

# Amplification cohérente par injection d'harmoniques d'ordres élevées dans un amplificateur XUV à LASERIX

Bruno Lucas<sup>1,a</sup>, S. Kazamias<sup>a</sup>, O. Guilbaud<sup>a</sup>, O. Delmas<sup>a</sup>, F. Sanson<sup>a</sup>, R. Gonin<sup>a</sup>, J. Demailly<sup>a</sup>, O. Neveu<sup>a</sup>, D. Ros<sup>a</sup>, E. Baynard<sup>b</sup>, M. Pittman<sup>b</sup>, A. Le Marec<sup>c</sup>, A. Klisnick<sup>c</sup>, G.V. Cojocaru<sup>d</sup>, R. G. Ungureanu<sup>d</sup>, R. A. Banici<sup>d</sup>, D. Ursescu<sup>d</sup>

<sup>a</sup> LPGP, CNRS, université Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, France

<sup>b</sup> LUMAT, CNRS, université Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, France

<sup>c</sup> Institut des sciences moléculaires d'Orsay, CNRS, Université Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex, France

<sup>d</sup> National Institute for Lasers, Plasma and Radiation Physics (INFLPR), Atomistilor 409, Magurele 077125, Romania

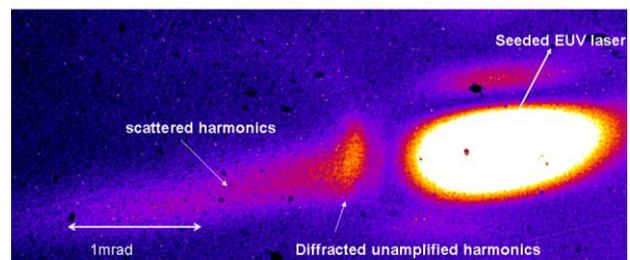
## Introduction

Le développement des chaînes lasers ultra-intenses a permis le développement de sources secondaires de photons, d'électrons ou d'ions particulièrement intéressantes pour sonder la matière. Leur brièveté et leur synchronisation naturelle avec l'oscillateur laser en font des outils idéaux pour des expériences pompe-sonde. La station LASERIX de l'université Paris-Sud développe et met à disposition des sources XUV cohérentes générées par un laser Titane-Saphir de classe 100TW. Nous décrivons dans un premier temps le fonctionnement et les caractéristiques de la source laser XUV injectée développée sur LASERIX. Nous présenterons ensuite les évolutions récentes de l'installation et les perspectives offertes par des techniques de mise en forme du plasma. Nous terminerons cet exposé par une présentation de la future ligne de lumière OPT2X.

## Un laser XUV fonctionnant en mode injecté

Le laser pilote de LASERIX permet de générer simultanément des harmoniques d'ordre élevé et un amplificateur laser XUV à plasma. Ce dernier est obtenu en focalisant sur une cible solide une combinaison d'impulsions laser de durées et d'intensités réglables. Une première série d'impulsions crée le plasma dans le bon état d'ionisation (nickelloïde ou néonoïde). Une impulsion brève et intense chauffe ensuite les électrons de ce plasma qui, par excitation collisionnelle, induisent une inversion de population et un gain laser dans une gamme de longueur d'onde comprise entre 10 nm et 40 nm.

La source harmonique peut être précisément réglée en délai, longueur d'onde et position pour être injectée dans ce milieu à gain. Si son intensité est supérieure à l'émission spontanée, elle impose au milieu à gain un fonctionnement cohérent [1]. L'émission laser X obtenue est totalement cohérente, peu divergente et intense, et ce de manière robuste et reproductible [2]. Cependant nous avons observé dans certaines conditions des structures (franges, lobes de diffraction) affectant l'uniformité du faisceau. Nous montrerons des résultats de simulation de propagation expliquant ces phénomènes.



**Fig. 1.** Image en champ lointain du laser X injecté (Après 1m de propagation, un filtre de 0,3 $\mu$ m d'aluminium, et un miroir multicouche optimisé pour une incidence de 45° et une longueur d'onde de 32,6nm).

