Les diagnostics PETAL+ : de la conception aux premiers résultats

B. Vauzour¹, I. Lantuéjoul¹, A. Duval¹, B. Rossé¹, C. Reverdin¹, L. Lecherbourg¹, C. Rousseaux¹, J.L. Miquel¹, E. Prene¹, D. Batani², A. Casner², J.E. Ducret², S. Hulin², K. Jakubowska², F. Granet³, S. Noailles³, G. Boutoux³, T. Caillaud³, P. Prunet³,
T. Ceccotti⁴, S. Dobosz⁴, S. Bastiani-Ceccotti⁵, E. Brambrink⁵, J. Fuchs⁵, M. Koenig⁵, J.R. Marquès⁵, C.I. Szabo⁶, J.C. Toussaint⁷, B. Gastineau⁷, J.C. Guillard⁷,
D. Leboeuf⁷, X. Leboeuf⁷, D. Loiseau⁷, F. Harrault⁷, A. Lotode⁷, C. Pes⁷, L. Sérani⁸ ¹CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France
²CELIA, Univ. Bordeaux I-CNRS-CEA, F-33405 Talence, France
³CEA, DAM, CESTA, F-33114 Le Barp, France
⁴ CEA, DRF, IRAMIS, F-91191 Gif-sur-Yvette, France
⁵LULI, École Polytechnique, CNRS, CEA, UPMC, 91128 Palaiseau, France
⁶Laboratoire Kastler Brossel, ENS, CNRS, UPMC, 75005 Paris Cedex
⁷CEA, DRF, IRFU, F-91191 Gif-sur-Yvette, France
⁸CENBG, Univ. de Bordeaux, UMR 5797 CNRS/IN2P3, Gradignan 33175, France benjamin.vauzour@cea.fr

Le projet PETAL+ a pour but la réalisation des premiers diagnostics liés aux expériences impliquant le laser PETAL implanté sur l'installation LMJ. Deux de ces diagnostics, SEPAGE et SESAME, permettent de mesurer les spectres des faisceaux de particules chargées générés par le laser. SPECTIX, quant à lui, est dédié à la mesure des spectres de rayonnement X et plus particulièrement de l'émission K α . Enfin CRACC est un diagnostic essentiellement utilisé pour la radiographie protonique.

Ainsi, SEPAGE (Spectromètre Electrons Protons A Grandes Energies) est constitué d'un ensemble de deux paraboles Thomson permettant de mesurer les spectres des protons jusqu'à 200 MeV et des électrons jusqu'à 150 MeV. Il est inséré dans la chambre d'expérience du LMJ à l'aide d'un SID+ (Système d'Insertion des Diagnostics PETAL+)

SESAME (Spectromètre ElectronS Angulaire Moyenne Energie) est, de son côté, composé de deux spectromètres implantés en bordure de la chambre d'expériences à des angles de 0° et 45° par rapport à l'axe du laser PETAL. Chacun des spectromètres est constitué d'un dipôle magnétique déviant, selon leur énergie incidente, les particules chargées sur des détecteurs.

SPECTIX (SPEctromètre à Cristal en TransmIssion X) est un spectromètre de Cauchois constitué de deux voies de mesure. Chacune d'elles est équipée d'un cristal cylindrique en transmission (Quartz 10-11, Quartz 1010 ou LiF 200), d'une fente de filtrage (cross-over), d'un jeu de filtres et d'un détecteur à position variable. A l'instar de SEPAGE, SPECTIX est inséré dans la chambre LMJ à l'aide d'un SID+.

Enfin, CRACC (Cassette Radiographie Centre Chambre) est composé d'un empilement de films radiochromiques (RCF) et de filtres permettant de récolter les particules émises lors de l'interaction laser et de réaliser une mesure de la divergence du faisceau de protons ou une radiographie de l'élément sondé.

Ces diagnostics ont été intégrés et qualifiés sur l'installation LMJ-PETAL. Ils sont dès à présent opérationnels pour de futures campagnes expérimentales.

Influence of radiation-reaction on the electron and photon distribution functions

<u>F. Niel</u>¹, C. Riconda¹, F. Amiranoff¹, R. Duclous², and M. Grech³ ¹LULI, UPMC Université Paris 06: Sorbonne Universités, CNRS, École Polytechnique, CEA, Université Paris-Saclay, F-75252 Paris cedex 05, France ²CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France ³LULI, CNRS, École Polytechnique, CEA, Université Paris-Saclay, UPMC Université Paris 06: Sorbonne Universités, F-91128 Palaiseau cedex, France

fabien.niel@polytechnique.edu

Radiation reaction (RR) in the interaction of ultra-relativistic electrons with a strong external electromagnetic field is investigated using a kinetic approach in the non-linear moderately quantum regime.

Analyzing the system of kinetic equation for the electron and photon distribution functions, we deduce three complementary descriptions depending on the average quantum parameter of the electron population : a deterministic one relying on the quantum-corrected radiation reaction force in the Landau and Lifschitz (LL) form, a linear Boltzmann equation for the electron distribution function, and a Fokker-Planck (FP) expansion in the limit where the emitted photon energies are small with respect to that of the emitting electrons. [1]

Quantum RR effects can affect significantly the electron distribution function. Our treatment allows us to evidence that both the average quantum parameter and the initial shape of the electron distribution function are important to determine the influence of quantum RR on the system. This has important implications for the experimental observation of quantum RR effect and for the implementation of RR in PIC codes. The results established for the electron distribution function allow to reinterpret the differences in the radiation spectrum in the three models. In particular, we observe that the features of RR are much more subtil on the radiation spectrum than on the electron distribution function.

- [1] F. Niel, C. Riconda, F. Amiranoff, R. Duclous and M. Grech, arXiv:1802.02927, (2017
- [2] F. Niel, C. Riconda, F. Amiranoff, M. Lobet, J. Derouillat, F. Pérez, T. Vinci, M. Grech, arXiv:1802.02927 (2018)

Importance de la vitesse longitudinale des grains de tavelure sur le

développement de l'instabilité Brillouin stimulée

M. Duluc^{1,2}, D. Penninckx¹, E. d'Humières², P. Loiseau³, G. Riazuelo³
¹ CEA, CESTA, F-33116 Le Barp, France
² CELIA, Université de Bordeaux, CNRS, CEA, UMR 5107, 351 cours de la Libération, F33405 Talence, Cedex, France
³ CEA DAM DIF, F-91297 Arpajon Cedex, France *maxime.duluc@u-bordeaux.fr*

Dans le contexte des expériences de fusion par confinement inertiel, l'objectif est de rendre l'irradiation laser homogène afin de limiter le développement d'instabilités laser-plasma, en particulier la rétrodiffusion Brillouin stimulée (RBS) du laser sur les ondes acoustiques ioniques. Pour cela, différentes techniques de lissage optique ont été développées. Ces méthodes combinent une mise en forme spatiale produisant une figure de tavelures comportant de nombreux points chauds et froids, et un lissage temporel permettant la modification rapide de cette figure.

