

VERS L'UTILISATION DE FIBRES OPTIQUES A CRISTAUX PHOTONIQUES DANS LES CHAINES LASER ULTRA-INTENSES : NOUVEAU « FRONT-END » DU LULI200

Loïc Meignien¹

¹ *Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses, Unité mixte n°7605
Ecole Polytechnique, CNRS, CEA, Université Paris VI, 91128 Palaiseau Cedex, France*

loic.meignien@polytechnique.edu

RÉSUMÉ

Dans cet exposé, nous proposons une évolution du « front end » nanoseconde du LULI2000 utilisant traditionnellement des technologies issues des laser solides Q-switched pour aller vers le monde des fibres optiques et des composants télécom fibrés. Nous montrerons qu'il est aujourd'hui possible de développer des sources optiques puissantes, programmables temporellement et spatialement, utilisant les techniques les plus avancées des fibres optiques à cristaux photoniques associées à la combinaison cohérente pour aller vers des énergies de l'ordre du mJ, repoussant ainsi le gap entre les systèmes fibrés faibles énergies et les lasers en espace libre traditionnel de fortes intensités.

MOTS-CLEFS : *nanosecond kilojoule class laser, photonic crystal fiber, coherent beam combining, Arbitrary Waveform Generator, Electro-Optic Modulators, Brillouin scattering*

1. INTRODUCTION

Le LULI2000 est l'une des installations laser les plus intenses d'Europe. Dès 2003, le LULI2000, utilisé par la communauté scientifique internationale apporte une contribution importante à la physique des plasmas et à la fusion par confinement inertiel. Cette chaîne constituée de trois faisceaux hautes énergies en verre néodyme Nd:Glass peut coupler des impulsions kilojoules nanoseconde et sub-picoseconde dans l'infrarouge.

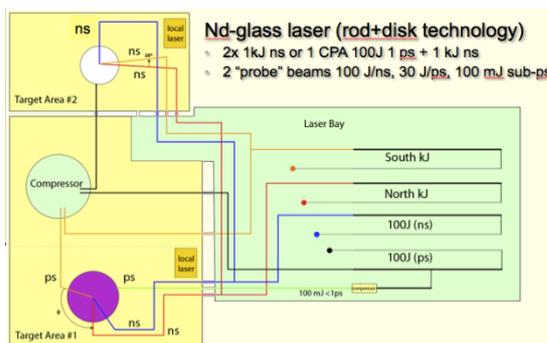


Fig. 1 : Topologie de l'installation ultra-intense kilojoules du LULI2000

Traditionnellement, les systèmes laser délivrant des impulsions longues nanosecondes, comme utilisés précédemment au LULI2000, utilisaient des lampes flash pour pomper des milieux actifs solides et des cavités Q-switched monomodes longitudinales comme oscillateur principal. Ces systèmes étaient très difficiles à rendre monomodes longitudinaux et le profilage temporel des impulsions était très complexe. En outre, les coûts en consommables étaient bien supérieurs aux systèmes haut rendement fibrés actuels. Il est à noter que le rendement énergétique-photonique de telles installations est inférieur au dixième de pourcent alors que les systèmes fibrés peuvent

dépasser les 50 %. L'augmentation future des cadences de tirs ($> \text{Hz}$) et de l'énergie totale tendent à aller vers des systèmes à fort rendement photonique. La fibre optique semble être l'un des meilleurs candidats. Nous présentons un nouveau système laser fibré pour injecter les chaînes kilojoules du LULI2000.

2. DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE DU NOUVEAU « FRONT END »

Ce « front end » utilise comme principe de découper temporellement un laser fibré dopé aux ions Yb^{3+} monomode à très faible spectre ($< 10 \text{ KHz}$) à l'aide de Modulateurs Electro-Optiques (EOM) télécom couplés à un générateur de forme arbitraire (AWG) à très haut débit (25 GigaS/s). Le profilage temporel est de première importance dans une chaîne laser kilojoule pour lutter contre les distorsions temporelles liées aux saturations de la chaîne d'amplification (gain total $> 10^{12}$). Un système de pre-slicing utilisant un Modulateur Acousto-Optique permet d'augmenter substantiellement la puissance crête envoyée sur deux EOM en LiNbO_3 . Un système de contre réaction permet d'assurer un très fort contraste des impulsions optiques supérieures à 50 dB avec une stabilité de 1% rms. Les impulsions optiques sont l'image optique de l'AWG délivrant des impulsions électriques petits signaux ($< 5 \text{ V}$) avec une bande passante $> 12 \text{ GHz}$ (front de montée de l'ordre de 30 ps). Ce système est capable de produire des impulsions dans l'infrarouge de 30 ps à quelques μs avec une énergie du picojoule au nanojoule.

