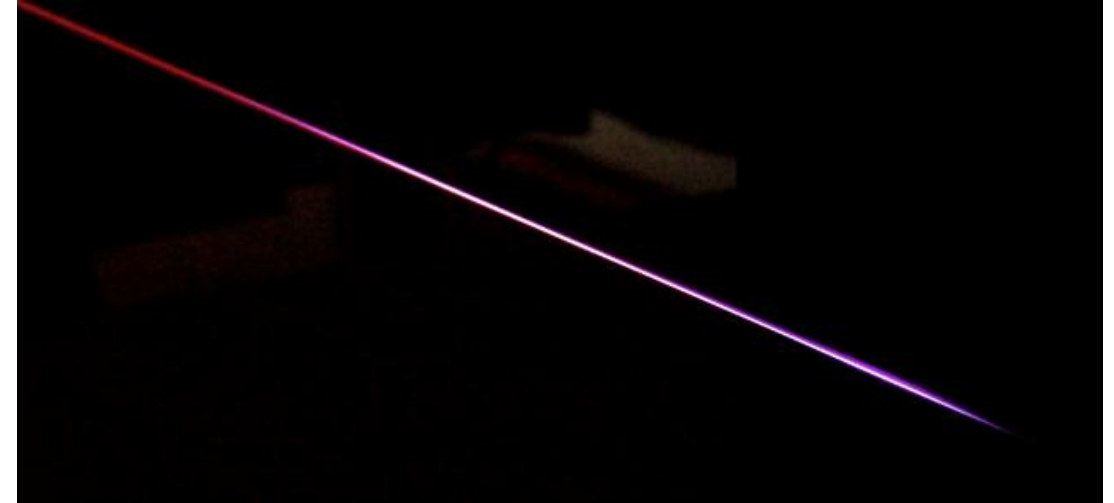


# Colonnes de plasma générées dans l'air par laser

## Des lasers à impulsions longues à la filamentation laser



160 J, 30 ns CO<sub>2</sub> laser (Parfenov et al. 1976)



10 mJ, 50 fs TiSa laser (LOA)

ns



10-100 J/m  
Impact ionization

fs



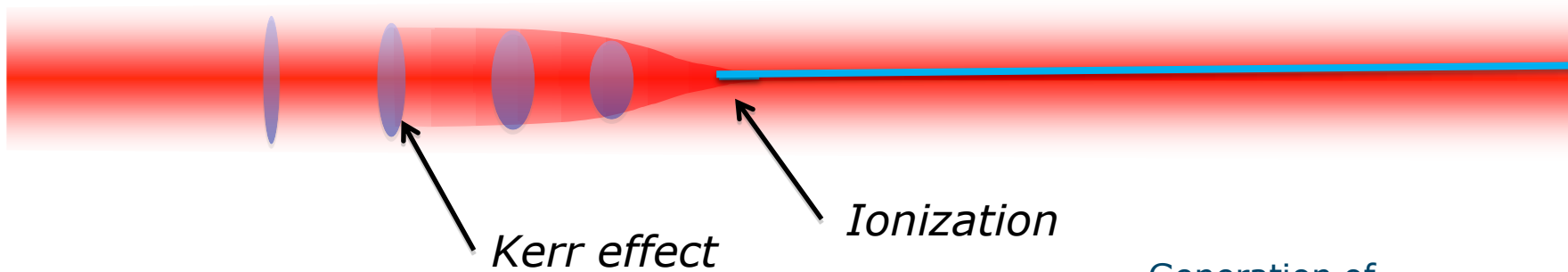
10-100 mJ/m  
Multiphoton ionization

→ Les laser femtoseconde permettent de former des canaux de plasma beaucoup plus longs avec moins d'énergie laser

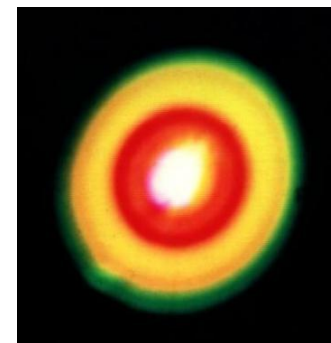
# Le filament en 3 étapes

## 1. Light channel (fs): intense light channel formed by Kerr self focusing ( $I > 10^{13} \text{ W/cm}^2$ )

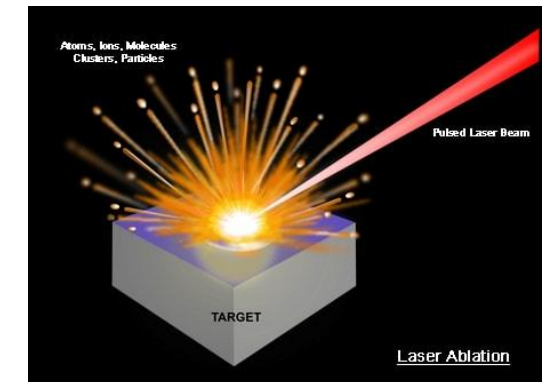
Colimated beam



Generation of **continuum** and conical emission



Laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)

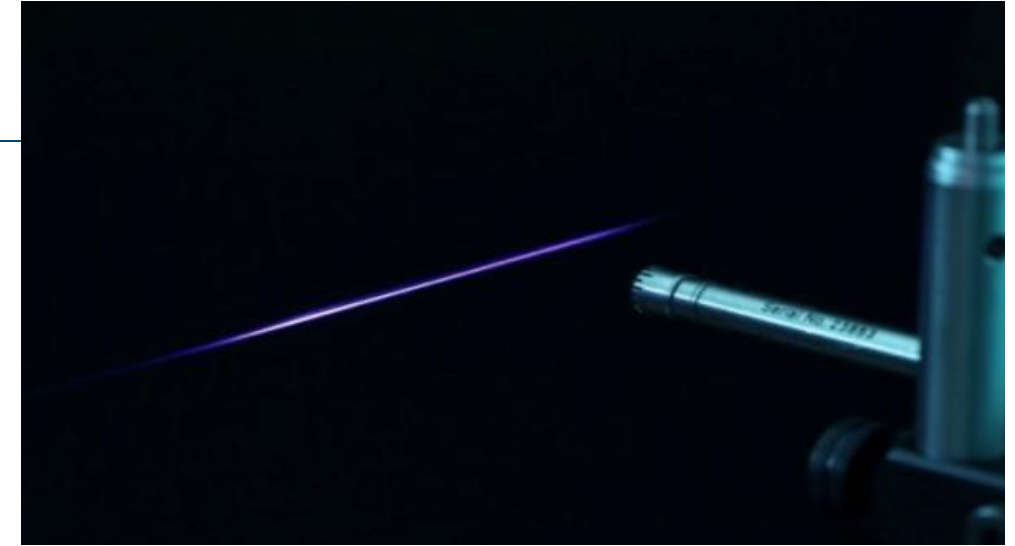


# Le filament en 3 étapes

## 1. Light channel (fs)

## 2. Plasma channel (ps-ns)

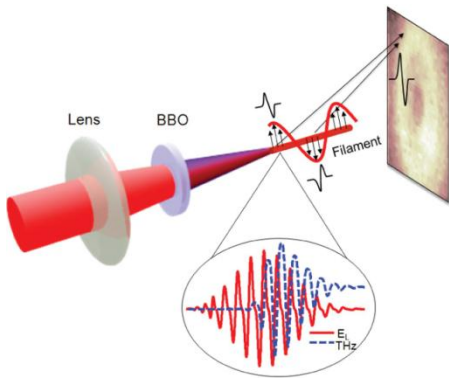
- formed in the wake of the pulse
- Short lifetime -> short length



