

PETAL laser performance on the first experimental campaigns

N. Blanchot*, C. Ameil, P. Bagur, G. Béhar, G. Boutoux, C. Chappuis, S. Chardavoine, H. Coïc, C. Damiens-Dupont, V. Denis, J. Dubertrand, J. Duthu, S. Freville, F. Granet, L. Hilsz, L. Lamaignere, E. Lavastre, F. Macias, B. Minou, T. Morgaint, S. Noailles, J. Néauport, D. Raffestin, G. Razé, C. Rouyer, N. Santacreu, O. Selwa, M. Sozetand F. Lanieste

CEA-CESTA, F- 33116 LE BARP, France

* nathalie.blanchot@cea.fr

The Petawatt Aquitaine Laser (PETAL) [1] facility has been designed and constructed by the french Commissariat à l'énergie Atomique et aux énergies alternatives (CEA) to deliver laser pulses in the kJ-picoseconde range at the wavelength of 1053 nm and is an additional short pulse beam to the Laser MegaJoule (LMJ) facility. PETAL energy is limited to less than 1 kJ at the beginning due to the damage threshold of the final optics [2].

The commissioning of focal spot on target and the main performance during the first campaigns on target will be presented. It will concern: alignment of the sub-aperture compression stages in order to optimize the pulse compression, alignment and commissioning of the focal spot allowing reaching intensities on target of $7.9 \cdot 10^{18} \text{ W/cm}^2$ (intensity inferred from measurements at the end of the compressor for the 409 J @ 660 fs shot) and demonstration of the first associated LMJ and PETAL laser shots on target.

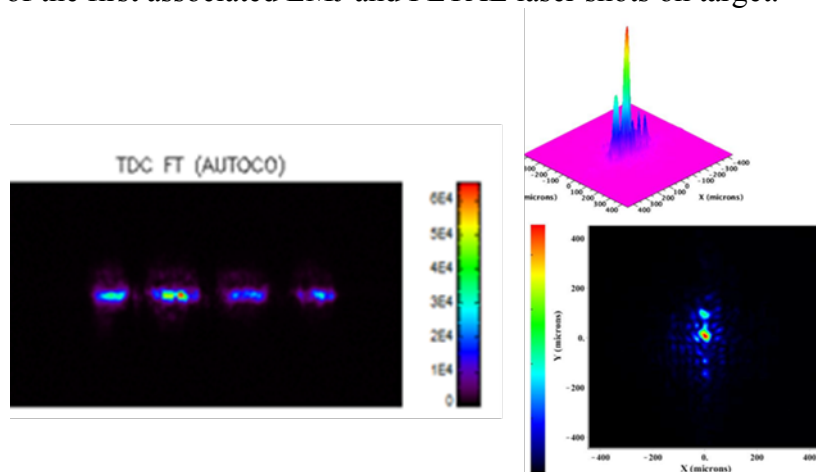


Figure 1: autocorrelation trace (left) and focal spot (right) measured on the compression diagnostic table for the 409 J @ 660 fs shot.

This work is being performed by the CEA under the financial auspices of the Nouvelle-Aquitaine Region in France (project owner), of the French Government and of the European Union.

References

- [1] N. Blanchot et al., “1.15 PW–850 J compressed beam demonstration using the PETAL facility,” *Opt. Express* 25(15), p. 16957-16970 (2017).
- [2] M. SOZET et al., “Sub-picosecond laser damage growth on high reflective coatings for high power applications,” *Opt. Express* 25(21), p. 25767-25781 (2017).

