

Projet Teramobile :

propagation des impulsions terawatt dans l'air et application à la détection par lidar des pollutions atmosphériques

**J. Yu¹⁾, M. Franco⁴⁾, J. Kasparian¹⁾, D. Mondelain¹⁾, A. Mysyrowicz⁴⁾, S. Niedermeier¹⁾, B. Prade⁴⁾,
M. Rodriguez³⁾, R. Sauerbrey²⁾, S. Tzortzakis⁴⁾, H. Wille³⁾, J.-P. Wolf¹⁾, L. Wöste³⁾**

“Teramobile”, un projet commun du CNRS et de la DFG, Berlin, Jena, Lyon, Palaiseau

¹⁾ Université Claude Bernard Lyon 1, Laboratoire de spectrométrie ionique et moléculaire, UMR CNRS 5579, 69622 Villeurbanne Cedex, France. Tel. (33) 472431603, fax (33) 472431507, e-mail: jinyu@hplasm.univ-lyon1.fr

*²⁾ Institut für Optik und Quantenelektronik, Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena, Germany
Tel. (49) 3641 947217, fax (49) 3641 947202, e-mail: niedermeier@qe.physik.uni-jena.de*

*³⁾ Freie Universität Berlin, Institut für Experimentalphysik, Arnimallee 14, D-14195 Berlin, Germany
e-mail: wille@physik.fu-berlin.de*

*⁴⁾ Laboratoire d'Optique Appliquée, ENSTA - Ecole Polytechnique, Centre de l'Yvette, 91761 Palaiseau Cedex, France
e-mail: mysy@ensta.ensta.fr*

La propagation des impulsions laser ultra-courtes dans l'air devient hautement nonlinéaire lorsque leur puissance crête dépasse une dizaine de gigawatt. Les études dans ce domaine se sont développées rapidement aussi bien au niveau expérimental qu'au niveau théorique. Elles sont stimulées par la « démocratisation » des sources femtosecondes amplifiées, qui délivrent des impulsions jusqu'à plusieurs centaines de mJ dans une durée typique de 100 fs. Le transport et la focalisation de ces impulsions ont un intérêt essentiel pour toutes les applications autour d'une source ultra-brève et ultra-intense.

Sur le trajet d'un faisceau d'impulsions femtosecondes intenses, l'auto-focalisation due à l'effet Kerr et l'effet du plasma crée par une impulsion conduisent à des filaments de lumière d'un diamètre d'environ 100 μm et se propageant sur plusieurs dizaines de mètres dans l'air.¹ La formation des filaments fournit de longues distances d'interaction aux processus nonlinéaires de conversion de fréquence, notamment celui de l'automodulation de phase. La génération de continuum est particulièrement efficace dans ces filaments. Le « supercontinuum » généré par des filaments a été mesuré entre l'UV et le proche infrarouge jusqu'à 0,9 μm dans un gaz rare.²

L'objectif du projet Teramobile est l'utilisation d'impulsions ultra-intenses et de filaments de lumière blanche pour la caractérisation de l'atmosphère, et notamment pour la détection des

* Site web du Projet Teramobile : <http://www.physik.uni-jena.de/~teramobi/>

polluants. Les caractéristiques du continuum généré doivent permettre apporter des solutions à des limites des lidar actuels : 1) Le très large spectre émis par les filaments peut être mis à profit pour une analyse de plusieurs gaz simultanément (analyse multi-polluants) 2) La rétro-diffusion Rayleigh-Mie aux grandes longueurs d'onde (infrarouge moyen et lointain) est très peu efficace, ce qui limite grandement la portée des lidars infrarouges classiques. La génération de la radiation "sur place" et l'augmentation de la rétro-diffusion par des effets nonlinéaires peuvent apporter une solution à ce problème. 3) La radiation rétro-diffusée au spectre large devrait permettre un accès nouveau à la mesure à distance de la distribution de taille des aérosols. On peut aussi utiliser des puissances crêtes moins élevées pour observer des effets nonlinéaires générés dans des aérosols.