Le lissage retenu pour les faisceaux du LMJ, regroupés par 4, est dit « par dispersion spectrale longitudinale». Longitudinal signifie que les différentes longueurs d'onde du spectre de l'impulsion focalisent à différents points alignés longitudinalement par rapport à la propagation du faisceau. Mais en fonction de la synchronisation des faisceaux, le lissage peut devenir en partie transverse. Nous avons donc comparé les configurations longitudinale (LDSL) et transverse (LDST). Pour une parfaite comparaison, nous nous sommes placés dans la configuration idéale pour chacun des lissages. Ainsi par exemple, dans le cas LDST, le faisceau est carré et circulaire dans le cas LDSL. Nous avons évalué par simulation le taux de rétrodiffusion SBS. Comme attendu, les résultats montrent une grande similitude notamment sur le niveau de saturation, identique pour les deux lissages. Cependant, comme on le voit cidessous, les dynamiques ne semblent pas les mêmes. Nous avons montré que cette différence était directement corrélée à la vitesse longitudinale de déplacement des grains de tavelure. En effet, même pour le lissage transverse la vitesse est une fraction non négligeable de la vitesse de la lumière. Ainsi, si le grain de tavelure avance vers l'intérieur du plasma, la longueur d'interaction entre l'onde Brillouin et le grain diminue, réduisant la rétrodiffusion. Dans le cas contraire, elle augmente. Un simple décalage de l'origine des temps entre les deux lissages rend les courbes de rétrodiffusion presque superposables.



Taux de rétrodiffusion RBS au cours du temps pour les deux lissages

Évolution de la vitesses longitudinales des grains de speckles

Rayleigh-Taylor instabilities relevant to Supernovae Remnants

<u>G. Rigon</u>¹, A. Casner², B. Albertazzi¹, Th. Michel¹, P. Mabey¹, E. Falize³, J. Ballet⁴, S. Pikuz⁵, T. Sano⁶, Y. Sakawa⁶, T. Pikuz^{5,7}, A. Faenov^{5,7}, N. Osaki⁸, Y. Kuramitsu⁸, M.P. Valdivia⁹, P. Tzeferacos¹⁰, D. Lamb¹⁰ and M. Koenig^{1,8}
¹ LULI, CNRS - École Polytechnique – CEA – UPMC, Palaiseau cedex, France
² CELIA, Université de Bordeaux, Bordeaux, France
³ CEA, DAM, DIF, Arpajon, France
⁴ CEA-DRF, IRFU, France
⁵ JIHT-RAS, Moscow, Russia
⁶ ILE, Osaka University, Osaka, Japan
⁷ Open and Transdisciplinary Research Initiatives, Osaka University, Japan
⁸ Graduate School of Engineering, Osaka University, Osaka, Japan
⁹ Johns Hopkins University, Baltimore, USA
¹⁰ University of Chicago, Chicago, USA
E-mail de l'orateur / présentateur: gabriel.rigon@polytechnique.edu

Hydrodynamics instabilities, such as the Rayleigh-Taylor (RT) or Richtmyer-Meshkov (RM), play a major role in astrophysical fluid dynamics. In particular, they might be responsible of the lack of spherical symmetry in Supernova Remnants, and might affect the dissipation of the energy. Those instabilities also have a huge impact on ICF as they are potentially involved in mixing, which prevents to achieve ignition. In general, models are often not accurate enough, especially to describe late-time evolution of RTI. Experimental data are therefore needed in non-linear or turbulent phases to benchmark both models and simulations.

In this context we performed an experiment on the LULI2000 facility, in order to observe on highly non-linear stage of RTI. To this end, the target was made of modulated brominated plastic pusher with a low density foam (20 to 500 mg/cc) acting as decelerating medium. A short pulse X-ray back-lighter have been used [1] in a bottom-up geometry, giving a 25 μ m spatial resolution. This setup allowed us to acquire a complete and detailed time sequence of the RTI evolution, until its highly non-linear stage varying the Atwood number from 0.44 to 0.97. Finally, a direct comparison to FLASH simulations shows good agreement in all cases.

Reference

[1] E. Brambrink et al., HPLSE (2016)

APPORT DES OUTILS LASER DANS LE DOMAINE DE LA PROJECTION THERMIQUE

ADAPTATION DES MORPHOLOGIES DE SURFACES POUR UNE TENUE EN SERVICE OPTIMALE

Sophie Costil¹, Jonathan Cormier², Patrice Peyre³, Laurent Berthe³, Robin Kromer^{1, 2}, Damien Courapied³, Lucille Despres^{1, 2}

¹ICB-LERMPS UMR6303, Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM, F-90010 Belfort cedex, France ² Institut Pprime - Département de Physique et Mécanique des Matériaux UPR CNRS 3346, ISAE-ENSMA, Téléport 2, 1, avenue Clément ADER BP 40109 86961 CHASSENEUIL – FUTUROSCOPE, France ³ Processes and Engineering in Mechanics and Materials laboratory (PIMM), CNRS-ENSAM ParisTech, 151 Bd de l'hôpital, 75013 Paris, France

L'adhésion des revêtements est l'objectif premier de tout système afin de pouvoir apporter les propriétés de surface voulues par projection thermique. De façon conventionnelle, des traitements de sablage sont régulièrement employés afin de promouvoir des phénomènes d'ancrage mécanique entre les deux matériaux mis en contact. Néanmoins, selon la nature même des matériaux, un certain nombre de limitations peuvent être observées aussi bien d'un point de vue usage que tenue. Une fragilisation des surfaces peut en effet être remarquée dès lors qu'il s'agit du traitement de matériaux ductiles ou sensibles (ex. matériaux organiques). Pour palier certaines de ces contraintes, des traitements palliatifs sont alors recherchés parmi lesquels les traitements laser apparaissent particulièrement bénéfiques dont la texturation ou structuration laser. Suivant les applications visées et les matériaux envisagés mis en œuvre par les procédés de projection (plasma, flamme, cold-spray, arc...), une morphologie des interfaces adaptée aux sollicitations est alors accessible.

Parmi les nombreux développements, les revêtements barrière thermique sont l'application visée de cette étude avec comme objectif une optimisation de leur durabilité à chaud (oxydation, fluage). Une sous-couche d'accroche est habituellement déposée mais les modes d'endommagement recensés semblent se concentrer autour de cette dernière. L'objectif de ce travail a donc visé à remplacer la sous-couche par une topographie de surface spécifique du substrat générée par texturation ou structuration laser et permettant un ancrage mécanique suffisant aux chargement mécaniques et thermiques subis par les aubes de turbines hautes températures.

