

PROPOSITION SUJET DE THESE

Optimisation des paramètres du plasma et du faisceau laser dans des cellules plasma pour l'accélération de faisceaux d'électrons à haute énergie avec faible dispersion en énergie dans les accélérateurs à plasma pilotés par laser.

DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Les champs électriques longitudinaux générés par la force pondéromotrice d'une impulsion laser ultra courte se propageant dans un plasma sous-dense peuvent atteindre des valeurs très élevées (plusieurs dizaines de GV/m), soit près de trois ordres de grandeur supérieures aux champs accélérateurs atteignables dans les accélérateurs conventionnels. De plus, l'onde progressive longitudinale ainsi créée (appelée onde plasma ou onde de sillage) ayant une longueur d'onde de quelques dizaines de microns (pour des densités électroniques d'environ 10^{18} cm^{-3}) est parfaitement adaptée pour accélérer des paquets d'électrons ultra courts. Il existe deux modes d'injection : 1) injection externe : des paquets d'électrons sont injectés dans le canal plasma à partir d'un injecteur externe ou issus d'une cellule plasma précédente 2) injection interne : des électrons du plasma sont piégés dans un régime fortement non-linéaire et/ou à l'aide d'une impulsion laser en propagation inverse.

Cependant si des résultats expérimentaux récents ont montré des faisceaux d'électrons accélérés à plusieurs GeV à partir d'impulsions laser ultra-courtes et intenses (plusieurs centaines de TW) les faisceaux produits présentent encore des qualités médiocres, en termes de dispersion en énergie (plusieurs %) ou de stabilité.

D'autre part, si le gradient d'accélération est très élevé, la longueur d'accélération, et donc le gain d'énergie par cellule plasma, est limitée par plusieurs mécanismes : diffraction du faisceau laser, déplétion de l'énergie de l'impulsion laser, déphasage des électrons par rapport à l'onde plasma. Pour atteindre des énergies importantes (au-delà de 5-10 GeV) la mise en cascade de plusieurs cellules plasma est alors considérée, mais sa mise en œuvre n'est pas aisée car elle nécessite une adaptation soignée et compacte à la fois du faisceau injecté dans le canal plasma, et du faisceau laser focalisé sur l'axe.

Le régime d'ondes plasma considéré étant fortement non linéaire, la modélisation à l'aide de

codes (Particle-In-Cell) de simulation numériques 3D est essentielle pour comprendre et optimiser les nombreux paramètres en jeu, du plasma, de l'impulsion laser et des faisceaux d'électrons. En plus des valeurs d'énergie atteinte et de charge par paquet, les critères de performance des modules plasma sont la dispersion en énergie et l'émittance transverse des faisceaux accélérés. D'autre part, toute déviation par rapport aux paramètres optimaux étant source de dégradation de la qualité des faisceaux obtenus, il est indispensable d'étudier les effets des erreurs sur l'intensité du laser, la densité du plasma, de désalignement transverse, etc.

L'objectif final étant une description complète du système accélérateur laser plasma, module injecteur et modules accélérateurs, incluant le transport du faisceau laser, ainsi que le transport du faisceau d'électrons entre les modules.

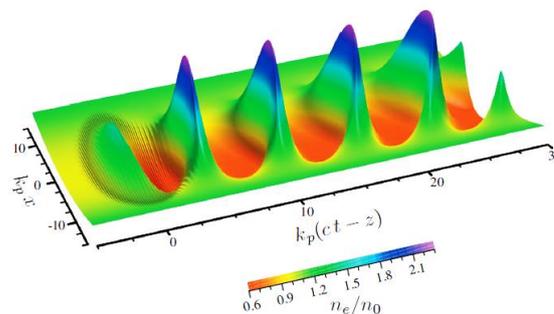


Figure 1 : perturbation de la densité de plasma excité par une impulsion laser (se propageant vers la gauche)

LABORATOIRE/ENCADREMENT

Le travail de thèse s'effectuera au sein du Service des Accélérateurs, de Cryogénie et de Magnétisme de l'Irfu (Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers). Il s'inscrit dans le cadre d'un projet « Design Study » du programme européen pour la recherche et l'innovation « Horizon 2020 ». Ce projet, qui rassemble 16 laboratoires et universités de 5 états membres EU, a pour objectif de produire un rapport d'avant-projet (Conceptual Design Report) pour une installation internationale d'accélérateur plasma d'au moins 5 GeV devant délivrer des faisceaux de qualité avec deux utilisateurs pilotes.