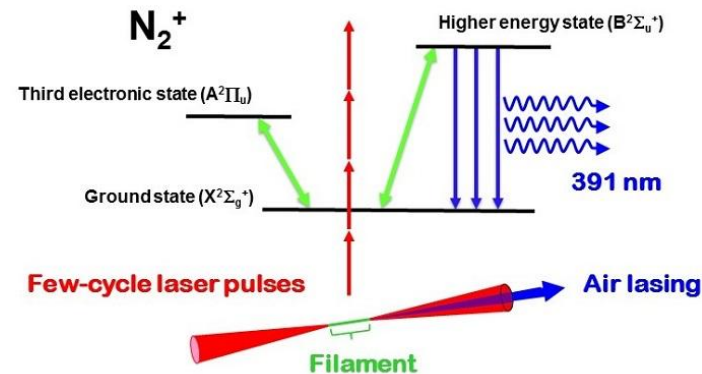
Electron density =  $10^{15}$ - $10^{16}$  e-/cm<sup>3</sup>,  $T_e = 1$  eV

Diameter = 100  $\mu$ m-1 mm

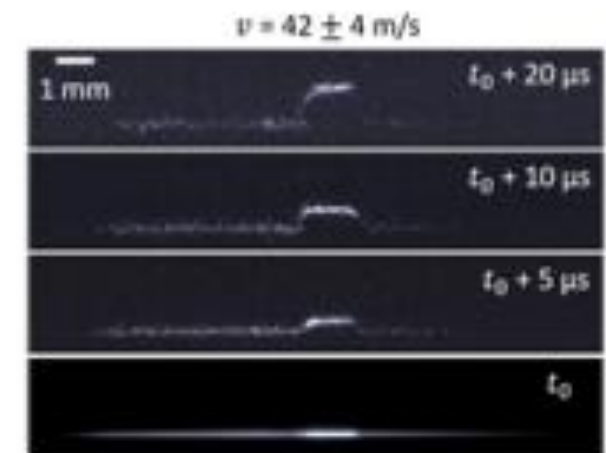
## THz generation



## Air lasing



## FLEET



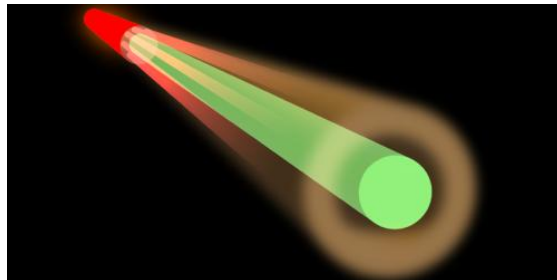
# Le filament en 3 étapes

1. *Light channel (fs)*
2. *Plasma channel (nanosecond)*
3. **Hot gas channel ( $\mu\text{s}$ -ms)**
  - **Ionization energy is converted into thermal energy**