Analogie entre impacts hypervéloces et irradiations laser

B. AUBERT¹, D. HEBERT¹, J.-L. RULLIER¹ et L. BERTHE² ¹CEA CESTA, 15 Avenue des Sablières, CS60001, 33116 LE BARP Cedex, FRANCE ²Laboratoire PIMM - UPR80006 CNRS - ENSAM, 151 Boulevard de l'Hôpital, 75013 PARIS, FRANCE *bertrand.aubert@cea.fr*

Type d'intervention souhaitée : Oral

Le nombre de débris spatiaux en orbite autour de la Terre augmentant de jour en jour, le risque de voir l'un d'entre eux percuter un satellite doit être considéré avec attention. Si les plus gros débris peuvent être cartographiés et évités, il n'en est pas de même pour les plus petits. Il est donc nécessaire de dimensionner les satellites pour qu'ils puissent résister à des impacts avec de tels débris. Pour étudier ces impacts hypervéloces en laboratoire, il est usuel d'utiliser des lanceurs. Cependant, les irradiations laser semblent représenter un moyen d'étude complémentaire très intéressant. En effet, les cratères générés par ce procédé sont très ressemblants à ceux générés par lanceurs et les installations lasers offrent des possibilités que n'ont pas les lanceurs.

Des premières relations d'analogie analytiques entre les deux procédés ont été proposées par Pirri [1] et Nebolsine [2]. L'objectif des travaux présentés ici est d'affiner ces relations simples grâce à la simulation numérique et aux techniques expérimentales récentes. Pour cela nous avons réalisés une série d'impacts hypervéloces de billes d'aluminium de diamètre 1mm sur des cibles de graphite sur une gamme de vitesses d'impact allant de 1 à 6 km/s. Parallèlement, des tirs laser a été réalisés sur des cibles de graphite sur l'installation GCLT (CEA-DIF) avec une tache focale de diamètre 250 µm, une durée de pulse de 100 ns et des énergies comprises entre 1 et 40 J. La simulation de toutes ces données expérimentales nous permet de déterminer la pression générée par le projectile et par le laser sur la cible de graphite. C'est en comparant ces lois de pression que nous pouvons déterminer quel impact de projectile est équivalent à un tir laser donné. Nous montrons notamment l'importance du choix de la forme du profil temporel de l'impulsion laser et nous proposons d'utiliser des profils d'intensité trapézoïdaux plutôt que des créneaux pour améliorer l'accord avec des impacts de projectile sphériques.

Une fois l'analogie établie, nous l'étendons à de très grandes vitesses d'impact (> 10 km/s) en utilisant les résultats d'une campagne récente menée sur l'installation LULI 2000 (Ecole Polytechnique). Durant cette campagne, des énergies allant jusqu'à 700 J avaient été utilisées avec des durées de pulse de 15 ns et des taches focales de diamètre 150 μ m, 900 μ m et 1.7 mm. Nous montrons que ces tirs seraient plutôt analogues à des impacts de projectiles aplatis et non plus sphériques comme c'était le cas sur le GCLT.

Références

[1] A. N. Pirri. 1977. Theory for laser simulation of hypervelocity impact, *Physics of Fluids* 20, 221–228.
[2] P. E. Nebolsine. 1976. Laser simulation of hypervelocity impact, *Proceedings of the AIAA 14th Aerospace Sciences Meeting*.

Interaction relativiste entre lasers de quelques cycles optiques et plasmas surdenses

N. ZAIM¹, F. BOHLE¹, M. BOCOUM¹, M. THEVENET¹, S. HAESSLER¹, R. LOPEZ-MARTENS¹ and J. FAURE¹

¹LOA, ENSTA ParisTech, CNRS, Ecole polytechnique, Université Paris-Saclay, 828 bd des Maréchaux, 91762 Palaiseau cedex, France neil.zaim@ensta-paristech.fr

Nous étudions à la fois expérimentalement et numériquement la génération de faisceaux d'électrons ultrabrefs lors la réflexion d'un laser ultraintense de quelques cycles optiques (1.4*10¹⁹ W/cm², 3.5 fs) sur un plasma surdense. Deux régimes d'accélération sont identifiés, pour lesquels les mécanismes d'éjection des électrons sont radicalement différents. Quand l'interface vide-plasma est très abrupte (régime du "miroir plasma"), un paquet d'électrons attoseconde est éjecté du plasma à chaque cycle optique du laser. Ces électrons peuvent ensuite être accélérés dans le vide par l'onde laser réfléchie [1]. Nous proposons en particulier d'améliorer la qualité des faisceaux d'électrons obtenus dans ce régime en utilisant des lasers polarisés radialement, qui possèdent une structure idéale pour l'accélération d'électrons dans le vide. Des simulations PIC indiquent que des faisceaux d'électrons particulièrement intéressants pour des applications telles que la diffraction ultrarapide d'électrons peuvent être obtenus avec des lasers polarisés radialement [2]. Quand la taille caractéristique du plasma est plus grande (quelques longueurs d'ondes), un régime différent apparaît pour lequel nous observons expérimentalement des faisceaux d'électrons collimatés accélérés par ondes de sillage plasmas. Ces électrons ne sont détectés qu'avec des impulsions lasers d'une durée inférieure à 10 fs, montrant clairement que de nouveaux phénomènes physiques apparaissent avec des impulsions de quelques cycles optiques.

- [1] M. Thévenet, A. Leblanc, S. Kahaly, H. Vincenti, A. Vernier, F. Quéré, and J. Faure, Nat. Phys. 12, 355 (2016)
- [2] N. Zaïm, M. Thévenet, A. Lifschitz and J.Faure, Phys. Rev. Lett. 119, 094801 (2017)

Material fracture by focusing of laser-generated surface acoustic waves

D. VEYSSET¹, S. E. KOOI¹, R. HAFERSSAS^{1,2}, M. HASSANI-GANGARAJ³, M. ISLAM^{1,2}, A. A. MAZNEV^{1,4}, I. A. VERES⁵, Y. CHERNUKHA⁶, X. ZHAO⁷, K. NAKAGAWA⁸, D. MARTYNOWICH^{1,4}, XIN ZHANG⁷, A. M. LOMONOSOV⁹, R. RADOVITZKY^{1,2}, T. PEZERIL⁴, and K. A. NELSON^{1,4}. ¹Institute for Soldier Nanotechnologies, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA ²Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA ⁴Department of Materials Science and Engineering, MIT, Cambridge, Massachusetts 02139, USA. ⁴Department of Chemistry, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA ⁵Research Center for Non-Destructive Testing GmbH, Altenberger Str. 69, 4040 Linz, Austria ⁶Institut Molécules et Matériaux du Mans, UMR CNRS 6283, Université du Maine, 72085 Le Mans, France ⁷Department of Mechanical Engineering, Boston University, Boston, MA 02215, USA ⁸Department of Bioengineering, The University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan ⁹Prokhorov General Physics Institute RAS, Moscow, Russia dveysset@mit.edu

Focusing of high-amplitude surface acoustic waves (SAWs) leading to material damage is visualized at the micron scale in an all-optical experiment. The optical set-up includes an axicon that focuses an intense picosecond excitation pulse into a ring-shaped pattern at the surface of a gold-coated borosilicate glass substrate. Optical excitation generates a surface acoustic wave that propagates in the plane of the sample and converges toward the center. The evolution of SAW profile is monitored using interferometry with a femtosecond probe pulse at variable delays. A series of images traces the SAW propagation as it converges to the focal point and subsequently diverges. The quantitative analysis of the full-field images provides direct information about the surface displacement profiles, which are compared to numerical simulations [1]. The amplitude of the SAW is varied by changing the laser excitation energy and damage at the focal point is observed above a certain laser energy threshold. Post-mortem investigation reveals a crater formed by the ejection of the fractured material. Numerical calculations matching the observed surface displacement profiles help us determine the evolution of the stress distribution in the sample. We find that the borosilicate glass withstands a tensile stress as large as ~7 GPa, which lasts for about 3 ns, without visible fracture.

