

**MICRO-PLASMA MICRO-ONDE POUR L'ACCÉLÉRATION LASER-PLASMA D'ÉLECTRONS
RELATIVISTES****MICROWAVE MICROPLASMA FOR LASER-PLASMA ACCELERATION OF RELATIVISTIC ELECTRONS**

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 **Olivier LEROY (detailResp.pl?resp=40488)**

Financement du 01-10-2022 au 01-10-2025 *origine* **concours EDOM** *Employeur* **Université Paris-Saclay**

Début de la thèse le **1 octobre 2022**

Date limite de candidature (à 23h59) **11 mai 2022**

Mots clés - Keywords

plasma, micro-onde, laser, capillaire

plasma, microwave, laser, capillary

Description de la problématique de recherche - Project description

Les plasmas de volume réduit (< 1 mm suivant au moins une dimension) - dits microplasmas - constituent un domaine en plein essor. L'excitation par microondes (à 2.45 GHz) garantit une production continue (non-impulsionnelle) du plasma dans des tubes diélectriques de diamètre réduit (capillaires). L'équipe TMP-D&S du LPGP a conçu un exciteur novateur permettant de générer des plasmas par 'onde de surface' dans des capillaires. Les plasmas sont générés sans aucune électrode, sur une très large gamme de pressions (du mbar à quelques bar), et avec des puissances micro-ondes allant de quelques Watt à quelques dizaines de Watt. Les caractéristiques obtenues dans ces microdécharges, à savoir de fortes densités d'espèces ionisées (électrons et ions), de fortes densités d'espèces actives, et de fortes densités de photons, les rendent fort intéressantes pour de nombreuses applications.

Les accélérateurs basés sur l'accélération laser plasma (ALP) ont vu leurs performances croître très rapidement ces dernières années. Ils sont maintenant capables de produire des faisceaux d'électrons piqués en énergie dans la gamme 1-10 GeV avec une durée de quelques femto secondes. Ces faisceaux peuvent constituer des sources de rayonnement aux propriétés remarquables dans une large gamme de fréquence allant du THz au rayonnement gamma et ouvrent la possibilité de construire des lasers à électrons libres compacts alimentés par des accélérateurs plasma accessibles à des institutions locales.

L'objectif de cette thèse est très ambitieux et s'inscrit dans un vaste programme visant à démontrer expérimentalement l'efficacité du dispositif de micro-décharge micro-onde du LPGP à guider un laser de haute intensité afin d'obtenir une configuration optimisée d'ALP compact à des énergies de plusieurs centaines de MeV à quelques GeV.

Des travaux préliminaires ont permis de définir certaines valeurs typiques des paramètres du dispositif de décharge, comme le mélange de gaz (He +Ar ($<10\%$)) ou le rayon interne du capillaire (100-150 μm). Le passage d'un fonctionnement en argon pur (lors des travaux antérieurs) à un fonctionnement majoritairement en He, plus difficile à ioniser, pose des problèmes qu'il va falloir résoudre. Pour cela, un travail de caractérisation doit être mené pour relier les paramètres externes de la décharge à ses propriétés internes, en l'occurrence les profils radial et longitudinal de la densité atomique. Le but est d'obtenir un profil de densité radial le plus parabolique possible et un profil longitudinal présentant une bonne uniformité sur des longueurs typiques de 5-10 cm.

Le travail proposé sera essentiellement expérimental (spectroscopie optique, spectroscopie laser...), mais des simulations numériques pourront être menées en collaboration avec l'équipe ITFIP du LPGP, afin de tester l'efficacité des configurations optimisées par les expériences.

Plasmas of reduced volume (< 1 mm in at least one dimension) - so-called microplasma - are a growing field. Microwave excitation (at 2.45 GHz) guarantees continuous (non-pulse) plasma production in dielectric tubes with reduced diameter (capillaries). The TMP-D&S team at LPGP has designed an innovative exciter for generating 'surface wave' plasmas in capillaries. The plasmas are generated without any electrode, over a very wide range of pressures (from mbar to a few bars), and with microwave powers ranging from a few Watts to a few tens of Watts. The characteristics obtained in these microdischarges, namely high densities of ionized species (electrons and ions), high densities of active species, and high densities of photons, make them very interesting for many applications.

