

DÉVELOPPEMENT DE DIAGNOSTICS POUR LES FAISCEAUX D'ÉLECTRONS RELATIVISTES ACCÉLÉRÉS PAR SILLAGE LASER-PLASMA

DEVELOPMENT OF DIAGNOSTICS FOR RELATIVISTIC ELECTRON BEAMS ACCELERATED BY LASER DRIVEN WAKEFIELD IN PLASMA

Etablissement **Université Paris-Saclay GS Physique**

École doctorale **Ondes et Matière**

Spécialité **Physique**

Unité de recherche **Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas**

Encadrement de la thèse **Brigitte CROS**

Financement du 01-10-2025 au 30-09-2028 *origine* **Contrat européen PACRI Employeur CNRS**

Début de la thèse le **1 octobre 2025**

Date limite de candidature (à 23h59) **3 juin 2025**

Mots clés - Keywords

Expériences , interaction laser plasma, sillage laser, accélération d'électrons, électrons relativistes, diagnostics
experiment, laser plasma interaction, laser wakefield, electron acceleration, relativistic electrons, diagnostics

Description de la problématique de recherche - Project description

Le mécanisme du sillage laser-plasma permet d'accélérer les électrons grâce à l'onde engendrée par une impulsion laser ultra-courte, sur laquelle viennent « surfer » les électrons. Cette méthode futuriste présente de nombreux avantages par rapport aux techniques électrostatiques traditionnelles. Les gradients d'accélération sont beaucoup plus élevés, des électrons d'énergies de l'ordre du GeV peuvent donc être atteintes dans des dispositifs de quelques centimètres. Elle fournit des faisceaux d'électrons relativistes intenses et de courte durée, dans des dispositifs compacts. Elle possède de nombreuses applications potentielles notamment en physique des particules et dans le médical.

Cependant, cette technique est encore en développement. Il est notamment important d'arriver à de meilleures stabilités et reproductibilités des caractéristiques du faisceau. L'utilisation du sillage laser-plasma nécessite donc la mise au point de diagnostics tir à tir non destructifs pour le faisceau.

L'équipe ITFIP, au sein de laquelle est proposée cette thèse, a mis au point une cellule plasma permettant d'obtenir des faisceaux d'électrons de bonne qualité avec des énergies ajustables dans la gamme 100-200 MeV. L'injection de ce faisceau d'électrons dans un deuxième plasma pour atteindre des énergies encore plus élevées est en cours d'étude. Ces travaux s'insèrent dans plusieurs projets internationaux, comme EuPRAXIA et PACRI.

Dans ce contexte, le projet de thèse proposé porte sur la mise au point de diagnostics électro-optiques permettant de caractériser le faisceau d'électrons relativistes issu de la cellule de gaz, en position et en temps, à chaque tir. La précision requise est de l'ordre du micron pour le positionnement dans la direction transverse à la propagation et de l'ordre de la femtoseconde dans la direction longitudinale. Les diagnostics développés seront testés lors de campagnes d'expériences laser-plasma sur des installations françaises et européennes.

The mechanism of laser driven wakefield in plasma enables the acceleration of electrons in a short pulse laser generated plasma wave, where electrons are trapped and accelerated like a surfer catching a wave on the ocean. This advanced method has several advantages compared to conventional electrostatic technologies in vacuum. Accelerating gradients are much larger and electrons with energies of the order of 1 GeV can be achieved over plasmas a few centimeter long. It provides intense, short duration relativistic electron beams with compact devices. Numerous applications are foreseen, ranging from medical diagnostic and therapy, to high energy physics.

However, this technique is still under development. In particular, it is important to achieve improved stability and reproducibility of the electron beam characteristics. In order to use these electron beams, non destructive diagnostics permitting shot-to-shot analysis of the beam are required.

The ITFIP team proposes a PhD project that will use an existing plasma cell designed by the team to achieve good quality electron beams with energies tunable in the range 100-200 MeV. The injection of this electron beam in a second plasma to achieve higher energies is under study. These studies are performed in the frame of several international projects, EuPRAXIA and PACRI.

In this context, the proposed PhD project is to develop electro-optic diagnostics to characterize the relativistic electron beam at the exit of the gas cell, in time and transverse position, for each shot. The aim is to achieve a micron precision in the transverse plane and femtosecond resolution in the longitudinal direction. Developed diagnostics will be tested during laser plasma experiments performed at ultra-intense laser facilities in France and in Europe.

Thématique / Domaine / Contexte

Accélération d'électrons dans les plasmas par sillage laser

Physique des plasmas, physique des accélérateurs, dynamique et diagnostics de faisceaux d'électrons

Le développement d'accélérateurs laser plasma de bonne qualité à haute énergie nécessite de développer des schémas à plusieurs étages. Les diagnostics nécessaires au couplage entre étages doivent être adaptés aux caractéristiques des faisceaux d'électrons et à l'environnement laser plasma. Ces développements ont lieu dans le contexte du projet d'accélérateur EuPRAXIA et du projet PACRI.

Objectifs

Développer et tester des diagnostics permettant de caractériser les faisceaux d'électrons issus de l'accélération laser plasma de façon non destructive.

Méthode

La détection du champ coulombien du faisceau d'électron par un ou plusieurs cristaux électro optiques sera testée expérimentalement pour détecter le passage et la position du faisceau d'électrons à la sortie d'une cellule de gaz où est créée la source d'électrons par sillage laser plasma.

Résultats attendus - Expected results

Ce travail permettra de mettre au point un diagnostic permettant d'évaluer expérimentalement la stabilité du faisceau produit par sillage laser plasma

Références bibliographiques

EuPRAXIA design study, <https://www.eupraxia-project.eu/eupraxia-conceptual-design-report.html>

Thèse Lewis Dickson, Laser wakefield acceleration of electrons, <https://theses.hal.science/tel-04606600>

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Réalisation de la thèse dans l'équipe ITFIP du LPGP, réunion mensuelle de suivi du doctorant sur la formation et l'avancement du travail avec rapport écrit , échanges avec l'encadrante suivant les besoins, réunions de travail avec les collaborateurs au projet.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Campagnes d'expériences sur des installations laser intenses nationales et internationales. Le projet de thèse est financé par le projet européen PACRI qui a démarré le 1er mars 2025. <https://cordis.europa.eu/project/id/101188004>

Ouverture Internationale

non applicable

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

publication des résultats dans des journaux scientifiques internationaux, communications à des réunions de projets et des conférences internationales

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Connaissances générales en Physique, optique, électromagnétisme, physique des plasmas

Intérêt pour la physique expérimentale et les développements techniques impliquant de l'optique, des lasers, l'interaction d'ondes avec la matière.

Capacité à programmer en relation avec les développements expérimentaux (analyse de données, contrôle des diagnostics à distance)

Intérêt pour le travail en équipe

capacité à communiquer les analyses et résultats (rapports écrits, présentations orales)

Autonomie et capacité d'organisation, bonne connaissance de l'anglais

General knowledge in physics, optics, electromagnetism, plasma physics

Interest for experimental physics and technical developments involving optics, lasers and wave matter interaction

Programming skills, for data analysis, diagnostic remote control, or automation

Capability to work in a team, while maintaining a good autonomy

Capability to communicate results and analysis, through written documents and oral presentations

Working knowledge of english language

Dernière mise à jour le 17 mars 2025