

## Titre de la thèse :

# Mesure et analyse de la réponse optique de cibles métalliques en régime laser ultracourt : Conséquences pour l'endommagement

### Important :

- Candidature dans le cadre d'une demande de bourse de thèse DGA/AMU (date limite pour postuler : 24 Avril 2020)
- conditions de nationalité applicables : citoyen de l'Union européenne et Suisse uniquement.
- Adresser votre CV et lettre de motivation à : O. Utéza (DR, HDR, [uteza@lp3.univ-mrs.fr](mailto:uteza@lp3.univ-mrs.fr)) et M. Sentis (DR, HDR, [sentis@lp3.univ-mrs.fr](mailto:sentis@lp3.univ-mrs.fr))

### 1- Problématique et contexte scientifique :

L'endommagement de cibles solides par impulsions laser ultrabrèves pose de manière critique le problème de la fragilité (vulnérabilité) des composants optiques. L'extrême agilité des sources laser femtosecondes, capables d'induire des interactions à distance, localisées et en volume ou surface de la plupart des matériaux, en constitue une raison fondamentale et aussi une source de motivation immense (en vue d'applications, par exemple de structuration locale).

Dans le contexte d'un premier financement DGA/AMU, nous avons ainsi pu démontrer que l'endommagement d'un matériau diélectrique en régime ultrabref est atteint très rapidement (réduction de la fluence seuil d'endommagement) par rapport à des durées d'impulsions plus longues [1,2]. Cependant, nous avons en revanche aussi montré que réduire la durée d'impulsion jusqu'à une durée de quelques cycles optiques ( $\leq 15$  fs) n'induisait aucune fragilité particulière dans le cas de cibles métalliques [3,4]. Ces résultats, originaux à de telles durées d'impulsion, peuvent paraître contradictoires et le cœur des travaux proposés dans le cadre de cette thèse se placera dans une double perspective, fondamentale et appliquée. Il s'agira ainsi de comprendre finement le chauffage laser en régime ultracourt, notamment dans le cas des matériaux métalliques de transition (tungstène, nickel, par exemple), et ensuite de mettre en œuvre cette connaissance pour développer des stratégies « d'attaque » (multi-spectrale, multi-pulse) permettant de réduire la dose énergétique nécessaire pour l'endommagement du matériau ou sa structuration.

### 2- Approche, Méthodologie :

Nous nous placerons en particulier dans la perspective des premiers développements de recherche réalisés au sein du laboratoire LP3 sur cibles métalliques (tungstène, nickel, cuivre, aluminium) et en particulier sur les métaux dits de transition (tungstène, nickel et cuivre). Ces derniers ont un bloc d'états en bande d (électrons liés) « intrusif », c'est-à-dire sur lequel se construit la réponse optique liée au chauffage laser, cela se faisant avec des conséquences diverses. Par exemple, pour le nickel, le bloc d constitue un réservoir d'états sur lesquels le chauffage optique peut se réaliser de manière facilitée et mener à la formation d'une population d'électrons libres (bandes s/p) sur laquelle un couplage optique important se forme, induisant une

absorption importante. Ainsi, si des moyens efficaces (pompe-sonde multi-couleurs résolue temporellement) sont développés pour caractériser précisément et valider ces différentes étapes de peuplement de la bande de conduction, il est ensuite aisé de développer des stratégies d'éclairement (en particulier multi-couleurs) permettant de faciliter ou dynamiser ce peuplement et ainsi de réduire la fluence seuil de modification du matériau (endommagement). Un autre cas d'étude particulièrement intéressant à la fois d'un côté applicatif mais aussi car sa réponse optique diffère largement de celle du nickel, sera le tungstène. Le tungstène présente une pseudo bande interdite au niveau de la structure de son bloc d'états d qui a pour effet dans un premier temps [3] de bloquer ponctuellement l'absorption laser. De nouveau connaître les détails de la réponse transitoire à l'agression laser de ce matériau par des techniques pompe-sonde permettra d'affiner notre connaissance et d'établir ensuite des stratégies d'irradiation *ah hoc* pour permettre de contourner cette pseudo bande interdite et de peupler rapidement et efficacement les niveaux les plus hauts de la bande de conduction. De nouveau, l'objectif est, en s'appuyant sur cette connaissance fondamentale de l'interaction, de trouver des solutions permettant de réduire la dose énergétique laser nécessaire à l'endommagement du matériau.

Cette recherche, à double vocation fondamentale et appliquée, s'appuiera sur la plate-forme ASUR et son environnement (aucun équipement n'est ici à obtenir pour réaliser la thèse) et sur les résultats novateurs issus de la thèse de T. Genieys (thèse DGA/AMU soutenue en 2019).