Cloud clearing



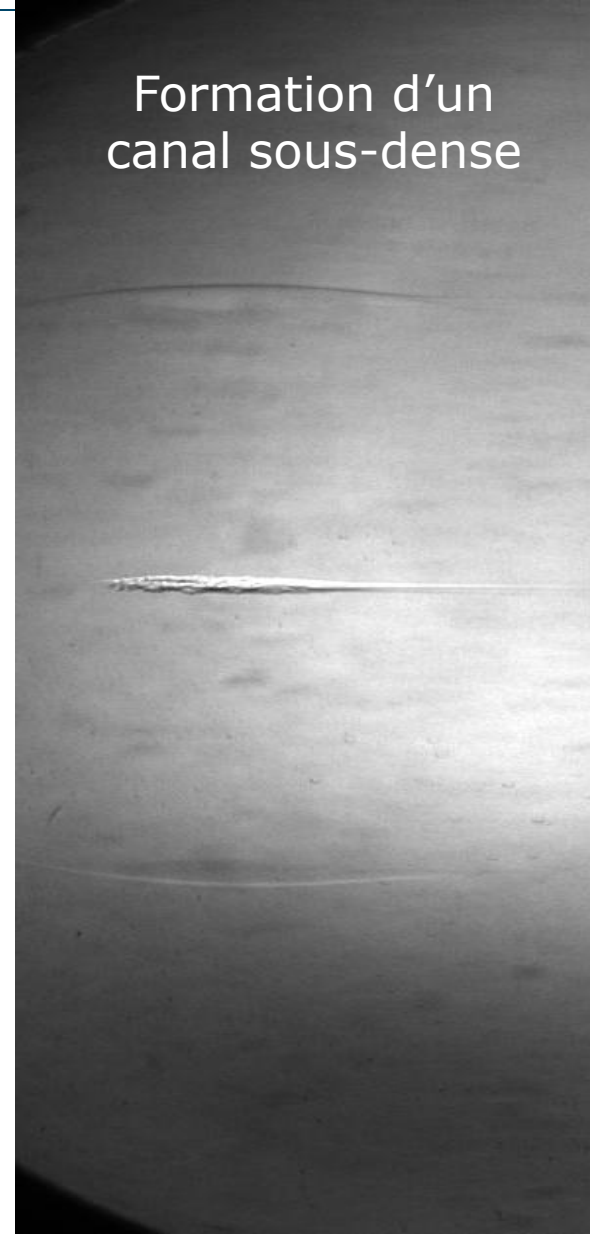
Optical air waveguide



Guiding of discharges



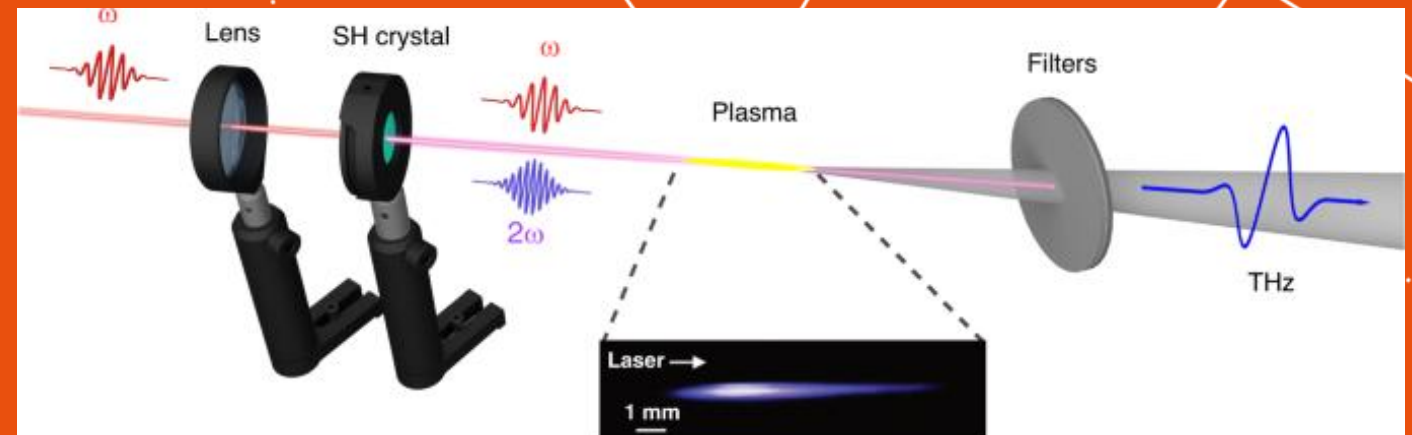
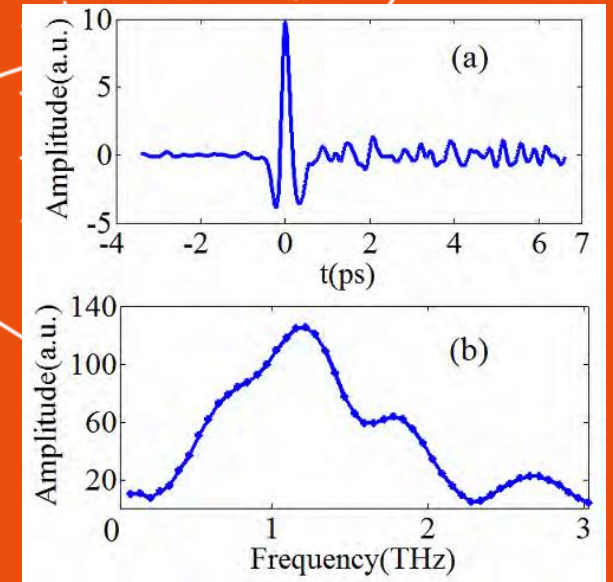
Formation d'un canal sous-dense



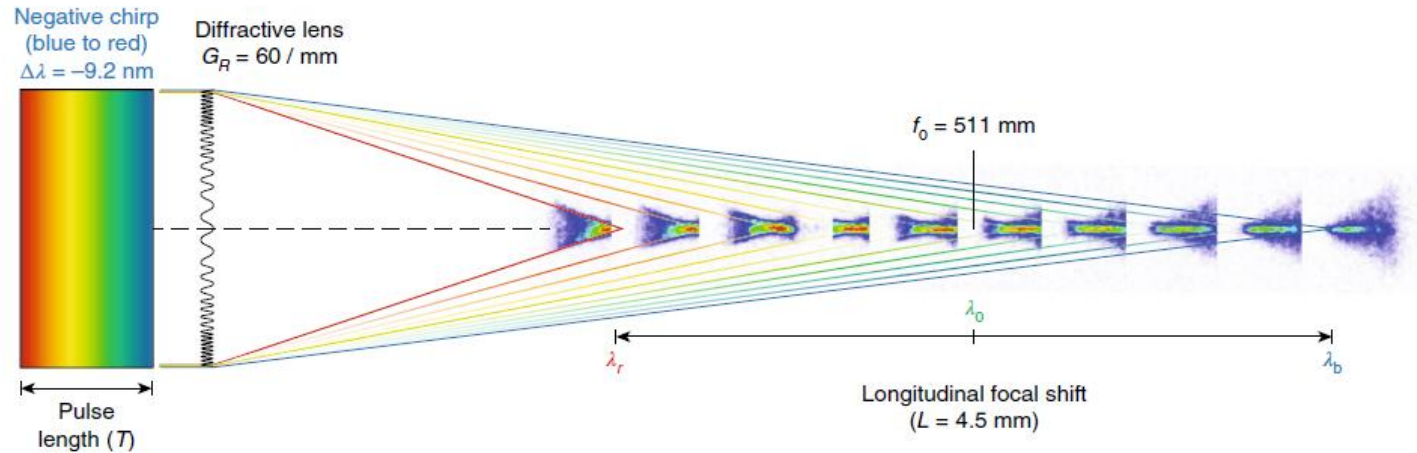


# Le filament comme source de rayonnement THz

Emission conique vers l'avant liée à la forme de la source plasma

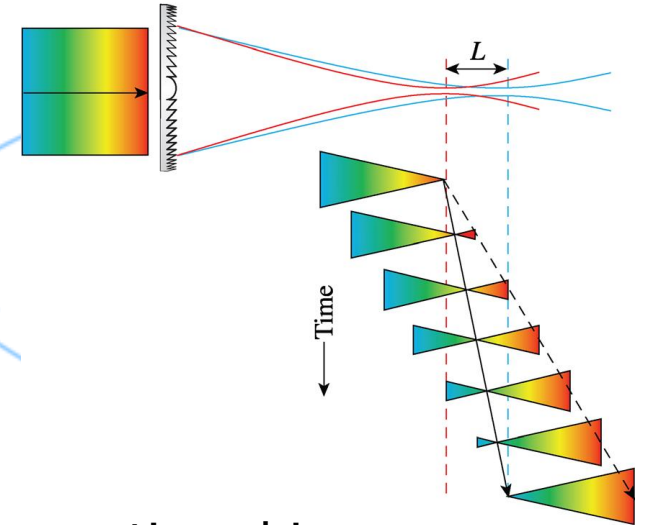


# Technique du flying focus

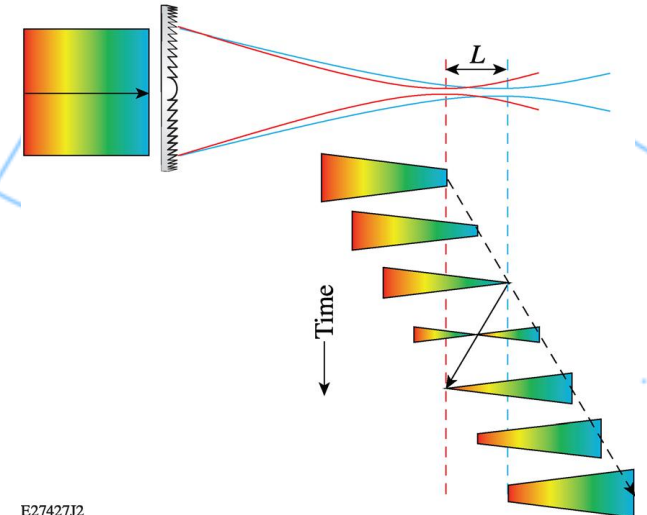


- ❖ The **different wavelengths** are focused at **different positions** by the diffractive lens.
- ❖ By changing **the chirp of the pulse** one can control the sign of the velocity of the ionization front

