

# La source Compton GBS - ELI-NP

## Résumé

Le laboratoire de l'accélérateur linéaire est impliqué dans la construction de la source Gamma (GBS) à très haute brillance spectrale pour la facilité Européenne Extreme Light Infrastructure Nuclear Pillar en Roumanie. Au sein du consortium EuroGammas composé de l'INFN, du CNRS, et des entreprises Comeb, ALSYOM, Amplitudes et Scandinova le LAL a en charge la réalisation des composants optiques et laser de la machine en partenariat avec les entreprises Amplitudes et Alsyom et plus particulièrement la conception optique des points d'interaction et du transport des faisceaux laser.

### 1. Enjeux scientifiques

Quelle question scientifique le projet adresse-t-il ? Avant le projet lui-même, où en est la science dans le domaine concerné ? Comment en est-elle arrivée là ?

Le faisceau Gamma produit par la machine GBS du consortium EuroGammas aura des propriétés uniques au monde et ouvre de nouvelles possibilités pour la spectroscopie nucléaire haute résolution à des énergies d'excitation nucléaires élevées. Il conduira à une meilleure compréhension de la structure nucléaire à des énergies d'excitation élevées. A titre d'exemple, l'étude détaillée de la résonance du dipôle pygmée au dessus et en dessous du seuil du neutron est essentielle pour la nucléosynthèse en astrophysique.

Les propriétés du faisceau Gammas ouvrent également de nouvelles possibilités pour les applications en physique nucléaire. Le faisceau Gamma lui-même peut être utilisé pour cartographier les distributions isotopiques de matières nucléaires ou de déchets radioactifs à distance via des mesures de *Nuclear Resonance Fluorescence* (NRF). A des énergies plus basses, autour de 100 keV, la haute résolution en énergie du faisceau est très importante pour l'analyse structurale des protéines. En outre, des faisceaux de neutrons et de positons intenses et brillants de faible énergie pourront être produits pour des applications en sciences des matériaux notamment.

La machine GBS proposée par le consortium EuroGammas est basée sur un LINAC chaud avec un photo-injecteur en bande S et deux sections accélératrices mixtes bands S et C permettant d'alimenter deux lignes de lumières Gamma avec des faisceaux d'électrons de 80-300MeV et de 350-720MeV. Le faisceau d'électrons est composé de 32 paquets d'électrons de très faible émittance et brillance spectrale afin de produire des faisceaux gammas à haute brillance spectrale. L'accélérateur d'électrons se base sur le concept de la machine SPARC du LNF/INFN. Des lasers chaînes Ytterbium doublées en fréquence produisent des impulsions laser ultra intenses visibles qui vont par rétrodiffusion Compton sur les paquets d'électrons produire des photons de très hautes énergies allant des rayons X durs au rayons Gammas.

La concomitance d'un haut flux de photons de fine largeur spectrale, requis pour la source ELINP, est inatteignable avec l'état de l'art des chaînes laser de puissance si l'on utilise qu'une seule impulsion laser. Une séquence d'impulsions laser amplifiées ou le stockage d'énergie de l'énergie laser dans une cavité résonante doivent être utilisées. Le concept de la machine repose sur la circulation d'une impulsion laser dans un circulateur multi passage non résonnant permettant de focaliser 32 fois une même impulsion laser

sur 32 paquets d'électrons avec une synchronisation de l'ordre de la dizaine de femtosecondes.

## 2. Projet

En quoi consiste exactement le projet, et comment il répond aux enjeux susmentionnés ? Quelles sont les productions scientifiques attendues (publications, brevets, thèses, réalisations, etc.) ?

Ce projet est une première pour le CNRS / IN2P3 de répondre à un appel d'offre commercial pour la construction d'une source Gamma de haute brillance. Le consortium porté par l'INFN et le CNRS associe également des entreprises européennes.

## 3. Genèse et calendrier

Comment / quand le projet est-il né ? Quelles sont les étapes franchies / à franchir ? Au niveau global (si applicable), mais surtout à l'IN2P3. Le cas échéant, rappeler d'éventuels passages devant des conseils scientifiques (IN2P3, labo, comité d'expériences, etc.) et leur conclusion. Quelles sont les productions scientifiques passées (publications, brevets, thèses, réalisations, etc.) ?

Au départ du projet l'INFN en Italie, s'est tourné vers le LAL et les entreprises françaises Amplitudes pour la conception des points d'interaction et des lasers associés. La complexité et la nouveauté de ce type de contrat de recherche ont requis l'aide de l'IN2P3 et de la direction du CNRS notamment au niveau juridique.

Le projet fut présenté au conseil du laboratoire par Fabian Zomer qui a conduit l'élaboration du concept du point d'interaction avec l'institut d'optique notamment.