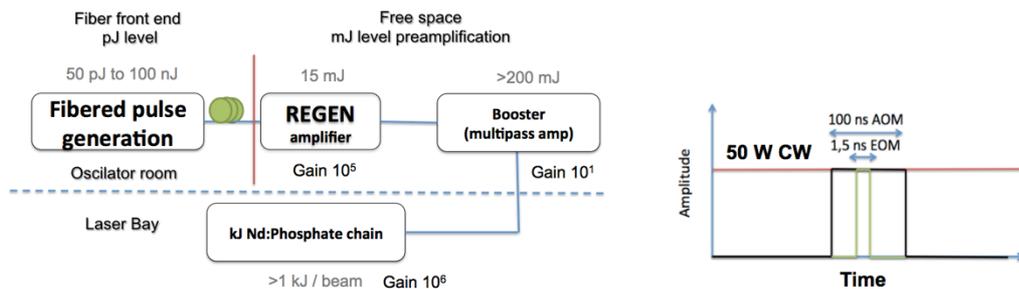


Fig. 2 : Schéma d'amplification et principe du découpage temporel d'un faisceau CW en impulsions par modulation électro-optique et acousto-optique

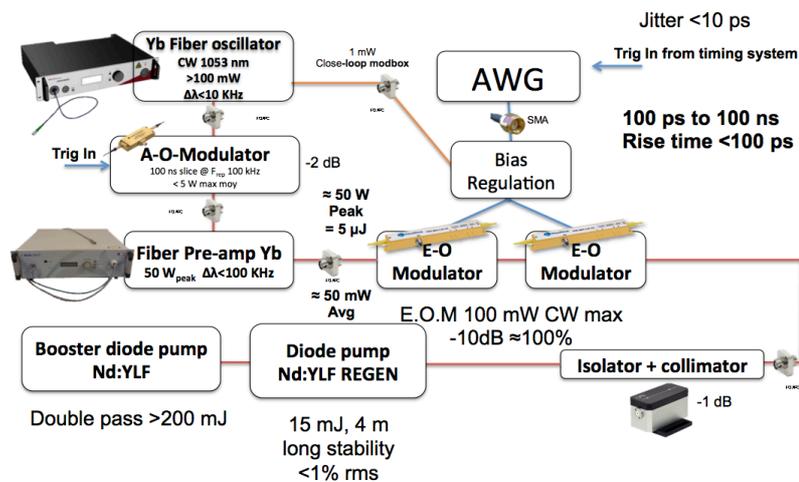


Fig. 3 : Génération d'impulsions nanosecondes nanojoule programmable électriquement par un générateur de forme arbitraire (AWG) haut débit associé à des modulateurs électro-optiques (EOM)

3. AMPLIFICATION PAR FIBRES OPTIQUES A CRISTAUX PHOTONIQUES

Les impulsions pJ à nJ générées par le système, décrit précédemment, doivent être pré-amplifiées d'un facteur 10^6 avant d'être injectées dans la chaîne de puissance kilojoule. Traditionnellement, des amplis régénératifs solides sont utilisés pour cela. Nous proposons de les remplacer par des fibres optiques à cristaux photoniques souple d'un diamètre de cœur $40 \mu\text{m}$ et d'une gaine de $200 \mu\text{m}$. Ces fibres sont dopées aux ions Yb^{3+} et permettent d'obtenir des énergies proches du mJ en sorties. Ces fibres optiques ne sont à priori pas de bons candidats pour générer des impulsions basses cadences avec beaucoup d'énergie par pulse et avec un spectre extrêmement fin ($<10 \text{ KHz}$). Nous montrerons comment gérer la limitation en énergie liée à la diffusion Brillouin. Enfin, nous proposerons un système de combinaison cohérente afin de paralléliser les milieux amplificateurs fibrés afin d'augmenter l'énergie utile. Un système d'asservissement sera étudié.

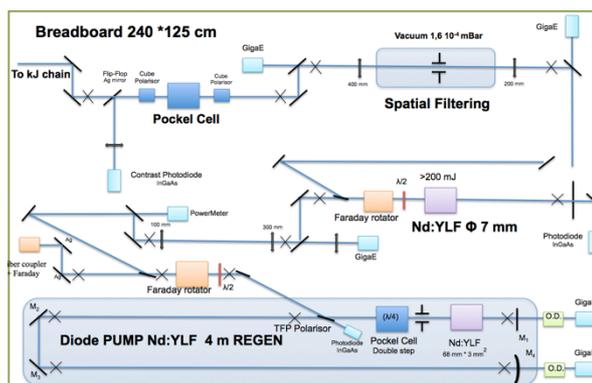


Fig. 1 : Nouveau front end du LULI2000 : un système hybride entre espace libre et fibre optique télécom et à cristaux photoniques.

CONCLUSION

Ce nouveau « front end » permettra à la communauté de la physique des plasmas de faire fonctionner le LULI2000 avec une meilleure qualité de faisceau temporelle et spatiale ainsi qu'une plus grande stabilité en énergie tirs à tirs. Les qualités des fibres optiques Ytterbium permettent de réaliser plusieurs oscillateurs compacts, ce qui permettra d'injecter chaque chaîne avec un profil temporel spécifique utile à la physique des plasmas. Nous avons montré qu'il est possible de ne plus utiliser d'amplificateur régénératif solide : la combinaison cohérente de plusieurs fibres optiques à cristaux photoniques est un avenir pour réaliser des sources d'impulsions nanoseconde ou picoseconde. Ces développements se poursuivront dans le projet Xcan de l'école Polytechnique visant à combiner près d'une centaine de fibres optiques à cristaux photoniques. L'avenir des lasers intenses sera-t-il fortement associé aux fibres optiques à haut rendement photonique ?