Par ailleurs, nous collaborons étroitement avec des partenaires académiques nationaux et internationaux, spécialistes du sujet (par exemple le CELIA ou le LaHC en France ; le LPC-ANU en Australie ou dernièrement le Center for Computational Sciences de Tsukuba au Japon), ce qui permet de renforcer l'analyse numérique (modélisation) et l'interprétation des résultats obtenus [approche TDDFT]. L'environnement scientifique de la thèse et du laboratoire est donc particulièrement approprié pour mener à bien les objectifs fixés par ces travaux.

### 3- Résumé, points forts et contexte de la thèse :

*Intérêt et originalité du sujet (mots-clés et résumé):* Impulsions laser ultracourtes (< 15 fs – 100 fs); Pompe – sonde en régime ultrabref, Approche multi-spectrale et multi-pulse ; Endommagement et stratégie d'éclairement.

*L'originalité de ces travaux sera d'aller plus loin dans la connaissance du chauffage laser ultrabref (jusqu'à 15 fs) de cibles solides par des techniques pompe – sonde et de déduire de cette connaissance des schémas d'éclairement appropriés pour exacerber la vulnérabilité des cibles, en particulier celles de nature métallique.*

*Encadrement LP3 :* O. Utéza (DR, HDR) (Tel: 04 91 82 92 92 ; Email : [uteza@lp3.univ-mrs.fr](mailto:uteza@lp3.univ-mrs.fr)).  
M. Sentis (DR, HDR) (Tel: 04 91 82 92 92, Email : [sentis@lp3.univ-mrs.fr](mailto:sentis@lp3.univ-mrs.fr))

*Moyens Laser :* installation multifaisceaux ASUR et environnement (10/20 TW @ 25 fs - 8 GW @ 15 fs, 800 nm, 25 fs nominale, sortie < 15 fs disponible, OPA fs: UV - IR).

*Moyens d'analyse :* analyse in-situ (réflectivité résolues temporellement et spectralement, bilan d'énergie, macroscopie), analyse post-mortem des échantillons : AFM, MEB, microscope optique (équipements disponibles au laboratoire).

#### 4- Bibliographie (A) et Références de l'équipe sur le sujet (B) depuis 2015:

A)

1. B. Chimier et al., Damage and ablation thresholds of fused silica in femtosecond regime: relevant physical criteria and mechanisms – **Phys. Rev. B.** 84, 094104-10, 2011.
2. T. Genieys, “Ablation laser en régime ultracourt de cibles diélectriques et métalliques », Thèse DGA/AMU (Aix-Marseille University, 2019), <http://www.theses.fr>
3. T. Genieys, M. Sentis, O. Utéza, Investigation of ultrashort laser excitation of aluminum and tungsten by reflectivity measurements, **Applied Physics A**, revision (2020).
4. T. Genieys, M. Sentis, O. Utéza, **Advanced Optical Technologies**, soumis (2019).

B)

PASQUIER C., BLANDIN P., CLADY R., SANNER N., SENTIS M., UTEZA O., LI YU, SHEN YAN LONG – Handling beam propagation in air for nearly 10-fs laser damage experiments – **Optics Communications** 355, 230–238, 2015.

PASQUIER C., SENTIS M., UTEZA O., SANNER N. - Predictable surface ablation of dielectrics with few-cycle laser pulse even beyond air ionization - **Applied Physics Letters** 109 (5), 051102, 2016.

BUSSIERE B., SANNER N., SENTIS M., UTEZA O. - Importance of surface topography on pulsed laser-induced damage threshold of Sapphire crystals – **Scientific Reports** 7, 1249, 2017.

WANG Y., UTEZA O., SHU Q., CUI Z., CONG Z., SENTIS M. – Numerical construction of nonlinear optical evolution of femtosecond laser propagation in air based on 2D + 1 NLSE full model - **J. of Laser and Micro/Nano Engineering** 12 (1), 28-33, 2017.

GERHARD C., TASCHE D., UTEZA O., HERMANN J. - Investigation of nonuniform surface properties of classically-manufactured fused silica windows – **Applied Optics** 56 (26), 7427-7434, 2017.

LIU X., SANNER N., SENTIS M., STOIAN R., ZHAO W., CHENG G., UTEZA O - Front-surface fabrication of moderate aspect ratio micro-channels in fused silica by single picosecond Gaussian-Bessel laser pulse - **Applied Physics A** 124, 206, 2018.

LIU X., LI Q., SIKORA A., SENTIS M., UTEZA O., STOIAN R., ZHAO W., CHENG G., SANNER N. - Truncated Gaussian-Bessel beams for short-pulse processing of small-aspect-ratio micro-channels in dielectrics – **Optics Express** 27(5), 6996-7008, 2019.

#### 5- Déroulement de la thèse au Laboratoire LP3 :

La recherche se déroulera au laboratoire LP3 (UMR 7341 CNRS – AMU, Campus de Luminy, [www.lp3.univ-mrs.fr](http://www.lp3.univ-mrs.fr)), magnifiquement niché au cœur du Parc National des Calanques de Marseille, et au sein d'une équipe d'environ 5 personnes travaillant sur l'interaction laser-matière en régime ultra-court.

