

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Titre de la thèse : Compréhension de la réactivité des métaux lors de traitement laser nanoseconde dans des milieux liquides

Département / Équipe : PMDM / LTm

Direction et co-direction éventuelle de la thèse :

Dr HDR Iryna TOMASHCHUK, Dr Rofka RAMDANI

E-mail : iryna.tomashchuk@u-bourgogne.fr ; rofka.ramdani@u-bourgogne.fr

Contexte - Description du sujet – Objectifs

Le traitement des matériaux métalliques par des lasers à courte durée d'impulsion (tels que laser nanoseconde) est une technologie flexible et versatile permettant de produire les morphologies variées de la surface associées à l'insertion des éléments légers tels que l'oxygène et l'azote. La modification de la rugosité et de la nature chimique de la surface métallique ouvre de vastes possibilités de contrôler sa mouillabilité, sa photoréactivité ou encore sa biocompatibilité. Dans le même temps, lors de la réaction du plasma métallique avec l'air ambiant, le traitement laser génère des nanoparticules d'oxydes, ce qui d'une part est un moyen de leur production, mais d'autre part une source de pollution environnementale.

La réalisation des traitements laser dans le milieu liquide résout le problème de propagation des nanoparticules et facilite leur manipulation en vue d'un usage futur, en rendant ainsi le procédé propre. Cependant, *la compréhension et la maîtrise du processus d'oxydation des métaux sous rayonnement laser nanoseconde dans des milieux liquides* restent encore fragmentaires. Comme le démontre une étude préliminaire d'oxydation du titane au laser dans l'eau déminéralisée [1], le milieu liquide influence considérablement la nature et la morphologie de la surface ainsi que des particules générées dans le plasma confiné, en comparaison avec ce qui est observé dans l'air ambiant [2].

Pour induire la formation d'oxydes sans contact avec de l'air, deux milieux riches en oxygène seront considérés : l'eau déminéralisée et le peroxyde d'oxygène. Le titane et l'aluminium, faisant l'objet d'études antérieures du traitement laser nanoseconde à l'air [3,4], seront utilisés comme les substrats. Finalement, les effets de deux sources laser nanoseconde, de $\lambda = 532$ nm et 1064 nm seront comparés. Les surfaces traitées par laser seront caractérisées par profilométrie, DRX, MEB-EDS, Raman et XPS. D'autre part, les particules produites seront analysées au MEB-EDS, Raman et TEM.

Les conditions d'oxydation des métaux lors du traitement laser dans le milieu liquide n'ont

pas encore été pleinement élucidées. Afin de déterminer la température et la nature des espèces évoluant dans la zone d'interaction, l'étude des spectres d'émission et l'imagerie du plasma seront menées en collaboration avec Pr. Jean-Marie Jouvard. Il est également envisagé d'étudier la formation des nanoparticules *in-situ* au moyen de synchrotron Soleil, ce qui a été précédemment réalisé pour le cas du traitement laser à l'air [3].

Cette base expérimentale formera un appui solide pour mener une étude comparative des processus d'oxydation dans l'air et dans des milieux liquides à l'échelle atomistique, ce qui permettra de comprendre les phénomènes de nucléation, de croissance et d'oxydation en vue de l'optimisation du procédé de traitement par laser nanoseconde. Il s'agira de simuler la phase vapeur métallique dans des conditions extrêmes de température et de pression, caractériser les mécanismes de nucléation et de croissance des nanoparticules d'oxydes, et analyser leurs interactions avec différents environnements réactifs, en mettant l'accent sur l'oxydation dans l'air et en milieu liquide, afin d'identifier les conditions favorables à la stabilisation de différentes phases métalliques ou oxydes. Les résultats attendus incluent une meilleure compréhension atomistique des processus de condensation et d'oxydation, la distinction des comportements spécifiques entre atmosphère gazeuse et milieu liquide, et des pistes pour contrôler la composition chimique et la structure des nanoparticules.

Mots clés : laser nanoseconde, matériaux métalliques, oxydation, dynamique moléculaire.

Profil recherché : Master en physique, chimie, science des matériaux ou nanosciences, capable de développer une approche expérimentale pluridisciplinaire et ayant un goût pour la simulation numérique et l'analyse de données.

[1] I. Tomashchuk , N. Zaitseva, M.C. Marco de Lucas, L. Postec, J.-M. Jouvard , L. Lavisse , , Applied Physics A (2025) 131, 1020, <https://doi.org/10.1007/s00339-025-09140-3>

[2] I. Shupyk, L. Lavisse, J.M. Jouvard, M.C. Marco de Lucas, S. Bourgeois, F. Herbst, J.-Y. Piquemal, F. Bozon-Verduraz, M. Piloz, Appl. Surf. Sci. 255, 5574-5578 (2009) <https://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.08.108>

[3] M. Girault. Etude d'un plasma généré lors d'un traitement de surface métallique par ablation laser dans l'air : caractérisations du rayonnement et des nanoparticules induits. PhD thesis, Université de Bourgogne (2015) <https://theses.fr/2015DIJOS028>

[4] F. Torrent. Fonctionnalisation de surfaces métalliques par des couches minces d'oxynitrides de titane obtenues par irradiation laser sous atmosphère contrôlée et par PVD, PhD thesis, Université de Bourgogne (2013). <https://theses.fr/2013DIJOS053>