

Actualités

Février 2015

Retour sur l'année 2014 :

Les articles diffusés sur le site extranet du LAL

Janvier :

- 2013 : une année bien remplie pour la communication et la vulgarisation scientifique ! p 2
- Le boson de Higgs aime aussi les leptons ! p 4

Mars :

- Le projet ELI-NP p 6
- Succès de MightyLaser à l'ATF au Japon p 9
- Les photocathodes de PHIL p 12

Avril :

- Avancement de la construction du démonstrateur de SuperNEMO p 14

Mai :

- Le projet R&D PIO SAMPIC : Bilan des développements au 30 avril 2014 p 18
- Plate-forme de simulation en physique des accélérateurs (PSPA) p 21

Octobre :

- EUSO-BALLOON : aboutissement de trois années de travail p 23



Actualités

Janvier :

2013 : une année bien remplie pour la communication et la vulgarisation scientifique !

Toutes visites confondues, ce sont près de 800 personnes qui seront passées au LAL en 2013. En majorité des lycéens venus pour les Masterclasses ou des conférences, mais également des étudiants ou le grand public. Grâce au partenariat renouvelé avec Sciences ACO, la plupart des visiteurs du LAL découvrent aussi le collisionneur classé ACO et son musée de la lumière et de la matière – et réciproquement. Les actions entreprises les années précédentes (Masterclasses internationales, festival Entr'Essonne, Fête de la Science) se sont poursuivies et amplifiées en 2013 tandis que d'autres ont démarré : soirée « jeudi de la science » organisée par le CVC et la mairie de Gif-sur-Yvette, et participation au programme « Professeurs en entreprise » de la fondation C.Genial. Afin de mettre en valeur les plateformes du LAL (PHIL, Calva, XFEL et



Masterclass du 22 mars 2013.

VirtualData), nous avons également développé les visites de ces installations, toujours guidées par leurs responsables. Côté scolaire, les demandes de discussion sur les métiers de la recherche se sont précisées en 2013 et nous y répondons grâce à la participation de membres du personnel du laboratoire – dont l'aide, dans ce domaine et plus généralement pour toutes les activités liées aux visites du LAL, est très appréciée et nécessaire.



La Fête de la Science, Expériences pour les Petits.

Côté comm' externe, la remise du prix André-Lagarrigue 2012, à Jacques Haïssinski le 12 septembre 2013 a précédé l'événement principal de l'année représenté par les trois jours de manifestations organisés mi-septembre pour fêter le cinquantenaire des premières collisions électron-positron au monde, obtenues par le collisionneur AdA – construit à Frascati sous la direction de Bruno Touschek, puis transporté au LAL pour bénéficier des performances de notre accélérateur linéaire. Le vendredi 13 septembre a eu lieu l'édition 2013 de la série de conférences « Bruno Touschek Memorial Lectures », organisée en partenariat avec le LNF de Frascati sur le thème « Collisionneurs de particules : des succès passés et présents aux promesses de demain ». Elle a été suivie de la remise du label « Site Historique » de la Société Européenne de Physique au « complexe accélérateur LAL-LURE », cérémonie au cours de laquelle une nouvelle salle du musée Sciences ACO a été inaugurée. Elle présente la salle de contrôle historique de l'accélérateur linéaire, déménagée par l'association avec l'aide matérielle et financière de l'UDIL et du LAL. Le grand public n'a pas été oublié pour cet événement, soutenu par les mairies d'Orsay et de Bures-sur-Yvette : jumelage scientifique Orsay-Frascati et conférence sur le thème « le LAL et le CERN » à l'auditorium Jacques Tati ; exposition du mur d'images du LAL à la mairie d'Orsay pendant une semaine ; conférences dans l'auditorium pendant le weekend des journées européennes du patrimoine (14-15 septembre), marquées par l'ouverture prolongée de Sciences ACO au public. Le laboratoire participe également aux événements



Actualités

organisés par le labex P2IO, comme la « Nuit des deux infinis » (dont l'édition 2013, tournée vers les étudiants de Paris Sud, a eu lieu dans l'auditorium Pierre Lehmann) ou « l'Expo Zoom » dans la salle de la Bouvèche à Orsay.



La plaque du label Site Historique accordé par la Société Européenne de Physique au complexe accélérateur LAL-LURE.

En interne, plusieurs projets ont été menés à bien ou sont en cours : parution immédiate d'une actualité du LAL dès que celle-ci est disponible, poursuite de la réalisation d'une nouvelle série de posters sur les expériences et les groupes du labo, production d'un dépliant sur le LAL adapté du grand poster IN2P3 affiché dans l'entrée du bâtiment 200. Les développements des sites web extranet et intranet ont également continué, avec en particulier la mise en place d'un compte Twitter – @LALOrsay – qui reprend les informations principales diffusées sur l'extranet. Environ 250 comptes y sont abonnés : membres du personnel, tutelles et institutions, personnes extérieures.

Les activités de vulgarisation scientifique se sont également poursuivies en 2013, avec notamment la sortie en septembre de la seconde édition du « Passeport pour les deux infinis » chez Dunod. Le LAL héberge maintenant le nouveau site web du projet pédagogique associé, développé sous Wordpress avec l'aide du service informatique. Nous allons également prendre une part importante dans la distribution des exemplaires gratuits du Passeport, destinés aux enseignants en physique qui en font la demande. Le labo est également très impliqué dans des actions organisées par l'IN2P3 : coordination du programme Masterclasse, participation au projet « Cosmos à l'école » avec notamment des parrainages de cosmo-détecteur, définition du contenu et réalisation graphique de l'exposition 2013 sur les accélérateurs, organisation et participation au stage d'une semaine pour des professeurs de physique, organisé chaque année au CERN. Plusieurs conférences ont aussi été données par des physiciens du labo, dans des établissements scolaires ou lors d'événements grand public (Palais de la Découverte, café des sciences, etc.).



La couverture du Passeport pour les deux infinis, édition Dunod 2013.

Le programme pour 2014 ? Consolider les actions menées en 2013 et développer de nouveaux projets ! Par exemple l'organisation d'une première Masterclasse LHCb, la mise à jour de l'affiche des composants élémentaires de la matière qui date de 2005, la participation du labo aux 60 ans du CERN (1954-2014), le développement d'une application pour jouer au « quark poker », peut-être un 9ème numéro de la revue Élémentaire ou encore la traduction/adaptation en anglais du Passeport pour les deux infinis, etc.

Ces activités vous intéressent et vous souhaitez y participer ? Contactez-nous directement (D. Bony et N. Arnaud) ou par e-mail : comm@lal.in2p3.fr.

Actualités

Le boson de Higgs aime aussi les leptons !

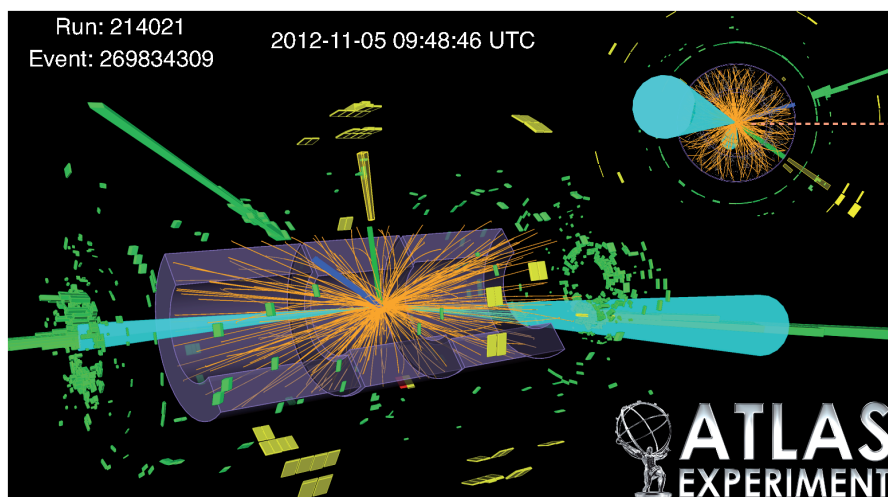
La mise en évidence de la désintégration du boson de Higgs en paire de leptons tau (τ) a été annoncée par ATLAS en fin d'année 2013 (ATLAS-CONF-2013-108¹, avec une contribution importante du groupe du LAL), puis par CMS.

Le 4 juillet 2012, ATLAS et CMS ont annoncé la découverte d'une nouvelle particule, probablement le boson de Higgs. En mars 2013, les deux expériences ont amélioré ce résultat en précisant qu'il s'agissait effectivement d'un boson de Higgs, une découverte qui a été mise en exergue dans l'annonce du prix Nobel de physique 2013 aux théoriciens François Englert et Peter Higgs. Depuis, les travaux pour vérifier la compatibilité de cette particule avec celle prédite par le Modèle Standard ont continué, et ce nouveau résultat marque une étape importante de ces études au long cours.

De quoi s'agit-il ? Dans le Modèle Standard, le boson de Higgs se couple à toutes les particules fondamentales proportionnellement à leur masse, quelle que soit leur nature². Les expériences s'attachent donc à mesurer chacun de ces couplages, ce qui revient en pratique à chercher des désintégrations du boson Higgs en ces particules. Or, jusqu'en novembre dernier, le boson de Higgs n'avait été vu clairement que dans des désintégrations en paires de bosons (particules vectrices des forces) : WW , ZZ ou deux photons. Par contre, ses désintégrations en fermions (les particules de matière) n'avaient pas encore été observées. En fait, on savait indirectement que le couplage aux quarks du nouveau boson ne devait pas être très différent de celui prédit par le Modèle Standard, mais on ignorait tout de son couplage aux leptons. Les leptons chargés (l'électron et ses cousins lourds, le muon et le tau) acquièrent-ils leur masse par le mécanisme de Higgs via le même boson ? Alors que les leptons neutres, autrement dits les neutrinos, semblent vraiment particuliers, avec leurs masses extrêmement faibles et le phénomène d'oscillation entre saveurs.

Après un long travail d'analyse sur les données prises au LHC en 2012, ATLAS peut maintenant répondre par l'affirmative à la question posée au paragraphe précédent. En effet, la collaboration observe un signal clair de la désintégration $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ — une « évidence » dans le jargon des physiciens. La signification statistique du résultat est de « 4,1 écarts standards », soit une probabilité d'erreur de

quelques millièmes de pourcent. Le rapport entre le signal vu et celui attendu dans le cadre du Modèle Standard vaut $\mu = 1,4^{+0,5}_{-0,4}$ ($\mu = 1$ correspond au Modèle Standard, une situation avec laquelle le résultat d'ATLAS est parfaitement compatible). CMS annonce pour sa part $\mu = 0,87 \pm 0,29$, soit un résultat à un peu plus de 3 écarts standards, également compatible avec le Modèle Standard. Quant aux désintégrations du boson de Higgs en paire électron-positron ou muon-antimuon, elles sont bien trop rares pour être observables expérimentalement car le muon et plus encore l'électron sont bien plus légers que le tau.

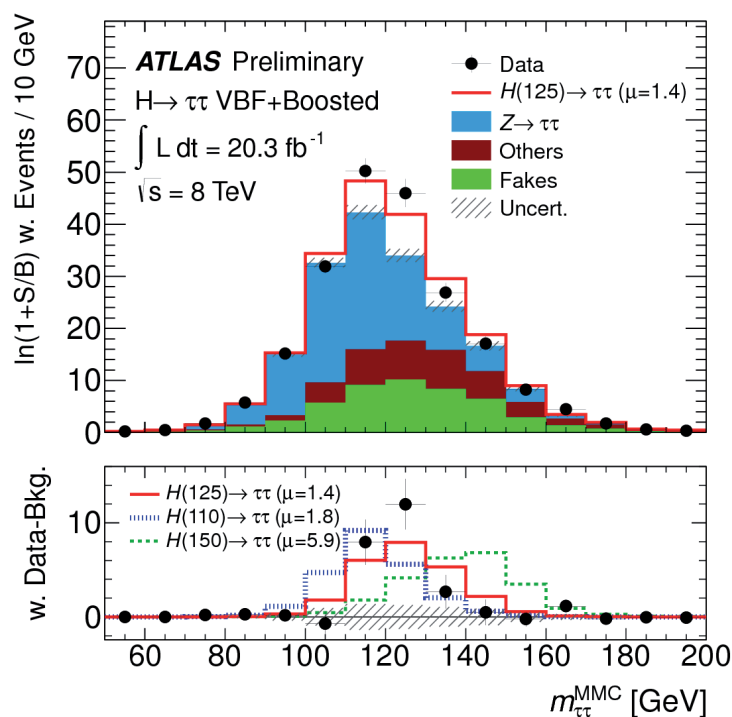


¹ <https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CONFNOTES/ATLAS-CONF-2013-108>

² Pour les puristes, la formule reliant couplage et masse diffère entre bosons et fermions.

Actualités

L'analyse $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ a été longue car elle est particulièrement difficile. Comme il y a des neutrinos dans l'état final (le tau est une particule instable qui se désintègre immédiatement en plusieurs particules, dont au moins un neutrino qui traverse tout le détecteur ATLAS sans être détecté), la masse invariante de l'état final $\tau^+\tau^-$ (c'est-à-dire la masse de la particule hypothétique qui se serait désintégrée en donnant ces deux leptons tau) doit être estimée par une intégration probabiliste, tandis que la séparation signal/bruit de fond est réalisée avec une méthode multivariée et que les bruits de fond sont soigneusement contrôlés. Au final, le signal $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ apparaît bien sur le graphique ci-dessous.



