

Etude numérique et expérimentale de la focalisation, post-accélération et du bunching de protons TNSA via des cibles hélicoïdales

A Hirsch^{1,2}, J G Moreau¹, L Romagnani³, C Rousseaux⁴, M Ferri¹, F Lefèvre³, I Lantuéjoul⁴, B Etchessahar¹, S Bazzoli⁴, M Chevrot³, E Loyez³, E Veuillot³, W Cayzac⁴, B Vauzour⁴, G Boutoux⁴, L Gremillet^{4,5}, R. Nuter², E D'Humières², V T Tikhonchuk^{2,6} et M Bardon¹

1 CEA-CESTA, Le Barp F-33114, France

2 CELIA, University of Bordeaux-CNRS-CEA, Talence F-33405, France

3 LULI, CNRS-Ecole Polytechnique-CEA-Université Paris VI, Palaiseau F-91128, France

4CEA-DIF, Arpajon F-91297, France

5Université Paris-Saclay, CEA, LMCE, Bruyères-le-Châtel 91680, France

6ELI-Beamlines, Institute of Physics CAS, Dolní Brežany 25241, Czech Republic

arthur.emmanuel.hirsch@protonmail.com

Les cibles hélicoïdales [1] permettent de concentrer et de post-accélérer un faisceau de protons issu du processus TNSA [2]. Ce schéma utilise le courant de décharge [3], généré par l'éjection de charges issues de l'interaction laser-plasma, pour le faire circuler dans une hélice conductrice. La propagation de ce courant produit une impulsion électromagnétique (IEM) à l'intérieur de l'hélice qui concentre, post-accélère et regroupe en paquets une partie du faisceau de protons. Ce type de dispositif a été validé, pour des hélices à diamètre et pas constants, sur plusieurs expériences [1, 4]. Cette technique présente un fort intérêt pour de nombreuses applications allant du chauffage isochore de matériaux denses à la production d'isotopes ou de neutrons [5].

Les résultats expérimentaux obtenus ont été comparés à ceux des simulations Particle-In-Cell (PIC) de grande échelle via le code SOPHIE [6] développé au CEA-CESTA. Le bon accord entre les résultats expérimentaux et les données de simulation nous permet de mieux comprendre la phénoménologie des processus mis en jeu, en particulier la dynamique des protons, et nous permet l'utilisation de simulations PIC pour la conception des futures expériences.

Je présenterai les résultats des campagnes expérimentales PACMAN effectuées sur l'installation LULI2000 avec une impulsion laser de haute énergie (70J, 1ps) irradiant des cibles hélicoïdales. Ces campagnes nous ont permis d'approfondir l'étude de la focalisation, du bunching et de la post-accélération des faisceaux de protons. Nous avons pu observer l'efficacité des micro-solénoïdes à moduler le faisceau TNSA ainsi que certains effets de la géométrie sur le faisceau en sortie de solénoïdes ainsi que les limitations actuelles de ce schéma, telle que le faible rendement en charge.

Je présenterai de plus le modèle numérique en cours de développement, basé sur le modèle des tubes à ondes progressives [7, 8], que nous utiliserons pour des travaux d'optimisation lors du design des prochaines campagnes d'expérience. Ce modèle, validé par comparaison avec les simulations PIC, est beaucoup plus adapté à l'optimisation sur de nombreux paramètres par rapport aux simulations PIC SOPHIE, étant donné sa simplicité et son faible temps de calcul sur un ordinateur personnel. Ce modèle sera donc utilisé pour la conception des prochaines campagnes expérimentales.

Références :

[1] S. Kar et al, *Nature Com.* **7**, 10792 (2016)

[2] R. A. Snavely et al, *Phys. Rev. Lett.* **85** 2945 (2000)

[3] F. Consoli et al, *High Power Laser Science and Engineering* **8**, e22 (2020)

[4] M. Bardon et al, *Plasma Phys. Control. Fusion* **62**, 125019 (2020)

[5] Roth et al., *Phys. Rev. Lett.* **110**, 044802 (2013)

[6] O. Cessenat, *arXiv*, 1301.4539 (2013)

[7] G. S. Kino et al, *J. Appl. Phys.* **33** (1962) 3002

[8] J. R. Pierce, *Travelling Wave Tubes* (D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey, 1950)