



**HAL**  
open science

## Champ électrique et onde d'ionisation dans un jet plasma atmosphérique pulsé : comparaison de diagnostics

Sylvain Iséni, X Damany, G Sretenović, V Kovačević, I Krstić, François Pechereau, S Dozias, J.-M Pouvesle, Anne Bourdon, M Kuraica, et al.

► **To cite this version:**

Sylvain Iséni, X Damany, G Sretenović, V Kovačević, I Krstić, et al.. Champ électrique et onde d'ionisation dans un jet plasma atmosphérique pulsé : comparaison de diagnostics. Journées du Réseau Plasmas Froids du CNRS, Oct 2016, La Rochelle, France. 2016. hal-01670327

**HAL Id: hal-01670327**

**<https://hal.science/hal-01670327v1>**

Submitted on 9 Jan 2018

**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.

# Champ électrique et onde d'ionisation dans un jet plasma atmosphérique pulsé : comparaison de diagnostics

S. Iséni<sup>1</sup>, X. Damany<sup>1</sup>, G. Sretenović<sup>2</sup>, V. Kovačević<sup>2</sup>, I. Krstić<sup>2</sup>, F. Pechereau<sup>3</sup>, S. Dozias<sup>1</sup>, J.-M. Pouvesle<sup>1</sup>, A. Bourdon<sup>3</sup>, M. Kuraica<sup>2</sup> and E. Robert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GREMI – UMR 7344, CNRS/Université d'Orléans, FRANCE

<sup>2</sup>Laboratory of Physics and Technology of Plasma – University of Belgrade, SERBIA

<sup>3</sup>LPP – UMR 7648, École Polytechnique, FRANCE

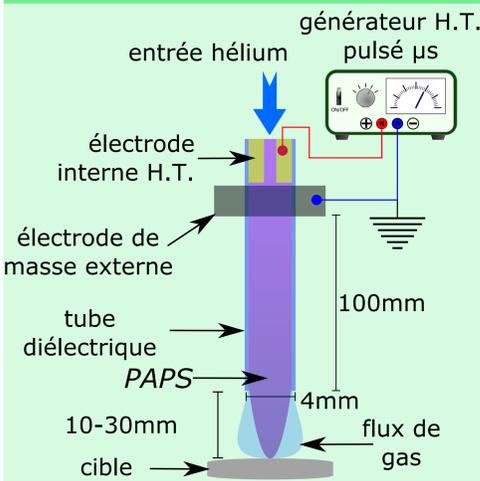


## Introduction et défis

Avec l'avènement de la thématique *plasma médecine*, de nombreux travaux se sont concentrés sur la production d'espèces réactives. Il n'en demeure pas moins que la caractérisation de champs électriques est une étape importante et souvent nécessaire dans la compréhension des mécanismes plasmas [1]. Sur cette affiche sont présentés les résultats de mesures du champ électrique généré par un jet plasma à la pression atmosphérique. Pour cela, deux méthodes sont utilisées :

- ▶ La première consiste en une sonde électro-optique sensible à l'effet Pockels et permettant de mesurer simultanément deux composantes orthogonales du champ électrique [1].
- ▶ La seconde méthode fait appel à la spectroscopie d'émission afin d'observer la dépendance de polarisation de l'effet Stark de raies d'hélium [2]. Les deux méthodes sont à la fois complémentaires et comparées en fonction des conditions d'application du jet. Les résultats obtenus sont confrontés à des valeurs extraites de simulations numériques pour aider à l'analyse.

## Plasma source : Plasma Gun (PG)



Conditions de fonctionnement :

- ▶ Générateur au kHz  $\mu s$  H.T.,
  - ▷ 8 kV à 20 kV
  - ▷ 1 kHz à 4 kHz
- ▶ Capillaire en verre ou en quartz (100 mm de long),
- ▶ Électrode interne creuse H.T.,
- ▶ Électrode externe à la masse,
- ▶ Polarité : positive ou négative,
- ▶ Gaz principal : helium / neon / argon
  - ▷ 50 sccm to  $5 \times 10^3$  sccm

## Diagnostic du champ électrique au GREMI – sonde électro-optique

- ▶ Capteur électro-optique
  - ▷ Effet Pockels
  - ▷ Cristal BSO
    - ▷  $\varnothing_{\text{cristal}} = 1.8$  mm, longueur = 1.0 mm
    - ▷  $\varnothing_{\text{sonde}} = 4.0$  mm – oxyde d'aluminium
- ▶ Champ électrique transitoire
  - ▷ 50 kHz à 1 GHz
  - ▷  $10 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$  à  $100 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$
- ▶ 2 composantes orthogonales simultanées
  - ▷  $\|\vec{E}\| = \sqrt{|\vec{E}_x|^2 + |\vec{E}_r|^2}$
- ▶ Calibration absolue du champ électrique



Unité d'analyse, eoSense™.



Sonde électro-optique.

## Diagnostic de champ électrique à LPTP – effet Stark $\pi$ -polarisé

- ▶ Spectroscopie d'émission optique – méthode non-intrusive
- ▶ Stark  $\pi$ -polarisé  $\Rightarrow$  partage et dérive de la transition autorisée et He I (492.19 nm) de sa contrepartie dépendant de la polarisation
- ▶ Résolue en temps et dans l'espace
- ▶ Champ électrique dans une direction
- ▶ Valeur absolue ( $\approx 4 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ ).