En rouge, le signal correspondant à un boson de Higgs de 125 GeV se détache des bruits de fond estimés (histogrammes colorés : bleu, marron et vert) et « colle » aux données représentées par les points noirs. Le graphique du haut compare les données avec la somme des contributions signal plus bruits de fond, tandis que celui du bas compare le signal observé (le résultat de l'analyse des données auquel on a soustrait les différents bruits de fond) avec les signaux attendus pour un boson de Higgs de différentes masses.

Actualités

Mars :

Le projet ELI-NP

ELI-NP fait partie du vaste programme d'infrastructure paneuropéen de recherche ELI : « Extreme Light Infrastructure », voir <http://www.eli-laser.eu> pour plus de détails. Nous contribuons à la réalisation de la source de rayons gamma (des photons très énergétiques) ELI-NP-GS (« ELI Nuclear Physics Gamma ray Source ») qui sera implantée en Roumanie (plus d'informations sur <http://www.eli-np.ro>).

Cette infrastructure inclura deux lasers de puissance ainsi que notre source de rayons gamma, dite « à haute brillance spectrale » – ce qui signifie qu'elle produira un faisceau de photons très intense presque mono énergétique (ou, ce qui revient au même, de fréquence/longueur d'onde fixée : l'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence du rayonnement électromagnétique associé). Le programme scientifique de l'infrastructure ELI-NP sera très vaste : de la physique nucléaire (fondamentale comme appliquée) à des applications dans le domaine du nucléaire (sécurité et gestion des déchets notamment). La phase de génie civil a débuté sur le site ; la figure 1 montre une vue d'architecte de la future installation.



Figure 1 : Vue d'architecte de la future infrastructure de recherche paneuropéenne ELI-NP qui sera construite en Roumanie, à Magurélé – près de Bucarest. Source : <http://www.eli-np.ro>.

L'équipe du LAL fait partie d'un consortium constitué du CNRS, de l'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) italien, de l'Université de Rome-Sapienza et de plusieurs entreprises, françaises (Amplitudes Systèmes et Technologies¹, ALSYOM²) comme européennes (COMEB, Scandinova). Le laboratoire anglais STFC/Daresbury et CELLS-Alba sont également partenaires du projet. Ce consortium a remporté l'appel d'offre roumain pour ELI-NP-GS, financé sur les fonds européens FEDER. Les retombées économiques de ce contrat seront importantes pour les entreprises de la collaboration française, Amplitude et ALSYOM.

La source de rayons gamma que notre consortium devra construire est présentée sur la figure 2. Elle comporte un accélérateur linéaire d'électrons d'une centaine de mètres de long dont la photocathode (une plaque de métal bombardée par un laser pour en extraire des électrons, comme sur PHIL) fournira 32 « paquets » d'électrons toutes les 10 millisecondes (soit une fréquence de répétition de 100 Hz). Ces électrons sont ensuite accélérés dans des cavités radiofréquences (pour les spécialistes en bandes S puis C, ce qui permet de réduire la longueur de la machine) qui délivrent une onde électromagnétique sur laquelle les particules « surfent », gagnant ainsi progressivement de l'énergie.

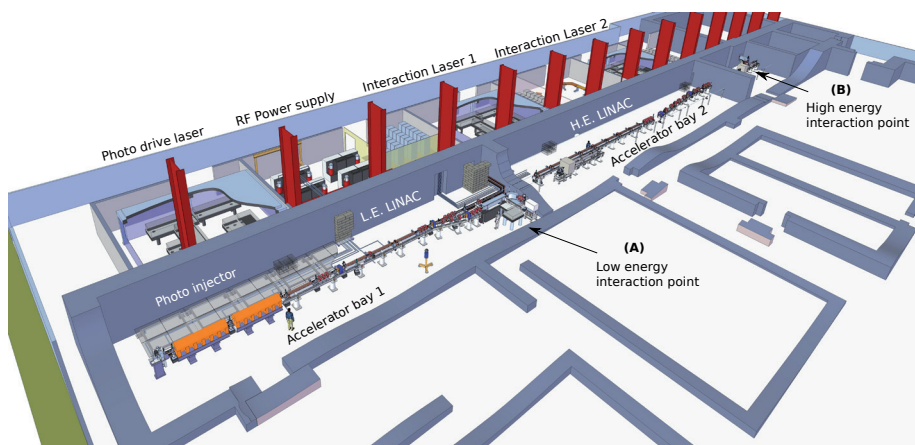


Figure 2 : Schéma d'implantation de la source de rayons gamma ELI-NP. Les emplacements A et B indiqués sur le schéma marquent les points d'interaction faisceau d'électrons-laser de basse et haute énergie, respectivement.

¹ <http://www.amplitude-systemes.com>, <http://www.amplitude-technologies.com>.

² <http://www.alcen.com/fr/filiales/alsyom>.

Actualités

L'énergie des rayons gamma produits par interaction laser-électrons (la « rétrodiffusion Compton ») dépend de $E(e^-)$ de ces derniers. Aussi, deux points d'interaction sont prévus : « A » (après 30 m environ d'accélération, $E(e^-) = 280$ MeV) et « B » (90 m environ d'accélération, $E(e^-) = 720$ MeV). A ces deux emplacements, on place un système optique complexe, développé spécifiquement pour répondre aux besoins d'ELI-NP, et dont le but est de focaliser les impulsions laser au point de passage des paquets d'électrons pour obtenir finalement le faisceau de rayons gamma souhaité.

Le laser de puissance sera réalisé par l'entreprise française Amplitude Systèmes ; il aura des performances à la pointe de la technologie actuelle en matière de lasers picoseconde à haute cadence. Ses impulsions, émises dans le visible (longueur d'onde de 515 nm : le vert), auront une largeur temporelle de 3 ps pour une énergie maximale de 200 mJ (correspondant à une puissance crête de 10 PW, soit 10^{16} watts) et une fréquence de répétition de 100 Hz, identique à celle de l'accélérateur.

L'équipe du LAL a développé le système optique des points d'interaction laser-faisceau d'électrons en collaboration avec des collègues du LCF/CNRS, des Laboratoires Nationaux de Frascati (LNF/INFN) et des ingénieurs des entreprises ALSYOM et Amplitude Systèmes. Pour atteindre l'objectif – des performances 100 fois meilleures que celles obtenues sur les installations actuelles ! – il a fallu inventer une structure en forme de « dragon ». Représentée sur la figure 3, sa complexité rend bien compte du défi technologique représenté par les spécifications d'ELI-NP-GS¹

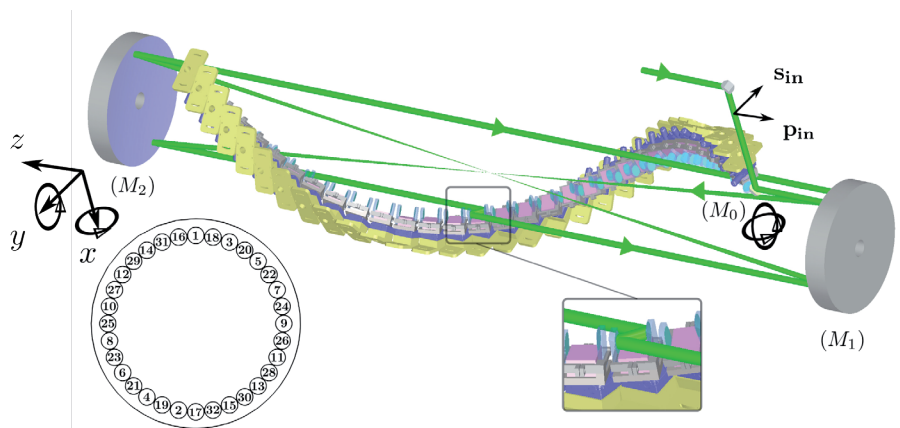


Figure 3 : Vue schématique du circulateur optique en forme de « dragon » conçu par l'équipe du LAL et qui permet de faire interagir une impulsion du laser de puissance successivement avec chacun des 32 paquets d'électrons qui composent les « trains » fournis par l'accélérateur linéaire 100 fois par seconde. Les lignes vertes montrent deux circulations successives de l'impulsion laser dans le système optique. L'encadré en bas à droite montre le changement de direction fourni par une paire de miroirs parallèles situés sur le « dragon ». A gauche, on peut voir l'ordre des 32 réflexions du laser sur l'un des deux miroirs paraboliques situés aux extrémités du circulateur.

Ce circulateur optique permet à une impulsion donnée du laser de puissance de traverser 32 fois l'axe du faisceau d'électrons et, si le système est synchronisé très précisément, d'interagir avec chacun des paquets d'électrons envoyés par l'accélérateur linéaire – par trains de 32 paquets consécutifs, un cycle répété 100 fois par seconde. Les qualités du front d'onde de l'impulsion laser sont préservées tout au long de son parcours, tout comme l'angle entre sa direction au point de croisement et celle des électrons (l'un des paramètres qui définissent les propriétés des rayons gamma produits par interaction Compton). Le niveau de synchronisation temporelle nécessaire est impressionnant : 0,1 ps, soit quelques pourcents de la durée de l'impulsion laser.

Le circulateur est constitué de deux miroirs paraboliques (notés M_1 et M_2 sur la figure 3). Le premier sert de référence tandis que le second est monté sur une platine motorisée de type « hexapode » qui permet de régler les cinq degrés de liberté de son positionnement (trois translations et deux rotations, symbolisées par les flèches noires sur la gauche de l'image). Ces deux miroirs mesurent environ 350 mm de diamètre et sont distants de 2,5 m. Ils permettent de focaliser le faisceau laser sur l'axe de propagation des électrons, et donc d'améliorer la qualité de l'interaction Compton (d'autant meilleure que l'impulsion laser et les paquets d'électrons sont comprimés lorsqu'ils se croisent ; le diamètre du faisceau est de 16 mm au niveau des optiques et il descend

¹ K. Dupraz et al., accepté par PRSTAB (2014) ; Technical Design Report E-Gammas proposal for the ELI-NP Gamma beam System, à paraître en 2014.

Actualités

à 30 microns au point de focalisation, soit une réduction d'un facteur 500 environ). De plus, ils empêchent le développement d'aberrations optiques notables pendant la circulation du faisceau « collimé ».

Le « squelette du dragon » est formé de paires de miroirs à faces parallèles orientables qui servent à régler la longueur des allers-retours dans le circulateur (et donc les temps de propagation du faisceau qui se déplace à la vitesse de la lumière). L'impulsion laser décrit un cercle sur les surfaces des miroirs paraboliques (cf. figure 3), de sorte que l'angle de croisement avec l'axe de propagation des électrons reste constant lors des 32 passages.

Pour atteindre ces performances, les miroirs paraboliques du circulateur doivent être alignés avec une précision de l'ordre du micromètre et il faut contrôler les durées d'allers-retours avec une précision de 0,1 ps environ. Pour ce faire, nous avons conçu une méthode basée sur des mesures interférentielles résolues en temps, qui fait l'objet d'une R&D en cours et qui a déjà donné des résultats prometteurs. Nous avons la responsabilité du développement du système de synchronisation temporelle et d'alignement fin, ainsi que de son « commissioning » – c'est-à-dire la phase de mise en route du système qui doit l'amener à ses performances nominales.

Les éléments optiques du circulateur seront soumis à de très fortes « fluences » dues au laser de puissance et fonctionneront au plus près de leur seuil de dommage – notamment au niveau du revêtement des miroirs. ALYSOM a la responsabilité de la réalisation, de l'installation et du pré-alignement du circulateur. Ce travail requiert des compétences technologiques très spécifiques, acquises par cette entreprise dans le cadre du projet de laser Mégajoule : conception de systèmes opto-mécaniques et d'enceintes sous vide, alignement optique, intégration des composants en salle propre, tenue des optiques au flux laser, etc.

Nous aurons aussi la responsabilité de la conception, de l'installation et des réglages des quatre lignes de transport sous vide des faisceaux lasers. Ces lignes connecteront les trois salles laser – appelées « photo drive laser lab », « NRF interaction laser lab » et « photo-fission interaction laser lab » sur la Figure 2) aux deux points d'interaction du photo-injecteur, ainsi que les deux salles des lasers d'interaction entre-elles. Les tolérances sur la stabilité du pointé des faisceaux aux points d'interaction imposent de sévères contraintes sur la conception de ces quatre lignes.

Par ailleurs, durant la phase de conception de la machine, nous avons aussi contribué au design du système de collimation du faisceau de rayons gamma. La géométrie de ce système est complexe car il permet de sélectionner le cœur du faisceau pour obtenir un spectre en énergie très étroit – tous les rayons gamma qui passent ce système ont presque la même énergie. Les rayons gamma qui sont arrêtés par les collimateurs activent les mécanismes de production de neutrons en interagissant dans la matière métallique qui constitue ces collimateurs. Nous avons donc dû effectuer une simulation GEANT4 détaillée de ces effets pour nous assurer qu'ils étaient acceptables. Finalement, la production d'un spectre de rayons gamma aussi étroit en énergie que celui requis pour ELI-NP-GS a également été étudiée au niveau théorique. Ce travail a donné lieu à une publication à laquelle nous avons contribué : V. Petrillo et al., NIMA 693 (2012) 109–116.

Composition du groupe du LAL pour la réalisation du projet :

- K. Cassou (responsable du groupe), P. Cornebise, D. Douillet, K. Dupraz, A. Martens, A.C. Mueller (directeur-adjoint de l'IN2P3 pour les accélérateurs jusqu'à fin février 2014), A. Stocchi, C. Vallerand, A. Vermes, F. Zomer.

Personnes qui ont participé au design du système optique :

- LAL : K. Cassou, N. Delerue, K. Dupraz, F. Fichot (CDD ingénieur opticien 2012-2013), A. Martens, F. Zomer.
- LCF : F. Druon.
- Alsyom : J.-Y. Riou, B. Marie, T. Hovsepien.
- Amplitude systèmes : A. Courjaud.
- INFN-Frascati : G. Gatti, A. Ghigo.
- INFN-Milano : L. Serafini, P. Tomassini.

