

## Proposition de stage M2 – Année 2024-2025

**Niveau du stage** : M2

**Durée du stage** : 6 mois

**Ouverture éventuelle vers un sujet de thèse** : Oui

**Type de financement envisagé pour la thèse** : Ecole doctorale

**Responsable du stage** : Étienne Testa / Jean Michel Létang

**Téléphone** : +33 4 72 44 81 47

**Email** : [e.testa@ip2i.in2p3.fr](mailto:e.testa@ip2i.in2p3.fr), [jmletang@insa-lyon.fr](mailto:jmletang@insa-lyon.fr)

**Adresse** : IP2I Lyon – Groupe PRISME

Bureau V14, bâtiment Van de Graaff

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex – France

**Equipe d'encadrement** : Etienne Testa et Jean Michel Létang

**Thématique** : Physique nucléaire appliquée au médicale

**Intitulé du stage** : Adaptation de l'estimateur de longueur de traces de GATE pour l'émission des gammas prompts aux neutrons et ions en hadron-thérapie (p, He, C)

**Description du travail demandé** :

L'hadronthérapie est une technique émergente de traitement des tumeurs cancéreuses par faisceaux d'ions. Les principales indications thérapeutiques de cette technique sont les traitements des tumeurs radiorésistantes et/ou situées près d'organes à risque et les traitements de tumeurs chez les enfants. L'hadronthérapie permet en effet de traiter les tumeurs tout en épargnant mieux les tissus sains que la radiothérapie conventionnelle utilisant des rayons gamma. Pour mieux exploiter les avantages de cette technique, de nombreuses recherches sont actuellement menées un peu partout dans le monde pour développer des systèmes de contrôle du parcours des ions et s'assurer que les traitements sont délivrés comme prévu par les systèmes de planification de traitement. La détection des rayons gamma prompts (PG) émis lors des réactions nucléaires subies par une fraction des ions incidents est l'une des principales techniques étudiées. La distribution des points d'émission de ces rayons gamma prompts est en effet étroitement corrélée au parcours des ions. En parallèle du développement de systèmes de détections PG, des outils de simulations Monte Carlo sont développés (notamment Geant4/GATE) pour comparer les données expérimentales aux prédictions théoriques ainsi que pour concevoir et optimiser les systèmes de contrôle. En ce qui concerne la détection des rayons gamma prompts pour le contrôle de l'hadronthérapie, un outil de simulation rapide de l'émission des rayons gamma dans une géométrie voxellisée a récemment été développé par la collaboration CREATIS-IP2I : le module *vpgTLE* ou *voxelized prompt-gamma track length estimator*. Le module actuel permet de simuler l'émission des PG avec les informations spatiales, en énergie et en temps du PG émis, mais restreint aux réactions nucléaires inélastiques des protons.

Le but du stage proposé est d'étendre la modélisation proposée aux neutrons, dont la contribution n'est pas négligeable en proton-thérapie, mais également aux autres ions pour pouvoir traiter l'application à la thérapie par ion hélium et carbone. Les développements se feront sous GATE 10 (code C++ et interfaçage basé Python).

**Référence** :

---

El Kanawati, W., Létang, J. M., Dauvergne, D., Pinto, M., Sarrut, D., Testa, É. & Freud, N. (2015), 'Monte Carlo simulation of prompt  $\gamma$ -ray emission in proton therapy using a specific track length estimator', *Physics in Medicine and Biology* 60(20), 8067–8086.

Létang, J. M., Allegrini, O. & Testa, É. (2024), 'Prompt-gamma track-length estimator with time tagging from proton tracking', *Physics in Medicine and Biology* 69(11), *Physics in Medicine and Biology* 60(20), 8067–8086.

## Internship offer – Year 2024-2025

**Internship level:** M2

**Duration:** 6 months

**Possible PhD follow up:** Yes

**Proposed PhD funding type:** Doctoral school

**Supervisor:** Étienne Testa / Jean Michel Létang

**Phone:** +33 4 72 44 81 47

**Email:** [e.testa@ip2i.in2p3.fr](mailto:e.testa@ip2i.in2p3.fr), [jmletang@insa-lyon.fr](mailto:jmletang@insa-lyon.fr)

**Address:** IP2I Lyon – Bureau V14

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac  
4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

**Mentoring team:** Etienne Testa et Jean Michel Létang

**Theme:** Nuclear physics applied to medicine

**Internship Title:** Adaptation of the GATE track length estimator for prompt gamma emission in neutrons and ions for hadron therapy (p, He, C)

### Description of the work required

Hadron therapy is an emerging technique for treating cancerous tumors using ion beams. The main therapeutic indications for this technique are treatments for radioresistant tumors and/or tumors located near organs at risk, as well as treatments for tumors in children. Hadron therapy allows for better sparing of healthy tissues compared to conventional radiotherapy using gamma rays. To further exploit the advantages of this technique, numerous research projects are being conducted worldwide to develop systems that monitor the path of ions and ensure that treatments are delivered as planned by treatment planning systems. The detection of prompt gamma rays (PG) emitted during nuclear reactions involving a fraction of the incident ions is one of the main techniques being studied. The distribution of the emission points of these prompt gamma rays is closely correlated with the ion path. In parallel with the development of PG detection systems, Monte Carlo simulation tools (notably Geant4/GATE) are being developed to compare experimental data with theoretical predictions, as well as to design and optimize monitoring systems. Regarding the detection of prompt gamma rays for hadron therapy monitoring, a fast simulation tool for PG emission in a voxelized geometry has recently been developed by the CREATIS-IP2I collaboration: the vpgTLE module (voxelized prompt-gamma track length estimator). The current module allows for the simulation of PG emission with spatial, energy, and timing information of the emitted PGs, but it is limited to proton inelastic nuclear reactions.

The aim of the proposed internship is to extend this modeling to neutrons, whose contribution is significant in proton therapy, and to other ions in order to address applications in helium and carbon ion therapy. The developments will be carried out in GATE 10 (C++ code and Python-based interfacing).

## References

El Kanawati, W., Létang, J. M., Dauvergne, D., Pinto, M., Sarrut, D., Testa, É. & Freud, N. (2015), 'Monte Carlo simulation of prompt  $\gamma$ -ray emission in proton therapy using a specific track length estimator', *Physics in Medicine and Biology* 60(20), 8067–8086.

Létang, J. M., Allegrini, O. & Testa, É. (2024), 'Prompt-gamma track-length estimator with time tagging from proton tracking', *Physics in Medicine and Biology* 69(11), *Physics in Medicine and Biology* 60(20), 8067–8086.