Positive chirp →

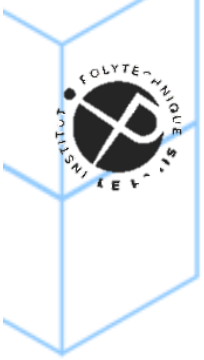


negative chirp ←

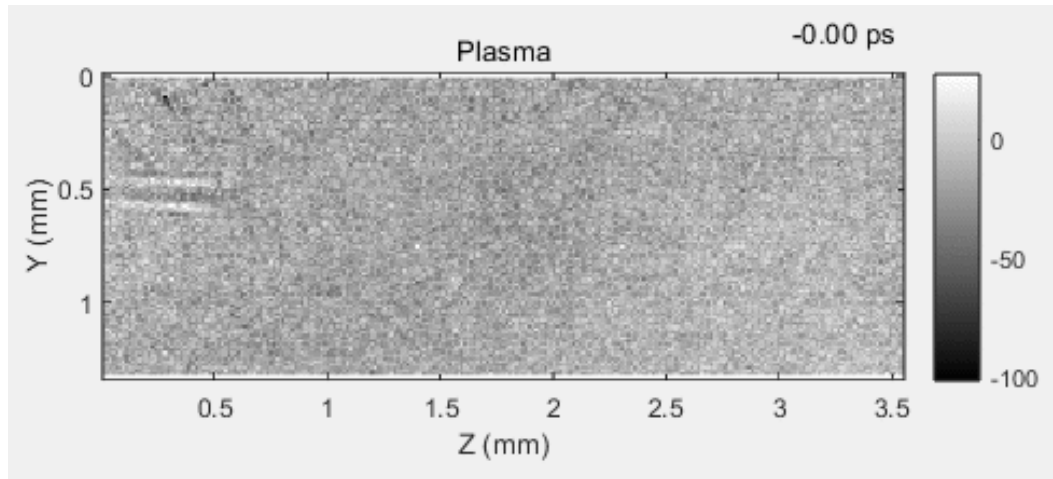


E27427J2

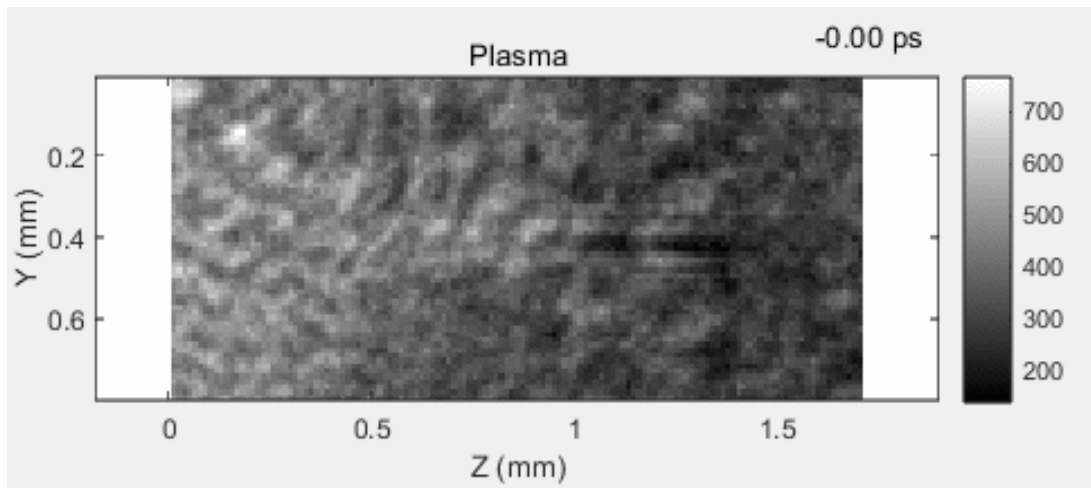
A. Sainte-Marie, *et al.*, *Optica* **4**, 1298 (2017).  
D.H. Froula, *et al.*, *Nat. Photonics*. **12**, 262–265 (2018).