[1] D. Veysset et al., Acoustical breakdown of materials by focusing of laser-generated Rayleigh surface waves. *Appl. Phys. Lett.* **111**, 31901 (2017).

Title: Dynamic behavior of ZrCuAl Bulk Metallic Glasses under high pressure and high strain rate induced by laser

Authors:

<u>B. Jodar¹</u>, D. Loison¹, B. Aubert³, J.-E. Franzkowiak⁵, E. Brambrik⁴, J.-M. Chevalier³, D. Hébert³, M. Nivard¹, Y. Yokoyama⁶, E. Lescoute⁵, L. Berthe² and J-C. Sangleboeuf¹

1 - Institut de Physique de Rennes, IPR UMR CNRS 6251, Université de Rennes, 35042 Rennes, France.

2 - Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux, PIMM UMR CNRS 8006, Arts et Métiers ParisTech, France.

3 - CEA, DAM, CESTA, Le Barp, France.

4 - Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses, LULI UMR 7605, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France.

5 – CEA, DAM, DIF, Bruyères-le-Châtel, France.

6 - Institute for Material Research, Tohoku University, Katahira, Sendai 980-8577, Japan

The amorphous alloys are a relatively new sort of materials that possess very intriguing properties that make them potentially suitable for aerospace applications such as debris shielding. Since their discovery in 1960 and development in a bulk-glass form, extensive works have been provided mostly on their synthesis, glass forming ability and mechanical behavior at low and medium strain rate. However, from these last decades only few studies were reported at high loadings and strain rate.

Therefore the dynamic mechanical and damage behavior of a ternary Zr_xCu_{90-x}Al₁₀ Bulk Metallic Glass (with x=45, 50, 55, 60) is investigated at very high strain rate $(10^7 - 10^8 s^{-1})$. Laser irradiation of various pulse durations were used to generate different shock waves profiles (350 fs, 600 ps, 5 ns and 15 ns). To this extent the hydrodynamic behavior was studied to establish a preliminary Equation Of State required for material understanding and shock wave propagation simulations. The strain rate and the compositional effect dependency on the fracture behavior were also under investigation. Using in-situ diagnostics such as VISAR (Velocimetry Interferometer System for Any Reflector), PDV (Photon Doppler Velocimetry) and shadowgraphy, free-surface and ejecta velocities were measured for several laser intensities and sample thicknesses. From these measurements, several transitions are revealed for pressure ranges up to 120 GPa. These various transitions perturbing strongly the sound wave velocity are assumed to be responsible for a significant change in the shock wave propagation and the spall strength of the material. Results from 350 fs shots performed on the ELFIE facility emphasizing such a brutal change in material behavior (both on the spall velocity and fracture surface morphology) will be presented and discussed along with the compositional effect.

Génération de faisceaux de protons par impact d'un laser intense sur une cible mince d'hydrogène solide : bilan sur trois installations

D. Chatain, A. Girard INAC-SBT, CEA-UGA, 38000 Grenoble, France

alain.girard@cea.fr

La génération de faisceaux de protons par laser est un champ de recherche très actif, tant pour son intérêt fondamental que pour ses applications possibles (accélération de particules, protonthérapie, production de neutrons, etc...). Du fait du taux de répétition élevé des lasers pétawatts et multipétawatts à venir (entre 0,015 Hz et le Hz), ces applications semblent à notre portée, à condition toutefois que l'on résolve le problème de la cible, qui doit permettre le même taux de répétition sans intervention dans la chambre d'interaction, et ne générer aucun débris. C'est pour répondre à ce besoin que le SBT a mis au point un dispositif de cible d'hydrogène cryogénique [1], qui a été testé avec succès sur plusieurs installations lasers [2,3] avec différentes durées et intensités d'impulsions laser. Les résultats obtenus sur ces installations sont rappelés ou présentés, un bilan en est tiré. Les évolutions futures du système à court et moyen terme sont présentées.

Références

- [1] S. Garcia, D. Chatain, J.P. Périn, Las. Part. Beams 32 (2014) 569
- [2] D. Margarone et al, Phys. Rev. X 6, 041030 (2016)
- [3] S. Kraft, D. Chatain et al, accepté à PPCF (2017)

Towards high repetition rate ultra-intense lasers, latest developments at Amplitude Technologies.

F. FALCOZ, E. GONTIER, S. BRANLY, A.RICCI, L. VIGROUX, G. RIBOULET Amplitude Technologies, 2-4 rue du Bois Chaland - CE 2926 Lisses, 91029 EVRY – France

franck.falcoz@amplitude-laser.com

September 2014, Amplitude Technologies has been selected for the supply and commissioning of the HF laser system at the ELI Attosecond Light Source Pulse Source (ELI-ALPS) facility in Szeged, Hungary, one of the three pillars of the ELI program in Europe dedicated to attosecond science with light sources delivering ultrashort pulses between THz and X-ray frequency range at high repetition rate [1].

HF laser system will provide 2 PW laser pulses with duration down to 17 fs at a repetition rate of 10 Hz. In this presentation we will introduce the different R&D programs launched within the Amplitude Laser Group to develop this innovative industrialized laser solution. As a matter of fact, HF laser system will follow a typical architecture based on a OPCPA frontend (R&D program with FASTLITE, Institut d'Optique, CEA and Amplitude Systèmes) which will seed the PW-class CPA-Ti:Sa laser with broadband pulses and ultra-high temporal contrast (10 μ J at 4 kHz, 16.5 fs FTL, ASE at 1012). A separated front-end output will provide 1 mJ, 10 fs laser pulses at 100 Hz. Besides, to deliver around 50 J pulses before compression at 10 Hz, we are developing new generation of pump laser providing 60 J at 10 Hz in one single beam. This new generation of pump laser is also designed to be compatible with OPCPA amplifier.

We will present the last results of the 60 J pump laser and the PW amplifier.



Left: HF system, 3D layout; right: P60 pump laser delivering 60J@10Hz

[1] http://www.eli-hu.hu/

Diagnosing solid-density hot plasmas using characteristic x-ray emission

Dimitri Khaghani¹, Björn Borm^{2,3}, Paul Neumayer³ and Olga Rosmej³

¹Friedrich-Schiller-Universität Jena, ²Goethe-Universität Frankfurt, ³GSI Helmholtzzentrum GmbH, Darmstadt

The irradiation of solid targets at high laser intensity yields the formation of a lower density pre-plasma, despite the use of CPA technology providing a standard contrast of $10^{-6} - 10^{-7}$. This hinders the generation of high-energy-density conditions in the solid material by blocking the propagation of the laser pulse upstream from the target surface. High temperatures are achieved but in the lower density plasma. Thanks to the ultra-high contrast (10^{-12}) of the PHELIX facility, we performed direct heating of the solid target by the laser pulse. We present the results of several experiments that demonstrated the generation of a hot dense plasma by means of x-ray spectroscopy.

