

26 mars 2020

éditée par :  
B. Cros  
N. Delerue

La lettre d'information du GdR APPEL est envoyée aux membres du GdR inscrits sur la liste de diffusion. Pour vous inscrire, contacter Nicolas Delerue : [delerue@lal.in2p3.fr](mailto:delerue@lal.in2p3.fr)

---

## Série spéciale « Activités du GdR » pendant le confinement en France

Nous espérons que vous et vos proches sont en bonne santé. Les rencontres physiques du GdR sont bien entendu suspendues pendant la période de confinement obligatoire. Nous souhaitons garder le contact à travers la publication de cette lettre et profiter de cette période pour documenter plus en détail l'activité des équipes en relation avec le GdR APPEL. Nous vous invitons donc si vous en avez la possibilité à rédiger et nous envoyer des présentations de travaux de doctorants et de laboratoires. Cette série commence par une présentation de l'activité du DACM et de celle de J. Bonvalet dans le cadre de sa thèse au CELIA. N'hésitez pas à nous envoyer vos contributions pour publication dans les semaines à venir. Merci aussi de nous signaler la parution de vos publications.

**Contact : N. Delerue, B. Cros**

## Recensement des jeunes chercheurs (doctorants, post-doctorants) sur les thématiques du GdR

L'un des objectifs du GdR APPEL est de favoriser la formation des jeunes dans les thématiques relevant de sa compétence. Pour cela nous vous invitons à nous signaler les jeunes travaillant sur les thématiques du GdR dans vos équipes. Merci d'avance !

## Présentation de doctorant : Optimisation de l'accélération d'ions par choc électrostatique dans un jet de gaz irradié par un laser intense et applications à la production de neutrons et de radio-isotopes (Julien Bonvalet)

**Membres de l'équipe IFCIA sur cette thématique : J. Bonvalet, Ph. Nicolai, V. Tikhonchuk, E. d'Humières**

**Contact : [julien.bonvalet@u-bordeaux.fr](mailto:julien.bonvalet@u-bordeaux.fr)**

Les radioisotopes utilisés en médecine nucléaire pour la thérapie et/ou le diagnostic présentent une courte durée de vie et doivent être fabriqués directement à proximité des hôpitaux ou obtenus grâce à un radioisotope « mère » de plus grande durée de vie. Les moyens de

production utilisés sont à ce jour, les cyclotrons ou les centrales nucléaires. On estimait à 30000 actes médicaux journaliers en 2016 faisant appel à des radioisotopes.

Les cyclotrons standards/hospitaliers fournissent des faisceaux de protons d'énergie maximale de 12MeV pour des courants de quelques dizaines de  $\mu\text{A}$ . Leurs coût est de l'ordre du million, hors bâtiment. Certains cyclotrons de recherche type Aronnax [1] peuvent atteindre une 50aine de MeV pour un coût de construction de l'ordre de 17M€.

Le but de cette thèse est de tester une alternative à cette technologie : une production de radioisotopes par accélération laser-plasma pour un coût plus faible, une compacité et une versatilité plus grandes.

Mon travail consiste donc à améliorer l'efficacité de production de protons accélérés suite à l'interaction d'un laser intense avec un jet de gaz. Le mécanisme étudié est l'accélération par choc électrostatique. Le but est de créer des faisceaux de protons collimatés présentant des spectres en énergie d'intérêt pour produire des radioisotopes (spectres piqués aux énergies adéquates aux sections efficaces des réactions recherchées dans la cible secondaire).

Pour cela, une chaîne de codes hydrodynamique, PIC SMILEI[2] et Monte-Carlo[3] a été mise en place et permet ainsi de dimensionner de futures expériences.

Des premières simulations d'accélération de protons par laser avec un taux de répétition de 10Hz permettent d'atteindre des courants de quelques  $\mu\text{A}$  qui, arrivant sur une cible de Nickel enrichi, permettent la production de  $50\text{MBq}/\text{cm}^3$  de Cuivre 64 (isotope prometteur TEP et radiothérapie interne vectorisée) en 3H, radioisotope actuellement fabriqué à ARRONAX avec un faisceau de deutérons de 16MeV à un courant de  $90\mu\text{A}$  en 3H pour une activité de  $890\text{MBq}/\text{cm}^3$ .