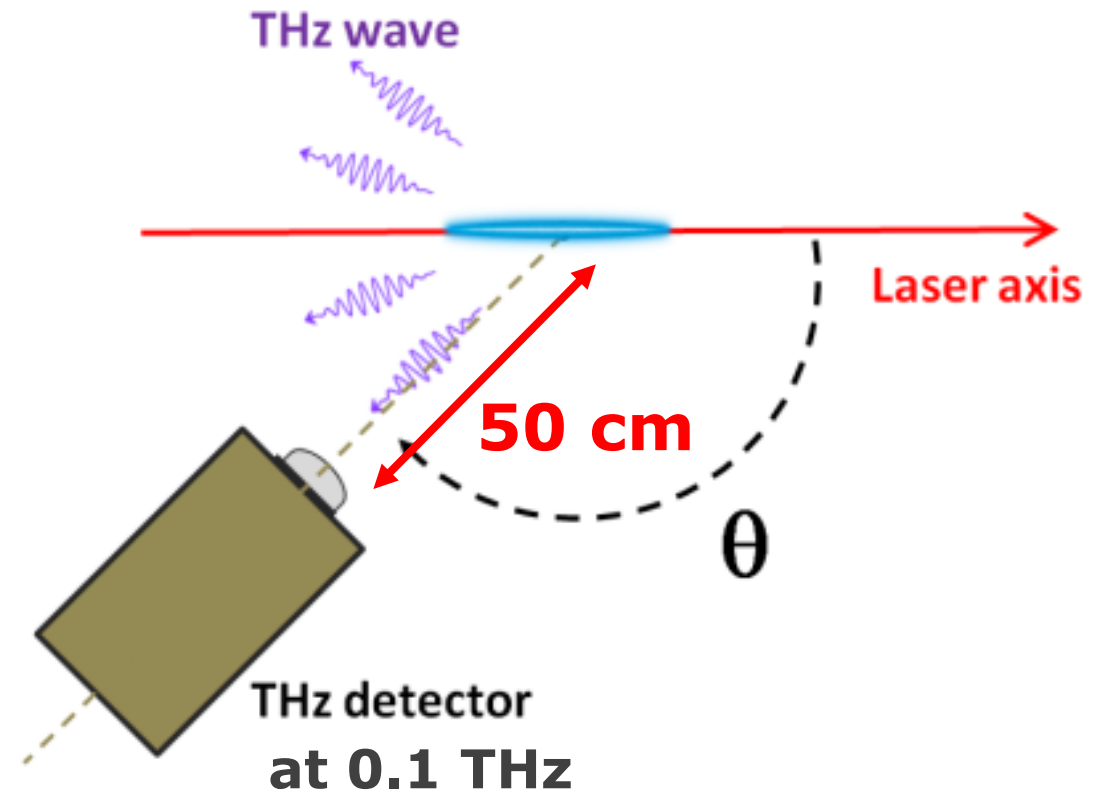
# Vitesse du front d'ionisation

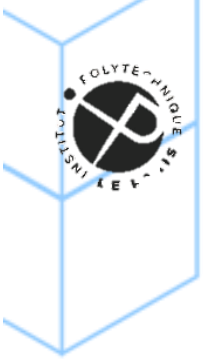


Laser direction

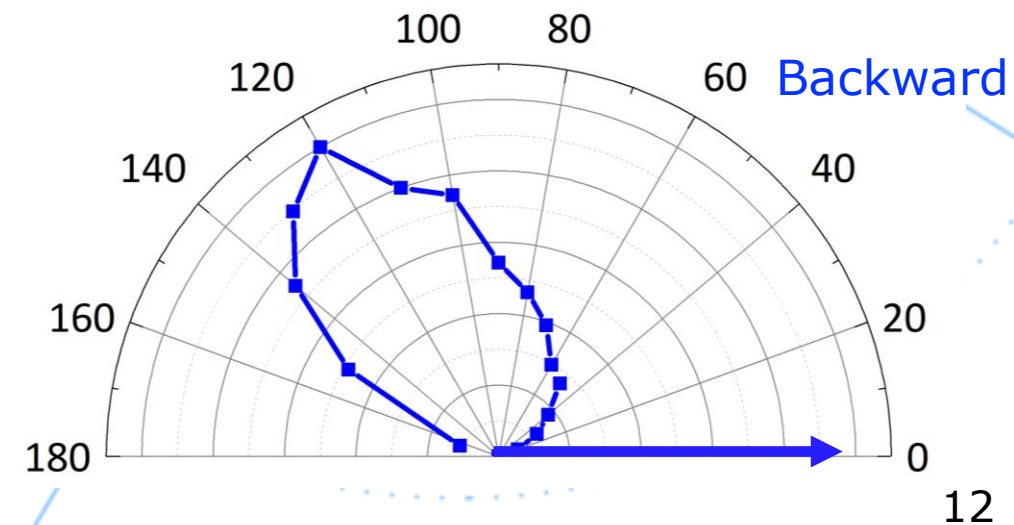
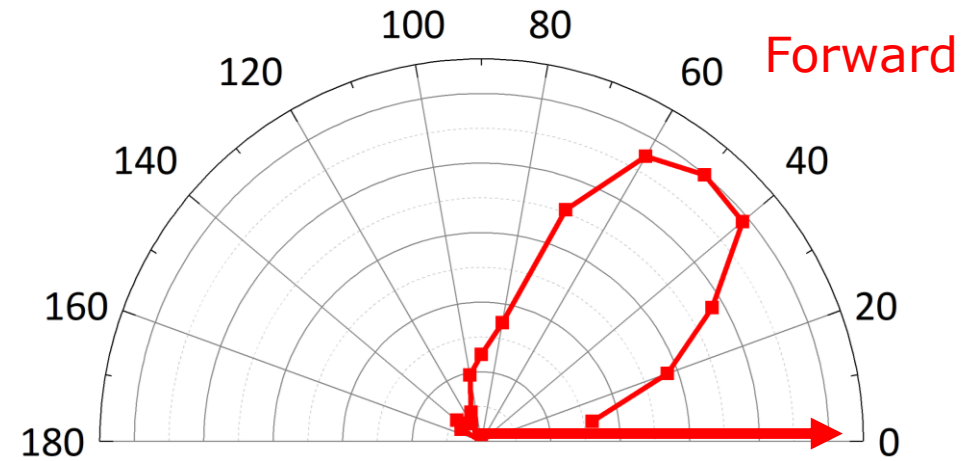
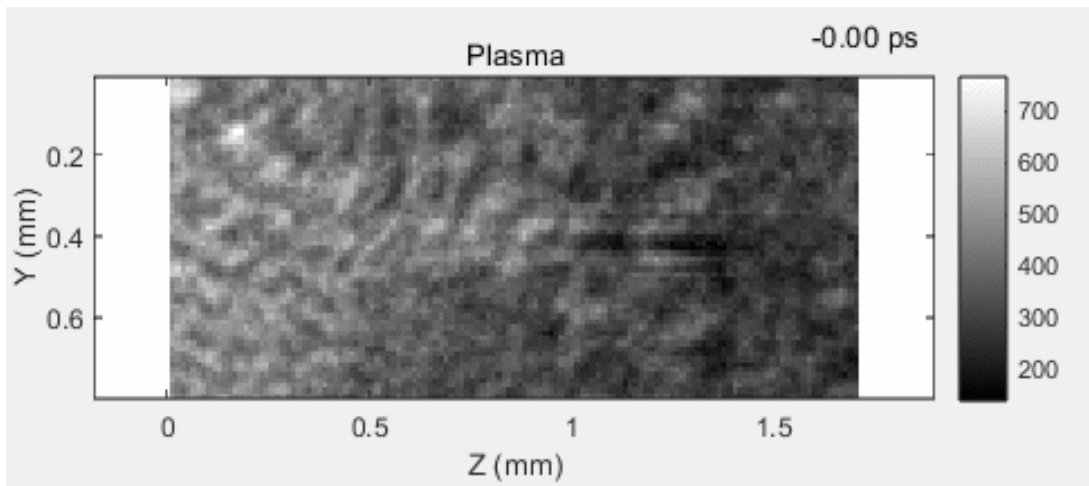
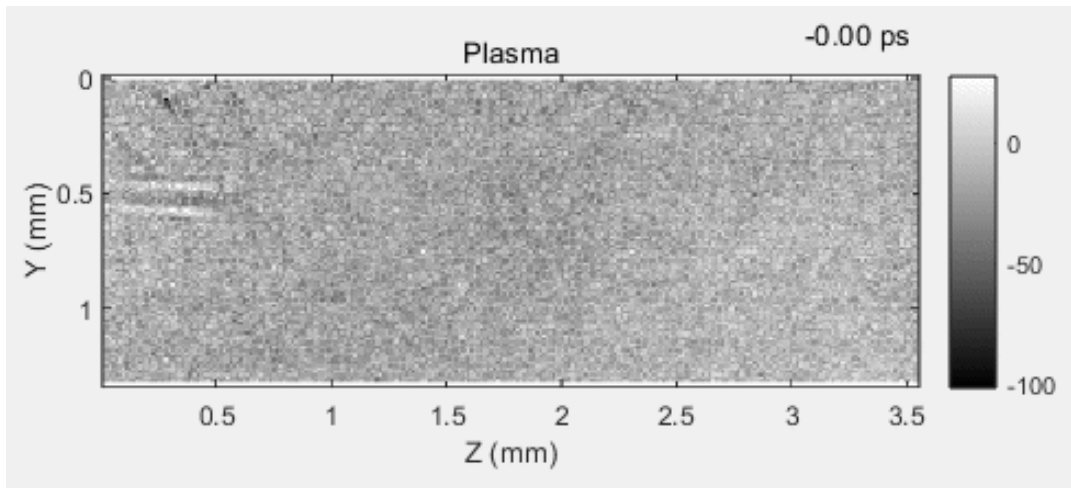