Personnes ayant contribué au design des collimateurs et au modèle de production des rayons gamma :

- I. Chaikovska, O. Dadoun, A. Variola.

Actualités

Succès de MightyLaser à l'ATF au Japon

Le projet MightyLaser a pour objectif la production de rayons X ou gamma (des photons très énergétiques) par effet Compton en faisant entrer en collision un faisceau d'électrons et un faisceau laser. L'effet étant proportionnel à la puissance du laser, l'équipe du LAL (porteuse du projet) s'est alors associée à celles du CELIA et du LMA pour construire un système optique permettant d'augmenter plusieurs millions de fois la puissance d'un laser commercial. Elle s'est aussi associée avec les équipes de l'accélérateur ATF à KEK (au Japon) pour installer ce système optique sur une machine à électrons et produire des rayons gamma, afin de valider cette méthode et de quantifier ses performances. Ce système est un démonstrateur pour les futures sources de rayons X comme ThomX, mais aussi pour la production de positrons polarisés (via les rayons gamma générés) pour les accélérateurs linéaires du futur comme CLIC ou ILC.

Ce projet a reçu une subvention du programme blanc de l'ANR, de P2I et de l'IN2P3.

Fort de son expérience en matière de cavités optiques (VIRGO, POLCA/H1/HERA, PLIC/EUROTEV,...), l'équipe du LAL a défini une architecture mixte (cf. figure 1) permettant l'augmentation de puissance d'un laser commercial :

- D'abord amplification par fibre, limitée technologiquement à une centaine de watts (soit un gain d'un facteur 10 000 environ) dont le CELIA a la responsabilité.
- Puis stockage du faisceau laser sortant de l'amplificateur dans une cavité optique à 4 miroirs de très haute réflectivité, conçus et réalisés par le LMA. La fabrication de la cavité et le stockage du faisceau laser dans la cavité sont de la responsabilité du LAL.

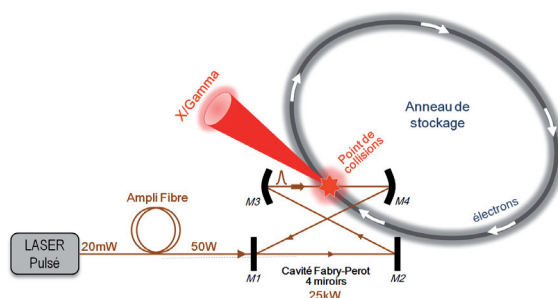


Figure 1 : Schéma de la chaîne d'amplification du faisceau laser.

Le stockage du faisceau laser dans la cavité optique s'effectue de la manière suivante. Le laser est d'abord envoyé sur la face arrière d'un premier miroir ; une petite partie de cette lumière est alors transmise à travers ce miroir et entre dans la cavité optique où elle est réfléchi successivement par les 4 miroirs et suit une trajectoire en circuit fermé d'une longueur de près de 2 m. En principe, la lumière pourrait s'accumuler indéfiniment dans la cavité mais les miroirs n'étant pas parfaits, il finit par se créer un équilibre entre la puissance entrante et celle qui est perdue (absorbée ou diffusée). Avec les miroirs actuels, cet équilibre est atteint en moyenne après environ 7 000 tours dans la cavité. La disposition des miroirs influe sur certaines propriétés de la lumière stockée et en particulier sur sa polarisation. Pour obtenir la polarisation voulue par MightyLaser, la cavité a la forme d'un berlingot (le trajet de la lumière formant alors un nœud papillon : cf. figure 2).

Cavité 4 miroirs

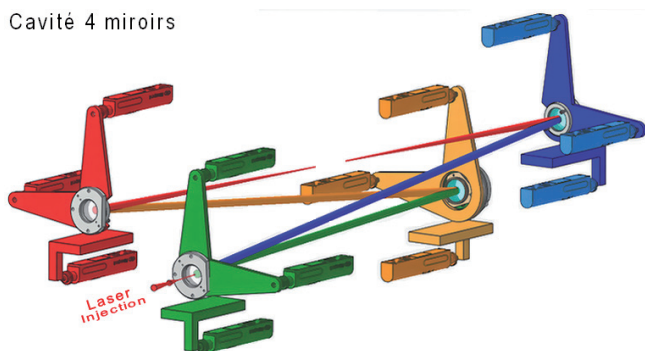


Figure 2 : Les 4 miroirs (avec leur monture) formant la cavité optique et le trajet de la lumière matérialisé entre ces miroirs. Source : R. Cizeron.

Actualités

Lorsque des électrons entrent en collision avec les photons d'un laser, une partie de ceux-ci sont accélérés et convertis en rayons X/gamma par effet Compton. En 2010, la cavité de MightyLaser (cf. figure 3) a été installée sur l'accélérateur ATF à KEK au Japon pour exploiter ce principe.

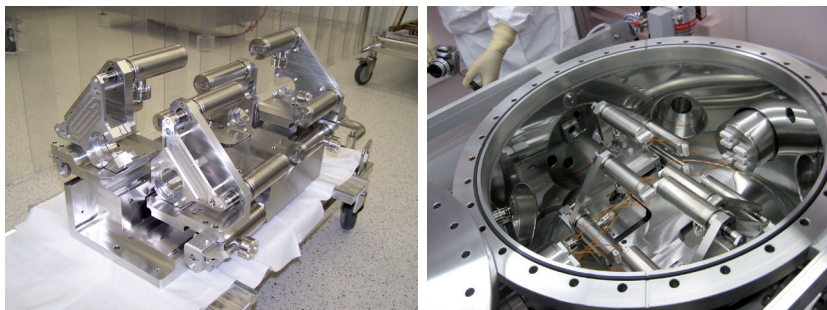


Figure 3 : Photographies de la cavité MightyLaser en salle blanche au LAL puis installée à ATF.
Source : R. Cizeron.

Afin que les photons s'accumulent correctement dans la cavité, la distance entre les miroirs doit être contrôlée avec une précision moyenne de quelques dizaines de picomètres... soit une longueur un million de fois plus petite que l'épaisseur d'un cheveu ! Cet objectif a introduit des contraintes importantes au niveau de la conception et de la réalisation mécanique de la cavité optique par le LAL. Pour atteindre les performances requises, il a fallu en plus développer au LAL un système électronique rapide qui « observe » en temps réel comment la longueur de la cavité évolue afin de corriger ces changements. Enfin, la manière dont le laser est injecté dans la cavité demande aussi une très grande précision d'alignement afin que les impulsions laser « s'ajoutent » correctement.

Tout ce travail avait porté ses premiers fruits lors de la campagne de prise de données 2010 avec l'observation des premiers rayons gamma à l'ATF. Cet effort avait cependant été interrompu, suite au tremblement de terre de l'est du Japon de mars 2011 qui avait endommagé le laser et le système d'amplification. Après des tentatives infructueuses de réparation sur place, l'équipe avait rapatrié une partie de l'équipement au LAL et avait remis en service puis amélioré l'ensemble de la chaîne laser.

Le nouveau système a été installé en septembre 2013 et une campagne de prise de données a eu lieu en décembre 2013, marquée par l'observation d'un flux de rayons gamma plusieurs centaines de fois plus intense qu'en 2010 (cf. figure 4), illustré par le raccourcissement de la durée de vie du faisceau sous l'influence du grand nombre de collisions électron-photon (cf. figure 5) et la détection d'autres phénomènes internes au faisceau. Des tests d'endurance ont aussi été réalisés et ont montré que la production de rayons gamma pouvait être maintenue pendant près de 4 h ! Lors de ces tests, le groupe a remarqué que la cavité était tellement sensible aux variations de son environnement qu'elle pouvait détecter l'ouverture d'une porte distante de plus de 50 m de la cavité optique !



Figure 4 : En kaki, flux de rayons gamma détectés dans le calorimètre de l'expérience. Le premier pic très fin à gauche correspond au moment où le faisceau d'électrons est injecté dans l'anneau d'ATF. Les rayons gamma produits à ce moment-là ne proviennent pas de la cavité MightyLaser. Les autres courbes permettent de contrôler d'autres paramètres de l'expérience.

Actualités

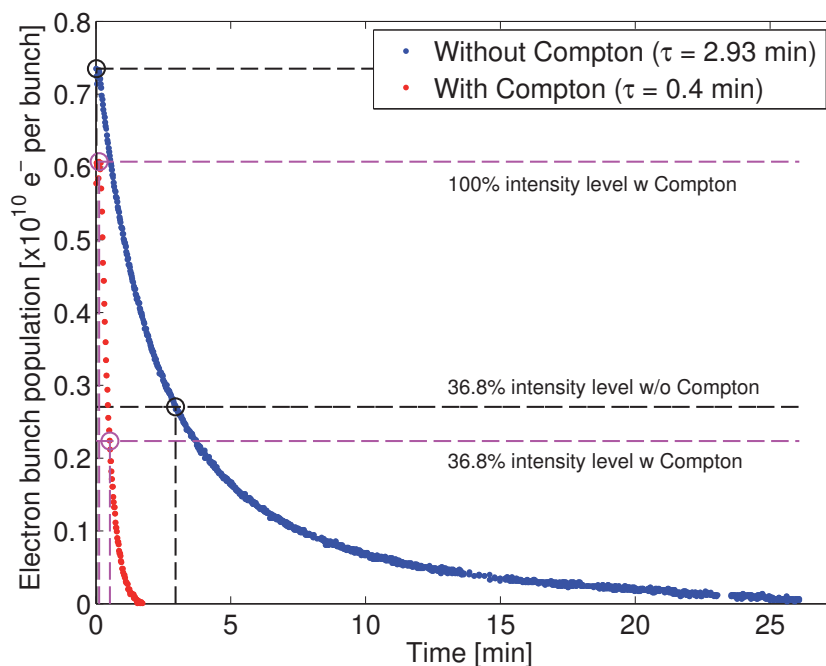


Figure 5 : Effet des collisions sur le temps de vie des électrons. En bleu, décroissance du faisceau en l'absence de collisions Compton. En rouge, décroissance avec collisions Compton.

Le succès de cette prise de donnée représente une étape importante pour le projet ThomX qui nécessitera une puissance stockée dans la cavité encore plus grande. Les nombreux enseignements tirés des résultats de MightyLaser vont maintenant être mis à profit pour concevoir une cavité optique encore plus performante pour ThomX.

Equipe MightyLaser au LAL (par ordre alphabétique) :

J. Bonis, K. Cassou, I. Chaikovska, R. Chiche, R. Cizeron, M. Cohen-Solal, J. Collin, P. Cornebise, D. Cuisy, N. Delerue, D. Jehanno, M. Lacroix, R. Marie, A. Martens, B. Mercier, Y. Peinaud, V. Soskov, A. Variola et F. Zomer.

Actualités

Les photocathodes de PHIL

PHIL, le photoinjecteur installé au LAL, se situe dans la continuité des activités en physique des accélérateurs du LAL. En effet, c'est grâce à l'expérience accumulée depuis de nombreuses années avec des projets comme CANDELA, ALPHAX, ELYSE, ThomX, le CLIC test Facility (au CERN), et PITZ (à Berlin) que le Département Accélérateur (DEPACC) a maintenant une expertise reconnue mondialement dans le domaine des photoinjecteurs.

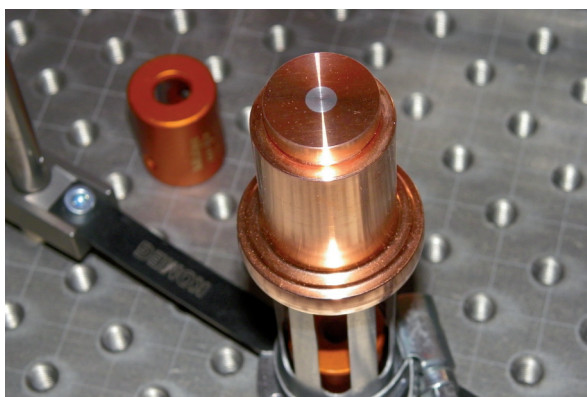
Les accélérateurs linéaires d'électrons de faible énergie (quelques MeV) développés au DEPACC nécessitent la construction de canons RF dédiés. Ces éléments sont la pierre angulaire des accélérateurs qui utilisent la photoémission comme moyen de production du faisceau d'électrons. En effet, la réponse de la photocathode (la source d'électrons) à l'impulsion laser définit les propriétés du faisceau de particules émis. La photocathode est placée directement dans une cavité radiofréquence afin que les électrons extraits soient immédiatement accélérés pour atteindre une énergie de quelques MeV sur environ 15 cm.

Depuis que la technique du canon RF a été mise au point dans les années 1980, de nombreuses activités de R&D ont porté sur le développement de photocathodes. Divers matériaux ont été utilisés, soit des métaux purs comme le cuivre ou le magnésium, soit des semi-conducteurs, fabriqués par évaporation de couches successives ou conjointement, comme CsKSb, Cs₃Sb, ou Cs₂Te. Les objectifs principaux pour ce type de cathode sont :

- un bon rendement quantique afin d'obtenir de fortes charges par impulsion (> 1 nC, soit au moins 10^{10} électrons) ;
- une facilité de fabrication et d'utilisation ;
- et enfin une durée de vie suffisante pour ne pas avoir à changer la cathode tous les jours.