Simulation PIC de l'interaction laser-plasma à ultra-haute intensité et applications aux lasers PETAL et APOLLON

X. DAVOINE ¹, L. GREMILLET ¹, J. FERRI ^{1,3}, M. LOBET ^{1,2}, B. MARTINEZ ¹, P.
L. BOURGEOIS ¹ and A. COMPANT-LA-FONTAINE ¹

¹CEA, DAM, DIF, 91297 Arpajon, France

²Maison de la Simulation, CEA, CNRS, Université Paris-Sud, UVSQ, Université Paris-Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette, France

³Department of Physics, Chalmers University of Technology, SE-41296 Göteborg, Sweden
xavier.davoine@cea.fr

Les installations pétawatt PETAL et APOLLON permettront d'ici peu d'explorer l'interaction laser-plasma dans des conditions inédites et de l'exploiter à des fins diverses, notamment la production de sources intenses de particules et rayonnements énergétiques, ou la création d'états exotiques de la matière. L'énergie élevée ($\sim kJ$) des impulsions laser de PETAL donneront ainsi lieu à des intensités relativistes ($\sim 10^{18-19} Wcm^{-2}$) sur de grandes échelles spatiales ($\sim 100 \mu m$) et temporelles ($\sim 1 - 10 ps$), laissant présager un régime d'interaction méconnu, combinant effets cinétiques et hydrodynamiques. Le laser APOLLON, quant à lui, est conçu pour atteindre, au moyen d'impulsions femtosecondes, des intensités extrêmes ($10^{22-23} Wcm^{-2}$); les plasmas ultra-relativistes qui en résulteront seront grandement affectés par des processus jusque-là spécifiques à la physique (ou l'astrophysique) des hautes énergies : intense rayonnement γ par émission synchrotron et création abondante de paires électron-positron par les processus Breit-Wheeler, Bethe-Heitler ou Trident.

Les perspectives nouvelles ouvertes, à divers titres, par ces deux installations laser suscitent d'ores et déjà de nombreuses études théoriques, faisant appel, pour la plupart, à des codes de simulation *particle-in-cell*. Ces outils, utilisés de longue date pour la modélisation de l'interaction laser-plasma à haut flux, doivent toutefois être améliorés pour traiter avec précision les conditions physiques attendues sur les futurs lasers. Au cours de cet exposé, nous passerons en revue les développements effectués récemment dans ce cadre : seront détaillés aussi bien les modèles physiques que les méthodes numériques employés pour décrire au mieux, ou aiguiller, les futures expériences, tout en tirant le meilleur parti des supercalculateurs de dernière génération. Dans un second temps, nous présenterons plusieurs études réalisées dans notre groupe ces dernières années, pertinentes pour les installations PETAL et APOLLON.

Identification des mécanismes de couplage entre lasers ultra-intenses et plasmas denses

L. CHOPINEAU¹, A. DENOEUDE^{1,2}, G. BLACLARD¹, H. VINCENTI¹, A. LEBLANC¹,
G. BONNAUD¹, J.-L. VAY³, M. THEVENET³, Ph. MARTIN¹ and F. QUERE¹

¹LIDYL, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay, 91 191 Gif-sur-Yvette, France

²CEA-DAM-DIF, F-91297 Arpajon, France

³Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA

adrien.denoed@cea.fr

L'interaction d'un laser ultra-intense avec un plasma dense engendre de nombreux phénomènes physiques non-linéaires. En particulier, lorsque de tels plasmas présentent un gradient de densité suffisamment raide, ils réfléchissent une large fraction de la lumière incidente et peuvent ainsi transporter et mettre en forme des faisceaux laser ultra-intenses [1,2] : ils sont alors communément appelés *miroirs plasma*. Dans de tels cas, le couplage du plasma dense avec le laser incident ne se produit que sur une très fine épaisseur de matière située à l'interface entre le plasma sur-critique et le vide, et est aujourd'hui bien décrit par le mécanisme d'absorption Brunel [3]. Cependant, le domaine de validité de ce paradigme permettant de comprendre l'interaction des lasers ultra-courts et intenses avec des plasmas denses demeure aujourd'hui incertain, et la physique entrant en jeu lorsque la longueur caractéristique du gradient de densité L augmente est encore loin d'être bien identifiée.