## Set-up for THz measurement





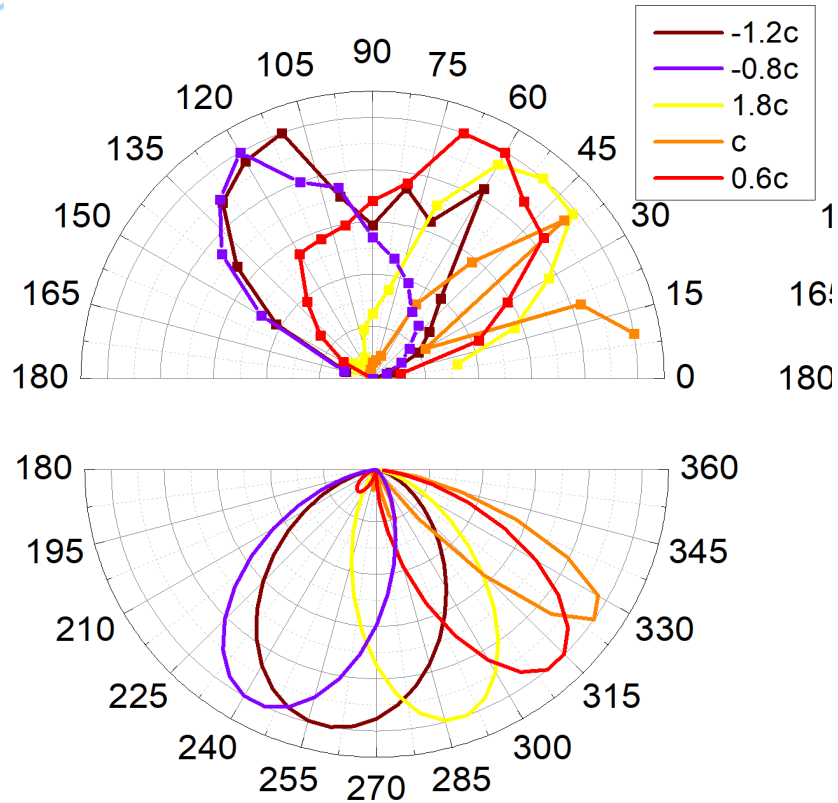
# THz angular emission





# Conclusion et perspectives

## Mesure



## Théorie

- Le flying focus permet de contrôler la direction d'émission du rayonnement THz d'un filament
- Avec une vitesse super luminale on retrouve des propriétés similaires à un **rayonnement Cherenkov**

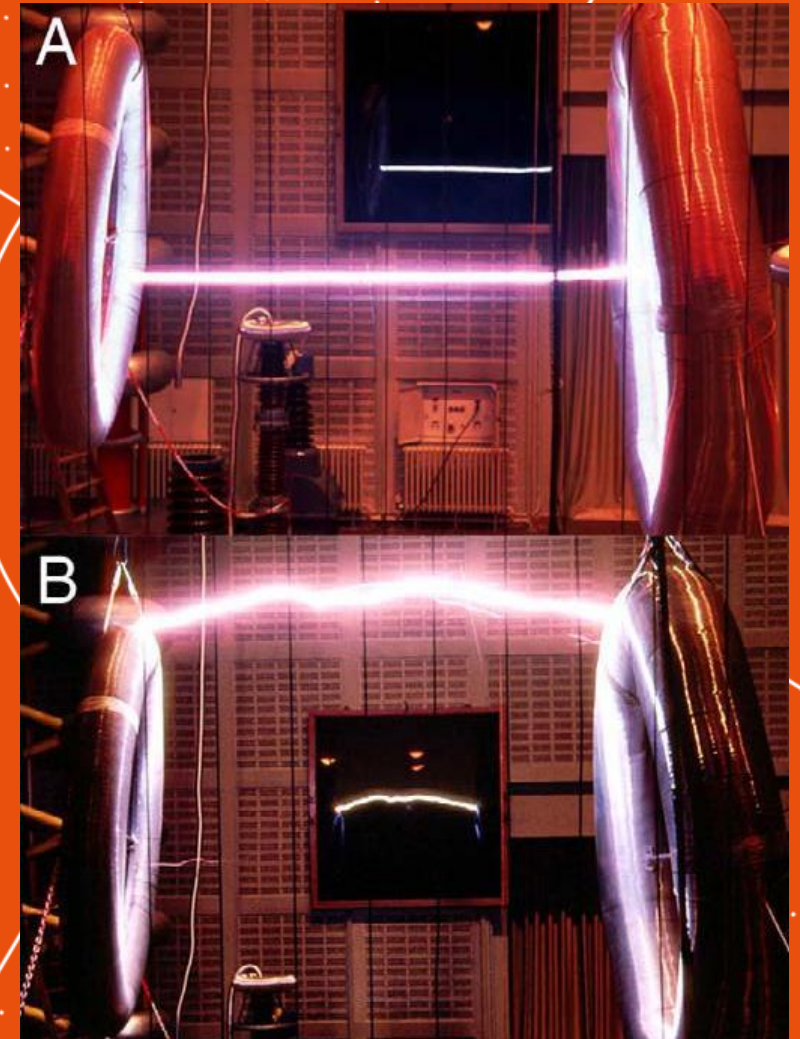
## Perspectives

- Augmenter le rayonnement THz avec une impulsion à 2 couleurs (800 + 400 nm)
- Utiliser le flying focus pour contrôler le lasing UV

# Le filament laser pour contrôler les décharges

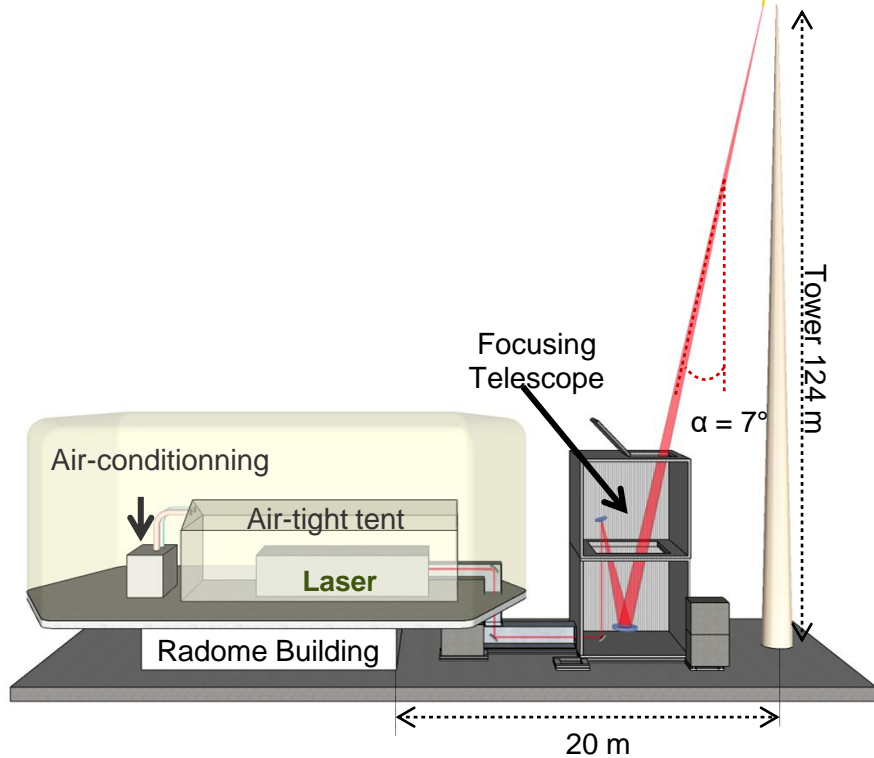
Le filament créé un chemin préférentiel pour une décharge  
- effet retardé lié au chauffage