In order to set out understandings of complex x-ray spectra of copper, we performed several experiments at various contrast levels with the help of an intentional pre-pulse (1 J - 3 J) stemming from the nanosecond beamline of the PHELIX facility. The main picosecond laser pulse delivered a maximum intensity of 10^{20} W/cm^2 onto the target. A collisional-radiative code was used to determine the plasma conditions related to the spectral signatures of copper observed in the range 8,000 - 11,000 keV.

Last but not least, we present and offer interpretations to new measurements obtained from the irradiation of mass-limited targets. Characteristic x-ray spectra of vertically aligned microwires [1] and levitating micro-spheres are being discussed.

Khaghani, D., Lobet, M., Borm, B., Burr, L., Gärtner, F., Gremillet, L., ... & Neumayer, P. (2017). Enhancing laser-driven proton acceleration by using micro-pillar arrays at high drive energy. *Scientific Reports*, 7(1), 11366.

Equation of state and optical reflectivity of C:H:N:O planetary ices

M. Guarguaglini¹, J.-A. Hernandez¹, R. Bolis¹, T. Vinci¹, E. Brambrink¹, F. Lefevre¹, A. Benuzzi-Mounaix¹, K. Miyanishi², Y. Fujimoto², N. Ozaki², P.Barroso³, A. Ravasio¹

¹Laboratoire LULI - CNRS, École Polytechnique, CEA: Université Paris-Saclay; Sorbonne Université, Palaiseau, France ²Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita, Osaka, Japan ³Observatoire de Paris, Paris, France

marco.guarguaglini@polytechnique.edu

Water, ethanol, and ammonia are amongst the key components of Uranus and Neptune. Knowing their equation of state, conductivity, and transport properties at planetary interiors conditions (a few Mbar and a few 1000 K) is required for developing precise structure and evolution models of the two planets as well as for explaining their puzzling magnetic fields and luminosities. The physical and chemical behavior of such mixtures at extreme pressures and temperatures is not only important for planetology but also interesting on its own, since those conditions are characterized by the coexistence of dissociated atoms, atomic clusters and chains. This regime is very difficult to study via *ab initio* simulations and experimental verifications are required.

We studied pure water, a C:H:O and a C:H:N:O mixture, compressed up to 2.8 Mbar via laser-driven shock loading. The principal Hugoniot has been explored using the decaying shock technique. Moreover, off-Hugoniot states have been reached via a double-shock technique and through coupling of dynamic and static compression in diamond anvil cells. The experiments were performed at the GEKKO XII and LULI 2000 laser facilities using standard rear-side optical diagnostics (VISARs, SOP, reflectometer) to characterize the equation of state (a relation between density, pressure, internal energy, and temperature) and optical reflectivity of the shocked state.

The results show that water and C:H:N:O mixtures share the same equation of state with a trivial density scaling, while the reflectivity behaves differently in both the onset pressure and the saturation value. From the reflectivity measurements at two different frequencies an estimation of conductivity and of the refractive index will be given using a Drude model. The consequences for the icy giants interiors will be addressed.

SELF FOCUSING OF A LASER BEAM INTO A PLASMA

<u>Alessandro Ruocco¹</u>, Guillaume Duchateau¹, Stefan Hüller², Vladimir Tikhonchuk¹

¹Université de Bordeaux-CNRS-CEA, CELIA, Talence, France

²Centre de Physique Théorique, CNRS-École Polytechnique, Palaiseau, France

Self-focusing of a laser beam in a stationary plasma driven by ponderomotive force is studied. It is performed by using the radiative hydrodynamics code CHIC [1] in the context of Inertial Confinement Fusion. In CHIC, the propagation of a Gaussian beam obeys the ray tracing laws, extended to the framework of Paraxial Complex Geometrical Optics (PCGO) [2]: The Gaussian beam propagation is described by the trajectory and complex front curvature thus providing access to the laser intensity in the plasma. So far, optical techniques, such as Kinoform Phase Plate (KPP), have been implemented: the incident laser beams are split into a group of elementary Gaussian beamlets whose envelope creates a "pseudo-speckles" intensity pattern in the plasma. In such a framework, it has been demonstrated that one can take into account nonlinear processes, such as parametric instabilities and hot electron generation. However, the beamlet size is much larger than the real speckles' size and PCGO beamlets may suffer from premature self-focusing.

In this work, we present analysis of the self-focusing process in the PCGO approximation and propose a method of its control, by choosing the beamlet focusing pattern in the far field zone. A definition of the critical power in plasma is revisited for the case of multiple crossing beamlets. The case of a mono-speckle beam composed by several elementary beamlets is studied and the self-focusing is evaluated as a function of the number of beamlets. The conclusions of the PCGO model are compared with full numerical simulations, using the paraxial code HARMONY [3], and appropriate parametrization of the beamlets is proposed. The comparison will be extended to multi-speckled laser beams and cross-beam energy transfer at high laser powers, as well as application to investigate self-focusing in nonstationary plasma.

This work has been carried out within the framework of the EUROfusion Consortium and has received funding from the Euratom research and training programme 2014-2018 under grant agreement No 633053.

- [1] J. Breil, S. Galera, and P. H. Maire, Comput. Fluids 46, 161 (2011)
- [2] A. Colaïtis et al., Phys. Rev. E **89**, 033101 (2014)
- [3] S. Hüller, Phys. Plasmas 13, 22703 (2006)

Stabilité hydrodynamique de cibles minces avec adiabat contrôlé pour le NIF

M. Lafon¹, M. Bonnefille¹, P. Gauthier¹ et M. Vandenboomgaerde¹ (Times 12 pts) ¹CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France E-mail: marion.lafon@cea.fr

La campagne High-Foot (HF) réalisée sur le National Ignition Facility(NIF) a amélioré la production neutronique d'un ordre de grandeur par rapport aux implosions effectuées pendant la National Ignition Campaign (NIC) tout en diminuant considérablement la croissance des instabilités hydrodynamiques. Cependant, cette augmentation s'est faite au détriment d'une compression correcte du combustible due à un fort adiabat.

Des coquilles minces [1] dont l'adiabat a été spécialement mis en forme ont été implosées sur le NIF afin de combiner les bénéfices d'une bonne stabilité du front d'ablation des implosions HF avec la forte compression et la haute vitesse d'implosion démontrées lors de la campagne NIC [2]. A partir de ces résultats, des implosions de cibles dont l'adiabat est contrôlé en maintenant la puissance laser après le premier choc mais également en sculptant la montée laser finale ont été dimensionnées avec le code d'hydrodynamique radiative TROLL. Les facteurs de croissance hydrodynamiques linéaire au front d'ablation sont générés et démontrent une stabilité comparable aux implosions HF tout en permettant d'atteindre les conditions de chauffage par particules alpha.