Le doctorant sera principalement encadré par Alban Mosnier, physicien des accélérateurs, entouré d'équipes scientifiques et techniques spécialisées en dynamique des faisceaux. Il bénéficiera en outre de la collaboration avec des laboratoires français et européens, reconnus dans le domaine de l'accélération plasma piloté par faisceau laser, et impliqués dans le projet européen.

TRAVAIL PROPOSE

La thèse proposée vise principalement à améliorer la qualité des faisceaux accélérés par les ondes plasma excités par laser en vue de leur utilisation par des applications, tels les lasers à électrons libres ou la physique des hautes énergies.

Des simulations numériques seront effectuées à l'aide de codes spécialisés dans la modélisation d'accélérateurs laser-plasma, et leur couplage avec des codes de dynamique de faisceau d'électrons sera recherché. Après une phase de simulations 1D et 2D afin d'obtenir un aperçu rapide et une plage de paramètres préliminaire, des simulations PIC 3D seront réalisés, jusqu'à la dernière phase de simulations complètes (start-to-end) pour l'obtention d'une optimisation fine et des valeurs de tolérance.

Les résultats obtenus seront confrontés avec les résultats expérimentaux réalisés sur des installations existantes, en particulier avec ceux de CILEX (laser Apollon de plusieurs PW), en cours de construction sur le Plateau de Saclay.

FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Le candidat devra être titulaire d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur spécialisé soit en modélisation et méthodes numériques, soit en physique expérimentale ou appliquée. Il devra dans tous les cas avoir un excellent niveau général en physique afin d'être capable d'appréhender les problématiques liées au sujet et de rendre compte de résultats expérimentaux obtenus par ailleurs.

COMPETENCES ACQUISES

Au travers des activités de simulation et de modélisation, le doctorant apprendra à exploiter des codes de calculs (3D, Particle-In-Cell) existants. Il sera également appelé à développer des programmes d'analyse de données et de couplage avec des codes de transport de faisceau (C++, Python), les valider et les utiliser. De plus, le doctorant sera en relation avec les partenaires de la collaboration internationale du projet de

« Design Study » et participera activement à la rédaction du rapport.

En définitive, au cours de sa thèse, le candidat assimilera des connaissances spécifiques à la physique des accélérateurs et se familiarisera avec la technique de l'accélération laser-plasma, aujourd'hui en plein essor. Ces connaissances lui permettront, s'il le souhaite, de poursuivre une carrière dans ce domaine de recherche. Mais aussi, il acquerra des compétences génériques à la modélisation physique et à la confrontation avec les résultats expérimentaux obtenus dans diverses installations, compétences qui pourront être par la suite valorisées dans d'autres domaines de recherche ou dans l'industrie.

COLLABORATIONS/PARTENARIATS

En plus d'un contact étroit avec la collaboration CILEX, qui regroupe 12 laboratoires du Plateau de Saclay, des relations étroites et permanentes avec les partenaires européens seront suivies tout au long du projet. Le doctorant sera amené à effectuer plusieurs missions (en France et à l'étranger).

FINANCEMENT

Cette thèse est principalement financée par le programme européen pour la recherche et l'innovation « Horizon 2020 » (Topic : INFRADEV-1-2014, Proposal acronym : EuPRAXIA).

CONTACTS

Alban MOSNIER, physicien accélérateurs.

✉ alban.mosnier@cea.fr

☎ 00 33 1 69 08 28 06

<http://irfu.cea.fr/sacm>