Teramobile group



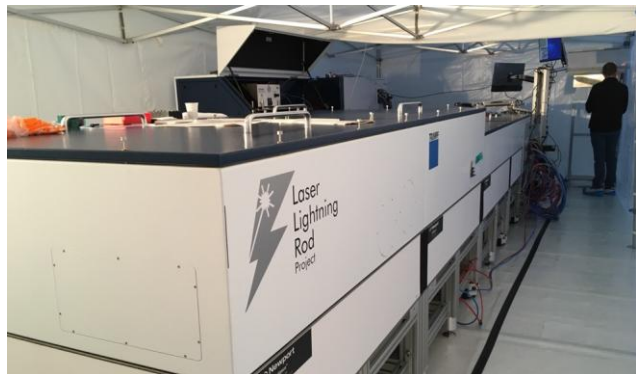


# Le projet Laser Lightning Rod (FET-OPEN)



## Station météo du Mont Säntis (Switzerland)

- Altitude 2 500 m
- Instrumentée pour la détection de la foudre
- 100 impacts de foudre par an
- 97% des événements sont des leaders ascendants



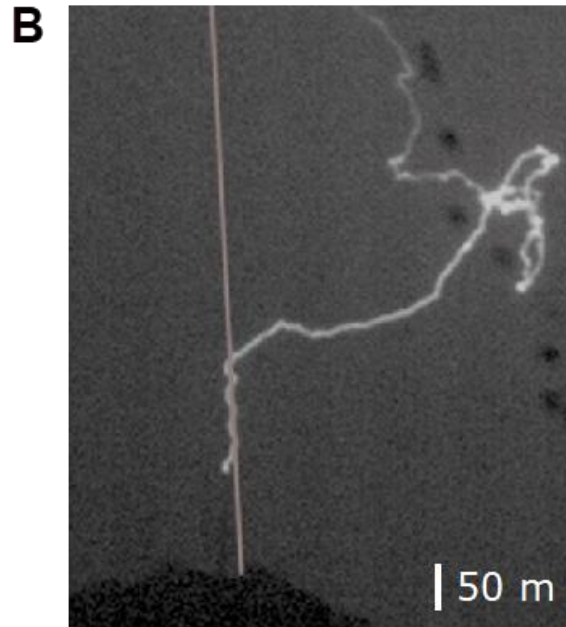
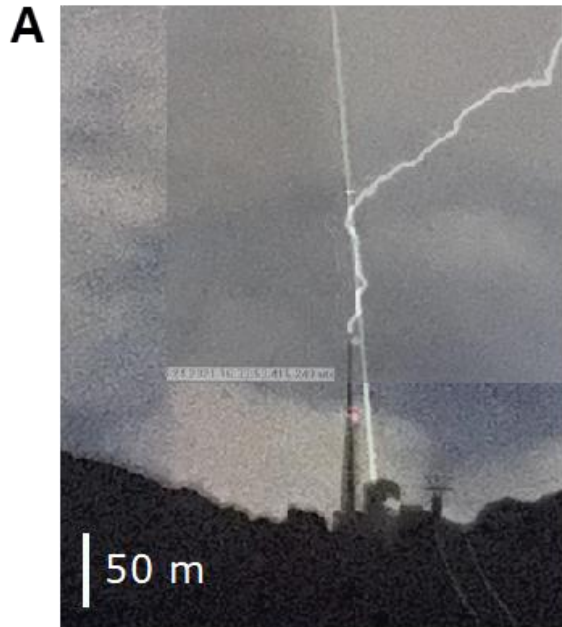
Laser Yb:YAG  
1 J, 1 ps,  
1 kHz

# Laser guided lightning and the Laser lightning Rod

Mesure par **interférométrie VHF** de la propagation des traceurs de foudre avec et sans laser (Langmuir Laboratory, Mexico Tech University)