La forte puissance laser maintenue après le premier choc présente aussi l'avantage de réduire la durée de l'implosion et ainsi de minimiser la détente de la bulle d'or générée par les faisceaux externes et notamment de permettre une meilleure propagation des faisceaux internes dans la cavité en fin d'implosion.

Il est également démontré qu'introduire un dopant de Z élevé dans la partie externe de l'ablateur permet de stabiliser les perturbations au front d'ablation. En effet, ces perturbations sont stabilisées par les oscillations générées par l'instabilité de Richmyer-Meshkov (RM) ablative et les designs dopés bénéficient d'une amplitude d'oscillations plus faible que dans le cas d'un plastique pur. Cependant, la couche de matériau dopé doit rester assez mince pour cumuler à la fois les effets de stabilisation ablative pendant la phase RM et une efficacité hydrodynamique raisonnable. Pour cela, un compromis a été trouvé entre le matériau dopant utilisé et les performances attendues lors de l'implosion afin d'atteindre la stabilisation optimale du front d'ablation.

- [1] T. Ma *et al*, Phys. Rev. Lett. **114**, 501404 (2015)
- [2] H. F. Robey *et al*, Phys. of Plasmas **23**, 056303 (2016)

The control of hot-electron preheat in shock-ignition implosions

J. Trela^{1,2}, W. Theobald², K. S. Anderson², D. Batani1, R. Betti^{2,3,4}, A. Casner¹ J. A. Delettrez², J. A. Frenje⁵, V. Yu. Glebov², X. Ribeyre¹, A. A. Solodov², M. Stoeckl², and C.

Stoeck1²

¹Centre Lasers Intenses et Applications, CELIA, Université de Bordeaux CEA-CNRS, 33405 Talence, France

²Laboratory for Laser Energetics, University of Rochester, Rochester, NY 14623, USA

³Department of Physics and Astronomy, University of Rochester, Rochester, NY 14623, USA

⁴Department of Mechanical Engineering, University of Rochester, Rochester, NY 14623, USA

⁵Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA 02139, USA jocelain.trela@u-bordeaux.fr

Shock ignition is a promising approach for achieving ignition in direct-drive inertial confinement fusion [1]. A critical issue is that the ignitor spike pulse requires a high laser intensity of several 10^{15} W/cm² which will excite parametric laser instabilities leading to a significant transfer of laser energy into hot electrons. One-dimensional simulations have shown that depending on the timing of the laser spike and on the hot electron energy distribution, their effect could be detrimental or beneficial. Experimentally, only a correlation between the degradation of implosion performance and the amount of signal on hot electron diagnostics have been observe [2]. Here, we demonstrate for the first time experimentally that depending on the spike launch time, the hot electron can either significantly reduce the implosion performance or cause no harm. The experiment has been performed on the OMEGA Laser System using a novel laser configuration which allows to study the effect of the spike launching time on the implosion.

A recent absolute calibration of the hard x-ray diagnostic allowed the measurement of both hot electron temperature and energy using a two-dimensional χ^2 analysis. A hot electron temperature of ~38 keV and a total energy of ~100J have been measured. Simulation using the one-dimensional hydro-radiation code LILAC have been made using the measured target and laser parameters and including or not the hot electrons. The simulations including the hot electrons have reproduced the proton-probed average areal density with much better precision than the simulation without them. A comparison of the maximum areal density between the simulations with and without hot electrons and for several spike launch times has been made. It shows that for early spike launch time, the instantaneous areal density of the target at the time of spike launch is smaller than the penetration depth of the hot electrons, resulting in a preheat of the whole target and a decrease in the maximum areal density of 43%. For later spike launch time, the areal density is larger than the hot electrons penetration depth and the decrease in maximum areal density is only of 7%. A similar trend in neutron yield is observed. There is a large degradation in neutron yield at early spike launch and a recovery for later-time generation. This trend has been observed experimentally.

- [1] R. Betti, et al., Phys. Rev. Lett. 98, 155001 (2007).
- [2] W. Theobald, *et al.*, Phys. Plasmas 19, 102706 (2012).

Multiplicateurs sur l'absorption laser pour restituer des expériences en attaque indirecte

O. Poujade¹ ¹CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France <u>olivier.poujade@cea.fr</u>

Au cours de la campagne NIC sur NIF de 2009 à 2012, le constat que la chaine de simulation n'arrivait pas à restituer de façon précise les résultats expérimentaux à fait naître le besoin d'utiliser ce que les équipes du LLNL ont appelé des multiplicateurs sur l'intensité des impulsions laser (multipliers en anglais). La dynamique étant systématiquement moins rapide expérimentalement que numériquement (en imposant les impulsions expérimentales auxquels on retranche les puissances retrodiffusées mesurées), des multiplicateurs, variables dans le temps mais toujours < 1 (pour réduire la dynamique des simulations), furent appliqués aux impulsions laser dans les simulations. Le problème de l'utilisation de tels multiplicateurs sur l'intensité laser vient du fait que l'on modifie le bilan d'énergie entrant dans le système expérimental.

Pour s'affranchir de ce problème, tout en gardant une méthode ad-hoc pour restituer les expériences, on a testé un nouveau type de multiplicateurs sur l'absorption. Ce multiplicateur Cabs affecte le coefficient d'absorption μ dans $I(s) = I(0) \exp(-Cabs \mu s)$ où I(s) est l'intensité laser non absorbée après une distance *s* parcourue dans la matière (le cas sans multiplicateur correspond à Cabs = 1). Jouer sur le mécanisme d'absorption laser permet de ne pas modifier la puissance laser entrante (garder le même bilan que dans l'expérience) mais de simplement déplacer, au sein de la plateforme expérimentale, l'endroit où cette énergie est absorbée.

Sur trois plateformes en attaque indirecte (dont on présentera un travail de restitution), la cavité traversante sur LIL (de P. Loiseau et. al.), l'expérience Keyhole N120321 (diagnostic VISAR) sur NIF [1] et l'expérience N140207 (diagnostic SXI) [2], l'utilisation des multiplicateurs sur l'absorption dans le gaz de cavité a permis de trouver un bon accord avec l'expérience pour une valeur Cabs \approx 2. En augmentant ainsi l'absorption, la puissance est absorbée plus près du trou d'entrée laser où, on le sait, se manifeste bon nombre des effets physiques que l'on simule mal comme le CBET et les instabilités paramétriques.

