

Développement d'un système laser XeCl nanoseconde de forte énergie (Résultats préliminaires)

O. Uteza, Ph. Delaporte, B. Fontaine, M. Sentis, S. Branly*, M. Makarov* et M. Pealat*

Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Équilibre (IRPHE), UMR 6594 du CNRS, Universités Aix-Marseille I et II, 163 avenue de Luminy, 13288 Marseille cedex 9, France
 * SOPRA, 26 rue Pierre Joigneaux, 92270 Bois-Colombes, France

Résumé : La génération de rayons X incohérents à partir d'un plasma créé par laser UV requiert une intensité laser sur cible de 10^{11} - 10^{13} W/cm². Pour atteindre cet objectif, SOPRA en collaboration avec IRPHE développe un système laser XeCl "oscillateur-amplificateur" de courte durée d'impulsion (1 ns), de forte énergie (1 J) et de divergence modérée (tâche focale < 1 mm²). Nous présentons ici des résultats préliminaires liés à sa mise au point.

1. INTRODUCTION

Le développement de sources X incohérentes dans la gamme 0,1-1,5 keV [1] est d'un grand intérêt pour les domaines de la lithographie, de la biologie, de la microscopie ou de la physique des plasmas. Une méthode de production de rayons X est de focaliser sur une cible solide (cuivre,...) un faisceau laser d'intensité très élevée (10^{11} - 10^{13} W/cm²) afin de générer un plasma dense et suffisamment chaud pour émettre des rayons X. Pour atteindre cet objectif, SOPRA en collaboration avec IRPHE et dans le cadre du programme EUREKA-EXULT développe un système laser XeCl "oscillateur-amplificateur" de courte durée d'impulsion (1 ns), de forte énergie (1 J) et de divergence modérée (tâche focale < 1 mm²). La source "oscillateur" (308 nm, ~ 1 mJ, ~ 1 ns) est développée par la société SOPRA et les premières études expérimentales d'amplification à IRPHE sont effectuées sur le système LUX [2] (durée du gain: ~150 ns).

Outre une description du schéma d'amplification utilisé, nous présentons des mesures du gain à faible signal de l'amplificateur ainsi qu'une caractérisation de l'oscillateur laser.

2. PRINCIPE DU SCHEMA D'AMPLIFICATION

Ce système laser "oscillateur-amplificateur" est basé sur une technique d'amplificateur régénératif avec amplification "off-axis" afin de minimiser le développement d'émission spontanée amplifiée [3] dans la boucle (cf. figure 1). L'insertion de l'impulsion dans la boucle d'amplification puis son extraction sont réalisés par contrôle de son état de polarisation au moyen d'une cellule de Pockels et d'une lame 1/2-onde. Le nombre de passages dans le milieu amplificateur n (i.e. la durée de la mise sous tension de la cellule de Pockels) doit être optimisé en fonction des caractéristiques du milieu amplificateur (durée d'excitation, dynamique de régénération du gain, rapport gain/pertes, valeur de l'énergie de saturation, influence de l'émission spontanée amplifiée,...) et des caractéristiques géométriques de la boucle d'amplification (longueur des bras, angle "off-axis",...) afin d'extraire le maximum d'énergie et d'optimiser le contraste.

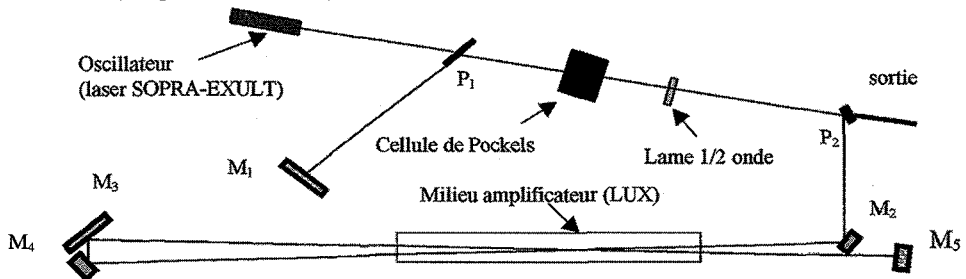


Figure 1: Schéma d'amplification. P_{1,2}: Lames de Brewster (i=56°, R_s=99 %, T_p=90 %). M_{1,5}: R_{max} (i=0°). M_{2,3,4}: R_{max} (i=45°).

