HAL
open science

Étude expérimentale de l'effet de focalisation sur le claquage laser sous atmosphères d'argon

Steve Rudz, Maxime Wartel, Mamadou Sankhe, Stéphane Pellerin, Jean-Luc Hanus

To cite this version:

Steve Rudz, Maxime Wartel, Mamadou Sankhe, Stéphane Pellerin, Jean-Luc Hanus. Étude expérimentale de l'effet de focalisation sur le claquage laser sous atmosphères d'argon. 24ième Congrès Français de Mécanique, Aug 2019, Brest, France. hal-02571016

HAL Id: hal-02571016

https://hal.science/hal-02571016v1

Submitted on 12 May 2020

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.

Étude expérimentale de l'effet de focalisation sur le claquage laser sous atmosphères d'argon

S. Rudz[a], M. Wartel[a], M. Sankhé[a], S. Pellerin[a] et J.L. Hanus[b]

[a]GREMI, UMR 7344, Université d'Orléans/CNRS, F-18020, Bourges Cedex, France
[b]LaMé, EA 7494, INSA CVL / Univ. Orléans / Univ. Tours, F-18020, Bourges Cedex, France

Résumé :

Le claquage laser est couramment utilisé en spectroscopie d'émission afin d'identifier certaines caractéristiques des matériaux étudiés (espèces, température, densité électronique ...) et également pour l'initiation de déflagration/détonation. En spectroscopie d'émission la nécessité de collecter la lumière émise par le plasma impose de connaître au préalable sa position dans l'espace afin d'assurer la reproductibilité des essais. Cependant le claquage laser n'apparaît pas toujours au point focal : il peut se déplacer légèrement le long de l'axe laser selon la configuration optique. A notre connaissance, ce phénomène fortement dépendant des conditions de focalisation laser a été observé, mais jamais spécifiquement étudié.

Nous proposons dans ce travail d'étudier la répartition spatiale du claquage laser sous une atmosphère contrôlée (argon) ainsi que la reproductibilité de quelques raies caractéristiques à différentes pressions initiales et deux conditions de focalisation pour une énergie laser fixe, et à une longueur d'onde de 532 nm.

Abstract :

Laser induced breakdown is commonly used in Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) to characterize materials (temperature, electronic density ...) and also to ignite gaseous mixtures. In spectroscopic applications it is necessary to collect the emitted light from the laser spark (in plasma state), which implies an a priori knowledge of its spatial position. However, the laser spark can move along the laser axis around the focal point due to the used optical focalization parameters. To our knowledge this phenomenon has been observed but never specifically studied.

The purpose of this experimental work is to study the spatial reproducibility of the laser induced breakdown in a controlled atmosphere of argon for several pressures and two different focalization parameters for a given laser energy, and at a wavelength of 532 nm.

Mots clefs : Claquage laser, Nd:YAG, reproductibilité, argon.

1 Introduction

Les premiers essais concluant de claquages laser publiés dès 1964 [1 -2] ont très rapidement fait l'objet de nombreuses recherches, si bien que dès la fin des années 60 des bibliographies existaient déjà [3]. L'explication de l'apparition du claquage laser dans la zone focale y est détaillée : lors des premiers instants l'ionisation multi-photonique crée des électrons libres qui vont absorber des photons et, s'ils acquièrent une énergie supérieure à celle du potentielle d'ionisation, déclencher une cascade électronique qui se matérialise visuellement par une étincelle. Suite au claquage, le plasma, créé à une température de l'ordre de 10^5-10^6 K, se refroidit rapidement tout en augmentant son volume, et libère une onde de choc quelques dizaines-centaines de nanosecondes après la fin du pulse laser. Un domaine d'application du claquage laser est l'allumage de mélanges gazeux réactif pour la propulsion [4].

En parallèle de ces développements les lasers ont également été utilisés dès les années 60 pour caractériser les espèces présentes dans un échantillon par la spectroscopie d'émission [5]. Cette technique de caractérisation est connue depuis 1981 sous le nom de LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) [6] : elle est couramment utilisée sur des échantillons solides [7] mais également dans des gaz [8].