Au fil de ces quatre dernières années, nous avons réalisé différentes expériences sur l'installation laser UHI100 du laboratoire LIDYL, au cours desquelles nous avons mesuré à la fois les profils spatiaux et les spectres des faisceaux d'harmoniques XUV et des faisceaux d'électrons générés par l'interaction du laser ultra-intense ($I > 10^{19}$ W/cm², $\tau = 23$ fs) avec une cible solide de silice, ceci en fonction du paramètre L . Les résultats de ces expériences, extrêmement reproductibles et appuyés par des simulations PIC (*Particle-in-Cell*) 2D et 3D nous ont permis de mettre en évidence l'existence d'une transition du régime d'absorption Brunel ($L \ll \lambda$) vers un comportement chaotique ($L \sim \lambda$). Ce dernier résulte en particulier d'un mécanisme connu sous le nom de *chauffage stochastique* [4].

Grâce aux signatures de ces deux régimes distincts clairement identifiées sur les observables expérimentales, cette étude devrait fournir des points de repère importants pour l'interprétation des futures expériences qui seront réalisées dans de tels régimes d'interaction.

References

- [1] A. Lévy *et al.*, Opt. Lett. **32**, 310 (2007)
- [2] A. Leblanc *et al.*, Nature Physics **13**, 440–443 (2017)
- [3] T. Brunel, Phys. Rev. Lett. **59**, 52 (1987)
- [4] Z.-M. Sheng *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 055004 (2002)

Test d'adhérence par choc laser d'assemblages composite pour les besoins aéronautiques : développement et maturité technologique

R. ECAULT, S. BARDY, M. SAGNARD, L. BERTHE, L. VIDEAU, F. TOUCHARD,
M. BOUSTIE

Airbus Operations SAS, Département Matériaux et Procédés

316, route de Bayonne

B.P. D4101

31060 Toulouse Cedex 9, France

romain.ecault@airbus.com

De nombreux développements se focalisent aujourd'hui sur un enjeu majeur pour le secteur aéronautique : le contrôle des collages. Parmi elles, le test d'adhérence par choc laser (LASAT) apparaît comme l'une des technologies les plus prometteuses. Cette technique permet de solliciter une interface collée de manière locale et très intense afin de révéler la présence d'une faiblesse mécanique. Un laser impulsif est utilisé pour focaliser une intensité de l'ordre du GW/cm² sur la surface de l'assemblage à tester, générant un choc. Ce choc, en se réfléchissant sous forme d'onde de détente sur la face arrière du matériau, peut induire un chargement en traction - de l'ordre de quelques centaines de MPa - lors de son croisement avec l'onde de détente incidente initiée à la fin du chargement laser [1]. Cette mise sous traction peut conduire à la rupture de l'interface si son seuil de décollement se trouve être inférieur au chargement. Dans le cas contraire, l'assemblage reste sain et pourra poursuivre son cycle de vie.

Les premiers travaux sur matériaux composite étaient principalement dédiés à de la faisabilité expérimentale [2-4]. Il a ainsi été démontré sur différents types d'assemblage que LASAT permettait de révéler la présence d'une faiblesse mécanique, parfois au détriment de l'intégrité des substrats. Ainsi récemment, une méthodologie a été mise en place afin de maîtriser la technologie, et de comprendre le comportement des assemblages sous choc laser [5]. Ces travaux ont permis de poser les bases d'une adaptation des paramètres laser aux géométries à tester.

Cette contribution propose un état de l'art sur la technologie du test d'adhérence par choc laser, plus particulièrement pour des assemblages aéronautiques. Les performances de la configuration de choc laser historique seront d'abord rappelées [4]. Dans un second temps, différentes solutions d'optimisation seront proposées afin d'améliorer les capacités de test, et d'en étendre l'usage au cas des assemblages aéronautiques. Ces configurations optimales ont été obtenues par simulation numérique, et représentent l'aboutissement le plus concret d'une méthodologie éprouvée [5]. Enfin, dans un dernier temps, les récents résultats expérimentaux obtenus dans le cadre de deux projets collaboratifs [6] seront présentés. De nombreux essais laser ont été réalisés sur des assemblages aéronautiques typiques afin d'en tester l'adhérence, et ce au travers de plusieurs scénarios de faiblesse obtenue par contamination des interfaces ou modification des cycles de cuisson. Ces résultats valident expérimentalement les différentes solutions d'optimisations. Ils démontrent également que la technologie permet de

tester une adhérence jusqu'à 70% du collage nominal.