Une thèse a été soutenue (K. Dupraz) sur la conception du système optique en septembre 2015. Deux articles ont été publiés dans des revues à comité de lecture sur ce sujet. Une thèse CIFRE en partenariat avec l'entreprise ALSYOM (C. Ndiaye) a démarré en octobre 2015 sur la réalisation et le *commissioning* du système optique. Une autre thèse (T. Williams) portant sur l'instrumentation d'un monitoring de rayons gamma a aussi démarré en octobre 2015.

## 4. État de l'art

Comment se positionne le projet vis-à-vis de l'éventuelle concurrence (nationale, européenne et internationale) en terme de calendrier et de performances ?

La source GBS lors de son achèvement deviendra la source la plus brillante du monde se situant deux ordres de grandeurs au dessus des sources actuelles (années de comparaison 2014). Il n'existe aucune machine équivalente en Europe. Des projets d'upgrade de sources Gammas aux USA ou Japon permettraient d'arriver à des flux de photons comparables ou supérieurs à ceux des correspondants aux performances nominales de la machine GBS.

Notre investissement scientifique et technique sur la source GBS nous fait entrevoir de futurs développements possibles pour des sources X et gamma compactes hautes brillances. Une R&D sur des LINAC chauds fort courant couplés à un résonateur optique en mode 'burst' réduirait fortement les couts d'une machine Compton tout en augmentant ses performances.

## 5. Ressources et moyens

Quelles sont les ressources techniques et humaines disponibles pour le projet, et leur évolution temporelle passée (si applicable) et envisagée ? Pour un projet collaboratif, indiquer quelle fraction l'IN2P3 représente, en termes humains et financiers.

**Ressources humaines :** Lister les laboratoires impliqués à l'IN2P3, avec pour chacun, le nombre de physiciens permanents / non-permanents / ingénieurs impliqués, ainsi que l'équivalent FTE. Donner les noms, au moins des permanents, ainsi que la fraction de chacun dédiée au projet.

Le projet au niveau IN2P3 repose sur une équipe au LAL composé 1 CR (Aurélien Martens), 1 MC (Kevin Cassou) 1 PR (Fabian Zomer), 1 post doc (K. Dupraz) , 2 doctorants (Cheikh Fall nDiaye, Themis Williams). Cette équipe reçoit le soutien des services techniques du LAL et particuliers du bureau d'études mécaniques, du service électronique mais également des services financiers et infrastructures.

Le soutien technique comprend au niveau bureau d'étude 1 IR (Denis Douillet), 2 AI (Yan Peinaud, Alexandre Miguayron), au niveau service électronique : 2 IR (Dominique Breton, Ronic Chiche), 1 AI (Patrick Cornebise).

Les ressources humaines sont actuellement critiques pour le projet. Le personnel impliqué étant également impliqué sur le projet ThomX et les calendriers étant en phase pour les périodes de montage et mise route des difficultés importantes sont à prévoir.

**Ressources financières :** Le budget est de 5.4 M€. Si le projet s'achève sans pénalités et sans incidents techniques, le cout pour l'IN2P3/ CNRS sera nul.

## Réalisations techniques

Quelles réalisations techniques sont envisagées, et comment seront-elles réalisées (interne, sous-traitance...) ? Préciser ici les besoins en personnel technique. Si des équipements spécifiques doivent être acquis, préciser leurs potentielles utilisations futures.

Le LAL a conçu et dimensionné tout le système optique innovant. Il réalise le système optique du point d'interaction et effectue toute la modélisation optique. Il assiste l'entreprise ALSYOM dans la réalisation du circulateur laser sur des problèmes optiques et vide.

Le LAL réalise les procédures d'alignement et de synchronisation optique du circulateur ainsi que le contrôle résolu en temps du train d'impulsion Gamma. L'ensemble des instruments nécessaires est réalisé au LAL (intégration pour l'essentiel).

Le LAL teste et réalise un système innovant de contrôle rapide des faisceaux gamma.

Le LAL réalise la conception optique et mécanique de l'ensemble des lignes de transport laser de la machine GBS. Il sous traite la réalisation des parties mécaniques et optiques, détecteurs et contrôle commande. L'équipe réalise l'intégration complète et les tests au laboratoire avant envoi en Roumanie.

## 6. Auto-analyse SWOT (facultative)

Quelles sont les forces, faiblesses, opportunités et menaces qui pèsent sur le projet.

Le projet est soumis à un calendrier très serré pour une partie particulièrement innovante pour le LAL et les entreprises ALSYOM et Amplitudes. Le calendrier exact de l'installation et de la mise en route n'est pas encore connu du fait d'un retard très

important de la construction du bâtiment à Magurele en Roumanie. Le sous dimensionnement des équipes techniques du client (IFIN-HH, Roumanie) vont compliquer les phases finales du projet.