Les photocathodes métalliques possèdent un faible rendement quantique mais une bonne durée de vie (plusieurs mois). Elles ne sont pas employées pour des utilisations qui nécessitent des charges > 1 nC par impulsion. Les photocathodes semi-conductrices possèdent de bons rendements quantiques ($> 10\%$) mais ont l'inconvénient majeur de nécessiter des bûches de fabrication dédiés dans lesquels un vide très poussé est obligatoire ($< 10^{-10}$ mbar), sous peine de dégradation du rendement quantique. Leur durée de vie est plus courte (quelques semaines) que celle des cathodes en métal pur. Ainsi, la recherche d'une photocathode capable d'émettre une charge de l'ordre de 1 nC par impulsion, facile à fabriquer et à transporter et que l'on pourrait même manipuler à l'air, est toujours d'actualité.

PHIL est une plate-forme bien adaptée à la recherche et à l'optimisation de nouvelles cathodes. En effet, pour garantir une grande souplesse d'utilisation et pour satisfaire les demandes variées des utilisateurs du photoinjecteur, l'emploi de différentes cathodes (permettant entre autres de faire varier la charge par impulsion de 0,1 à 5 nC) est souhaitable. Ainsi, PHIL teste des cathodes en cuivre et en magnésium. Ces dernières permettent de produire un faisceau de 1,5 nC par impulsion.



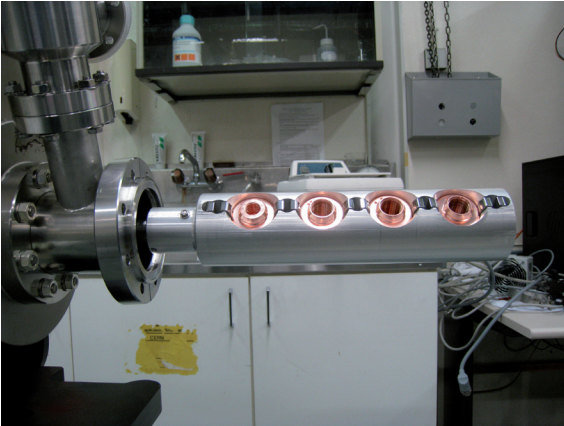
*Cathode en magnésium (partie grise)
insérée dans un substrat de cuivre.*

Le DEPACC n'est pas équipé de chambres de préparation spécifiques aux photocathodes semi-conductrices. Le CERN, partenaire historique du LAL, possède en revanche des installations et une bonne expertise en la matière. L'approche choisie pour PHIL est donc de prolonger la collaboration qui existe depuis longtemps entre le LAL et le CERN. Elle permet actuellement de minimiser les coûts de fabrication de photocathodes et marque un premier pas vers une autonomie totale du DEPACC pour la fabrication de cathodes en local.

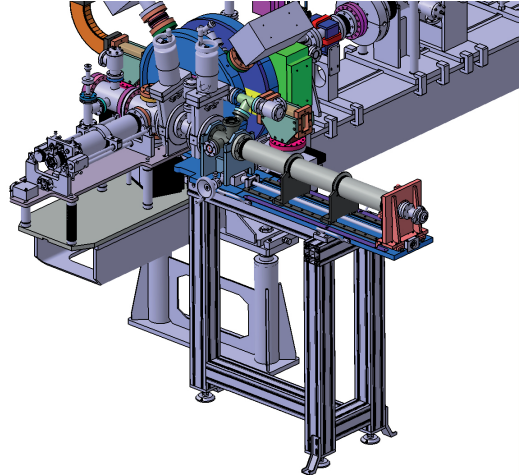
Deux éléments principaux sont nécessaires à ce processus : une « valise » pour transporter les cathodes fabriquées au CERN jusqu'à Orsay, et un bras de transfert installé in-situ à PHIL pour mettre en place les cathodes dans le canon HF. La valise peut

Actualités

recevoir quatre cathodes, ce qui permet d'effectuer assez rapidement des tests comparatifs de cathodes dans les mêmes conditions d'utilisation. Cette valise est adaptée aux installations de préparation de cathode du CERN. Le bras de transfert est installé sur PHIL et attend les premières cathodes en Cs_2Te qui viennent d'être fabriquées. Elles voyageront dans les prochaines semaines en « valise scientifique » entre le CERN et Orsay.



La valise qui permet de tester quatre photocathodes différentes.



Simulation de couplage entre la valise de transport (perpendiculaire à l'axe de l'accélérateur) et le bras de transfert vers le canon RF (dans l'axe de l'accélérateur).

Voir aussi les articles précédents parus sur PHIL dans les Actualités du LAL :

<http://events.lal.in2p3.fr/Extraits-LALInfo/ActualitesLAL-mars2013-JourneePHIL.pdf>.

<http://events.lal.in2p3.fr/Extraits-LALInfo/ActualitesLAL-juin2013-BrasTransfertPHIL.pdf>

Avril :

Avancement de la construction du démonstrateur de SuperNEMO

La double désintégration bêta avec émission de neutrinos ($2\beta 2\nu$), bien que permise par le modèle Modèle Standard de la physique des particules, est une forme de radioactivité très rare. Elle s'apparente à deux désintégrations bêta simultanées¹ et se produit dans les noyaux pour lesquels la désintégration bêta « simple » n'est pas possible puisque le noyau fils alors produit serait plus lourd que le noyau père qui cherche à se désintégrer. Selon certaines théories, dites « au-delà du Modèle Standard » et qui prédisent une physique nouvelle, le neutrino pourrait être identique à son anti-particule (E. Majorana - 1936) et un nouveau type de désintégration, extrêmement rare, serait alors possible (W. H. Furry - 1939) : la double désintégration bêta sans émission de neutrinos ($2\beta 0\nu$) !

Les expériences NEMO tentent de mettre en évidence cette nouvelle forme de radioactivité qui se caractérise par l'émission spontanée par un noyau précis de deux électrons uniquement. La mise en évidence de cette radioactivité prouverait que le neutrino est identique à son anti-particule (particule de Majorana) et donnerait des indications sur sa masse très faible et toujours inconnue. Les neutrinos de Majorana pourraient également avoir joué un rôle fondamental lors de la création des particules élémentaires durant le Big-Bang et expliquer l'asymétrie matière-antimatière observée aujourd'hui dans l'Univers.

Les deux double désintégrations bêta, avec et sans émission de neutrinos, peuvent se produire indépendamment. Elles sont donc en concurrence pour le noyau qui cherche à se désintégrer, mais comme la réaction $2\beta 0\nu$ est de loin la plus rare, la $2\beta 2\nu$ pourrait la masquer. On peut cependant distinguer ces deux réactions puisque s'il y a émission de neutrinos, ceux-ci vont emporter une partie de l'énergie disponible (différence de masse entre les noyaux père et fils, notée $Q_{\beta\beta}$) ; on observe alors, comme pour la désintégration simple bêta, un spectre en énergie continu des 2 électrons (voir la figure 1). Par contre, pour la désintégration sans émission de neutrinos, seuls les électrons sont émis et on s'attend à observer une raie monoénergétique à l'énergie maximale disponible. Malheureusement, cette distinction peut être brouillée par la résolution en énergie imparfaite des détecteurs : quelques événements $2\beta 2\nu$ (du « bruit de fond ») pourraient se retrouver dans la zone de la $2\beta 0\nu$ (le « signal »). Il faut également considérer la radioactivité naturelle qui, bien que très faible, est présente partout dans notre environnement. Des traces infimes de descendants de l'uranium et du thorium dans les matériaux qui constituent le détecteur NEMO pourraient empêcher l'observation de la double désintégration bêta sans émission de neutrinos.

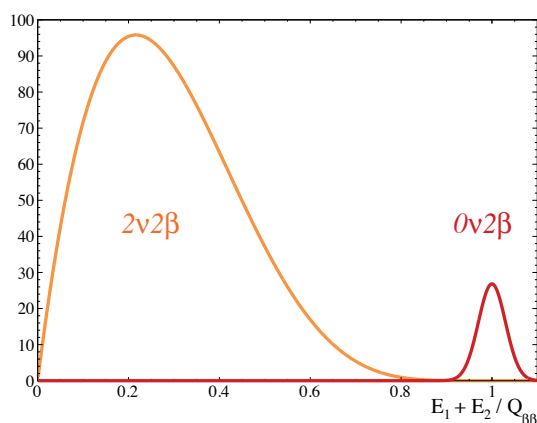


Figure 1 : Spectre en énergie des deux électrons émis lors de la double désintégration bêta avec ou sans émission de neutrinos (incluant la résolution expérimentale du détecteur).

L'expérience NEMO-3 a mené cette recherche pendant 8 ans (2003-2011), mais elle n'a pas permis de mettre en évidence de double désintégration bêta sans émission de neutrinos. Cette réaction, si elle existe, est donc encore plus rare que ce qu'il était possible d'observer avec ce détecteur. Les limites que NEMO-3 a pu poser sur ce phénomène sont d'ailleurs parmi les meilleures au monde.

Fortes des résultats de NEMO-3, la collaboration internationale regroupant neuf pays prépare son successeur depuis plusieurs années : SuperNEMO. À terme, cette expérience de nouvelle génération devrait comporter 20 modules étudiant chacun 5 kg d'isotope émetteur double bêta. Ces modules reprendront la technologie de NEMO-3 en combinant un détecteur de traces et un calorimètre segmenté. Cette technique est en effet la seule qui permette de signer pleinement l'émission des deux électrons tout en mesurant leur énergie.

¹ Désintégration bêta moins (β^-) : transformation d'un neutron du noyau en proton avec émission d'un électron et d'un anti-neutrino électronique. Désintégration bêta plus (β^+) : transformation d'un proton du noyau en neutron avec émission d'un positron et d'un neutrino électronique.

Actualités

La phase de R&D qui a précédé SuperNEMO a permis de démontrer que les objectifs fixés par la collaboration sur la base des résultats de NEMO-3, étaient réalistes : choix de l'isotope ^{82}Se produisant 13 fois moins de bruit de fond $2\beta 2\nu$ que le ^{100}Mo étudié dans NEMO-3, augmentation de la masse d'isotope étudié (jusqu'à 100 kg), amélioration de la résolution en énergie du calorimètre, réduction des bruits de fond dus à la radioactivité naturelle (^{214}Bi , ^{208}Tl , ^{222}Rn) de plus d'un facteur 10, amélioration du détecteur de traces et électronique nouvelle génération échantillonnant les signaux des photomultiplicateurs.

La construction du premier module (voir figure 2), appelé démonstrateur, a démarré à l'été 2012 en Angleterre par le détecteur de traces. Depuis la fin de l'année 2013, la construction du calorimètre (dans laquelle le LAL a une forte implication) a également commencé en France. Le démonstrateur sera installé à la place de NEMO-3 dans le Laboratoire Souterrain de Modane (le LSM, situé dans le tunnel routier du Fréjus entre la France et l'Italie) à partir de la fin 2014 pour prendre ses premières données de physique d'ici l'été 2015. Il contiendra 7 kg de ^{82}Se et permettra d'atteindre la sensibilité de NEMO-3 en seulement 5 mois, puis d'améliorer d'un facteur 6 ou 7 la limite posée par NEMO-3 sur la demi-vie du processus $2\beta 0\nu$ en deux ans et demi, si aucun signal de double désintégration bêta sans émission de neutrinos n'est observé dans l'intervalle.

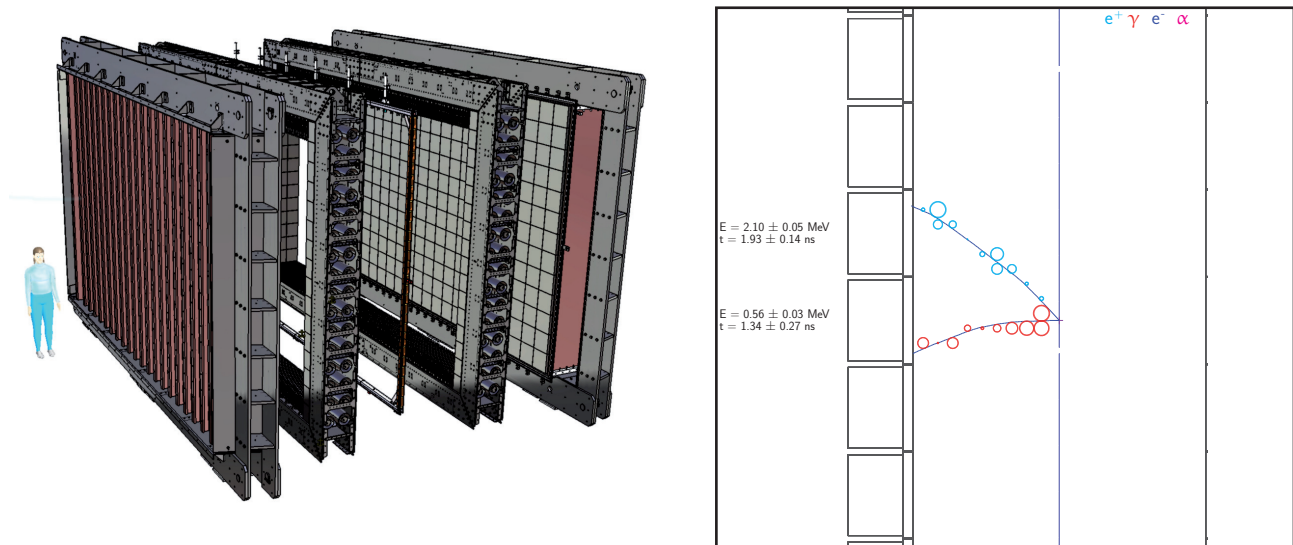


Figure 2 : Représentation du démonstrateur SuperNEMO ouvert et image d'un événement simulé vu de dessus.