## Mise en forme du plasma

Nous avons étudié différentes méthodes de génération du plasma amplificateur. Toutes font intervenir une série d'impulsions laser. Ces dernières sont obtenues soit en intervenant très en amont de la chaîne laser (avant l'amplificateur régénératif) [3] soit en aval, juste avant la

<sup>1</sup> E-mail : [bruno.lucas@u-psud.fr](mailto:bruno.lucas@u-psud.fr)

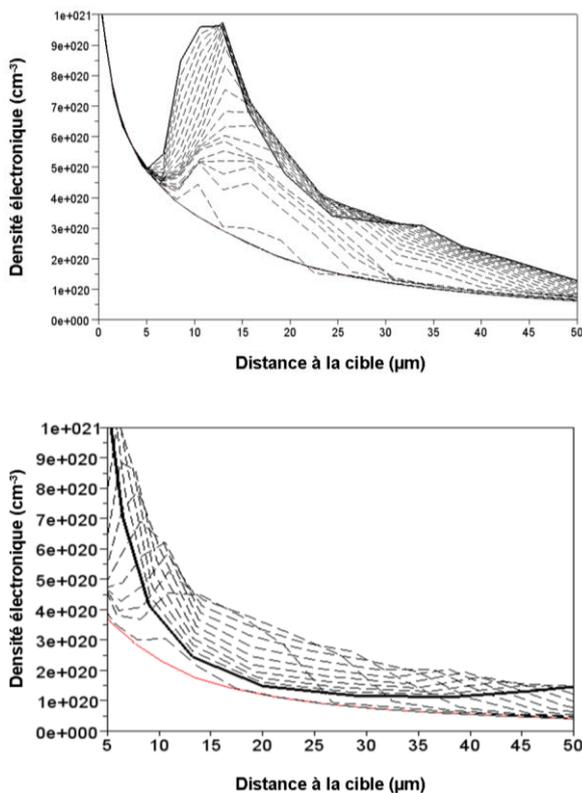
focalisation finale [4]. Une dernière méthode a consisté par ailleurs à faire intervenir une impulsion nanoseconde provenant d'un laser Q-switch annexe, synchronisé électroniquement au laser titane-saphir [5]. Les différentes études que nous avons mené à l'aide de ces dispositifs ont non seulement permis d'augmenter les performances du laser XUV mais permettent d'envisager un contrôle du plasma très précis. Nous montrerons comment, en jouant sur la durée et les délais des impulsions laser il est possible de créer, au sein d'un plasma peu ionisé et très détendu, un pic de densité localisé ou, au contraire, un creux de densité. Cette synthèse s'appuiera sur les nombreux résultats expérimentaux obtenus et sur des simulations hydrodynamiques. Nous donnerons quelques perspectives sur l'utilisation de telles techniques pour produire un guide d'onde dans un plasma de cible solide, en particulier pour canaliser un laser XUV dans une région de forte densité [6].

## Perspectives d'applications

La station LASERIX participe au programme LASERLAB Trans-National Access. Elle est de plus impliquée dans le projet LIDEX « OPT2X ». Nous présenterons la future ligne de lumière destinée à exploiter le rayonnement du laser XUV injecté. A terme celui-ci pourra être focalisé sur un échantillon à l'aide d'un dispositif de Kirkpatrick-Baez. Nous évoquerons en outre les diagnostics de caractérisation spectro-temporelle en cours de développement ou envisagés.

## Références

- [1] Y. Wang et al., Phys Rev Lett. **97**, 123901 (2006)
- [2] O. Guilbaud et al., Optics Lett. **40**, 4775-4778 (2015)
- [3] B. Zielbauer et al., Applied Phys. B **100**, Issue 4 , pp 731-736 (2010)
- [4] G. V. Cojocaru et al. Opt. Lett. **39**, 2246 (2014)
- [5] O. Delmas et al., Optics Lett. **39**, 6102 (2014)
- [6] A. Depresseux et al., Phys. Rev. Lett. **115**, 083901 (2015)



**Fig. 2.** Exemples de modifications du profil de densité électronique d'un plasma préformé par une impulsion YAG Q-switch (150mJ, 6ns). En haut : à l'aide d'une impulsion de 300mJ et de 5 ps (évolution par pas de 1ps). En bas : par une impulsion de 300mJ et 200ps (évolution par pas de 40ps).