325 - Avril 2023

BRÈVES DE L'IRAMIS

Nouveau mécanisme d'accélération d'électrons par interaction d'un laser avec le bord d'une cible plasma sur-dense

Michèle Raynaud : tél : 01.69.33.45.20, michele.raynaud-brun@polytechnique.edu

L'intérêt pour le développement de nouvelles sources compactes de particules énergétiques et de rayonnement via des mécanismes d'interaction entre un laser ultra-intense et un plasma n'a cessé d'augmenter au cours de la dernière décennie, car ces sources sont utiles pour une grande variété d'applications allant de la génération d'images à la proton-thérapie, en passant par la propulsion spatiale. Divers schémas ont été étudiés en détail comme l'accélération laser par champ de sillage (*voir article au verso*) ou l'accélération d'électrons dans le vide par interaction laser plasma via un transfert d'énergie direct. Dans ce contexte, un nouveau mécanisme d'accélération d'électrons a été proposé dans le cadre d'une collaboration entre une équipe du LSI et une équipe du LULI à l'Ecole polytechnique. Ce mécanisme est basé sur l'interaction d'une impulsion laser polarisée de très haute intensité (~10^{19}W/cm^2) et de courte durée (~25fs) avec le bord d'une cible de plasma sur-dense ($n \gg n_c$, où n est la densité électronique et n_c la densité critique, $n_c=\varepsilon_0 m_e \omega_0/e^2$, ε_0 la permitivité du vide à la fréquence laser ω_0, m_e et e la masse et la charge de l'électron respectivement) qui induit une onde électromagnétique diffractée (figure). Cette onde a une composante de champ électrique longitudinale le long de la surface, dont l'amplitude décroit comme la racine carrée inverse de la distance au bord du plasma. Elle piège des paquets d'électrons et les accélère efficacement. Le mécanisme d'accélération proposé est corroboré par des simulations Particle-In-Cell 3D et 2D réalisées avec le code open source SMILEI ainsi que par un modèle théorique qui décrit avec précision la loi d'échelle de l'énergie de l'électron. Les paquets d'électrons obtenus sont bien collimatés et fortement chargés (~nC). Ils ont des énergies de l'ordre d'une centaine de MeV et se propagent sur une distance de quelques centaines de micromètres. Les résultats sont robustes jusqu'à des intensités laser de l'ordre de 10^{21}W/cm^2 et suggèrent une méthode prometteuse pour générer des faisceaux d'électrons relativistes, avec des applications potentielles dans divers domaines comme les accélérateurs de particules, les sources de rayonnement et la microscopie électronique ultrarapide.

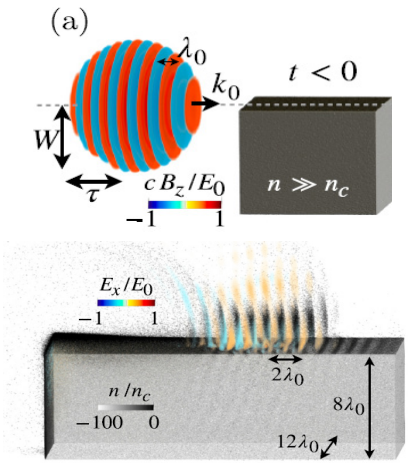

Schéma de l'interaction et champ diffracté accélérant des électrons sur la surface du plasma.

Brèves des labos

La conférence ECNS 2023 (European Conference on Neutron Scattering) s'est tenue du 20 au 23 Mars 2023 à Münich. Le LLB y a participé activement en y présentant le projet de nouvelle source de neutrons ICONE, ainsi que ses derniers résultats scientifiques et ses développements instrumentaux à ESS, à l'ILL et au PSI.

Luca Fedeli a obtenu son Master en Physique à l'Université de Milano-Bicocca, en Italie. Il a réalisé sa thèse à l'Université de Pise et, après un post-doc à l'école Polytechnique de Milan, il a rejoint le groupe PHI du LIDYL en 2019 et a été recruté comme chercheur permanent en 2022. Ses recherches portent principalement sur le développement de codes Particle-In-Cell massivement parallèles, l'étude des effets d'Électrodynamique Quantique dans les interactions laser-plasma à ultra-haute intensité, et le développement de sources d'électrons accélérés par laser.