[1] GIP cyclotron ARRONAX 1, rue Aronnax BP 10112 44817 SAINT-HERBLAIN (France)

[2] J. Derouillat, A. Beck, F. Pérez, T. Vinci, M. Chiaramello, A. Grassi, M. Flé, G. Bouchard, I. Plotnikov, N. Aunai, J. Dargent, C. Riconda, M. Grech, SMILEI: a collaborative, open-source, multi-purpose particle-in-cell code for plasma simulation, *Comput. Phys. Commun.* 222, 351-373 (2018)

[3] A. Ferrari, P.R. Sala, A. Fasso, and J. Ranft, FLUKA : a multi-particle transport code, CERN-2005-10 (2005)

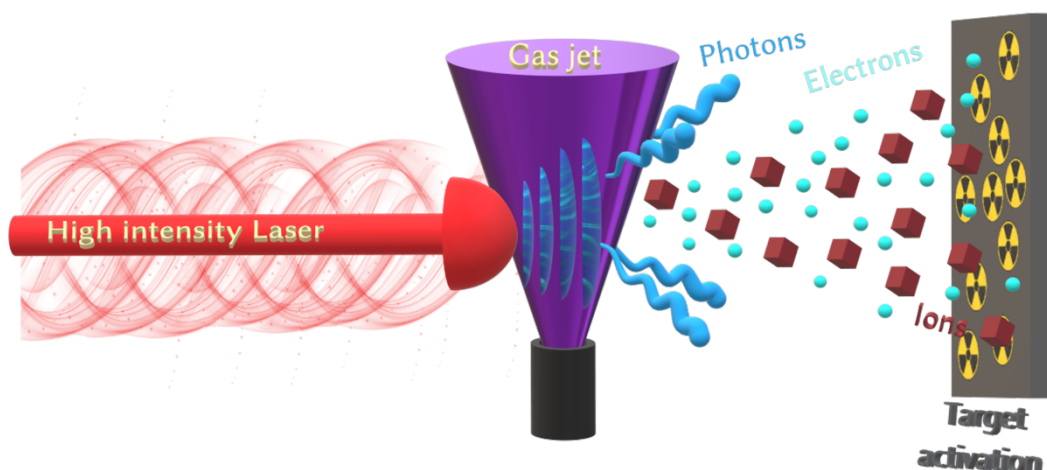


Figure 1: Schéma de production de radioisotopes grâce à l'accélération laser-plasma.

## Présentation de laboratoire : Activités de l'IRFU dans le domaine de l'accélération Laser-plasma

Contact : [phu-anh-phi.nghiem@cea.fr](mailto:phu-anh-phi.nghiem@cea.fr)

Le CEA/IRFU/DACM est traditionnellement impliqué dans le domaine des accélérateurs RF conventionnels. Son implication, progressive, dans le domaine de l'accélération laser-plasma d'électrons a commencé il y a une dizaine d'années, avec la participation au projet CILEX destiné au laser APOLLON, sur les études d'implantation d'une ligne de transport d'électrons entre deux étages plasma, puis au projet DACTOMUS sur la réalisation d'aimants pour une expérience de productions d'électrons sur le laser UHI100. Sa participation a été plus conséquente à la phase CDR (Conceptual Design Report) du projet européen EuPRAXIA, avec la responsabilité, la co-responsabilité et la participation aux workpackages WP2-Physique et Simulations, WP5-Design et optimisation des lignes de transport, et WP15-Diagnostics du faisceau d'électrons.

Des "métiers" exercés dans les accélérateurs conventionnels, ceux qui peuvent être reconduits dans l'accélération laser-plasma sont : la physique du faisceau, les diagnostics faisceau, la conception des éléments magnétiques. Au DACM, les ingénieurs-chercheurs de ces domaines ont tous participé aux projets d'envergure nationale ou internationale, coordonnant ou faisant partie d'équipes comportant de nombreux partenaires. Les projets d'accélérateurs concernés sont pour la plupart de grands instruments de recherche à caractère fortement "challenging", qui ont été construits et installés par la suite avec succès. Sans être exhaustif, on peut citer les accélérateurs de SOLEIL, GANIL, LHC, IFMIF, SARAF, Eu-XFEL, CTF3, etc.

En s'appuyant sur des connaissances approfondies de la physique du faisceau et des expériences solides de simulations numériques, les équipes du DACM ont mené à bien la conception des accélérateurs les plus exigeants. Avec l'effort de s'initier puis de contribuer ensuite à la physique de l'accélération laser-plasma, elles possèdent la double compétence dans l'accélération RF autant que l'accélération plasma. Cela permet de traiter plus spécialement les accélérateurs à venir basés sur les nouvelles techniques, où le faisceau doit être parfaitement maîtrisé dans les étages plasma aussi bien que dans l'injection, l'extraction et le transport.