Que ce soit pour des applications d'allumage où des applications LIBS, la reproductibilité du claquage laser est essentielle. Cependant, cette caractéristique dépend des conditions de focalisation du faisceau. En effet le claquage laser peut se déplacer de quelques millimètres autour du point focal le long de l'axe laser si la focalisation n'est pas assez « forte ». Une focalisation adaptée permet d'obtenir une bonne reproductibilité du dépôt d'énergie par claquage laser [9]. Nous proposons dans ce travail d'observer la reproductibilité spatiale du dépôt d'énergie à travers deux configurations optiques, pour une énergie laser donnée à une longueur d'onde de 532 nm.

2 Méthodologie expérimentale

2.1 Présentation du banc d'essai

Le banc d'essai, présenté en figure 1, fonctionne comme suit : le pulse laser est envoyé par (1) et est focalisé (4) avant son entrée dans le réacteur (5). La lumière émise par le claquage est collectée par la lentille (7) et focalisée par la lentille (8) à l'entrée du spectromètre (9). La caméra intensifiée (10) permet de collecter le signal en sortie d'un spectromètre (9) équipé de 3 réseaux interchangeables (1200, 2400 et 3600 tt/mm). Lorsqu'il est mis en place, le doublet de lentilles (3) et (4) permet de doubler le diamètre du faisceau laser (configuration n°2).

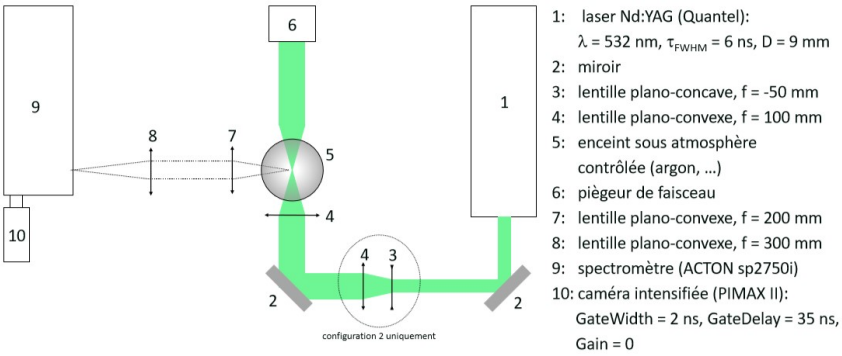

Figure 1 : Schéma détaillé du banc d'essai.

2.2 Configurations optiques n° 1 et 2

La focalisation laser est un paramètre crucial pour la génération d'un claquage laser. Elle se caractérise par son rayon au col ω_0 (cf. figure 2) qui est fonction de la distance focale f, du diamètre D du faisceau laser, de sa longueur d'onde λ ainsi que de son facteur de qualité M^2 : $\omega_0 = 2\lambda f M^2/(\pi D)$.

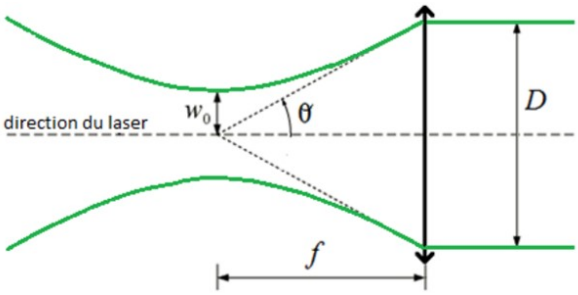

Figure 2 : schéma de la focalisation laser.

La configuration optique n°1 correspond à un diamètre D = 9 mm tandis que la configuration n°2 correspond à un diamètre D = 18 mm. Ces diamètres permettent d'obtenir un rayon au col ω_0 de 5,6 µm pour la configuration n°1 et de 2,8 µm pour la n°2. Pour une énergie laser fixée, la densité d'énergie au col de la configuration n°2 est ainsi 4 fois supérieure à celle de la n°1.

2.3 Protocole expérimental

Pour chaque configuration optique, 23 pressions d'argon ont été testées : P = {0.05, 0.075, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, …, 1.05, 1.1} bar. Pour chaque couple (P, configuration optique) 100 tirs sont effectués à une cadence de 2,5 Hz. Entre chaque couple testé, un vide primaire est effectué au sein de l'enceinte. L'image du claquage laser est collectée sur la matrice de la caméra intensifiée au premier instant de sa création avec un temps d'acquisition de 2 ns. Un pixel est considéré comme positif si le rapport signal sur bruit est supérieur à 2.

