

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE

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

Le mercredi 3 juin 2026 à 13h00

Lieu : Salle Amphithéâtre PONTE, Aix Marseille Université, Campus Saint Jérôme 52 Av. Normandie Niemen
13013 Marseille

Titre : **Etude de la contamination induite par laser sur les composants optiques en régime UV sub-picoseconde.**

Ecole doctorale : ED 352 - Physique et Sciences de la Matière

Spécialité : PHYSIQUE & SCIENCES DE LA MATIERE - Spécialité : OPTIQUE, PHOTONIQUE ET TRAITEMENT D'IMAGE

Composition du jury :

M. Laurent GALLAIS	Institut Fresnel, Centrale Méditerranée, Marseille	Directeur de thèse
M. Frank WAGNER	Institut Fresnel, Aix-Marseille Université	Co-directeur de thèse
Mme Aude LEREU	Institut Fresnel, CNRS, Marseille	Présidente
M. Jean-François ROUSSEL	DPHY, ONERA, Toulouse	Rapporteur
Mme Patricia SEGONDS	Insitut Néel, Université Grenoble-Alpes	Rapporteuse
M. Laurent LAMAIGNÈRE	DLP, CEA Cesta, Le Barp	Examineur

Résumé (FR)

Au cours des dernières décennies, les sources laser impulsionnelles ont connu une forte augmentation de leur puissance moyenne, de leur fréquence de répétition et de leur durée d'exploitation, notamment dans le domaine industriel. Dans le cas des sources ultraviolettes à impulsions sub-picosecondes, cette évolution s'accompagne d'enjeux accrus de stabilité et fiabilité des composants optiques. En effet, leur exposition prolongée peut conduire à la formation de dépôts nanométriques en surface, appelés contamination induite par laser, susceptibles de dégrader les performances optiques par pertes de transmission, déformation du front d'onde et altération des paramètres de faisceau, tels que le facteur de qualité (mq). Cette thèse est consacrée à l'analyse expérimentale et à la modélisation de la contamination induite par laser en régime UV sub-picoseconde, ainsi qu'à l'étude de ses conséquences sur la propagation du faisceau. Après avoir replacé le sujet dans le contexte des lasers UV à forte puissance moyenne et présenté un état de l'art du phénomène, un dispositif expérimental dédié a été développé afin de reproduire la formation de dépôts sur des composants irradiés à ($\lambda = 343 \text{ nm}$). Ce banc a permis de conduire plusieurs études paramétriques sur la croissance de la contamination et de caractériser les dépôts formés par des approches morphologiques, optiques et physico-chimiques. Afin d'interpréter les tendances expérimentales observées, un modèle phénoménologique de croissance fondé sur des mécanismes d'adsorption, de désorption, de photoproduction d'espèces contaminantes et de pertes photo-induites a été proposé. Dans un second temps, un modèle numérique de propagation en espace libre a été

mis en œuvre pour relier la topographie des dépôts et le défaut de phase associé aux dégradations observées sur la caustique et les paramètres du faisceau. Enfin, une méthode inverse de reconstruction de phase multi-plans a été développée et validée expérimentalement afin de reconstruire la propagation d'un faisceau réel et d'isoler la contribution du dépôt au déphasage mesuré. Ces travaux apportent ainsi de nouveaux éléments de compréhension sur la contamination induite par laser en régime UV sub-picoseconde et sur ses conséquences optiques, tout en ouvrant plusieurs perspectives pour le suivi in situ, l'amélioration du contrôle environnemental et l'exploration de stratégies de mitigation.

Mots-clés : Contamination induite par laser, UV, sub-picoseconde, Interaction Laser-Matière, Reconstruction de phase, modélisation

Abstract (EN)

Over the past decades, pulsed laser sources have undergone a strong increase in average power, repetition rate, and operating lifetime, particularly in industrial applications. In the case of ultraviolet sub-picosecond laser sources, this evolution has been accompanied by growing challenges related to the stability and reliability of optical components. Indeed, prolonged exposure of optics can lead to the formation of nanometric surface deposits, referred to as laser-induced contamination, which may degrade optical performance through transmission losses, wavefront distortion, and alteration of beam parameters such as the beam quality factor (M²). This thesis is devoted to the experimental analysis and modeling of laser-induced contamination in the UV sub-picosecond regime, as well as to the study of its consequences on beam propagation. After placing the subject in the broader context of high-average-power UV lasers and presenting a state of the art of the phenomenon, a dedicated experimental setup was developed to reproduce deposit formation on components irradiated at (SI{343}{nm}). This setup made it possible to carry out several parametric studies on contamination growth and to characterize the resulting deposits using complementary morphological, optical, and physicochemical approaches. In order to interpret the observed experimental trends, a phenomenological growth model based on adsorption, desorption, contaminant photoproduction, and photo-induced loss mechanisms was proposed. In a second step, a numerical free-space propagation model was implemented to relate deposit topography and the associated phase defect to the degradation observed in the caustic and in beam parameters. Finally, an inverse multi-plane phase retrieval method was developed and experimentally validated in order to reconstruct the propagation of a real laser beam and isolate the contribution of the deposit to the measured phase shift. These results provide new insight into laser-induced contamination in the UV sub-picosecond regime and its optical consequences, while also opening several perspectives for in situ monitoring, improved environmental control, and the exploration of mitigation strategies.

Keywords: Laser induced contamination, UV, sub-picosecond, Laser-Matter interaction, Phase Retrieval, Modélisation