

# **Rapport Activité**



**2009-2013**



# Compétences Réalisations Technique

**Service Administratif**

**Service Electronique et  
Instrumentation**

**Service Informatique**

**Service Mécanique**

**L**e LLR est engagé dans des développements techniques ou des R&D liés aux projets de recherche du laboratoire. Les services, composés d'ingénieurs et de techniciens sous la responsabilité d'un chef de service, permettent de répondre favorablement aux diverses sollicitations dans les domaines que sont : la mécanique, l'électronique, l'instrumentation, l'informatique sans oublier les aspects administratifs. Ces services ont donc pour mission de proposer des solutions innovantes, basées sur leur expertise et leur savoir-faire, afin de répondre au mieux aux besoins



des chercheurs.

Ils assurent aussi le développement de projets génériques et transversaux, le transfert et la valorisation des expertises techniques ainsi que la mise en place et la maintenance des infrastructures du laboratoire nécessaires au bon fonctionnement des projets scientifiques.

## Service Administratif

### Équipe :

Sylvie Agasse\* <sup>◇</sup>, Nora Aissous, Thu Bizat (resp), Élodie Dubois, Véronique Durox <sup>◇</sup>, Serge Janin\* <sup>◇</sup>, Frédéric Lebrun\* <sup>◇</sup>, Brigitte Maroquesne, Bambi Mukendi, Sylvaine Pieyre, Carine Roger-Roulling <sup>◇</sup>, Marie-Thérèse Théodora.

Composée actuellement de 7 personnes, l'administration du LLR est un support aux activités de la recherche dans les aspects financiers, juridiques et administratifs. Elle est organisée autour du service financier et comptable, des ressources humaines, du secrétariat et de la communication. Elle est placée sous la responsabilité de l'administratrice du laboratoire.

Les chercheurs, ingénieurs et techniciens s'appuient sur le service administratif dans tous les domaines précités. Afin d'assurer une meilleure continuité de service, une organisation de travail en binôme a été mise en place depuis 2010.

Le laboratoire étant une unité mixte de recherche (UMR7638) de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et de l'École polytechnique (X), les agents du service doivent s'adapter aux différentes procédures administratives propres à chaque tutelle.

### Ressources humaines

La gestion des « Ressources humaines » concerne les agents

\* non permanent, <sup>◇</sup> départ entre 2009-2013

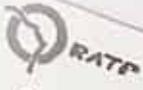
Délégation Ile-de-France-Ouest-Nord  
place Aristide Briand  
91350 MUDON Cedex

B  
L  
R  
91



35  
S  
PROCESS  
DATE:  
AIRFRANCE  
SEAT:  
CO4 22A  
PASSENGERS WILL BE REUSED.  
NUMBER IS STILL UP TO DATE.

CLASS: Y ECONOMY  
ETKT: 0574352969236  
FQTV: AF11356724271  
IVORY  
SE0: 037  
MINI



Réseaux ferrés  
BURES SIVVETTE VIA S. URBAINE  
AEROPORT CDG 1

EUR 13,65

2 cl

CB

ICIEN MATRICULE

DEPART RESIDENCE FAMILI

Suisse - Cer

PRENOM :  
MATRICULE :  
CATEGORIE :  
AFFECTATION : 0163  
SE RENDRA A GENEVE

DATE DEPART : 09/12/13  
OBJET : Rech. en équipe, collaboration  
MOTIF : CERN  
REUNION CMS WEEK

MOYEN(S) DE TRANSPORT(S) :

- Train BT
- Rer
- Bus

poster avant l'accès au train. Présence à quai obligatoire 2 mn avant l'accès au train. Présence à quai obligatoire 2 mn avant l'accès au train. Présence à quai obligatoire 2 mn avant l'accès au train.

01 ADULTE  
CLASSE 2 VOITURE  
PLACE ASSISE 31  
01 COULOIR

PARIS GARE LYON  
GENEVE CFF  
DE TRAIN 9765

Classe \*

Prix EUR \*\*112.00  
EC

09/12/13 09:05

DV 528677435

Dossier QMKROZ Page 1/1  
12.00

A90016

Dossier QMKROZ Page 1/1

Union européenne  
République française



PASSEPORT



permanents et non permanents. Elle regroupe non seulement l'établissement d'un contrat de travail mais aussi le suivi de l'évolution de carrière d'un agent permanent. Elle permet d'informer tous les agents en fonction de leur statut sur leurs droits et obligations au sein d'un établissement public tel que le CNRS ou de l'école polytechnique, comme par exemple : les congés annuels, le suivi des accidents de travail, les demandes de cumuls d'activités, les possibilités d'évolution, les formations pour un projet professionnel ou d'amélioration de son métier. La gestionnaire des ressources humaines a en charge la mise à jour des personnels dans la base de données Labintel et la mise à jour des annuaires laboratoire et école polytechnique. Le service administratif saisit les demandes de moyens avec l'outil « Dialogue de gestion » depuis 2011 et met à jour Isis institut, qui est un outil de suivi des projets internes à l'IN2P3.