Accelerators based on plasma laser acceleration (ALP) have seen their performance grow very rapidly in recent years. They are now capable of producing electron beams with energies in the 1-10 GeV range with a duration of a few femto seconds. These beams can be sources of radiation with remarkable properties in a wide frequency range from THz to gamma radiation and open up the possibility of building compact free electron lasers powered by plasma accelerators accessible to local institutions.

The objective of this thesis is very ambitious and is part of a large program aiming at experimentally demonstrating the efficiency of the LPGP microwave discharge device to guide a high intensity laser in order to obtain an optimized configuration of compact ALP at energies ranging from several hundred MeV to a few GeV.

Preliminary work has defined some typical values of the parameters of the discharge device, such as the gas mixture (He +Ar ($<10\%$)) or the internal radius of the capillary (100-150 μm). The change from pure argon operation (in previous work) to an operation mainly in He, which is more difficult to ionize, poses problems that will have to be solved. For this, characterization work must be carried out to link the external parameters of the discharge to its internal properties, in this case the radial and longitudinal profiles of the atomic density. The aim is to obtain a radial density profile that is as parabolic as possible and a longitudinal profile with good uniformity over typical lengths of 5-10 cm.

The proposed work will be essentially experimental (optical spectroscopy, laser spectroscopy...), but numerical simulations can be carried out in collaboration with the ITFIP team of the LPGP, in order to test the efficiency of the configurations optimized by the experiments.

Thématique / Domaine / Contexte

Micro-plasma micro-onde pour l'accélération Laser-Plasma

Physique des gaz et des plasmas

Le travail de cette thèse sera mené au LPGP, dans l'équipe TMP-D&S.

Objectifs

L'objectif de cette thèse est très ambitieux et s'inscrit dans un vaste programme visant à démontrer expérimentalement l'efficacité d'une micro-décharge micro-onde à guider efficacement un laser de haute intensité afin d'obtenir une configuration optimisée d'accélérateur laser-plasma compact à des énergies de plusieurs centaines de MeV à quelques GeV.

Méthode

Le travail proposé sera essentiellement expérimental (spectroscopie optique, spectroscopie laser...), mais des simulations numériques pourront être menées en collaboration avec l'équipe ITFIP du LPGP, afin de tester l'efficacité des configurations optimisées par les expériences.

Résultats attendus - Expected results

- 1) Modifier une configuration expérimentale fonctionnant jusqu'ici en argon pur, pour le fonctionnement en mélanges He + Ar ($<10\%$), plus difficile à ioniser.
- 2) Effectuer un travail de caractérisation pour relier les paramètres externes de la décharge à ses propriétés internes, en l'occurrence les profils radial et longitudinal de la densité atomique.
- 3) Associer deux ou plusieurs excitateurs micro-onde pour modifier le profil longitudinal de densité et surtout pour obtenir une bonne uniformité sur des longueurs de plasma plus importantes (5 à 10 cm).
- 4) Tester l'efficacité des configurations optimisées par les expériences, en les couplant à des simulations (en collaboration avec l'équipe ITFIP du LPGP)

Références bibliographiques

Dap S, Leroy O, J Andrieu, Boisse-Laporte C, Leprince O, Stancu G D, Minea T, 2015 Plasma Sources Sci. Technol. 24 (6) 065006

G D Stancu, O Leroy, P Coche, K Gadonna, V Guerra, T Minea and L L Alves, 2016 Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 49, Number 43, 435202

Debord B, Jamier R, Gerome F, Leroy O, Boisse-Laporte C, Leprince P, Alves L L and Benabid F 2013 Opt. Express 21 25509

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Le travail est effectué dans l'équipe TMP-DS du LPGP, dirigée par Tiberiu MINEA

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Le travail se fera au LPGP, qui est une zone à régime restrictif (ZRR).

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

Cette thématique est très novatrice et la diffusion des résultats sera effectuée par des publications dans des journaux scientifiques internationaux et via des communications dans des conférences.

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Le (la) candidat(e) doit avoir des connaissances en physique des plasmas.

The student should have a background in plasma physics.

Dernière mise à jour le 21 avril 2022