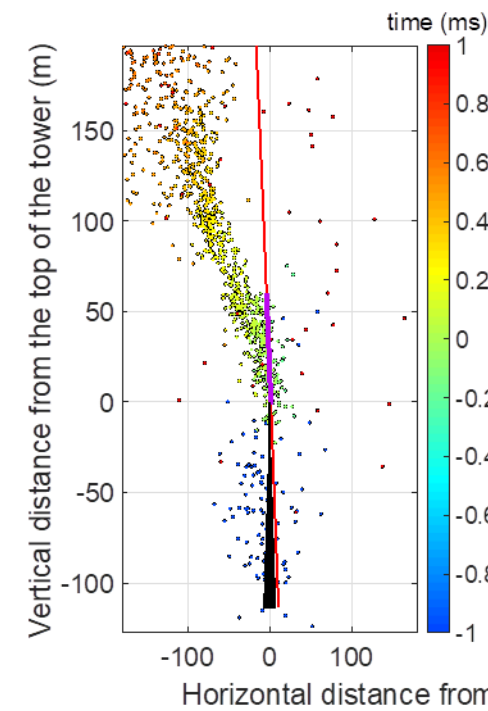
Image depuis Schwaegalp

Image depuis le mont Kronberg

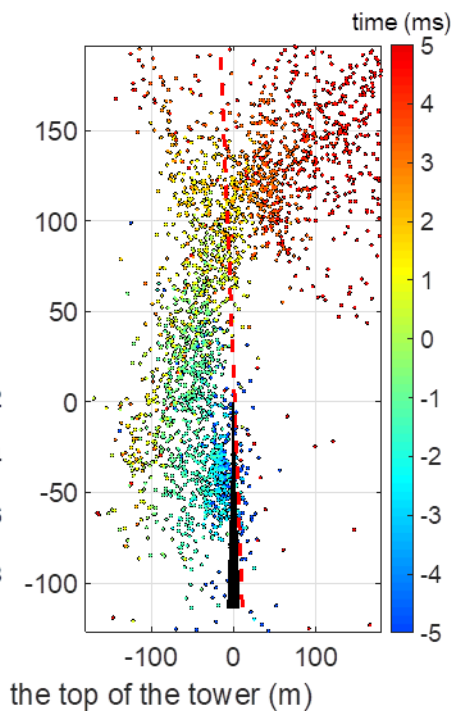


Événement du 24 Juillet 2021

**With the laser on (L1)**



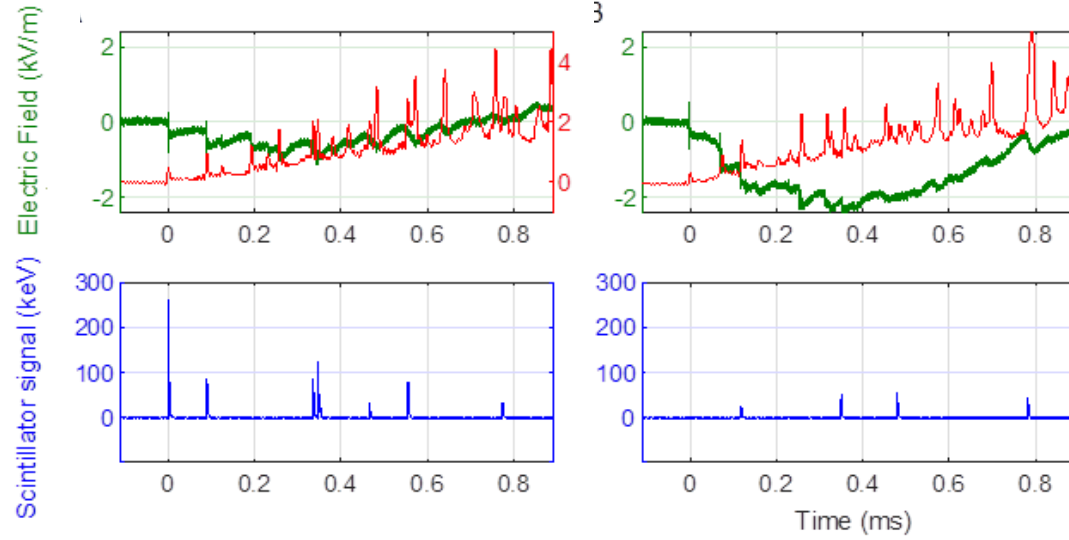
**Without laser (N6)**



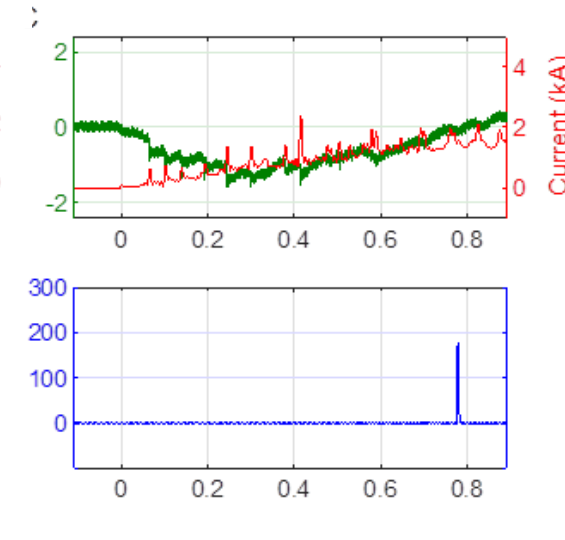


# Emission de rayons X par les éclairs

Avec le filament laser



Sans laser



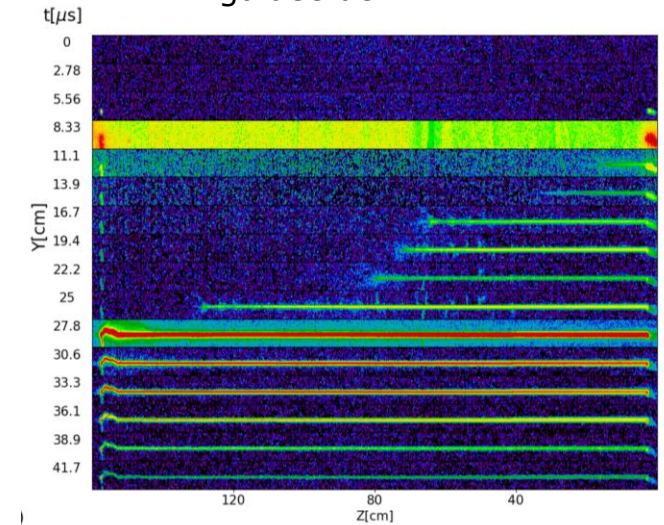
- Nombre moyen de bursts de rayons X détecté par événement :
  - Laser OFF: 1 par événement
  - Laser ON: **4.3** par événement
- Quel est l'effet du guidage sur l'émission de rayons X ?

- Comprendre **l'interaction filament-décharge et le guidage de streamers : effet du plasma ?**
  - Simulations
  - Tests en laboratoire

Comment déclencher la foudre avec un filament ?

- Générer une colonne de plasma de **longue durée de vie capable d'initier des leaders**
- Chauffage externe (laser ns,  $\mu$ ondes, multipulses..)

Developement d'une décharge guidée de 1 m



Lightning triggered by a rocket trailing a conducting wire (USA)

## Permanents

Aurélien HOUARD  
Thomas CLARK  
Magali Lozano  
Fatima Alahyane

## Postdoc et doctorants

Quentin Gutierrez  
Nicolas Cantonnet-Paloque  
Léa Bernardot

## Emérites

André Mysyrowicz  
Yves-Bernard André  
Leonid Arantchouk



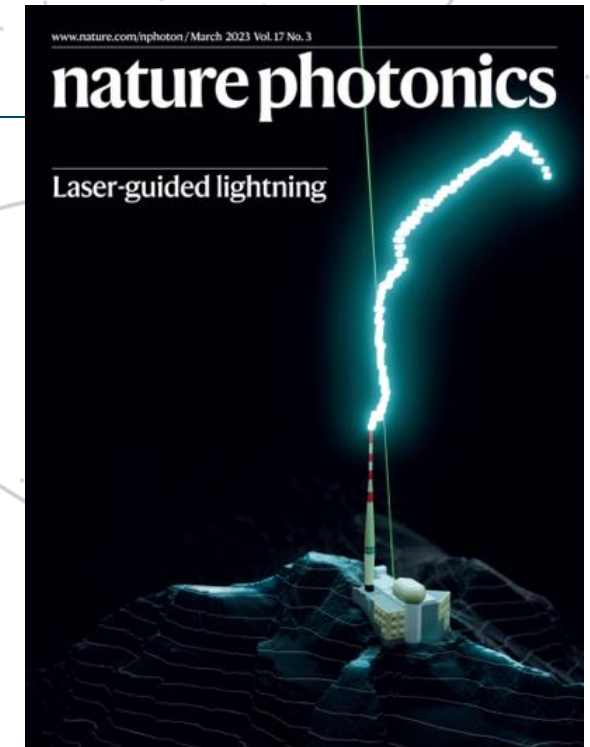
The Filamentation group at LOA (June 2024)



**Thomas CLARK**  
Ing. Recherche X



**Quentin GUTIERREZ**  
Postdoctorant







# 10<sup>th</sup> International Conference on Laser filamentation COFIL 2026

**20-23 July 2026**

Laboratoire d'Optique Appliquée,  
Institut Polytechnique of Paris  
Palaiseau (FRANCE)

**ENSTA, Palaiseau**



LOA, 1995

## **Chairs:**

André MYSYROWICZ  
Aurélien HOUARD

*Website available soon*



**Merci de votre attention**