Ce travail s'effectue en réalisant une veille continue de la législation et de la réglementation interne concernant la gestion des ressources humaines. Par exemple, sur la période concernée, de nombreux décrets et articles ont favorisé une meilleure intégration du personnel handicapé avec des concours dédiés depuis le 14/01/2010 et du personnel non permanent, via une charte de CDD dès le 25/10/2012. Suite à la loi Sauvadet du 12/03/2012, le CNRS a mis en place des examens professionnalisés réservés aux agents non titulaires des EPST, ce qui impacte de façon importante le nombre de concours externes et de promotions. Cette dernière impose un suivi détaillé des parcours des non permanents au sein d'un établissement public. De nombreux contrôles sur le cursus de l'agent sont dorénavant obligatoires et doivent suivre un circuit de validation par l'institut et la délégation avant que la demande de prolongation du contrat de travail se concrétise en laboratoire. En 2013, nous avons géré : 36 contrats de travail dont 2 fonctionnaires stagiaires, 4 CCD chercheurs, 1 CCD ITA, 2 contrats d'apprentissages, 4 contrats doctoraux, 2 mobilités internes et 19 conventions de stages.

Par ailleurs, une circulaire concernant la création du compte épargne temps le 5/03/2004, a continué à évoluer régulièrement. Au vu de l'impact financier de ces derniers et afin de faciliter leur alimentation, un outil de suivi de congés (AGATE) a été mis en place en mars 2013. Une formation et des réunions d'information au sein du laboratoire ont été nécessaires pour expliquer les tenants et aboutissants de cet outil auprès de tous les agents. Notre rôle a été de les accompagner et les guider dans l'utilisation de ce progiciel.

Les établissements publics ont à cœur de simplifier les démarches administratives. Ainsi de nombreux outils ont été mis en place pour alléger notre travail. En effet, le laboratoire attire d'excellents chercheurs provenant d'horizons internationaux. Leur accueil nécessite la prise en charge par le secrétariat du laboratoire, des demandes de titres de séjour et de visa. Nos échanges avec les préfectures se sont améliorés grâce à une meilleure organisation au sein du service administratif du laboratoire, mais aussi avec l'aide de l'école polytechnique dont les directions ont saisi l'ampleur de nos difficultés. Elles ont ainsi réussi à installer durant quelques

mois une antenne de la sous-préfecture de Palaiseau sur le site de l'école polytechnique. Cette installation a grandement facilité et accéléré nos demandes et retraits des visas et titres de séjour. Elle nous a permis d'améliorer l'accueil et l'image du laboratoire.

Un effort remarquable a été réalisé par les tutelles concernant les formations au profit des agents afin de se perfectionner mais aussi pour construire et accompagner un projet personnel. Depuis 2010, un binôme au laboratoire, composé d'un ingénieur et de l'assistante de direction, centralise les formations et informe tous les agents sur ces dernières. Les correspondants formations les accompagnent sur leurs demandes et le suivi de ces formations. Le nombre de formations suivies par ces derniers au laboratoire ne fait qu'augmenter et se stabilise autour d'une soixantaine actuellement.

## Ressources financières

Un autre aspect important de notre activité concerne les budgets.

La gestion des « Ressources financières » impose d'intégrer des budgets provenant de sources diverses : de nos tutelles mais également des projets subventionnés par l'Europe, l'ANR et la région avec leur contingent de contraintes spécifiques.