Références

- [1] J. Yuan and V. Gupta, Measurement of Interface Strength by the Modified Laser Spallation Technique, *Journal of Applied Physics*, 74 (4), pp 2388-2410, 1993
- [2] R. Bossi et al., Laser Bond Testing, *Mater. Eval.* 67, 2009, pp. 819–27
- [3] M. Perton, A. Blouin, J-P. Monchalain, Adhesive bond testing of carbon–epoxy composites by laser shockwave, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 44 034012, 2010.
- [4] R. Ecault, M. Boustie, L. Berthe, F. Touchard, L. Chocinski-Arnault, H. Voillaume, B. Campagne, Developments of a laser shock wave adhesion test on bonded CFRP composites. *International Journal of Structural Integrity*, 5, 4, pp.253-261, 2014.
- [5] R. Ecault, “Experimental and numerical investigations on the dynamic behaviour of aeronautic composites under laser shock - Optimization of a shock wave adhesion test for bonded composites,” PhD, ENSMA Poitiers, 2013
- [6] ComBoNDT, Compochoc

Transport électronique « non-local »: apport des codes cinétiques à la validation des modèles simplifiés pour les codes hydrodynamiques

A. Debayle¹, P. Loiseau¹, C. Enaux¹, R. Riquier¹, G. Samba¹, D. Del Sorbo², J. Brodrick², M. Olec³, P. Nicolai³, J.-L. Feugeas³, V.T. Tikhonchuk³, R. Kingham⁴ and C. Ridgers²

¹*CEA-DAM-DIF, F-91297 Arpajon, France*

²*York Plasma Institute, University of York, York, United Kingdom*

³*Univ. Bordeaux, CNRS, CEA, CELIA, F-33405 Talence, France*

⁴*Blackett Laboratory, Imperial College London, London, United Kingdom*

arnaud.debayle@cea.fr

Les expériences aux hautes densités d'énergie appliquées à l'astrophysique de laboratoire et à la fusion par confinement inertiel (FCI) requièrent l'utilisation de lasers de puissances de longueur d'onde micrométrique. Ces derniers interagissent avec des plasmas de tailles caractéristiques de plusieurs mm voire cm pendant plusieurs nanosecondes. Ces temps et dimensions restent largement prohibitifs pour les codes cinétiques couplés aux équations de Maxwell. La réduction du problème à la magnétohydrodynamique, supposant une haute collisionnalité du plasma électronique et ionique, reste à ce jour la seule méthode pour comprendre la physique ayant lieu dans ces expériences. En particulier, la fermeture sur le flux de chaleur est presque toujours locale ($q = k \nabla T$), induisant ainsi un effet local sur tous les autres termes magnétohydrodynamiques (effet Nernst, Righi-Leduc ...). Hélas, la haute collisionnalité du plasma n'est pas toujours garantie, en particulier dans les régions de plasma chauffées par laser. Dans ce cas, la fonction de distribution électronique s'écarte de la Maxwellienne, induisant des modifications significatives du flux de chaleur.

Pour prendre en compte cet effet, différents modèles cinétiques réduits, dit « non-locaux », ont été développés pour les codes hydrodynamiques, ou pour la compréhension fine de la magnétohydrodynamique non-locale. La plupart de ces modèles ont été comparés entre eux mais aucune validation n'a été réalisée avec des codes totalement cinétiques 2D3V. Depuis un an une collaboration européenne a été mise en place pour obtenir un consensus sur ces modèles, développer un nouveau modèle non-local si nécessaire, ainsi que de disposer de calcul cinétique sans approximation aux moyens de simulations cinétiques « Particle-in-Cell ».