- [1] H. F. Robey et al., PRL 111, 065003 (2013)
- [2] M. Vandenboomgaerde et. al., PoP 23, 052704 (2016)

Une approche 'hybride' pour étudier le coefficient de couplage sous impulsions laser courtes

S.A.E. BOYER ¹, S. BATON ², E. BRAMBRINK ², L. BERTHE ³, J.-M. CHEVALIER ⁴, L. VIDEAU ⁵, C. ROUSSEAUX ⁵, M. BOUSTIE ⁶, C. PHIPPS ⁷, S. SCHARRING ⁸, S. ORIOL ⁹, F. MASSON ⁹ and C. BONNAL ⁹

¹CNRS-CEMEF, MINES ParisTech PSL, Sophia Antipolis, France ; ²CNRS-LULI, Ecole

Polytechnique, Palaiseau, France ; ³ CNRS-PIMM, Arts et Métiers ParisTech, Paris, France ; ⁴

CEA, DAM, CESTA, Le Barp, France ; ⁵CEA, DAM, DIF, Arpajon, France ; ⁶CNRS-PPRIME,

ISAE ENSMA, Futuroscope, France ; ⁷ Photonic Associates, LLC, Santa Fe, USA ; ⁸ DLR,

Stuttgart, Germany ; ⁹ CNES, Paris, France

Severine.Boyer@mines-paristech.fr

L'environnement de l'Orbite Terrestre Basse (OTB) est composé de débris spatiaux en raison de la fréquence des lancements d'objets. En résulte une instabilité des cascades collisionnelles dont il devient important d'atténuer les risques. Une des solutions proposées est l'interaction laser [1].

Avec le développement des technologies laser, en fonction de la nature de la matière cible, des études sur les paramètres d'irradiation laser montrent que, pour une intensité appropriée, une longueur d'onde et une longueur d'impulsion courtes peuvent conduire à un coefficient de couplage Cm maximisé pour produire un couplage impulsionnel mécanique optimal, et minimiser la charge thermique. Ainsi, des expériences ont été réalisées sur l'installation ELFIE (LULI) (400fs-600ps, 1053nm) pour mettre en place une méthodologie basée sur un pendule balistique permettant d'estimer Cm [2]. Des diagnostics performants (PDV, déviation angulaire, mesures d'absorption) ont été couplés. Dans la plage de fonctionnement des durées d'impulsion, cette approche 'hybride' a été validée notamment par la confrontation des réponses entre diagnostics pour une variété de matériaux représentatifs des structures spatiales. L'empreinte de l'interaction laser est également observée post-choc par analyse microstructurale (*Figure 1*).



Figure 1: Empreintes de l'interaction laser faisant rappel aux empreintes sur la lune (origine physique différente). Ta (80ps, 5 J) MEB (FEI XL30 ESEM LaB6)

Référence

- C.R. Phipps, C. Bonnal, F. Masson, M. Boustie, L. Berthe, M. Schneider, S. Baton, E. Brambrink, J.M. Chevalier, L. Videau, S.A.E. Boyer, "*Transfers from Earth to LEO and LEO to interplanetary space using lasers*". Acta Astronautica 146: 92-102 (2018). DOI: 10.1016/j.actaastro.2018.02.018
- [2] C.R. Phipps, M. Boustie, J.M. Chevalier, S. Baton, E. Brambrink, L. Berthe, M. Schneider, L. Videau, S.A.E. Boyer, S. Scharring, "Laser Impulse Coupling Measurements at 400fs and 80ps using the LULI Facility at 1057nm Wavelength". Journal of Applied Physics 122(19): 193103 1-34 (2017). DOI: 10.1063/1.4997196

Terahertz to Far-Infrared Supercontinua from Laser-Driven Gas-Plasmas

I. Thiele ^{1,2}, B. Zhou ³, A. Nguyen ⁴, E. Smetanina ^{1,5}, R. Nuter ¹, P. González de Alaiza Martínez ¹, K. J. Kaltenecker ³, J. Déchard ⁴, L. Bergé ⁴, P. U. Jepsen ³, and S. Skupin ^{1,6} ¹Univ. Bordeaux - CNRS - CEA, Centre Lasers Intenses et Applications, Talence, France ²Department of Physics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden ³DTU Fotonik, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark ⁴CEA/DAM Ile-de-France, Bruyères-le-Châtel, 91297 Arpajon, France ⁵Department of Physics, University of Gothenburg, Göteborg, Sweden ⁶Institut Lumière Matière, Université Lyon 1 - CNRS, Villeurbanne, France stefan.skupin@univ-lyon1.fr

Research on intense terahertz (THz) electromagnetic sources has received an increasing attention owing to numerous applications, for example, in time-domain spectroscopy, biomedical imaging or security screening [1]. Among the various techniques employed to generate THz radiation, focusing intense two-color femtosecond pulses in air or noble gases provides interesting features like absence of material damage, large generated bandwidth (up to ~100 THz) and high amplitudes of the emitted THz pulses (> 100 MV/m) [2]. First reported by Cook *et al.* [3], THz emission from intense two-color pulses was initially attributed to optical rectification via third-order nonlinearity. However, it was shown later that the plasma built-up by tunneling photoionization is necessary to explain the high amplitudes of the THz field [4], and a quasi-dc plasma current generated by the temporally asymmetric two-color field is responsible for THz emission [5].

When trying to explain this broadband THz emission, the current literature overlooks the analogy between laser-induced gas plasmas and plasmonic structures: In both, plasmon-polariton-like resonances can play a significant role. We show by extensive 3D Maxwell-consistent numerical simulations, simplified modeling, and experimental measurements that plasmon-polariton-like resonances can broaden the THz emission spectra [6].

- [1] M. Tonouchi. Cutting-edge terahertz technology. Nature Photon., 1:97, 2007.
- [2] K. Kim *et al.* High-Power Broadband Terahertz Generation via Two-Color Photoionization in Gases. IEEE J. Quant. Electron., 48:797, 2012.
- [3] D. Cook *et al.* Intense terahertz pulses by four-wave rectification in air. Opt. Lett., 25:1210, 2000.
- [4] K. Kim *et al.* Coherent control of terahertz supercontinuum generation in ultrafast laser-gas interactions. Nature Photon., 2:605, 2008.
- [5] L. Bergé *et al.* 3D numerical simulations of THz generation by two-color laser filaments. Phys. Rev. Lett., 110:073901, 2013.
- [6] I. Thiele *et al.* Terahertz emission from laser-driven gas-plasmas: a plasmonic point of view. arXiv:1803.06889v1 [physics.optics] 19 Mar 2018.

EuPRAXIA: The worldwide first 5 GeV plasma-based accelerator with industrial beam quality

Z. MAZZOTTA^{1,*}, F. MATHIEU¹, C. LE BLANC¹, D. PAPADOPOULOS¹, B. LE GARREC¹, L. A. GIZZI^{2,3}, L. LABATE^{2,3}, P. KOESTER², G. TOCI⁴, M. VANNINI⁴

¹LULI, CNRS, Parc des Algorithmes, 91190 SAINT AUBIN, France; ² ILIL, CNR-INO, Pisa, Italy; ³ INFN, Sez. di Pisa; ⁴CNR-INO, Sesto Fiorentino, Italy

*zeudi.mazzotta@polytechnique.edu On behalf of the EuPRAXIA WP4 team (laser design work package) and the EuPRAXIA project.

