

Ionisation et émission X d'un jet puisé d'Argon irradié par des impulsions laser femtosecondes

C. Stenz, F. Blasco, R. Brückner, F. Amiranoff*, P. Audebert*, E. De Wispelaere*, J.P. Geindre*, J.C. Gauthier*, V. Malka*, A. Dos Santos**, G. Rey**, A. Mysyrowicz** et A. Antonetti**

Groupe de Recherche sur l'Energétique des Milieux Ionisés, Associé au CNRS, Université d'Orléans, 45067 Orléans, France

** Laboratoire d'Utilisation des Lasers Intenses, Associé au CNRS, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau, France*

*** Laboratoire d'Optique Appliquée ^Associé au CNRS, Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées, 91120 Palaiseau, France*

On présente une étude de l'ionisation optique de l'Argon à une pression voisine de l'atmosphère, par une impulsion laser femtoseconde avec un éclairement de 2-3 10^{14} W/cm². L'effet de défocalisation, observé dans l'Argon statique à une pression de 1 bar, est notablement réduit par la mise en oeuvre d'un jet puisé, d'une densité de 1-3 10^{19} atomes/cm³. L'émission Ka et le taux d'ionisation de l'Argon présentent un maximum très localisé pour une focalisation de l'impulsion laser en bord de jet. L'état d'ionisation atteint dans ces conditions par l'Argon est de 5 à 6, en bon accord avec les prédictions d'un modèle d'ionisation par effet tunnel pour un éclairement laser de 10^{14} W/cm². L'émission Ka est interprétée comme résultant de l'ionisation des couches internes de l'Argon par des électrons dont l'énergie est acquise par le mouvement d'oscillation dans le champ laser intense.

1. INTRODUCTION

La propagation d'une impulsion laser ultra-courte et intense dans un gaz à une pression de 1 atmosphère est modifiée par l'ionisation optique induite par le champ laser (1,2). L'effet combiné de l'ionisation et de la réfraction contribue à limiter l'éclairement laser et la densité électronique maximum atteinte dans la zone focale (zone de Rayleigh). La mise en oeuvre de jets haute pression peut permettre d'atteindre au foyer des éclaircements proches de ceux atteints dans le vide.

2. DESCRIPTION DE L'EXPERIENCE

On utilise un laser à colorants qui délivre, à une fréquence de 10 Hz, une impulsion de 80 fs de durée, d'énergie comprise entre 1 et 3 mJ et de 620 nm de longueur d'onde. L'impulsion laser est focalisée dans le gaz au moyen d'une lentille de 80 mm de focale ouverte à f/3. Le flux laser maximum dans le vide est de 2-3 10^{14} W/cm². Les jets sont des bouffées d'Argon d'une durée de 5 ms produites par ouverture, au moyen d'une électro-vanne rapide, d'une chambre haute pression (80-100 bars). L'écoulement du gaz s'effectue dans une buse de Laval conçue pour produire des jets supersoniques (Mach 4 à 5) de faible divergence. Le diamètre du jet est de 4 mm. L'impulsion laser et l'ouverture de l'électro-vanne sont synchronisés par une horloge à 10 Hz. Les diagnostics optiques utilisent une sonde laser de 70 fs de durée et de 570 nm de longueur d'onde. Le profil de densité d'Argon dans le jet est obtenu par interférométrie Mach-Zehnder. L'imagerie ombroscopique du plasma d'Argon permet de caractériser la focalisation du faisceau laser dans la zone focale (3). L'étude du

spectre laser transmis, présente un décalage vers le bleu dû à la variation rapide de la densité électronique qui résulte de la dynamique de l'ionisation laser (Fig 1). L'état d'ionisation de l'Argon est déduit de la mesure de densité électronique par interférométrie Moiré avec une résolution spatiale de 5 microns et une résolution temporelle de 70 fs. L'émission X est observée au moyen d'une CCD refroidie fonctionnant en mode comptage de photons avec une résolution de 50 eV (4) .

3.PRINCIPAUX RESULTATS

La forte défocalisation du faisceau laser observée dans l'Argon à une pression de 1 bar (3) contribue à réduire l'intensité laser dans la zone de Rayleigh. L'état d'ionisation de l'Argon mesuré dans ces conditions est de 1 à 2 et correspond à celui que l'on peut prévoir pour un éclairage laser sensiblement 10 fois plus faible que celui mesuré sous vide. Des résultats similaires sont obtenus pour une focalisation au centre du jet.

L'effet de réfraction est par contre notablement réduit pour une focalisation en bord de jet. L'on atteint dans ce cas un état d'ionisation de 5 à 6, comparable à celui que l'on peut prévoir théoriquement pour une intensité laser de 10^{16} W/cm² (Fig 1).

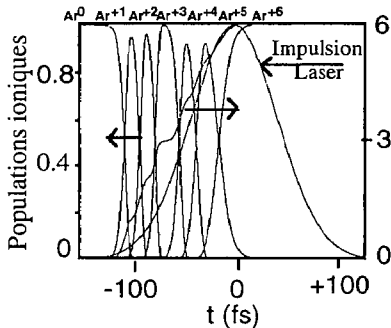


Fig 1. Ionisation tunnel de l'Argon

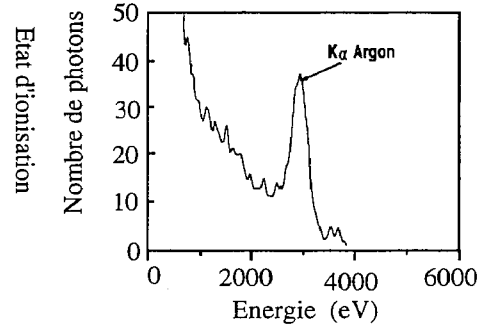


Fig 2. Emission $K\alpha$ dans le jet d'Argon

L'émission $K\alpha$ observée (Fig 2) apparaît très sensible aux conditions de focalisation dans le jet et présente un maximum en bord de jet. Cette émission peut être interprétée comme résultant de l'ionisation des couches internes de l'Argon par des électrons d'énergie supérieure 3.2 KeV (4). La zone d'émission a un rayon d'environ 10 μ m et une longueur d'environ 100 μ m le long de l'axe laser en bon accord avec l'étude de l'état d'ionisation moyen de l'Argon dans la zone de Rayleigh .

4.CONCLUSION

Cette étude montre, la possibilité de réaliser une source X pulsée ultra-courte, hautement répétitive et reproductible, par irradiation par une impulsion laser femtoseconde d'un jet pulsé d'Argon haute pression. Elle constitue par ailleurs la première mise en évidence d'une émission $K\alpha$ associée à l'ionisation directe des couches internes de l'Argon par des électrons dont l'énergie est acquise par oscillation dans un champ laser intense.

1 P.Monot et al J. optical Soc. Am B, **9** (1992),1579

2 S.C Rae, Optics Communication, **97** (1993), 25

3.C. Stenz et al, 24th Annual Anomalous Absorption Conference, Monterey (1994)

4.P. Audebert et al, Generation and application of ultrashort X-Ray pulses, Salamanca (1994)