Luca Fedeli : tél : 01.69.08/19.59. luca.fedeli@cea.fr

Des simulations 3D de l'interaction laser-matière sur les calculateurs les plus puissants au monde

L'interaction d'un laser ultra-intense avec un jet de gaz peut être utilisée pour accélérer des paquets d'électrons très courts jusqu'à des énergies très élevées (qq MeV à plusieurs GeV) sur quelques centimètres seulement. La technique appelée "Laser WakeField Acceleration" (LWFA) ou, en français, "accélération laser par champ de sillage", utilise le laser pour générer une perturbation de densité qui se propage avec lui-même. Ces perturbations de densité sont associées à un champ électrostatique intense, qui piège et accélère une partie des électrons. La taille réduite de ces dispositifs et la brièveté des paquets d'électrons accélérés en font une technique prometteuse pour étudier l'effet FLASH en radiobiologie/radiothérapie, qui, pour une efficacité équivalente, permet de réduire les effets secondaires pour les tissus sains irradiés lorsque les débits de dose sont très élevés. La charge délivrée avec cette technique reste cependant modeste, ce qui limite le champ de ses applications. Récemment, au sein du groupe PHI, nous avons mis au point un nouveau schéma d'injection qui comprend une cible solide couplée à un jet de gaz pour accélérer davantage de charge, tout en préservant la qualité du faisceau. En 2022, nous avons validé ce concept par des expériences au LOA (Laboratoire d'Optique Appliquée, Ecole polytechnique) et par une campagne de simulations à grande échelle, réalisée avec le code Particle-In-Cell WarpX sur 4 des 10 supercalculateurs les plus puissants au monde, notamment Perlmutter (National Energy Research Scientific Computing Center, USA, #8), Summit (Oak Ridge Leadership Computing Facility - OLCF, USA, #5), Fugaku (Riken, Japon, #2) et Frontier (OLCF, USA, #1). La résolution des défis techniques qui ont rendu ces simulations possibles, effectuées en collaboration avec nos partenaires à LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory, université de Californie), Riken, LOA, GENCI, et les sociétés ATOS et ARM, nous a permis d'être lauréats du prix Gordon Bell pour le calcul haute performance en 2022.

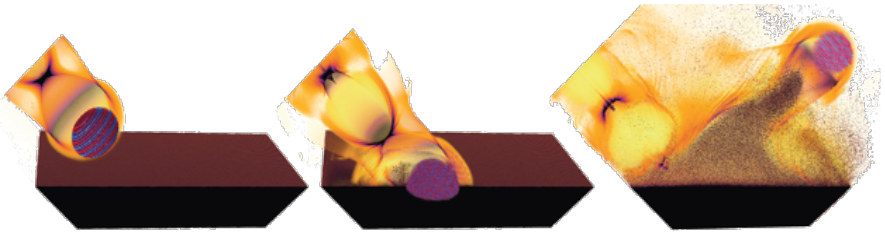

Image d'une simulation 3D réalisée avec le code WarpX, avant, pendant et après la réflexion du laser sur une cible solide couplée à un jet de gaz. La densité d'électrons du gaz est montrée en orange, le champ du laser en bleu et rouge, la cible solide et les électrons qui en sont extraits en brun.

Brève de l'Institut

Projet ANR "Focale science" avec "L'esprit Sorcier - TV"

La Direction de la communication du CEA pilote le projet "Focale Science" financé par l'ANR, pour une action de communication autour des projets ANR du CEA acceptés en 2018 et 2019. Ce projet est conduit en partenariat avec Fred Courant, de la chaine "L'Esprit sorcier TV"*. L'équipe TV propose la réalisation de 4 grandes émissions de 52 minutes sur : la santé, l'électronique , la transition énergétique, et enfin le cerveau. A l'IRAMIS, dix équipes du NIMBE, LIDYL, LLB, NIMBE et SPEC participeront aux trois premières de ces émissions grand public (santé, électronique, transition énergétique). Les premiers repérages se sont déroulés début avril pour des interviews et des prises de vue en juin. Merci à tous les porteurs de projets ANR pour leur participation active ! Et rendez-vous sur la chaine "L'Esprit sorcier TV".

Le programme peut être consulté sur :
https://lespritsorcier.tv/programmes.php.

**chaine disponible gratuitement sur les box Orange (canal 111), Free (canal 220) et Bouygues (canal 122).*

Directeur de la publication : F. Daviaud - Comité de rédaction : M. Soyer, G. de Loubens - Réalisation : C. Becquet