3 Résultats

Le premier résultat immédiatement accessible est que la configuration optique n°2 présente des probabilités de claquages toujours supérieure à celle de la configuration n°1 et ce à toutes les pressions testées (Figure 3). Ensuite, les images collectées à l'aide de la caméra intensifiée révèlent également que, pour chaque couple (P, configuration optique), la configuration n° 2 est systématiquement la plus performante en termes de probabilité de détection d'un signal, d'intensité moyenne collectée et de variabilité spatiale d'un tir à l'autre (figure 4).

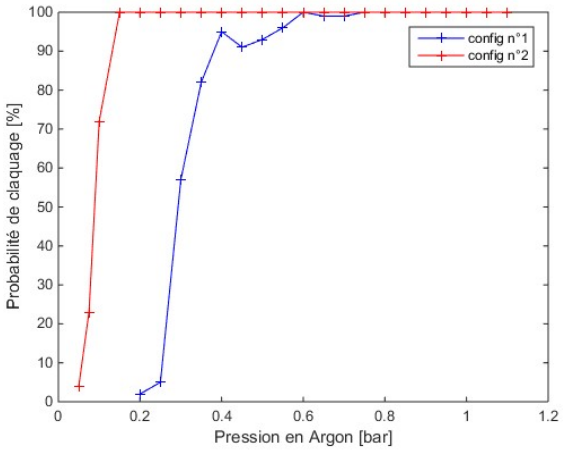

Figure 3 : probabilité de claquage laser en fonction de la pression d'argon pour les 2 configurations optiques.

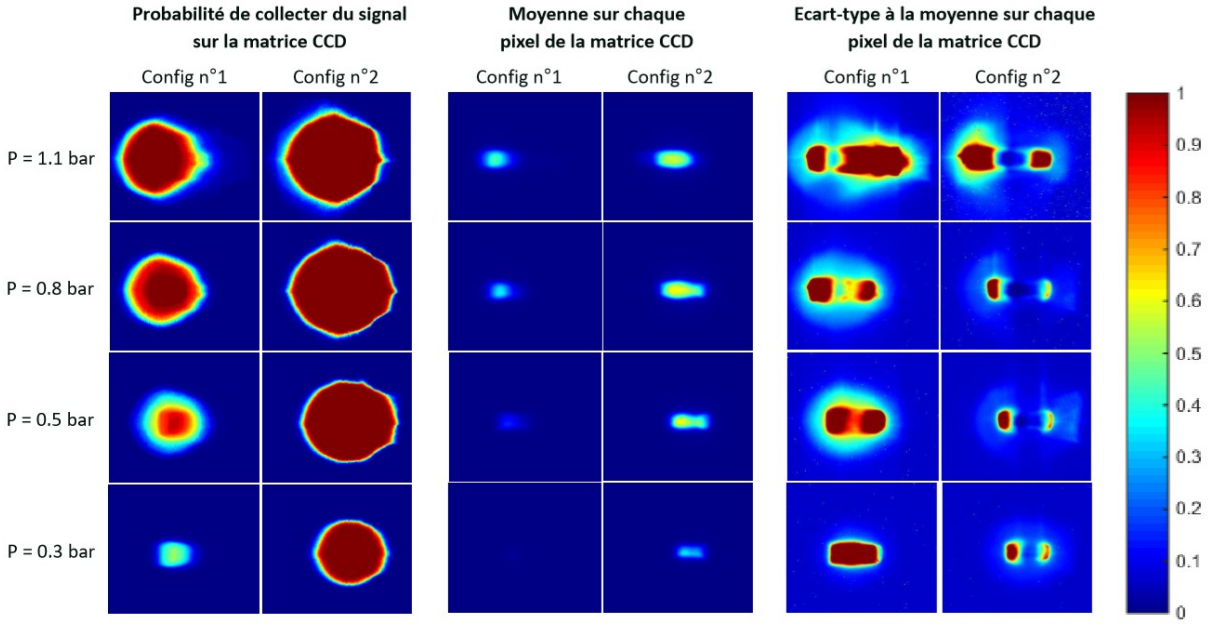

Figure 4 : exemples de probabilité, d'intensité et de dispersion spatiale du claquage laser en fonction de la pression d'argon pour les 2 configurations optiques. Toutes les images sont à la même échelle.

