

Caractérisation spatio-temporelle de NO et température par QCLAS et PLIF dans une post-décharge nanoseconde.

Salmon A, Laux CO, Stancu GD

Laboratoire EM2C, CNRS, UPR 288, CentraleSupélec, Université Paris Saclay, 8-10 rue Joliot- Curie, F-91190, Gif-sur-Yvette, France

Email auteur correspondant : gabi-daniel.stancu@centralesupelec.fr

La recirculation du gaz frais entre les électrodes et l'expansion toroïdale des produits de la décharge est un phénomène observé dans une post-décharge de type nanoseconde [1]. Ce mouvement provoque un rapide refroidissement du gaz [2] pouvant affecter la cinétique des espèces réactives. Toutefois une mesure directe de la température du gaz dans ces conditions n'a pas été réalisée jusqu'ici afin de quantifier ce refroidissement. Ici, deux techniques laser sont mises au point pour étudier la dynamique de NO et la température du gaz dans les premières microsecondes suivant une décharge impulsionnelle de 10 ns et d'énergie de l'ordre de 1 mJ.

La technique de fluorescence induite par nappe laser (Planar Laser Induced Fluorescence – PLIF [3]) permet de déterminer la distribution spatio-temporelle relative de NO et de mettre en évidence le phénomène de recirculation. Un system laser Nd :YAG (Continuum Precision PL 8010) couplé avec un laser à colorant (Continuum ND 6000) a été accordé à 226,287 nm pour exciter NO ($X^2\Pi_{1/2}, v''=0 \rightarrow A^2\Sigma^+, v'=0$), en particulier les transitions ${}^Q P_{21} + Q_1$. Le signal de fluorescence a été enregistré dans la région spectrale 236-246 nm, ce qui correspond aux transitions NO ($X^2\Pi_{1/2}, v''=0 \rightarrow A^2\Sigma^+, v'=1$). Avec cette technique nous identifions les conditions de décharge dans lesquelles la recirculation a lieu. La Figure 1 (a) présente une image en intensité relative de PLIF 40 μ s après la décharge. La forme toroïdale plus large et croissante dans le temps montre un régime de forte recirculation du gaz à proximité des électrodes. Pour les régimes sans recirculation, NO présente une distribution cylindrique confinée à chaque instant. En parallèle, une technique de spectroscopie d'absorption moyen-infrarouge par laser à cascade quantique (Quantum Cascade Laser Absorption Spectroscopy – QCLAS [4]) permet une quantification absolue de la concentration de NO et de la température du gaz. Cette technique emploie une impulsion QCL infrarouge ($\lambda=5,2 \mu$ m) balayant une plage de fréquence permettant de scanner une transition ro-vibrationnelle avec une haute résolution spectrale (typiquement $0,006 \text{ cm}^{-1}$). Toutefois, à pression atmosphérique, du fait de l'élargissement collisionnel des raies, les profils de raies d'absorption se chevauchent et la plage spectrale balayée par l'impulsion QCL n'est pas suffisante pour scanner un profil complet. Ici, la technique a été optimisée pour atteindre une résolution temporelle de 100 ns déterminée par la durée de l'impulsion QCL. Pour étendre la plage spectrale de la mesure, nous avons répété la mesure pour différentes températures du QCL, ce qui permet de scanner une plage spectrale plus étendue sans perdre en résolution temporelle. La Figure 1 (b) montre un spectre de transmittance autour des transitions NO($X_{1/2}, v''=0 \rightarrow X_{1/2}, v'=1$) R(6.5) et NO($X_{3/2}, v''=0 \rightarrow X_{3/2}, v'=1$) R(6.5) obtenu par le regroupement de mesures réalisées à différentes températures de QCL et fitté avec la base de données HITEMP [5]. Les mesures ont été effectuées entre 10 μ s et 100 μ s après l'impulsion de décharge. En fonction des conditions de décharge et l'instant de la mesure, la densité absolue variait entre $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ à $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ et la température entre 600 K et 1800 K, respectivement.

Au moyen de ces techniques lasers nous avons comparé deux cas de recirculation à un cas de référence pour lequel la recirculation n'est pas observée. Nous montrons en particulier qu'un refroidissement du gaz à un taux de 12 K/ μ s est observé dans le cas à forte recirculation sur les 100 premières microsecondes tandis que la température est presque constante si les espèces réactives restent contenues dans un volume cylindrique, i.e. cas sans recirculation. Par ailleurs, l'étude des différents cas de recirculation permet de conclure que le nombre de molécules de NO produites dépend essentiellement de l'énergie introduite dans le plasma et non de la recirculation du gaz.

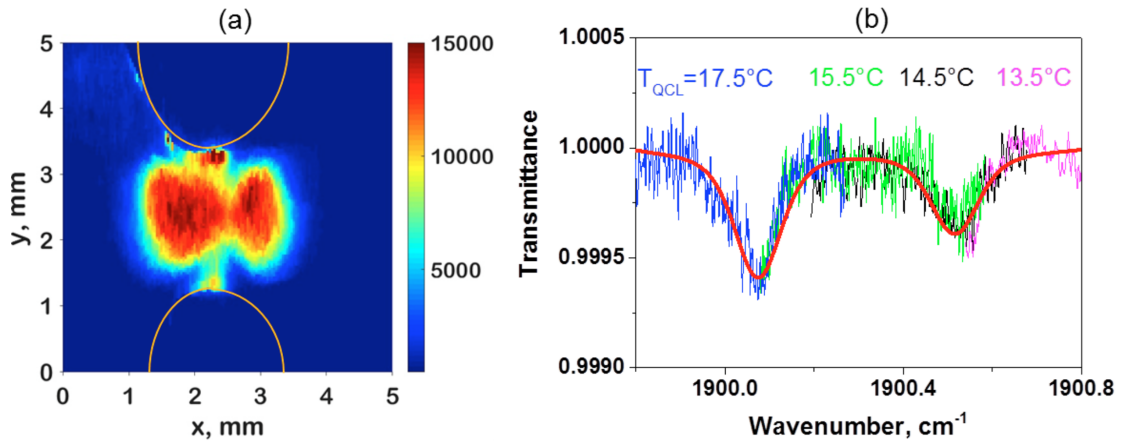


Figure 1: (a) Image PLIF de NO mesurée à 40 μ s après la décharge et (b) spectre de transmittance de NO mesuré par QCLAS à différentes températures de QCL et le fit HITEMP [5].

References

- [1] S. Stepanyan, J. Hayashi, A. Salmon, G.D. Stancu and C.O. Laux, *Plasma Sources Sci. Technol.*, 26 (2017) 04LT01
- [2] M. N. Shneider, *Phys. Plasmas*, 13, (7), (2006) 073501
- [3] S. De Benedictis, P. F. Ambrico, and G. Dilecce, *J. Phys. Conf. Ser.*, 227 (2010) 12019
- [4] M. Simeni Simeni, C.O. Laux, G.D. Stancu, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 50 (27) (2017) 274004
- [5] L.S. Rothman, I.E. Gordon, R.J. Barber, H. Dothe, R.R. Gamache, A. Goldman, V. Perevalov, S.A. Tashkun, and J. Tennyson, *J. Quant. Spectrosc. and Rad. Transfer*, 111 (2010) 2139