Les éléments du calorimètre, appelés lignes de lumière, sont constitués de scintillateurs plastiques et de photomultiplicateurs 8 pouces de basse radioactivité et de haute efficacité quantique. Ces composants ont tous deux été optimisés pour l'expérience et les scintillateurs sont emballés dans du Téflon et du Mylar aluminisé afin d'améliorer la collection de lumière vers le photomultiplicateur. Les 520 scintillateurs sont en cours de fabrication en République Tchèque et les premiers ont déjà été livrés au Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan (CENBG) qui a en charge leur assemblage et leur caractérisation avant installation dans le détecteur. Les photomultiplicateurs ont été commandés au Japon et une partie d'entre eux a également déjà été livrée à Bordeaux.

Pour identifier pleinement les électrons et les distinguer des positrons, un champ magnétique de 25 Gauss sera appliqué dans tout le détecteur par une bobine en cuivre. Afin que ce champ magnétique ne perturbe pas le fonctionnement des photomultiplicateurs, il est nécessaire de protéger chacun d'entre eux par un blindage magnétique. Le fer pur a été sélectionné pour sa construction puisqu'il répond parfaitement aux besoins de protection magnétique après traitement thermique, ainsi qu'aux exigences de radiopureté du détecteur, et ce malgré la masse totale très importante de ces blindages (~ 6 tonnes). Ces derniers, qui servent également de support aux lignes de lumière, ont été développés par le LAL puis fabriqués dans l'industrie. Ils sont maintenant en cours de qualification magnétique et de nettoyage au laboratoire.

Les lignes de lumières et leur blindage magnétique seront pré-assemblés par 8 (comme le montre la figure 3). Ces « calobriques », facilitent l'intégration au LSM, permettent de mieux maîtriser l'étanchéité au gaz radioactif radon (qui peut émaner des photomultiplicateurs) et améliorent la précision de positionnement des éléments dans le détecteur, importante pour la reconstruction des traces des électrons.

Actualités

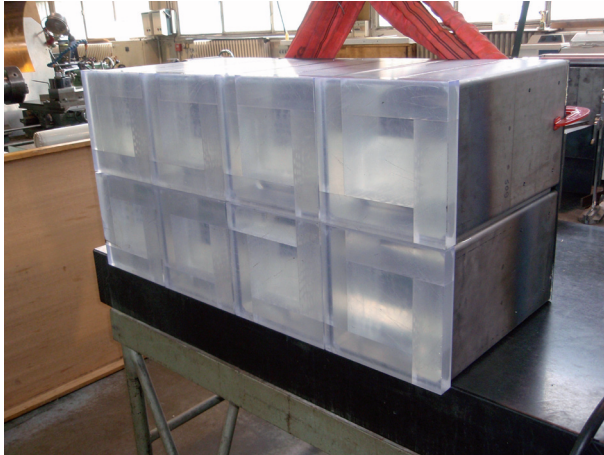


Figure 3 : Photo d'une calobrique lors d'un test mécanique au LAL.

L'ensemble du cadre calorimètre qui contiendra les calobriques de lignes de lumière sera également réalisé en fer pur pour assurer le retour du champ magnétique, et toujours pour limiter les contaminations radioactives qui pourraient générer du bruit de fond pour l'expérience SuperNEMO. Les 12 tonnes de fer nécessaires ont été livrées, sous forme de 3 plaques, chez le fabricant de ces cadres. Ces derniers seront ensuite pré-assemblés au LAL au mois de mai avant de rejoindre le LSM cet automne.

L'électronique d'échantillonnage des signaux des photomultiplicateurs a également été réalisée au LAL et les 40 cartes nécessaires ont été produites. Les cartes qui traiteront les signaux des cellules du détecteur de traces sont en cours de développement au Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen (LPC Caen) et à Manchester. Les cartes de contrôle et les châssis qui commanderont ces deux ensembles d'électronique et permettront à l'acquisition de récupérer l'ensemble des données du démonstrateur sont également développés au LAL et les premiers prototypes sont en cours de test.

Le LAL a également la responsabilité de l'intégration de tous les sous-détecteurs au LSM, de l'ensemble de l'électronique, des blindages et des protections contre le radon. Le tout en tenant compte des spécificités du laboratoire souterrain, des contraintes d'espace et de sécurité, et en préservant la radiopureté de l'ensemble ! La figure 4 montre le démonstrateur et sa structure de manutention une fois installés dans le LSM et avant la pose des blindages.

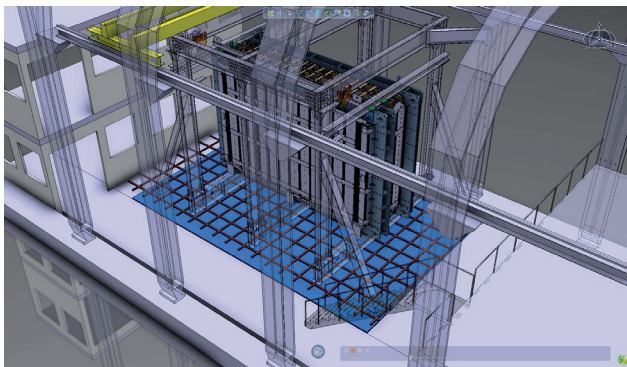


Figure 4 : Schéma d'implantation du démonstrateur dans le LSM.

La collaboration dispose déjà de 5,5 kg de ^{82}Se enrichis et purifiés pour la source double bêta du démonstrateur. La radiopureté exigée pour ces sources est extrêmement sévère : par exemple, la contrainte de radiopureté en ^{208}Tl est 50 fois plus stricte pour SuperNEMO que pour NEMO-3. Ces niveaux sont si faibles qu'il n'est plus possible aujourd'hui de les mesurer par spectroscopie γ de haute pureté.

Le LAL a donc développé un nouveau type de détecteur ultra-sensible, appelé BiPo3, pour caractériser les principaux bruits de fonds pour la désintégration $2\beta 0\nu$. Afin de gagner en sensibilité, ce détecteur mesure la présence de contaminations très faibles en ^{208}Tl et en ^{214}Bi dans les feuilles sources de SuperNEMO, à partir des cascades retardées bismuth-polonium des désintégrations $\beta-\alpha$ de la radioactivité naturelle (^{238}U et ^{232}Th). Cette signature temporelle retardée ainsi que l'identification des particules par

Actualités

leur différence de scintillation permettent de détecter des traces infimes de ces éléments, qu'il ne serait pas possible de déceler autrement, et de compléter la mesure de plusieurs kilogrammes d'échantillons en quelques mois. Le détecteur BiPo3 a été construit au LAL et installé au Laboratoire Souterrain de Canfranc en Espagne fin 2012. Après la validation des niveaux de bruits de fond, il a commencé à sélectionner les matériaux entrant dans la composition des feuilles sources. La figure 5 montre la mesure dans BiPo3 d'un échantillon qui pourrait être utilisé pour SuperNEMO. La mesure des sources finales du démonstrateur devrait commencer cet été.

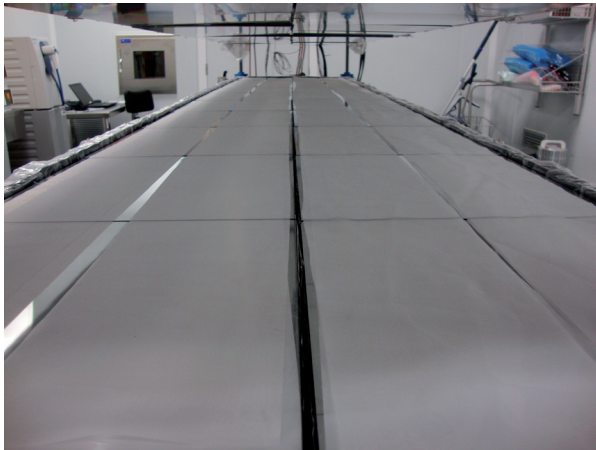


Figure 5 : Mesure d'un échantillon dans BiPo3 qui pourrait être utilisé pour la fabrication des sources de SuperNEMO.

Pour plus d'informations, voir aussi : <http://www.lal.in2p3.fr/NEMO>

et <http://Events.lal.in2p3.fr/Extraits-LALInfo/LAL-Info-2012-58-octobre-ExtraitSuperNEMO.pdf>

Actualités

Mai :

Le projet R&D P2IO SAMPIC : Bilan des développements au 30 avril 2014

Le projet consiste à réaliser un système électronique de mesure de temps absolu à très haute résolution (picoseconde) incluant le développement d'un nouveau circuit intégré basé sur un brevet LAL/Irfu déposé en 2009. Ce projet a été soutenu et financé par P2IO en 2012 à hauteur de 58 k€.

Historique :

La R&D sur la mesure de temps à la picoseconde a démarré il y a maintenant quelques années. Elle est animée au niveau international par plusieurs groupes qui partagent des objectifs communs. Les applications principales de ces nouvelles techniques sont d'une part la mesure extrêmement précise du temps de vol des particules dans les futurs détecteurs de notre discipline, et d'autre part l'imagerie médicale où une grande précision sur le temps d'arrivée des photons gamma permettra d'améliorer encore la résolution des scanners. L'électronique développée est généralement associée à des MCP-PMTs (photo-multiplicateurs à galettes de micro-canaux) de dernière génération, comme cela avait été proposé dans le cadre des détecteurs innovants Forward PID de SuperB ou FP420 au CERN. On voit maintenant apparaître de nouveaux types de détecteurs ultra-rapides (par exemple à base de diamants) qui pourraient équiper les futurs upgrades des expériences LHC.

Bilan technique :

Le premier prototype de la puce SAMPIC, (Sampling Analog Memory for PICosecond measurement), réalisée dans la nouvelle technologie CMOS AMS 0,18 μm , a été soumis en fabrication en février 2013. Cette puce (voir figure 1) intègre 16 canaux de mémoire analogique indépendants échantillonnant jusqu'à 10 GSPS (Giga-Echantillons par seconde) suivis chacun d'un convertisseur analogique-numérique intégré. Elle comprend également une mémoire tampon (buffer) de données à deux étages, un dispositif de mesure de temps à double niveau de précision, ainsi qu'un système d'auto-déclenchement. C'est un système complexe déjà proche du système définitif présenté dans la proposition initiale.

En parallèle, un système de lecture et de test de SAMPIC a été développé au LAL (figure 2). Il est basé sur l'association de cartes mères et de mezzanines interchangeables, dont le firmware (électronique digitale embarquée programmable) est modulaire en fonction de la version de SAMPIC utilisée, ainsi que d'un logiciel d'acquisition avec interface graphique. Ces cartes sont intégrées dans un boîtier facilement transportable, et permettent au module de traiter jusqu'à 32 voies (actuellement 16 sont équipées).

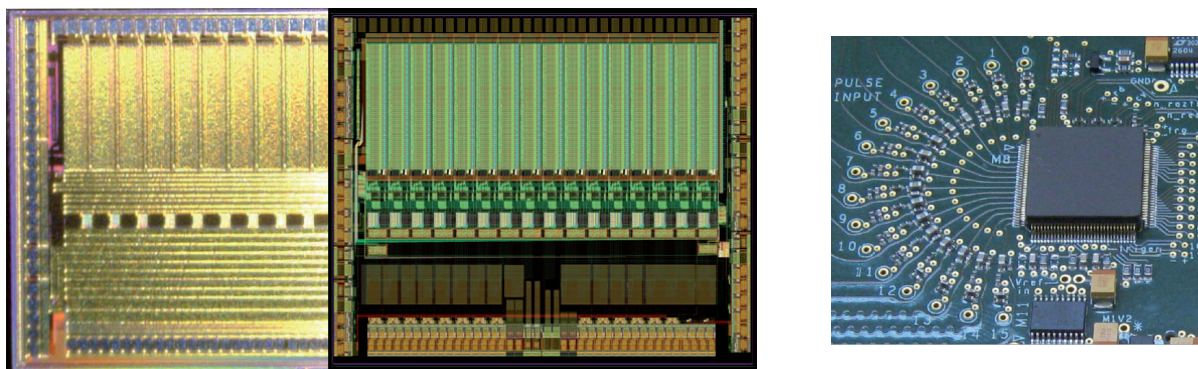


Figure 1 : À gauche : Layout de la puce SAMPIC superposé à une microphotographie. La puce comprend environ 200 000 transistors sur une surface de 7 mm². À droite, puce encapsulée dans un boîtier QFP128 ultra-compact (pas de 0,4 mm).

L'ensemble de ces développements a permis le test des prototypes SAMPIC dès leur retour de fabrication. Un dysfonctionnement de son bloc d'initialisation a alors été rapidement diagnostiqué. Ce problème a été corrigé sur trois prototypes grâce à une intervention employant la technique de Focusing Ion Beam (FIB), réalisée par la société Presto Engineering à Caen. Une fois les puces réparées, le travail de caractérisation de ces dernières et du système complet a pu commencer, comprenant un gros effort de développement software et de débogage software et hardware. Les premiers résultats obtenus au quatrième trimestre 2013 ont permis de démontrer les fonctionnalités majeures de la puce (faible consommation, faible bruit, capacité d'auto-déclenchement, échantillonnage jusqu'à 10 GSPS et conversion ultra-rapide), de valider les propriétés de la technologie AMS 0,18 μm , ainsi que d'obtenir des performances pour la mesure de temps au meilleur niveau mondial. Ces résultats préliminaires ont été présentés

Actualités

en septembre dernier, à la conférence TWEPP 2013 à Pérouse (Italie) puis au workshop international sur la mesure de temps picoseconde à Erice (Sicile) en novembre. Ils ont constitué une partie de la thèse soutenue en décembre 2013 par Hervé Grabas, étudiant à l'Irfu¹.