The EuPRAXIA infrastructure design study [1] is paving the way to the development of a compact European plasma-based accelerator comprising novel acceleration schemes to drive radiation sources and large-scale user areas for applications. Being applications and users the main concern of the whole EuPRAXIA project, <u>high acceleration performances</u> _need to go along with <u>high stability and reliability</u>, as well as with a <u>high repetition rate</u>, allowing users to carry out either their work or their research in a more reasonable time.

The starting and fundamental step for EuPRAXIA project in order to fulfil all these requirements is to design a laser system that can give a solid basis to all subsequent processes up to the user final objective. In order to fulfil the high performances requirement, the design foresees a petawatt-peak-power laser with unprecedented temporal and spatial quality. Reaching high energy, temporal and spatial stability is of paramount importance to fulfil the reliability requirement and, finally, a repetition rate of 100Hz will provide the users with high statistics and tens of kilowatts of average power.

These very challenging needs are being thoroughly examined, in view of the current dramatic developments of high average power systems and optical components, in order to guide the architecture and technology down-selection and the preliminary design of the laser system.

I will give a summary of the laser specifications in view of the expected staged accelerator performances and foreseen applications, together with a global description of the laser design and main subsystems compatible with the project physics requirements. I will submit to the attention of the reader the main issues of designing a high peak – high average power laser. For example, one of the bottlenecks when trying to reach high repetition rates concerns pump lasers for the amplifications stages. A solution could be the use of Diode-Pumped Solid State Lasers (DPSSL). After that, it is necessary to deal with how thermal effects due to the high repetition rate affect the whole system, including amplification, compression and transport stages.

References

[1]

European Plasma Research Accelerator with eXcellence In Applications http://www.eupraxia-project.eu.

Modélisation efficace de l'accélération d'électrons par sillage laser dans le code SMILEI

F. MASSIMO¹, A. BECK¹, J. DEROUILLAT², M. GRECH³, F. PEREZ³, I. ZEMZEMI¹, and A. SPECKA¹

¹Laboratoire Leprince-Ringuet – École Polytechnique, CNRS-IN2P3, Palaiseau 91128,

France

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

³ Laboratoire d'Utilisation des Lasers Intenses, CNRS, École Polytechnique, CEA, Université Paris-Saclay, UPMC Université Paris 06: Sorbonne Universités, F-91128 Palaiseau Cedex, France

massimo@llr.in2p3.fr

La réalisation de structures innovantes pour l'accélération laser-plasma d'électrons comme CILEX [1] offre des enjeux de modélisation importants qui sont traités par des techniques numériques avancées. Cet exposé décrit comment la communauté de développeurs du code de simulation libre SMILEI [2] approche une partie de ces défis, notamment l'accélération en plusieurs étages.

Une réduction considérable du temps de calcul nécessaire pour des simulations 3D de propagations très longues, peut être obtenue si l'exigence de résoudre les oscillations à haute fréquence du laser est supprimée. Cela peut se faire en utilisant un modèle d'enveloppe et un formalisme pondéromotif [3, 4].

La simulation auto-consistante de l'injection d'un faisceau d'électrons dans un deuxième étage d'accélération demande un calcul des champs électromagnétiques initiaux du faisceau relativiste à l'entrée du plasma. Pour cela, l'équation de Poisson est résolue dans le référentiel du faisceau puis les champs transformés dans le référentiel du laboratoire [5, 6].

La simulation d'un deuxième étage dans le projet CILEX est l'occasion de tester et de valider ces deux méthodes. La réalisation numérique de ces modèles et leurs potentialités seront décrites ainsi que les résultats physiques de cette étude.

- [1] B. Cros et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 740, 27-33 (2014)
- [2] J. Derouillat et al., Computer Physics Communications 222, 351-373 (2018)
- [3] P. Mora et T. Antonsen Jr, Physics of Plasmas 4, 217 (1997)
- [4] S. Sinigardi et al., ALaDyn: A High-Accuracy PIC Code for the Maxwell-Vlasov Equations, <u>https://doi.org/10.5281/zenodo.1195760</u>
- [5] P. Londrillo et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 740, 236–241 (2014)
- [6] F. Massimo et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 829, 378-382 (2016)

ELISA, un injecteur optimisé pour l'accélération laser plasma multi-étages

 T. L. AUDET¹, P. LEE¹, G. MAYNARD¹, A. MAITRALLAIN², S. DOBOSZ DUFRENOY², M. BOUGEARD² and B. CROS¹
 ¹LPGP, CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, 91405, Orsay.
 ²LIDYL, CEA-Saclay, CNRS, Université Paris-Saclay, 91191, Gif-sur-Yvette. thomas.audet@u-psud.fr

Dans le cadre du projet EuPRAXIA [1] et des expériences multi-étages prévues sur CILEX/Apollon [2], l'amélioration du contrôle de l'accélération laser plasma (ALP) ainsi que le couplage de plusieurs étages laser-plasma sont étudiées afin de rendre possible l'utilisation de ces faisceaux pour des applications.

Les simulations avec le code WARP [3] montrent que le mécanisme d'injection assistée par ionisation permet de générer et d'accélérer dans le sillage d'un laser intense des faisceaux d'électrons de bonne qualité avec une énergie accordable dans la gamme 50-200MeV. La densité du plasma est un paramètre clé de contrôle et d'optimisation.

Nous avons donc conçu une cellule de gaz à paramètres variables ELISA [4], dans le cadre d'une collaboration entre le LPGP et le LIDYL. Des expériences réalisées sur l'installation UHI100 du CEA Saclay ont permis de générer des électrons à l'énergie ciblée de 100 MeV. L'influence de la composition du mélange de gaz utilisé et du profil de densité du plasma avec lequel le laser interagit sur la largeur en énergie, la divergence et la charge des paquets d'électrons a été étudiée.

Les résultats expérimentaux obtenus avec ELISA et les études numériques associées seront présentés et discutés.

Ce travail a été soutenu par le Triangle de la Physique sous le contrat n° 2012-032TELISA, le labex PALM dans le cadre des projets Model_ALP et ECOLE_ALP et le labex P2iO dans le cadre du projet DACTOMUS. T. L. Audet remercie pour son support EuPRAXIA, co-financé par la commission Européenne et le programme Horizon2020 sous le contrat n° 653782.

References

[1] P. A. Walker *et al.* Horizon 2020 EuPRAXIA design study (2017), J. Phys. : Conf. Ser. 874 012029.

[2] B. Cros *et al.* Laser plasma acceleration of electrons with multi-PW laser beams in the frame of CILEX, Nucl. Intrum. Meth. A 740 (2014) 27-33.

[3] P. Lee et al. Dynamics of electron injection and acceleration driven by laser wakefield in tailored density profile, Phys. Rev. Spec. Top. Accel. Beams 19 112802 (2016).

[4] T. L. Audet et al. Gas cell density characterization for laser wakefield acceleration, Nucl. Intrum. Meth. A (2017), https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.01.053.