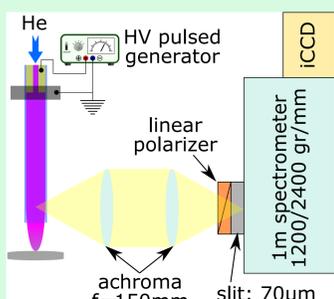
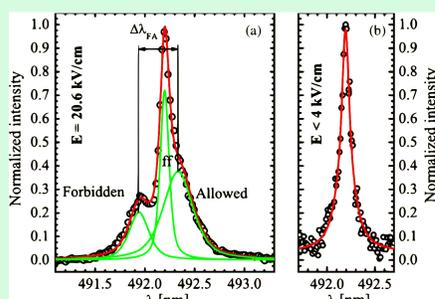


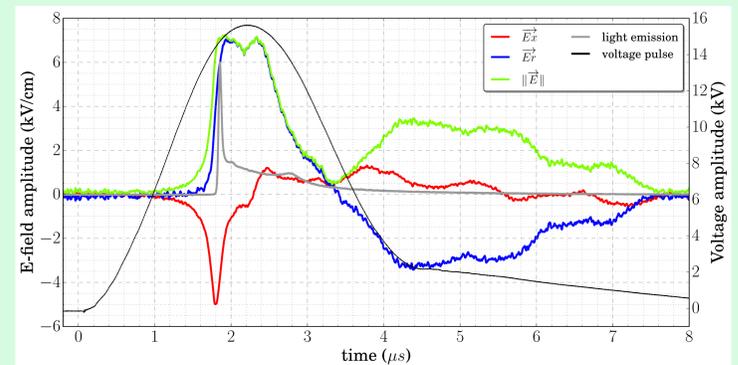
Schéma de l'expérience.



Spectre typique  $\pi$ -polarisé de la raie He I (492.19 nm) dans un jet plasma [2].

## L'évidence de l'onde d'ionisation

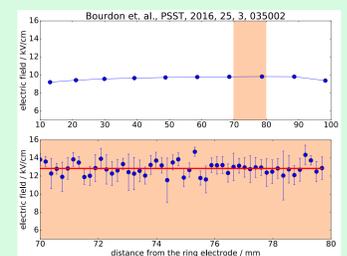
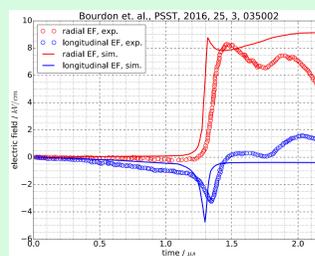
Les ondes d'ionisation permettent la propagation de jets plasmas à la pression atmosphérique. A des fréquences de quelques kHz, ces jets ont aussi été appelés improprement "balle plasma" – *plasma bullet*. Cette description phénoménologique fait référence à l'émission intense de lumière dans le front d'ionisation. Le graphe suivant présente l'évolution du vecteur champ électrique dans les premiers instants de la décharge, i.e le front d'ionisation [1].



Évolutions temporelles de la tension appliquée, de l'onde d'ionisation et de la lumière associée.

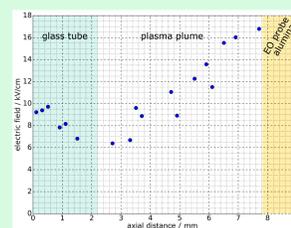
- ▶ Apparition du front d'ionisation sur la composante  $\vec{E}_x$  environ 500 ns avant l'émission de lumière,
- ▶ La composante radiale  $\vec{E}_r$  reste maintenue pendant plusieurs  $\mu s$ ,
- ▶  $\|\vec{E}\|$  est de l'ordre de  $10 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$  à  $20 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$  [2].

## Comparaison avec des résultats de simulation numérique

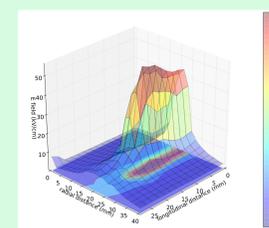


Évolutions temporelles de  $\vec{E}_x$  et  $\vec{E}_r$ ,  $\vec{E}_x$  calculé et mesuré par la méthode Stark  $\pi$ -polarisé.

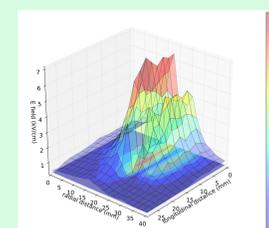
## Tentative de mesure de champ électrique dans la plume plasma



Valeurs de  $\|\vec{E}\|$  obtenues par Stark  $\pi$ -polarisé.



Cartographie de  $\|\vec{E}\|$  avec la sonde électro-optique.



Cartographie du champ radial,  $\vec{E}_r$ , avec la sonde électro-optique.

- ▶ Comment corréler ces valeurs de champ électrique ?

## Remarques générales

- ▶ Deux méthodes de caractérisation de champs électriques transitoires ont été utilisées de manière complémentaire et comparative,
- ▶ Ces méthodes peuvent-elles être comparées rigoureusement ?
- ▶ Peut-on combiner/approfondir l'exploitation de ces méthodes pour l'étude de procédés plasmas ?

## Bibliographie

- [1] Robert, E., Darny, T., Dozias, S., Iséni, S., and Pouvesle, J. M. *Physics of Plasmas* 22(12), 122007 dec (2015).
- [2] Sretenović, G. B., Krstić, I. B., Kovačević, V. V., Obradović, B. M., and Kuraica, M. M. *Journal of Physics D : Applied Physics* 47(10), 102001 (2014).
- [3] Bourdon, A., Darny, T., Pechereau, F., Pouvesle, J.-M., Viegas, P., Iséni, S., and Robert, E. *Plasma Sources Sci. Technol.* 25(3), 035002 mar (2016).