Depuis, un travail de caractérisation fine utilisant des signaux de générateurs a été entamé. Il a notamment permis de démontrer des performances de datation absolue de signaux analogiques de l'ordre de 4 ps rms (voir figure 3), ce qui est une première mondiale pour une puce multicanaux auto-déclenchée, ainsi que la capacité de la puce à traiter des taux de comptage supérieur au MHz. Ces résultats impressionnants ont été présentés au workshop international sur la mesure de temps picoseconde à Clermont-Ferrand en mars 2014. Des voies d'amélioration pour la deuxième version du circuit qui sera envoyée en fabrication au printemps 2014 ont également été définies (buffer d'entrée multiple pour limiter le temps mort, capacités de déclenchement centralisé, amélioration du comportement à très fort taux de comptage et en sortie de temps mort). En parallèle, le système est en cours de fiabilisation pour pouvoir lire les données d'un petit « détecteur ». Dans ce cadre, un premier module a été installé en février 2014 au CERN pour une R&D multi-détecteurs. Les premiers tests vont avoir lieu pour l'expérience TOTEM, et plusieurs autres modules vont être rapidement produits pour des tests similaires sur d'autres projets en lien avec les détecteurs ultra-rapides les plus récents et les plus performants.

Les excellents résultats obtenus sur la version prototype du chip et du système SAMPIC dépassent aujourd'hui nos espérances initiales. Après les workshops spécialisés sur le « fast timing », ils seront présentés dans 3 conférences internationales en 2014 (NDIP, IEEE Real Time et IEEE Nuclear Science Symposium) et donneront lieu à des publications dans des revues internationales.

Perspectives :

Tout d'abord, trois nouveaux modules SAMPIC utilisant la puce actuelle seront produits. Ceci nécessite la modification par FIB de trois nouvelles puces. Ces modules seront utilisés, comme expliqué plus haut, pour différents tests sur détecteurs ultra-rapides au CERN ou dans d'autres grands laboratoires.

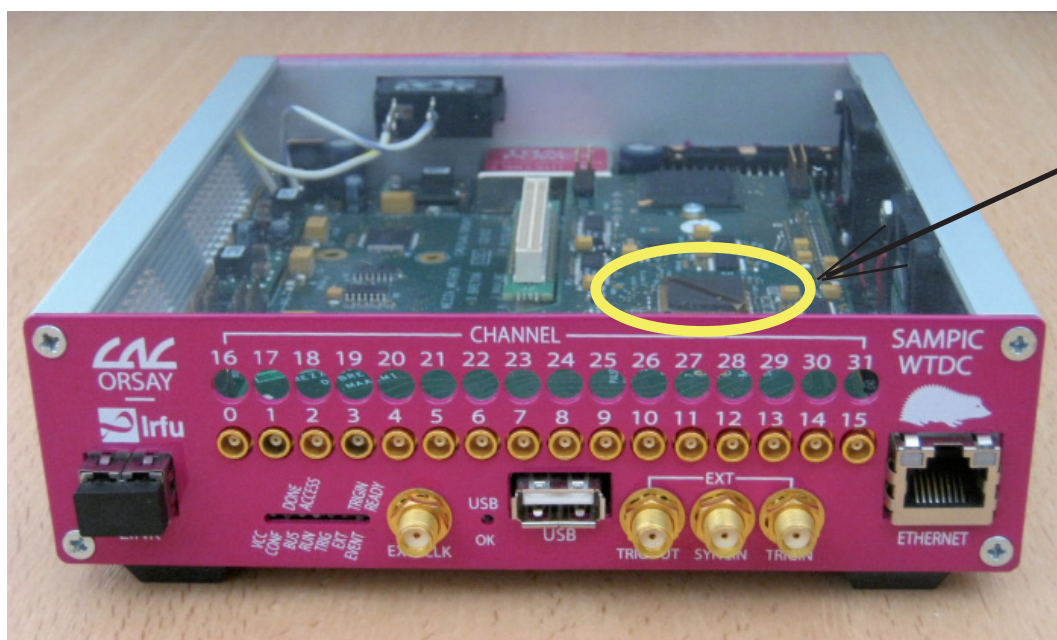


Figure 2 : module SAMPIC intégrant une de ses 2 cartes mezzanine 16 canaux.

¹ Le développement d'un système de mesure du temps de vol picoseconde dans l'expérience ATLAS, thèse soutenue par Hervé Grabas, Université de Paris XI, 3 décembre 2013.

Actualités

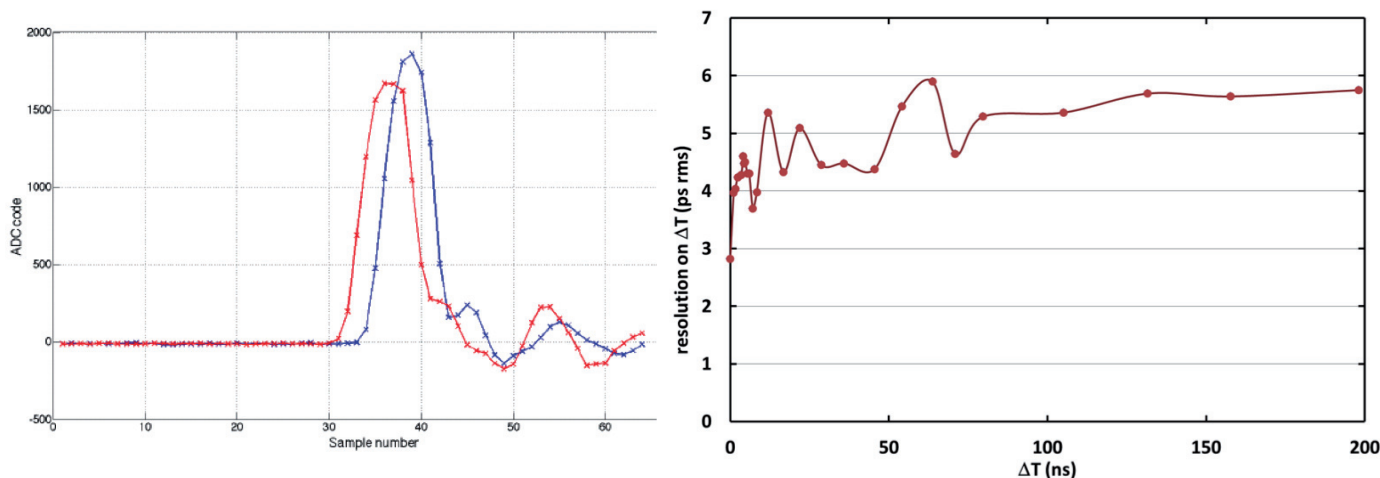


Figure 3 : À gauche : impulsions d'une durée de 850 ps et d'une amplitude de 0,8 V capturées sur 2 canaux puis converties par SAMPIC. À droite, résolution sur la mesure de la différence de temps des deux impulsions en fonction de leur distance temporelle. Cette résolution correspond à une précision de mesure inférieure à 4 ps rms pour chacune des deux impulsions (il faut diviser les valeurs du graphique par $\sqrt{2} \approx 1,414$).

La version finale de la puce SAMPIC (légèrement plus grande que la première), actuellement en cours d'étude, sera lancée en fabrication au printemps 2014. Les puces reçues seront encapsulées dans un boîtier plastique plus facile à manipuler que les boîtiers céramiques utilisés pour la première version.

Huit nouvelles cartes mezzanines seront produites d'ici mi-2014 pour mettre en œuvre le nouveau circuit, et permettre le passage des modules à 32 voies.

Une nouvelle carte d'acquisition 64 ou 128 voies, embarquant le circuit et compatible avec des expériences de moyenne ou grande taille, sera développée pour la fin 2014 et produite au départ à trois exemplaires.

Le rapport performances / (coût consommation) de SAMPIC en fait un candidat remarquable pour des mesures temporelles de très haute précision à grande échelle, ce qui n'était pas possible jusqu'à aujourd'hui. Il suscite d'ores et déjà l'intérêt de nombreuses grandes collaborations.

L'équipe projet R&D P210 SAMPIC :

Elle comprenait jusqu'à fin 2013 : Dominique Breton (LAL), Eric Delagnes (Irfu), Hervé Grabas (Irfu), Jihane Maalmi (LAL), Pascal Rusquart (LAL). Hervé Grabas a quitté l'équipe à la fin de sa thèse, mais Mathias Saimpert (Irfu) et Philippe Vallerand (LAL) viennent de la rejoindre.

Publications et présentations en conférences :

- Publications :

- *Le développement d'un système de mesure du temps de vol picoseconde dans l'expérience ATLAS*, thèse soutenue par Hervé Grabas, Université de Paris XI, 3 décembre 2013.
- *SAMPIC: a 16-channel self-triggered waveform-based TDC chip with ps timing capabilities*, to be published in Acta Physica Polonica (proceedings of the 2014 Clermont Workshop).

- Présentations :

- *SamPic0: a 16-channel, 10-GSPS WTDC digitizer chip for picosecond time tagging*, Topical Workshop on electronics for particle physics, Perugia (Italy), 23-27 September 2013.
- *The SAMPIC0 WTDC chip*, Fast Timing Workshop, Erice (Italy), 20-22 November 2013.
- *SAMPIC: a 16-channel self-triggered waveform-based TDC chip with ps timing capabilities*, Workshop on Picosecond Photon Sensors for Physics and Medical Applications, Clermont-Ferrand, March 12-14, 2014.

Actualités

Plate-forme de simulation en physique des accélérateurs (PSPA)

La conception des accélérateurs modernes nécessite la simulation détaillée d'un nombre croissant d'éléments et de phénomènes intervenant dans l'accélération et le transport de particules chargées. De plus, en fonction des informations souhaitées, le même phénomène peut être simulé selon différents modèles en utilisant une grande variété d'algorithmes. Il en résulte que la simulation intégrée d'un accélérateur de particules peut être très complexe et nécessite une connaissance approfondie des outils logiciels disponibles. Il importe alors que puissent être mis en œuvre des ensembles de logiciels articulés de manière cohérente, permettant éventuellement des comparaisons entre divers choix de modélisation et, par conséquent, rapidement utilisables. Pour ce faire, la communauté des physiciens des accélérateurs dispose aujourd'hui de nombreux logiciels de conception de machines, et donc « fruits » d'une expertise accumulée au cours des trois ou quatre dernières décennies. Malheureusement, cet ensemble reste aujourd'hui essentiellement virtuel, par le fait d'une importante dissémination des ressources et de nombreuses difficultés d'accès : dispersion des codes dans différents laboratoires, nombreuses versions, implémentations dépendantes des environnements informatiques, manque de publicité, manque de documentation, etc.

Dans ce contexte, l'efficacité des équipes du LAL dans le domaine de la conception et de la construction d'accélérateurs pourrait être grandement améliorée si elles pouvaient disposer d'un outil rationalisé et moderne de mise à disposition d'un ensemble cohérent de codes de simulation.

Dans ce but, nous proposons un projet de « plate-forme » de simulation en physique des accélérateurs, sous la forme d'un « portail » web : PSPA. Ce portail fournira l'accès à un ensemble, initialement réduit puis enrichi progressivement, de différents logiciels permettant au final la simulation complète d'un accélérateur. Chacun des logiciels proposés sera disponible sous une forme directement exécutable (de manière transparente pour l'utilisateur), et sera accompagné d'une documentation suffisante décrivant le type de modélisation employée et les conditions d'utilisation. Cette plate-forme pourra offrir la possibilité de construire interactivement un accélérateur, de définir indépendamment les traitements physiques à appliquer sur différentes sections de cette machine, de vérifier la cohérence de la suite de logiciels mis en œuvre par l'utilisateur, puis de lancer l'exécution de la simulation et enfin d'effectuer une analyse, éventuellement graphique, des résultats obtenus. Bien entendu, ce type de calcul devra pouvoir être réitéré en variant ses paramètres. Une interconnexion avec des ressources significatives de calcul distribué fait partie du projet.

Conception générale

L'objectif essentiel du dispositif proposé est de dégager, dans la mesure du possible, le physicien des accélérateurs des préoccupations de caractère informatique inhérentes à la mise en œuvre coordonnée, au sein d'une même simulation, de multiples logiciels conçus a priori dans un contexte de fonctionnement autonome.

Dans cette perspective, il s'agit de découpler la description des éléments optiques de la machine de la description des traitements des processus physiques à appliquer sur les différentes portions de ladite machine d'autre part. Formellement, on peut imaginer une « palette » d'éléments optiques permettant de construire l'accélérateur ou une section de ce dernier. Une fois cette opération effectuée, l'utilisateur pourra choisir pour chaque portion de la machine simulée, le logiciel applicable parmi un ensemble proposé par une seconde palette. La simulation proprement dite sera constituée d'un enchaînement particulier de différents logiciels, construit à l'aide d'interfaces dédiées.

Maquette

La phase initiale du projet a consisté à fabriquer une maquette mettant en jeu deux logiciels représentatifs, PARMELA et TRANSPORT, utilisant des représentations de faisceau radicalement différentes. PARMELA simule le faisceau en suivant les trajectoires individuelles des particules, tandis que TRANSPORT décrit le faisceau statistiquement, de manière globale.

Dans cette maquette, les deux logiciels sont appelés successivement pour simuler le transport de particules dans le dispositif décrit sur la figure 1 qui est une version simplifiée de l'accélérateur PHIL. La partie « canon » jusqu'à la bobine a été traitée avec PARMELA. La partie « bobine » jusqu'après la sortie du dipôle a été traitée par TRANSPORT. Le programme TRANSPORT a ajusté la valeur de l'induction magnétique dans la bobine de focalisation pour satisfaire une contrainte sur la trajectoire des particules imposée en un point d'observation situé après le dipôle.

