

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Monsieur Saaxewer DIOP est autorisé à présenter ses travaux en vue de l'obtention du diplôme national de DOCTORAT délivré par l'école CENTRALE MARSEILLE

Le 19 décembre 2022, à 14H00

Lieu : Institut Laser et Plasma, 2640 avenue du Médoc, 33114 Le Barp

Titre : **Endommagement en régime sub-picoseconde de miroirs de transport et développement de réseaux de compression pour le laser PETAL**

École doctorale : **ED 352 Physique et Sciences de la Matière**

Spécialité : **Optique, Photonique, et Traitement d'Image**

Rapporteurs

Monsieur Marwan ABDU AHMED, chercheur, University of Stuttgart, Allemagne.
Monsieur Yannick PETIT, Maître de conférences, CELIA, Université de Bordeaux, France.

Membres du Jury

Monsieur Marwan ABDU AHMED, chercheur, University of Stuttgart, Allemagne.
Monsieur Yannick PETIT, Maître de conférences, CELIA, Université de Bordeaux, France.
Monsieur Nicolas BONOD, Directeur de Recherche, Aix -Marseille université, France.
Monsieur Laurent GALLAIS, Professeur, Ecole Centrale de Marseille, France.
Monsieur Laurent LAMAIGNERE, Directeur de recherche, CEA CESTA, France.
Madame Muriel THOMASSET, Ingénieur de recherche, Synchrotron-SOLEIL, France.
Monsieur Laurent PINARD, Ingénieur de recherche, Université Claude Bernard Lyon 1, France.
Monsieur Franck DELMOTTE, Professeur, Institut d'Optique Graduate School, Campus Polytechnique, France.

Résumé (FR)

Le laser PETAL (PETawatt Aquitaine Laser) est un laser de puissance installé sur le site du CEA-CESTA et faisant partie de la grande installation de recherche LMJ-PETAL. Ce laser a été conçu pour délivrer des impulsions en régime sub-picoseconde (entre 0,5 et 10 ps) pour une énergie de quelques kilojoules permettant d'atteindre une puissance de plusieurs pétawatts. Cette puissance est aujourd'hui limitée à cause d'une problématique d'endommagement laser au niveau des composants optiques de fin chaîne du laser. C'est notamment au niveau des miroirs de transport, situés après le dernier étage de compression, que des dommages lasers sont apparus. Ces dommages dégradent la fonction optique des composants et peuvent également dégrader la propagation du faisceau. De plus, une évolution de la surface des dommages a été

constatée sur l'installation suite à plusieurs tirs lasers réduisant la durée de vie des composants. Ce phénomène que l'on nomme croissance de dommage représente un enjeu majeur pour l'installation notamment pour le coût de maintenance et la difficulté de remplacement de ces composants sur l'installation.

L'un des objectifs de cette thèse est d'étudier la croissance de dommage en laboratoire afin d'améliorer notre compréhension de ce phénomène et de prédire la durée de vie des composants. Une étude paramétrique a été menée pour caractériser l'influence de différents paramètres : la durée d'impulsion, l'état de polarisation, le profil spatial du faisceau incident et le design du composant. Un modèle numérique a été développé afin de confronter les résultats numériques avec les tendances observées expérimentalement.

Le second objectif de cette thèse concerne les réseaux de compression sous vide de PETAL. Prochainement, une nouvelle génération de miroirs de transport sera installée sur PETAL avec une meilleure résistance au flux laser. Cette nouvelle génération va permettre une augmentation de la puissance sur l'installation. La crainte est que la problématique d'endommagement laser se transpose sur les réseaux de compression sous vide. Cette thèse a donc aussi pour objectif d'améliorer la résistance laser des réseaux PETAL. Ces composants sont composés d'un empilement multicouche fonctionnant en réflexion. Un code numérique pour le design de ces composants a été développé à l'Institut Fresnel. Ce code permet de calculer la distribution du champ électrique et l'efficacité de diffraction aux différents ordres de diffraction. La procédure d'optimisation s'est concentrée sur la réduction du renforcement du champ électrique (grandeur liée à l'endommagement laser) dans le motif de gravure par une modification des épaisseurs des couches supérieures de l'empilement (sous la gravure). Un seul profil de gravure a été considéré. Les résultats ont démontré un impact fort de l'empilement multicouche sur les pics d'intensité du champ électrique réduisant le renforcement du champ électrique. Des échantillons ont été fabriqués pour la réalisation de tests d'endommagement. Les résultats ont conforté les calculs numériques avec des écarts en tenue au flux laser similaires aux écarts numériques de renforcement du champ électrique. La prochaine génération de réseaux PETAL pourrait être conçue suivant cette procédure d'optimisation.

Mots clés : Endommagement laser, miroirs diélectriques, réseaux de compression

Abstract (EN)

The PETAL laser (PETawatt Aquitaine Laser) is a high-power laser located in the CEA-CESTA.

This is part of the LMJ-PETAL research facility. This laser was designed to deliver sub-picosecond pulses (between 0.5 and 10 ps) with an energy of few kJ, allowing to reach a power of several PW. This power is today limited because of the problem of laser-induced damage to the final optical components of the laser chain. It is in particular at the level of the transport mirrors, located after the compression stage, that laser damage sites appears. These damage sites degrade the optical function of the components and can also degrade the beam propagation.

Moreover, an evolution of the damaged surface was observed on the facility following several laser shots which drastically reduces the lifetime of these components. This phenomenon, called laser-induced damage growth, represents a major issue for the PETAL facility, particularly in terms of maintenance costs and the difficulty of replacing these components on the facility.

One of the objectives of this thesis is to study the damage growth in the laboratory in order to improve our understanding of this phenomenon and to predict the lifetime of the components. A parametric study was performed to characterize the influence of different parameters : pulse duration, polarization state, spatial beam profile and component design. A numerical model has been developed to compare the numerical results with the trends observed experimentally.

The second objective of this thesis concerns the PETAL vacuum compression gratings. In the next few years, a new generation of transport mirrors will be installed on PETAL facility with a better laser resistance. This new generation will allow an increase of the laser power. The fear is that the problem of laser damage will be transposed to vacuum compression gratings. The objective of this thesis is therefore to improve the laser resistance of PETAL gratings. These components are multilayer dielectric (MLD) gratings operating in reflection. A numerical code for the design of these components has been developed at the Fresnel Institute. This code allows to calculate the electric field distribution and the diffraction efficiency at different diffraction orders. The optimization procedure focused on reducing the electric field enhancement (a quantity directly linked to laser-induced damage) in the etching profile by modifying the thicknesses of the top layers of the stack (under the etch). Only one etching profile was considered. The results showed a strong impact of the multilayer stack on the electric field intensity peaks reducing the electric field enhancement. Samples were fabricated for laser damage tests. The results were in good agreement with the numerical calculations with deviations in laser flux withstand similar to the numerical deviations in electric field enhancement. The next generation of PETAL gratings would be designed following this optimization procedure.

Keywords: Laser-induced damage, dielectric mirrors, compression gratings