Pendant la première année du projet Teramobile, nous nous sommes concentrés sur la caractérisation de l'émission du supercontinuum sur le trajet d'un faisceau laser tiré horizontalement. Le contenu spectral du supercontinuum généré dans l'atmosphère a été d'abord déterminé.³ Le résultat (Fig.1) montre une émission de l'UV (300 nm) jusqu'à l'IR (4,5 μm). Cette émission couvre un grand nombre de gaz polluants dans l'atmosphère : SO_2 , NO_2 et O_3 dans l'UV, mais aussi CO et les COV's (composants organiques volatiles) dans la bande autour de 3,5 μm . Ce supercontinuum induit dans l'atmosphère à une distance donnée avec la technique de "pre-chirp" permettra par la spectroscopie d'absorption d'analyser l'état de pollution.

Nous avons aussi déterminé le comportement de rétro-diffusion de la lumière blanche générée.⁴ Nos résultats montrent que l'émission du continuum dans la direction de la rétro-diffusion est augmentée par rapport aux rétro-diffusions de Rayleigh et de Mie. Nous interprétons cette augmentation par un processus nonlinéaire d'auto-réflexion sur un gradient de l'indice longitudinal induit par une impulsion elle-même. Ce gradient de l'indice est la conséquence d'un effet combiné entre l'effet Kerr et le plasma généré par l'impulsion laser. Nos mesures montrent que vers la direction de la quasi-rétro-diffusion à 176.5° (0° pour l'axe de propagation du faisceau laser), la contribution nonlinéaire est du même ordre de grandeur que les rétro-diffusions linéaires (Rayleigh et Mie). Ce résultat est très important pour l'application lidar, et implique qu'une contribution due à la diffusion nonlinéaire superpose sur celle due aux diffusions linéaires et permet une augmentation de la portée du lidar.

L'intégration du laser terawatt dans le container est prévue avant la fin de l'année. On pourra ainsi évaluer la potentialité de ce lidar nonlinéaire sur le terrain.

Références :

1. A. Braun, G. Korn, X. Liu, D. Du, J. Squier, and G. Mourou, *Opt. Lett.* **20**, 73 (1995).
2. P.B. Corkum, C. Rolland, and T. Srinivasan-Rao, *Phys. Rev. Lett.* **57**, 2268 (1986) ; Hajime Nishioka, Wataru Odajima, Ken-ichi Ueda, and Hiroshi Takuma, *Opt. Lett.* **20**, 2505 (1995).
3. J. Kasparian, R. Sauerbrey, D. Mondelain, S. Niedermeier, J. Yu, J.P. Wolf, Y.B. André, M. Franco, B. Prade, S. Tzortzakis, A. Mysyrowicz, M. Rodriguez, H. Wille, L. Wöste, *Opt. Lett.* **25**, 1399 (2000).
4. J. Yu, D. Mondelain, G. Ange, R. Volk, S. Niedermeier, and J.P. Wolf, J. Kasparian, R. Sauerbrey, « Backward supercontinuum emission from a filament generated by ultrashort laser pulses in air », submitted to *Opt. Lett.* (2000).