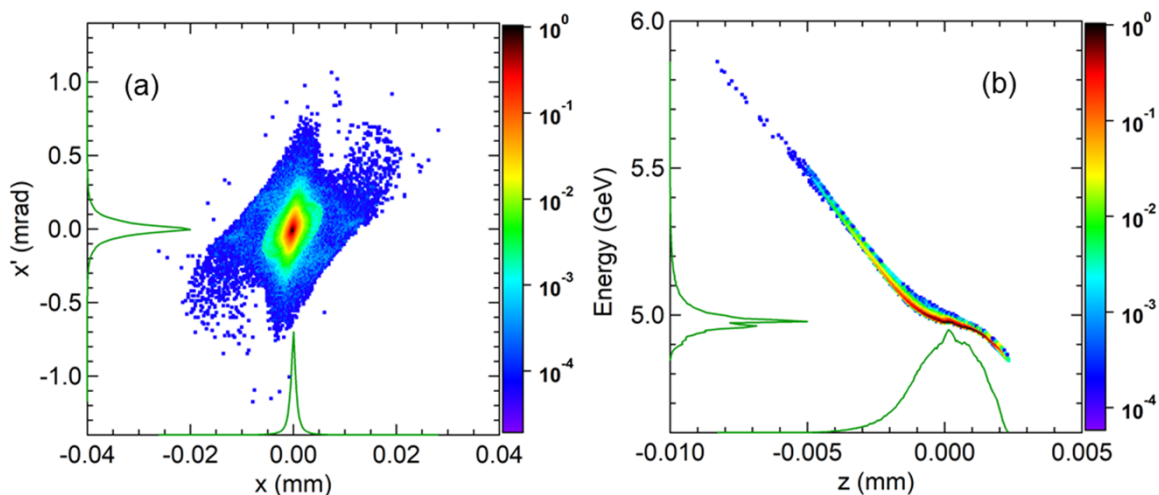


Figure 2: Portrait du faisceau (500 000 macroparticules) de 5 GeV dans deux espaces de phase, à l'extraction du deuxième étage plasma

C'est ainsi que l'impulsion a été donnée dans la collaboration avec les autres équipes européennes d'EuPRAXIA, pour étudier un accélérateur laser-plasma avec les mêmes exigences qu'avec un accélérateur conventionnel. En effet, (a) Les objectifs en termes de

performances faisceau sont fixés initialement; (b) Les optimisations par simulation sont menées intensivement pour atteindre ces objectifs; (c) Le faisceau est simulé depuis l'injection jusqu'à l'utilisateur final; (d) Les paramètres physiques nécessaires des systèmes laser et plasma en ont été déduits; (e) Les calculs d'erreur et de tolérance sont menés afin d'identifier les composants sensibles auxquels un soin particulier doit être apporté lors de la réalisation ou de l'installation. En bref, le DACM peut intervenir, seul ou en collaboration avec d'autres équipes, pour faire la conception d'un accélérateur ou d'une expérience laser-plasma dans leur intégralité.

**Principales publications** du DACM dans le domaine de l'accélération laser-plasma

- X. Li, P. A. P. Nghiem, and A. Mosnier, Toward low energy spread in plasma accelerators in quasilinear regime, Phys. Rev. Accel. Beams 21, 111301 (2018).

- X. Li, A. Chancé, and P. A. P. Nghiem, Preserving emittance by matching out and matching in plasma wakefield acceleration stage, Phys. Rev. Accel. Beams 22, 021304 (2019).

- P. A. P. Nghiem et al., Toward a plasma-based accelerator at high beam energy with high beam charge and high beam quality, Phys. Rev. Accel. Beams 23, 031301 (2020).

## Identification des besoins en Instrumentation

La journée conjointe avec le Réseau Instrumentation Faisceaux de l'IN2P3 qui devait avoir lieu les 14 et 15 avril 2020 est repoussée à une date ultérieure. Cependant, nous continuons le recensement des besoins en instrumentation faisceaux. Si dans votre équipe vous avez des besoins en matière d'instrumentation faisceaux (de particules chargées), pourriez-vous nous les signaler ?

## L'appel à propositions d'actions structurantes du GdR est ouvert

Les propositions déposées avant le 10 avril seront examinées (par téléconférence) vers le 15 avril. Plus de détails sur la préparation des propositions sur le site du GdR

<http://gdr-appel.fr/index.php/category/actualites/>

## Prochaines Réunions du GdR

Réunion du comité de pilotage n°6 : 26 mai 2020 à 10h

Réunion du comité de pilotage n°7 : 15 septembre 2020 à 10h

Réunion du comité de pilotage n°8 : 17 novembre 2020 à 10h

## Conférences à venir

**Annulé : IPAC2020** : Caen, 10-15 mai 2020

<https://www.ipac20.org/>

**AAC 2020**, Advanced Accelerator Concepts Workshop  
Asilomar Conference Center, Pacific Grove, California  
June 21-26, 2020

**Prochain forum ILP** : Printemps 2021