3. CARACTERISATION DE L'OSCILLATEUR (LASER SOPRA-EXULT)

Les conditions expérimentales sont : tension de charge des condensateurs = 8 kV, mélange: Ne 99,3 % / H 0,03 % / Xe 0,5 % / HCl 0,17 %, pression totale: 6 bars. Les principales caractéristiques énergétiques et optiques du laser SOPRA-EXULT sont résumées dans le tableau 1. L'énergie est mesurée avec une sonde pyrométallique de type Molectron (J25HR) et la puissance laser avec une photodiode ITL (temps de montée: 100 ps) connectée à un oscilloscope Tektronix TDS 680 B (bande passante: 1 GHz). Les mesures en champ proche et lointain ont été effectuées avec une caméra CCD Pulnix TM-745E reliée à un analyseur de faisceau Spiricon LBA 100 A.

Tableau 1

Energie	Durée d'impulsion à mi hauteur	Dimensions du faisceau en champ proche (mesurées à 20 cm du laser)	Divergence en champ lointain (axe horizontal)	Divergence en champ lointain (axe vertical)
1,2 mJ	1,65 ns	5,8 mm (H) x 1,6 mm (V)	3,65 mrad	0,9 mrad

4. MESURE DU GAIN A FAIBLE SIGNAL DE L'AMPLIFICATEUR LUX

Les résultats sont présentés sur les figures 2a et b. La sonde laser faible signal ($E_{\text{sonde}} \ll E_{\text{saturation}} = 2,5 \text{ mJ/cm}^2$, [3]) provient du laser SOPRA-EXULT dont la courte durée d'impulsion permet de scanner temporellement le gain de l'amplificateur. Afin de maximiser le rapport signal/bruit, les signaux "référence" et "amplifié" sont transmis par 2 fibres optiques connectées à des photodiodes. Les fibres optiques sont alignées au centre des faisceaux incidents (précision: 50 μm). Une 3^{ème} fibre optique donne la référence temporelle en transmettant la fluorescence transversale de LUX à un photomultiplicateur.

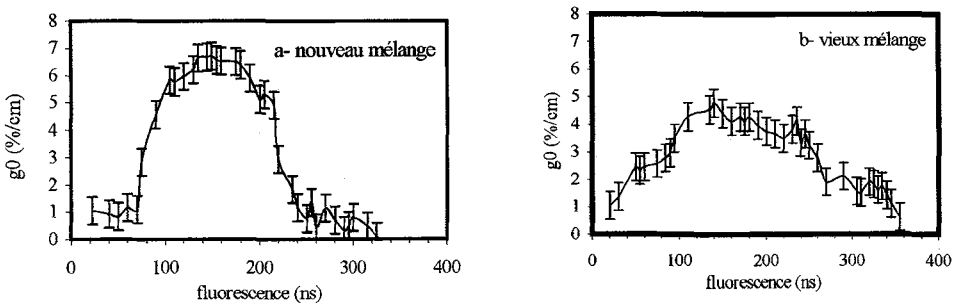


Figure 2: Evolution temporelle du gain à faible signal de l'amplificateur LUX pour un nouveau (a) et vieux (b) mélange.

La valeur crête du gain à faible signal (6,6 %/cm) est atteinte 130 ns après l'initiation de l'émission de fluorescence et un gain supérieur à 3 %/cm est mesuré pour une durée d'environ 150 ns pour un nouveau mélange. Par ailleurs, des fluctuations statistiques importantes du signal ne permettent pas de déterminer avec précision la valeur du gain lors des premiers instants de la décharge (0 à ~ 70 ns). Lorsque le mélange est dégradé (après quelques centaines de tirs pour LUX), la valeur crête du gain à faible signal est réduite de ~ 25 % ($g_{0,\text{crête}} \sim 4,8 \text{ %/cm}$). Par contre, un gain significatif est obtenu sur une plus longue période ($g_0 > 3 \text{ %/cm}$ pendant ~ 175 ns). Ceci est vraisemblablement lié à une décroissance temporelle lente (sur plusieurs centaines à milliers de tirs) de la concentration d'HCl qui conduit à une réduction de la valeur maximale du gain et à un accroissement de sa durée.

Références

1. F. Bijkerk, A.P. Shevelko, in *Excimer lasers and Applications III*, SPIE Vol. 1503, p. 380-90 (1991)
2. I. Tassy, Ph.C. Delaporte, B.L. Fontaine, B.M. Forestier, M.L. Sentis, O. Uteza: in *Proceedings of the XI International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers*, SPIE Vol. 3092, p. 382-385 (1996)
3. S. Szatmari, *Appl. Physics B* 58, p. 211-23, 1994