Actualités

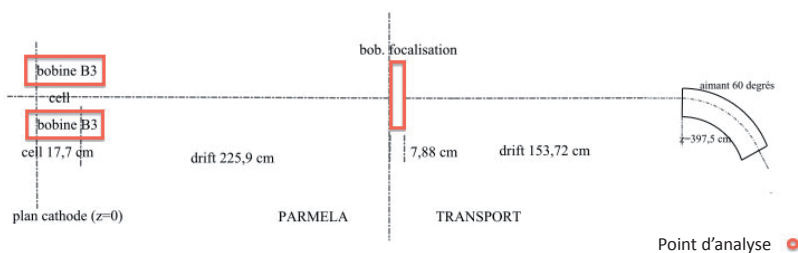


Figure 1 : La maquette qui représente la version simplifiée de l'accélérateur PHIL.

Le but de cette maquette a été de mettre en place les principaux concepts et d'en évaluer la pertinence. Elle constitue le noyau initial sur lequel le projet s'appuie aujourd'hui pour se déployer.

Portail PSPA

La figure 2 présentée ci-dessous, est une vue du portail PSPA où sont représentés les éléments optiques constituant la machine du cas test « PHIL simplifié ». L'utilisateur définit ensuite des portions de cette machine et désigne, pour chacune, le logiciel à appliquer (éléments en violet pour PARMELA et en vert pour TRANSPORT).

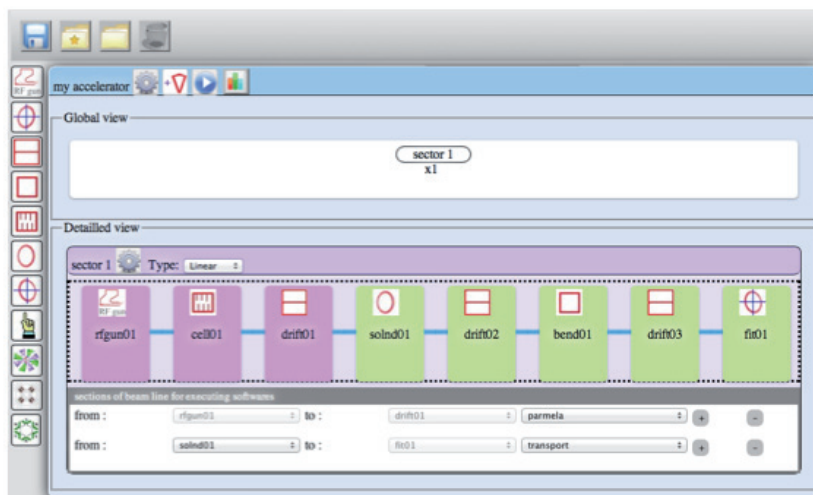


Figure 2 : Une copie d'écran du portail PSPA.

Composition du groupe pour la réalisation du projet :

Initié par Alessandro Variola, le laboratoire a lancé fin 2011 la phase de démarrage du projet. Pour la réalisation, le groupe se compose de : Olivier Dadoun, Théo Demma, Laurent Garnier, Christian Helft, Guy Le Meur, Antoine Perus, François Touze, Alessandro Variola.

La phase suivante du projet repose sur la simulation de l'intégralité d'une machine de la complexité de ThomX. Une étape majeure pour démontrer la pertinence du projet.

Actualités

Octobre :

EUSO-BALLOON : aboutissement de trois années de travail

Le projet du futur télescope spatial JEM-EUSO a pour ambition de découvrir de puissantes sources extragalactiques de rayons cosmiques d'ultra haute énergie (UHECR, $E > 10^{20}$ eV), en observant depuis la station spatiale internationale, en direction de la Terre, l'émission de fluorescence de l'air induite par la cascade multiplicative de particules dans l'atmosphère. Une cascade, autrement dénommée gerbe atmosphérique, provient de l'interaction d'un rayon cosmique primaire avec un noyau de la troposphère (épaisseur d'air s'étendant du sol jusqu'à 15 km d'altitude). Le taux d'événements attendu est excessivement faible : moins de 1 cascade par km^2 par millénaire. Mais avant de parvenir au lancement d'une mission spatiale à moyen ou long terme, il est nécessaire de vérifier les concepts instrumentaux choisis en réalisant des expériences pionnières.

C'est dans cette perspective que le CNES a décidé en 2011 de promouvoir le projet scientifique nommé EUSO-BALLOON, consistant à installer une version réduite (échelle au 1/140ème) et autonome du télescope JEM-EUSO dans la nacelle d'un ballon stratosphérique. L'acceptance réduite du démonstrateur qui en découle ne devrait pas permettre d'observer des gerbes atmosphériques : la probabilité d'une telle détection est seulement 1/10 pour un vol de 10 heures. Cependant, EUSO-BALLOON offre la possibilité d'étudier les fréquentes sources de bruit de fond dans l'UV d'origine météorologique ou terrestre, dont la connaissance sera déterminante pour la préparation de la mission spatiale.

Le cœur de l'instrument est constitué d'une caméra UV de 2 304 pixels extrêmement sophistiquée, sensible au photoélectron unique et au système de déclenchement numérique rapide à la microseconde près. La petite équipe JEM-EUSO du LAL s'est engagée intégralement et intensément dans un laps de temps d'à peine trois ans, dans la réalisation de cette caméra et de toute son électronique front-end, tout en contribuant aussi au bon fonctionnement du système de déclenchement et du système d'acquisition complet, aux côtés de nos collaborateurs français de l'APC et de l'IRAP (INSU) et d'une partie des chercheurs étrangers de la collaboration JEM-EUSO. La phase de conception initiale s'est poursuivie par une seconde phase de réalisation et tests de prototypes, puis par la construction de l'instrument complet. Cette entreprise s'est conclue avec le succès du premier vol inaugural d'EUSO-BALLOON par une belle nuit d'été au-dessus de l'Ontario (Canada), sous l'égide du CNES. L'instrument semble avoir parfaitement fonctionné dans l'environnement très hostile de la très haute atmosphère. Depuis le sol, les équipes de chercheurs de la collaboration contrôlaient à distance le fonctionnement de l'instrument ainsi que la qualité des données. L'enregistrement des données à bord a duré près de cinq heures jusqu'à ce que le CNES déclenche la chute du ballon à l'aube.

Le succès de cette aventure scientifique et technique a permis à la collaboration d'accumuler précieusement plus d'une centaine de Giga-octets de données sur lesquelles deux doctorants du LAL vont extraire la substance essentielle de leurs travaux de recherche. Ces études seront indispensables pour préparer les missions spatiales du futur qui s'inscriront dans le cadre de l'étude des astroparticules avec des rayons cosmiques de haute énergie.

Historique avant le vol

Le 14 septembre 2011, la réunion fondatrice d'EUSO-BALLOON (kick-off meeting) s'est déroulée à l'IRAP (Toulouse) en présence des principaux membres de la collaboration JEM-EUSO et des représentants du CNES. Elle a permis de fixer les bases du lancement de ce projet, de répartir les rôles entre les différents laboratoires et de définir un calendrier précis du déroulement des opérations pour les trois années précédant le lancement. Le LAL a pris en charge la réalisation de l'électronique frontale qui inclut des photomultiplicateurs, des puces de microélectronique SPACIROC (LAL-OMEGA) et plusieurs cartes d'électronique. Sylvie Dagoret a été nommée chef de projet et Pierre Barrillon coordinateur des activités liées à l'électronique front-end.

À la suite de cette réunion, la phase A d'EUSO-BALLOON a démarré. Elle a essentiellement consisté en une étude de faisabilité détaillée menée par l'ensemble de la collaboration sur les différents éléments de l'instrument. L'équipe du LAL s'est focalisée sur l'étude de la conception de l'EC unit, qui constitue l'unité de base du système de photo-détection d'EUSO-BALLOON, et sur les cartes de lecture des signaux analogiques provenant des EC units (EC-ASIC).

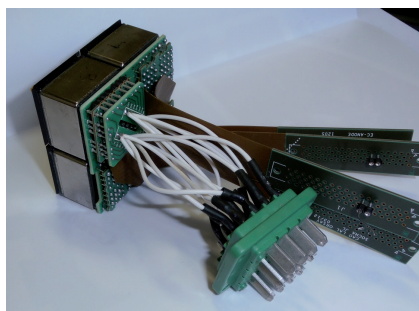


Figure 1 : Prototypes électroniques de l'EC-ASIC (à gauche) et de l'EC-Unit (à droite).

Actualités

La phase A s'est achevée en janvier 2012 lors d'une réunion (PRR : Preliminary Requirements Review) au CNES durant laquelle furent présentés l'ensemble des documents rédigés les mois précédents et le résultat des études de faisabilité qui devaient intégrer les contraintes de très basse pression (3 mbar) et de faible température ($\sim -30^\circ$) qui règnent à l'altitude de vol prévue (40 km).

À la suite de l'avis positif du comité exécutif du CNES, le projet est passé en phase B à partir de février 2012. Celle-ci a été dédiée à la réalisation de prototypes des éléments électroniques les plus critiques, en particulier ceux qui étaient à la charge du LAL, à la finalisation des conceptions détaillées des différentes parties mécaniques (gondole, intégration et fixation de l'électronique et de l'optique) et à la production de certaines d'entre elles, à la définition d'une architecture électrique claire, etc. Au LAL, les prototypes mécanique et électronique d'une EC unit ont pu être testés permettant la validation du design moyennant des modifications mineures. De plus, un prototype de l'EC-ASIC a également été testé avec succès.

Le résultat de l'ensemble de ces travaux a été présenté lors d'une nouvelle réunion (CDR : Critical Design Review) au CNES en décembre 2012. Leur qualité, et notamment les travaux des équipes techniques du LAL sur les cartes d'électronique et les prototypes des photo-détecteurs, a été largement reconnue par les représentants du CNES, validant ainsi le passage en phase C en janvier 2013.

La troisième phase s'est déroulée de la façon suivante : dans un premier temps, les éléments de vol et des pièces de rechange ont été commandés à l'industrie conformément aux documents techniques validés au cours du CDR (premier semestre 2013). Dans un second temps, l'assemblage et les tests d'intégration (AIT) des différentes parties de l'électronique et de l'optique ont été réalisés. Cette deuxième étape a duré près d'une année et s'est déroulée à l'APC puis à l'IRAP sous le contrôle des responsables de chacun des sous-systèmes. Cet important effort de tous s'est concrétisé le 11 juillet 2014 par une revue complémentaire (qui faisait suite à une précédente réunion le 4 juin 2014) qui a permis de convaincre le CNES d'accorder son feu vert pour le vol d'EUSO-BALLOON en août de la même année à Timmins (Ontario, Canada).

L'instrument EUSO-BALLOON

Il a été modélisé et conçu pour être le plus proche possible technologiquement parlant du futur instrument JEM-EUSO. Le détecteur EUSO-BALLOON peut être comparé à une caméra UV de 2 304 pixels prenant des photos toutes les 2,5 μ s. Il est structuré en plusieurs parties (figure 2) :

- Une structure mécanique (la gondole du ballon) qui accueille les autres sous-systèmes. Elle est étanche à l'eau et protégée de la lumière parasite.
- Un système d'optique constitué de deux lentilles de Fresnel carrées (L1 et L3 sur la figure 2) qui font converger les photons UV sur les pixels du PDM décrit ci-dessous.
- Un Photo Detector Module (PDM) contenant 36 photomultiplicateurs (MAPMT de 64 pixels chacun), constituant la surface de détection, et leur électronique associée (alimentation haute tension et six cartes de lecture équipées d'ASICs SPACIROC), ainsi qu'un système de déclenchement de premier niveau (PDM board).
- Un système appelé Data-Processor (DP) contenant un ensemble de cartes collectant les données (CPU), générant des horloges (CLKB), effectuant de la surveillance et du contrôle (House-Keeping), assurant l'alimentation de toutes les cartes (LVPS) et assurant le lien avec le PDM (CCB).
- Le système de communication en vol du CNES (NOSYCA) comprenant les boîtiers SIREN et PASTIS, la centrale inertielle (ICDV) et leurs batteries respectives.
- Les batteries de vol alimentant les cartes du PDM et du DP, regroupées dans une boîte (power pack).

En plus de ces différents sous-systèmes, une caméra infra-rouge (IRCAM) est fixée sur la gondole. Son but est d'étudier la structure des nuages durant le vol et de mesurer leur température afin d'en déduire l'altitude de leur plafond.

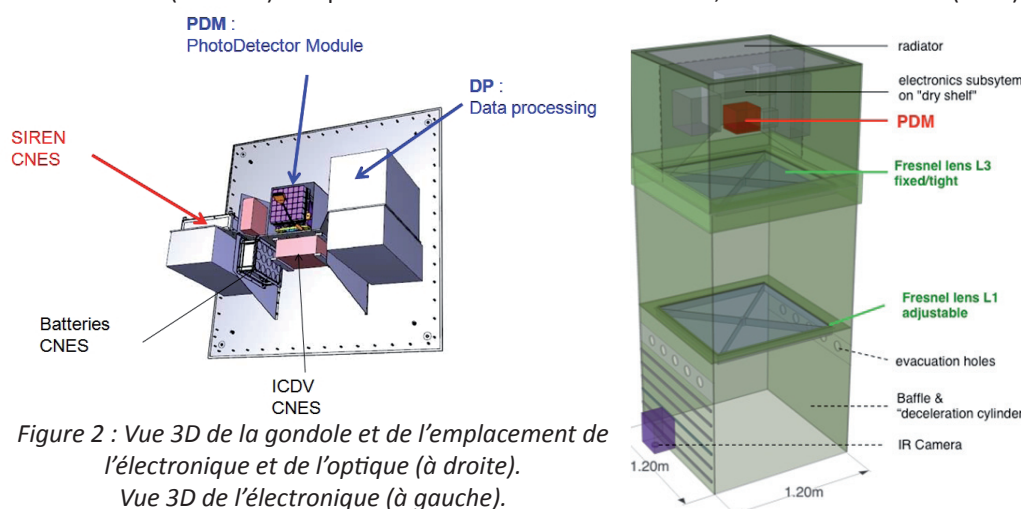


Figure 2 : Vue 3D de la gondole et de l'emplacement de l'électronique et de l'optique (à droite).
Vue 3D de l'électronique (à gauche).