La figure 5 illustre en partie ce constat en présentant le nombre de pixels dont la probabilité de collecter du signal est de 100% pour les 2 configurations optiques, en fonction de la pression. On y remarque également que la courbe de la configuration n° 1 est particulièrement accidentée, confortant l'idée que la reproductibilité spatiale du dépôt d'énergie n'est pas satisfaisante. De plus, sur la figure 4, la variation d'intensité collectée est systématiquement la plus faible (<10% de la valeur moyenne) là où elle est la plus intense pour la configuration n°2. C'est aussi le cas pour la configuration n°1, mais avec des variations d'au moins 40% d'un tir à l'autre en moyenne. Enfin, on constate que la pression initiale affecte bien plus la reproductibilité des claquages pour la configuration n°1 que la n°2.

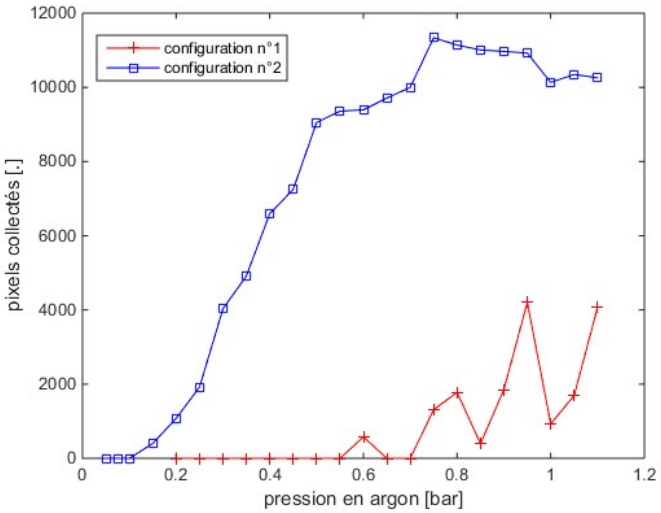

Figure 5 : nombre de pixels détectant systématiquement un signal en fonction de la pression.

3 Conclusion et perspectives

Cette série d'essais préliminaires a montré que la configuration n°2 est la plus efficace en terme de :

- Quantité de signal collecté
- Reproductibilité du signal collecté

La probabilité d'obtenir un claquage à basse pression avec la configuration n°2 est nettement supérieure à celle de la configuration n°1 : l'effet de paramétrage de la focalisation semble être un point clef pour la reproductibilité spatiale et temporelle des étincelles.

Ce travail trouvera des suites dans des applications telles que la LIBS et la diffusion Thomson qui nécessitent une bonne reproductibilité du dépôt d'énergie par laser. Il aura également des débouchés dans la génération contrôlée d'explosions sous forme de déflagration ou de détonation, étape très importante pour l'étude de leurs effets sur les structures ; volet poursuivi dans le cadre du projet APROPOR-E [10].

Références

[1] P.D. Maker, R.W. Terhune, C.M. Savage, Optical third harmonic generation, Proceeding of Quantum Electronic III (1964) 1559.
[2] S.A. Ramsden, P. Savic, A radiative detonation model for the development of a laser induced spark in air, Nature vol 64 (1964) 1217.
[3] C. DeMichelis, Laser Induced Gas Brakdown: A Bibliographical Review, Quantum Electronic vol 5-4 (1968) p188.
[4] T.X. Phuoc, Laser-induced spark ignition fundamental and applications, Optics and Lasers in Engineering vol 44 (2006) 351.
[5] L.J. Radziemski, From LASER to LIBS, the path of technology development, Spectrochimica Acta Part B vol 57 (2002) p1109.

[6] M. Baudelet, B.W. Smith, The first years of laser-induced breakdown spectroscopy, Analytical Atomic Spectrometry vol 28 (2013) 624.
[7] L. Jolivet, M. Leprincea, S. Moncayoa, L.Sorbierb, C. P. Lienemannb, V. Motto-Ros, Review of the recent advances and applications of LIBS-based imaging, Spectrochimica Acta Part B vol 151 (2019) 41.
[8] Z. Zhang, T. Lia, S. Huanga, Influence of the pressure and temperature on LIBS for gas concentration measurements, Spectrochimica Acta Part B vol 155 (2019) 24.
[9] S. Rudz, P. Gillard, Effect of initial laser beam diameter on breakdown and ignition properties of n-decane/N_2 /O_2 mixtures, Combustion Sciences and Technology vol 191-2 (2018) 1.
[10] "APROPOR-E: Amélioration de la PROduction, du stockage et de la gestion de l'énergie : matériaux POReux et Energie", APR-IA de la Région Centre Val de Loire, GREMI, 2018-2020