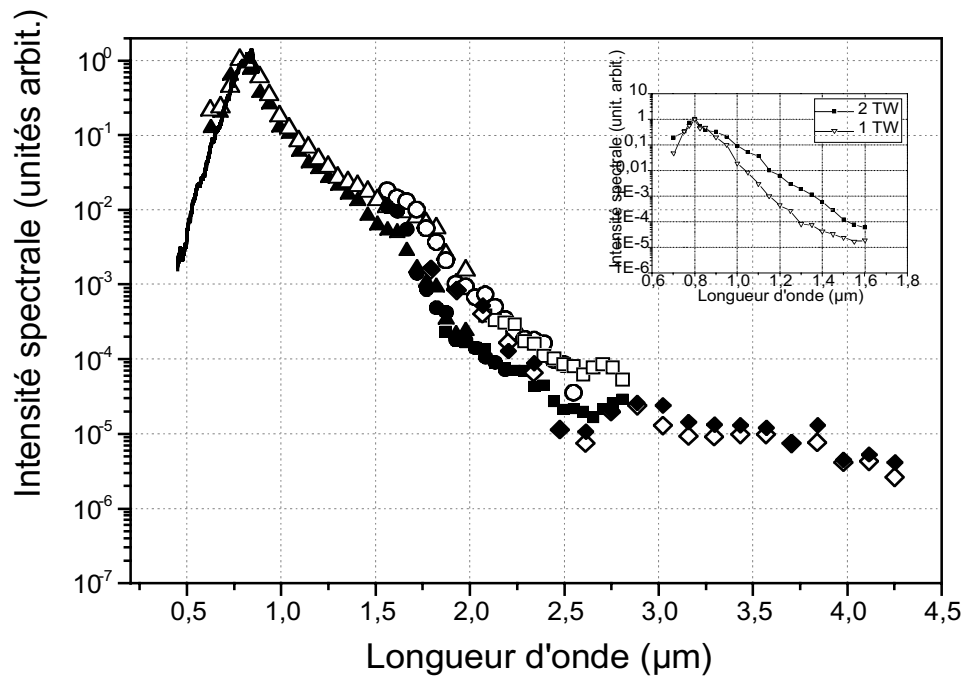


Fig. 1 L'intensité spectrale du continuum émis par un filament.

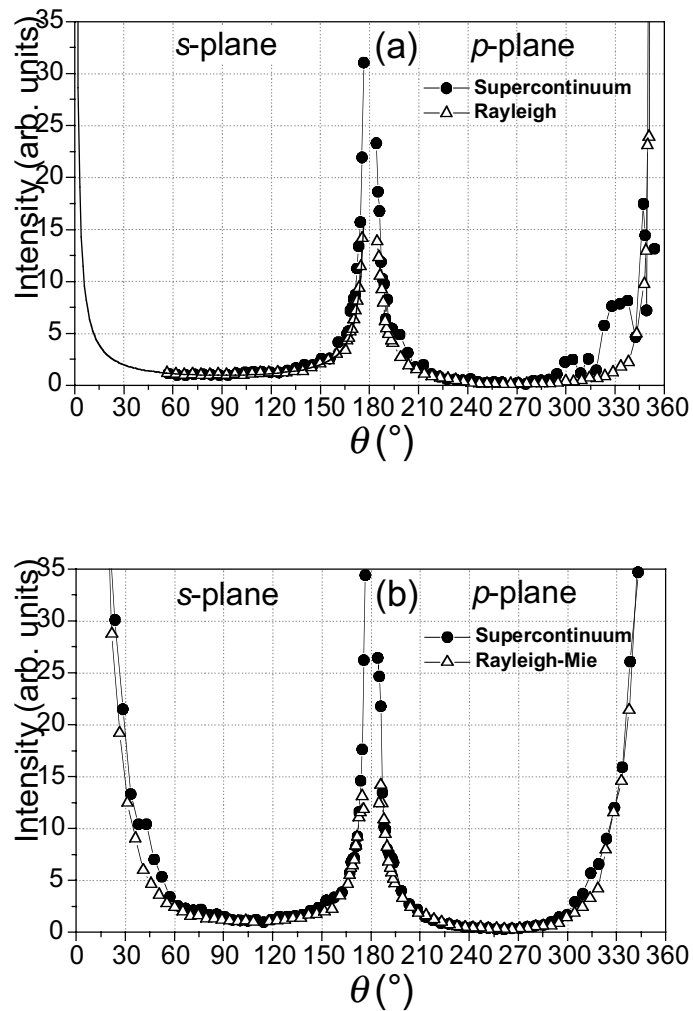


Fig. 2. Distributions angulaires du continuum émis par un filament comparées aux diffusions linéaires de Rayleigh et de Mie : (a) mesurées dans un air propre, donc la diffusion de Rayleigh uniquement dans le régime linéaire [fit Rayleigh $1/\sin(\theta)$ pour le s-plan] et (b) mesurées dans un air contenant des poussières, donc les diffusions de Rayleigh et de Mie dans le régime linéaire.