

Accélération contrôlée d'électrons dans un guide d'onde plasma tout optique

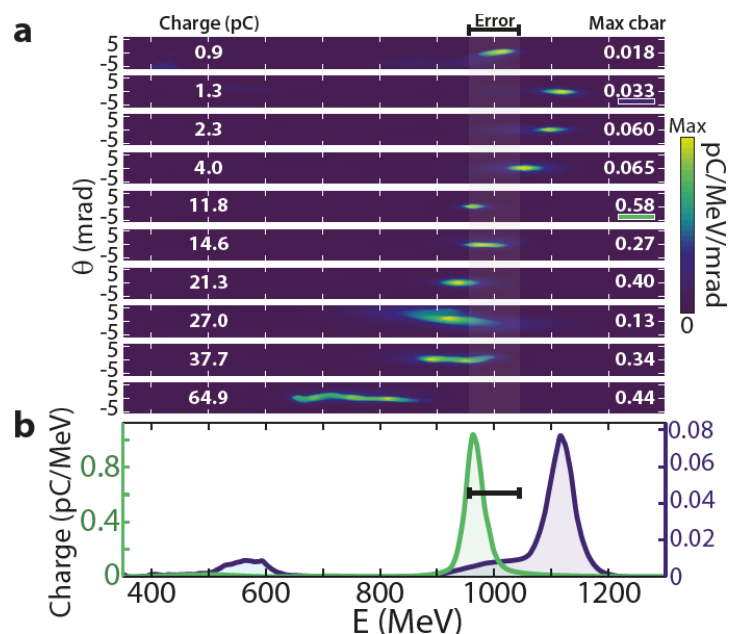
Dans la course aux faisceaux d'électrons de très haute énergie pour la physique des particules, les accélérateurs laser-plasma semblent une solution compacte prometteuse. Des physiciennes et des physiciens ont augmenté significativement l'énergie des électrons et amélioré la qualité des faisceaux en parvenant à contrôler l'injection des électrons dans un guide d'onde plasma tout optique.

Les accélérateurs laser-plasma déploient des champs électriques extrêmement forts : 1000 fois supérieurs à ceux produits par les accélérateurs conventionnels. Ils utilisent des lasers impulsionnels femtosecondes très puissants qui produisent un plasma (électrons, ions) en ionisant la matière et qui génèrent les champs accélérant les électrons. Pour obtenir un faisceau d'électrons de bonne qualité et de haute énergie, deux conditions doivent être réunies : le guidage de l'impulsion laser afin d'accélérer les électrons sur la distance la plus grande possible, et le contrôle de l'injection, c'est-à-dire de l'endroit où le faisceau d'électrons prend naissance, afin d'avoir un faisceau le plus monocinétique possible. Alors que ces conditions étaient obtenues de façon séparées depuis plus de 15 ans, elles n'avaient encore jamais été réalisées simultanément. En mettant au point une méthode de guidage tout optique pour les faibles densités de gaz adaptées à l'accélération laser-plasma et en l'associant à une injection d'électrons par choc, les chercheuses et les chercheurs du Laboratoire d'optique appliquée ([LOA](#), CNRS / Ecole polytechnique / ENSTA) ont réuni les deux conditions et ont produit des faisceaux d'électrons de 1,1 GeV avec une efficacité sans précédent. Ce résultat lève un verrou essentiel qui devrait augmenter significativement les performances des accélérateurs laser-plasmas. Ces résultats sont publiés dans la revue *Light Science and Applications*.

Pour obtenir ces résultats, les scientifiques ont produit un guide d'onde plasma tout optique, c'est-à-dire utilisant une pré-impulsion laser de faible énergie et la focalisant dans un jet de gaz au moyen d'un nouveau type d'optique développée pour l'expérience. Cette pré-impulsion génère un canal de plasma dont la densité décroît vers l'axe optique : l'impulsion principale est alors guidée comme dans une fibre optique à gradient d'indice. Ce guidage augmente la distance sur laquelle le laser intense accélère les électrons et l'énergie finale est ainsi multipliée par 3. Pour obtenir un faisceau dont la dispersion en énergie est faible, il est nécessaire que les électrons accélérés par l'impulsion laser proviennent d'une région bien définie du gaz. Pour assurer ce contrôle de l'injection des électrons, la densité électronique du plasma a été façonnée en produisant un choc dans le gaz, générant localement un fort gradient de densité qui particularise la région des électrons qui seront accélérés. Une bonne résolution en énergie est ainsi obtenue (figure). La prochaine étape est l'amélioration du pointé du laser dans le gaz dont la précision influe sur l'intensité du faisceau d'électrons.

Un atout majeur du guidage tout optique, dont la première démonstration a été réalisée ici pour l'accélération plasma, est de limiter fortement les dommages liés à la puissance du laser, autorisant ainsi des énergies et des taux de répétition arbitrairement élevés. Cette approche ouvre donc à la communauté des perspectives prometteuses. Une campagne d'expériences à l'Infrastructure de recherche (IR) [Apollon](#) dont le laser est 10 fois plus puissant aura pour objectif de tripler l'énergie du faisceau d'électrons obtenu. Une perspective ultime particulièrement intéressante est d'utiliser Apollon pour des études très fondamentales telles que celles liées à l'électrodynamique quantique.





Légende : a) Exemple de 10 spectres d'électrons résolus angulairement obtenus lors d'une série de 14 tirs. b) Deux exemples de spectres intégrés angulairement correspondant aux spectres marqués par des lignes bleues et vertes en (a). Crédit : Cecilia Herrero.

Référence

Controlled acceleration of GeV electron beams in an all-optical plasma waveguide.

Kosta Oubriere, Adrien Leblanc, Olena Kononenko, Ronan Lahaye, Igor A. Andriyash, Julien Gautier, Jean-Philippe Goddet, Lorenzo Martelli, Amar Tafzi, Kim Ta Phuoc, Slava Smartsev & Cédric Thaury, *Light: Science & Applications*, paru le 14 juin 2022.

DOI : [10.1038/s41377-022-00862-0](https://doi.org/10.1038/s41377-022-00862-0)

Archives ouvertes [HAL](#) et [arXiv](#)

Contacts

Cédric Thaury | Chercheur CNRS | LOA | cedric.thaury@ensta.fr

Communication INP-CNRS | inp.com@cnrs.fr