Actualités

Tests et assemblage de l'instrument

Chaque élément du vol a été testé individuellement dans les laboratoires responsables de sa production. Suite à cette étape, l'assemblage et les tests de communication de l'électronique (PDM + DP) ont pu commencer à l'APC. Durant près d'un an, une vingtaine de personnes ont travaillé pour arriver à valider l'ensemble des éléments de l'électronique et de leurs interfaces. Ces tests ont nécessité l'utilisation d'une boîte noire hermétique à la lumière du jour, qui permettait d'exposer les éléments de photodétection à des sources UV représentatives de celles qui seraient à l'œuvre durant le vol. De plus, des tests spécifiques ont été menés à basse pression (jusqu'à 3 mbar) et en effectuant des cycles de température (de -10° à 50°) pour valider la résistance de l'électronique aux conditions environnementales proches de celles du vol.

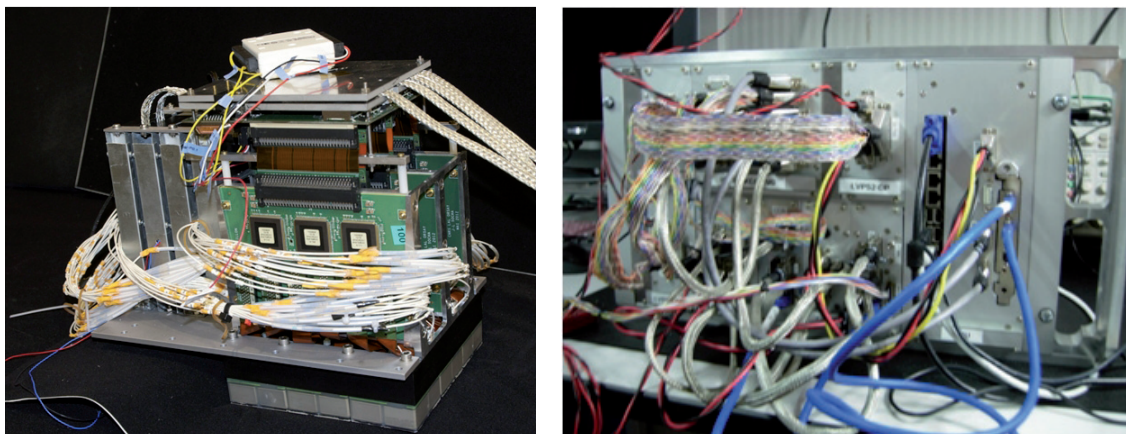


Figure 3 : Photos du PDM (à gauche) et du DP (à droite) assemblés et prêts à être intégrés dans le prototype.

L'ensemble de l'électronique a ensuite été acheminé à l'IRAP pour y être intégré (fixé à la mécanique, voir figure 4) puis testé avec succès, en association avec l'optique ; les premiers tests de la chaîne complète de l'instrument ont été ainsi réalisés. De nombreuses mesures ont pu être menées à bien : transmission de la lumière et efficacité de détection (optique + électronique), étalement en pixels du spot d'une source ponctuelle appelée « Point Spread Function », déclenchement de l'acquisition par synchronisation sur l'impulsion (1 pulsation par seconde) d'une antenne GPS, etc. Ce dernier test visait à planifier le programme des mesures durant le vol du ballon, pendant lesquelles des séries de tirs laser seraient effectuées depuis un hélicoptère volant en dessous, simulant le développement de gerbes atmosphériques.

En complément de tous ces tests effectués à l'IRAP, des mesures ont été menées à l'APC pendant quelques semaines (juin et juillet 2014) pour résoudre un problème de tenue de la haute tension du PDM à 3 mbar. Suite à une dernière revue favorable, l'ensemble de l'instrument a été envoyé au Canada pour la campagne d'août-septembre 2014.

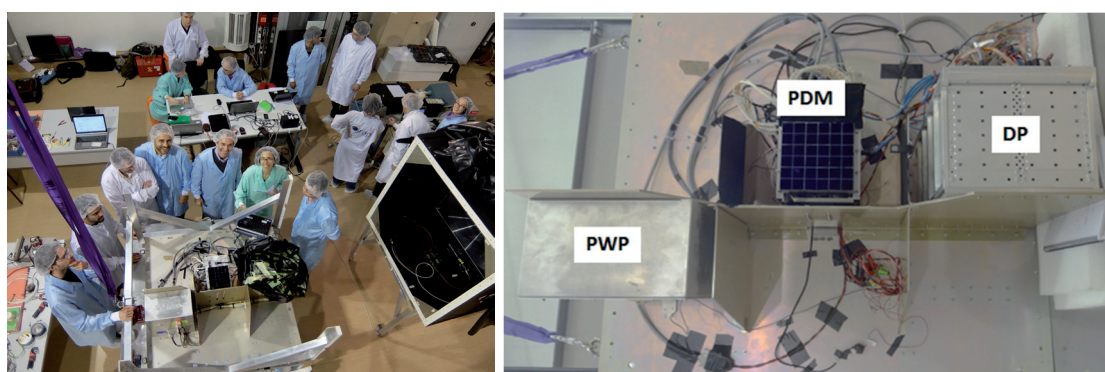


Figure 4 : À gauche : intégration de l'électronique en salle propre (IRAP).
À droite : vue de l'électronique intégrée (PWP : power pack).

Actualités

La campagne de vol

La campagne de vol s'est déroulée sur le site de la nouvelle base de lancement de ballon franco-canadienne co-gérée par le CNES et l'agence spatiale canadienne (ASC), à proximité de l'aéroport de la ville de Timmins qui est située à la même latitude que Paris.

Du 12 au 18 août, une vingtaine de chercheurs, ingénieurs et doctorants de tous pays sont arrivés progressivement sur la base. Ils ont assuré le déballage des boîtes de transport, le montage complet de l'instrument, effectué les tests de validation à chaque étape importante ainsi que la mise en configuration pour le vol. Les journées furent longues mais EUSO-BALLOON était prêt à voler dès le 22 août, le lendemain du vol d'un précédent projet canadien prioritaire.

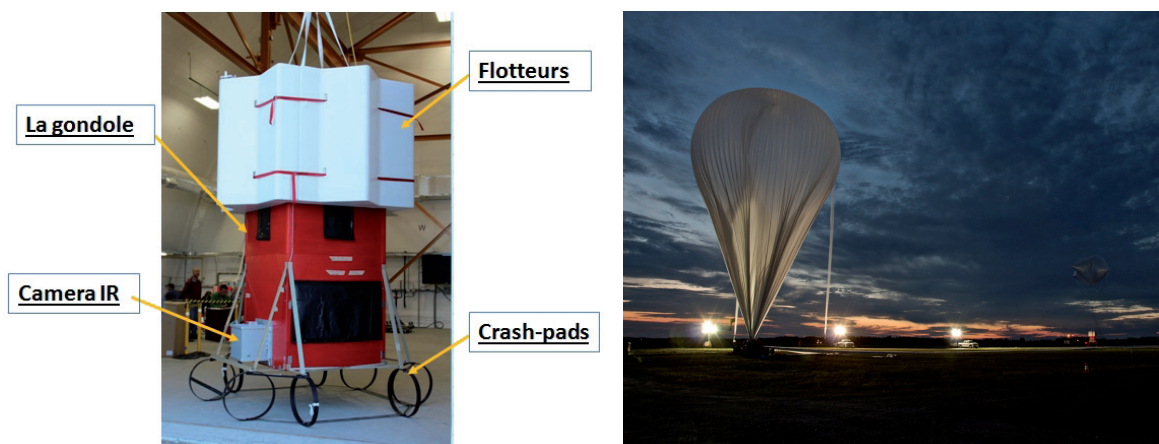


Figure 5 : À gauche : l'instrument prêt à voler. À droite : Le ballon (400 000 m³, gonflé à l'hélium) utilisé pour faire voler EUSO-BALLOON.

Après l'annulation du vol le 23 août pour permettre le remplacement d'un élément défaillant du système de vol du ballon du CNES, EUSO-BALLOON a finalement pu s'envoler dans la soirée du dimanche 24 août 2014. La trajectoire du ballon, mesurée par un récepteur GPS, est montrée sur la figure 6.

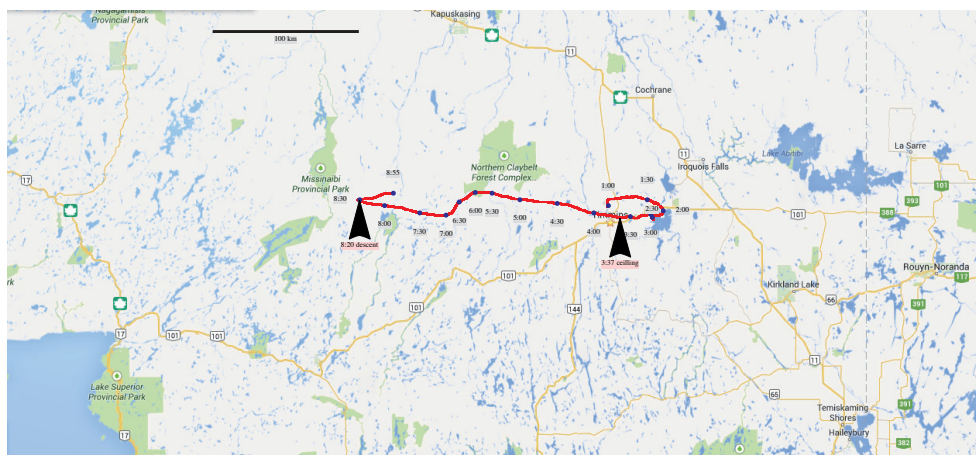


Figure 6: Trajectoire du ballon au-dessus de l'Ontario (en rouge).

L'ascension jusqu'à une altitude plafond de 38 km a duré près de trois heures durant lesquelles la communication par télémétrie avec l'instrument a permis d'effectuer les premières vérifications instrumentales puis d'allumer la haute tension dans le PDM une fois la nuit complètement tombée.

Le vol a ensuite duré environ cinq heures, durant lesquelles 83 Go de données PDM et 20 Go de données IRCAM ont pu être enregistrés. Une fraction d'une dizaine de pourcent des données a pu être transmise par télémétrie à nos ordinateurs de contrôle au sol pendant le vol, pour être rapidement analysée et ainsi vérifier le bon fonctionnement de l'instrument et sa capacité à mesurer le fond UV.

Durant deux heures, l'hélicoptère a réussi à suivre le ballon par en dessous pour effectuer des tirs de laser et de sources lumineuses ponctuelles appelées « flashers », dans le champ de vue de l'instrument, afin de fournir une calibration absolue aux mesures et de

Actualités

permettre ultérieurement une reconstruction spatio-temporelle 3D d'événements dont la géométrie est parfaitement connue. Les données correspondantes recueillies pendant le vol ont montré l'observation de traces ou de tâches sur la surface focale comme escompté.

Le vol s'est achevé le 25 août à 4h20 du matin. La descente rapide s'est terminée dans un lac au milieu d'une épaisse forêt (figure 7). Le système de flottaison d'EUSO-BALLOON a pu prouver sa raison d'être. L'ensemble de l'instrument a en effet été trouvé apparemment quasiment intact, et l'électronique semble être restée à sec comme prévu.

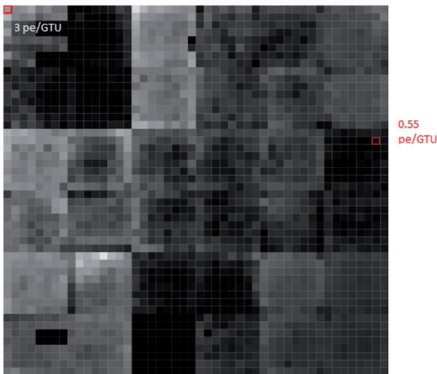


Figure 7 : À gauche : Exemple d'événement montrant la carte des 2 304 (48×48) pixels du PDM avec les différents niveaux de lumière. À droite : Le lac avec « EUSO » au centre.

Les perspectives

Après avoir intensivement participé à toutes les étapes de l'intégration et aux tests de l'instrument, les deux doctorants du groupe (Camille Moretto et Julio Rabanal Reina) ainsi que Hiroko Miyamoto (post-doc) et Sylvie Dagoret vont prendre une part active dans l'analyse des données. L'objectif scientifique principal est de mesurer le taux de comptage des photons du fond diffus UV tout au long de la trajectoire du ballon pour essayer de mesurer l'intensité lumineuse appelée « Airglow », émise par une fine couche de l'ionosphère à 100 km d'altitude. Il est essentiel d'étudier cette émission qui constitue le bruit de fond physique irréductible pour JEM-EUSO.

Le PDM devrait revenir en France en novembre et son intégrité sera vérifiée. Il pourra éventuellement être réutilisé pour d'autres applications dans le cadre de JEM-EUSO, pour des expériences de physique (au centre de l'observatoire Telescope Array dans l'Utah) et dans un simulateur expérimental du ciel photométrique sur le site du dispositif d'étude de la turbulence Turlab (Université de Turin).

Le succès de ce premier vol à dominante technique conduit les physiciens à envisager des vols supplémentaires, motivés par l'intérêt scientifique d'observer une plus grande variété de ciels dans l'UV sous différentes latitudes et au-dessus de diverses natures de surfaces de terrains, y compris des mers.