Le laboratoire gère actuellement 19 contrats de recherche d'origines différentes 2 Projets internationaux de coopération scientifique (PICS) coordonnés par l'IN2P3 et un contrat industriel. Le suivi de ces ressources implique une souplesse, une réactivité et une connaissance actualisée de toutes les règles d'éligibilité. Une expertise concernant les conditions de participation à ces différents appels à projets est à développer au sein du service administratif pour représenter un support efficace aux chercheurs. Par ailleurs, il nous faut aussi nous adapter aux règles de justifications et d'éligibilités bien particulières pour chacun des projets subventionnés afin de mieux répondre aux contraintes de la réglementation publique. Les Programmes cadres de l'Union européenne tendent à évoluer vers une simplification administrative, par exemple mise en place d'un portail pour minimiser l'envoi de papier, mais tout n'est pas encore optimisé. L'Agence Nationale de la Recherche se rapproche également dans son fonctionnement du modèle européen. Par ailleurs, les programmes issus des investissements d'avenir ont créés de nouveaux instruments (équipex, labex etc.) de subventions de projets d'envergure, dont les modalités de justification ne sont pas encore bien connues aujourd'hui. Une consolidation de nos connaissances dans ce domaine est nécessaire et un travail collaboratif approfondi avec la délégation et les directions de l'école polytechnique est primordial afin de rendre les rapports financiers adéquats et dans les délais prévus.

Par ailleurs, il faut régulièrement s'adapter aux outils mis en place pour respecter la réglementation des achats publics. L'évolution de l'outil Xlab vers Geslab a été effective en 2012 et de nombreuses réunions en amont ont été nécessaires

pour accompagner les gestionnaires vers cette bascule. Au sein du LLR, nous devons aussi appréhender l'outil de gestion « Sirepa » qui gère les crédits de l'école polytechnique. Les seuils qui imposent de passer par la mise en concurrence publique évoluent, des outils pour faciliter les achats de petits montants tels que le déploiement, sous la responsabilité du directeur, de la carte achat et la mise en place des marchés pour certains équipements ou achats sont des modifications auxquelles nous devons faire face et rapidement nous adapter. Ensuite, nous devons inventorier tous les achats dits d'équipements afin de répertorier toutes les immobilisations et d'estimer au mieux toutes les acquisitions appartenant à l'établissement public.

## Les déplacements professionnels

Le LLR participe à de nombreuses collaborations internationales. Par conséquent, de multiples missions sont réalisées au cours de l'année et une gestionnaire "mission" est dédiée à cette activité. Outre la veille des pays à risque, elle doit aussi s'adapter aux contraintes des nouveaux marchés établis par le CNRS et l'école polytechnique pour les achats de billets ou d'hébergement. Elle s'emploie à prendre en charge tous les déplacements et plus particulièrement pour ceux vers l'étranger, l'obtention de visa ou autre document nécessaire pour faciliter la vie des usagers. Elle se tient informée des mouvements sociaux et autres afin d'anticiper au mieux les retours. Dans les cas de sinistres, le service administratif assure l'intermédiaire avec nos assureurs afin de rapatrier nos agents dans les plus brefs délais et dans les meilleures conditions.

## Communication

La « Communication » quant à elle, englobe toutes les actions qui accompagnent l'animation scientifique, mettent en valeur les métiers de la recherche et participent au dialogue entre la science et la société. Depuis décembre 2011, elle est soutenue par une secrétaire en communication au sein du service administratif. Elle participe à l'organisation de nombreux événements et conférences.

Nous pouvons, recenser en 2013, 9 conférences dans lesquelles nous étions directement impliqués en terme de logistique.

Par ailleurs, le secrétariat du laboratoire, outre les tâches inhérentes à son poste, gère le Master PHE. C'est l'interlocuteur des enseignants pour l'élaboration des agendas mais aussi des étudiants.

## Partenariat

Le « Partenariat scientifique » est initié par les scientifiques et est soutenu puis relayé vers les juristes de nos tutelles afin de rédiger une convention qui protégera au mieux les intérêts de nos chercheurs.

## Autres missions

Pour finir, le service administratif est partie prenante des divers conseils et comités du laboratoire. En effet, il est largement impliqué dans la mise en place des mesures et consignes prises dans les conclusions de ces comités.

### L'administration du LLR en quelques chiffres :

Plus de 600 missions pour un budget global de 350 k€  
 1100 bons de commandes pour un budget de 1,4 M€  
 36 contrats de travail et 20 conventions de stage  
 10 conférences et séminaires

# CHEF 2013

**C**alorimetry for the **H**igh **E**nergy **F**rontier

CALORIMETERS : *from* LHC, Tevatron to HL-LHC, ILC, CLIC

**22-25 april 2013, Paris**

## Program Committee

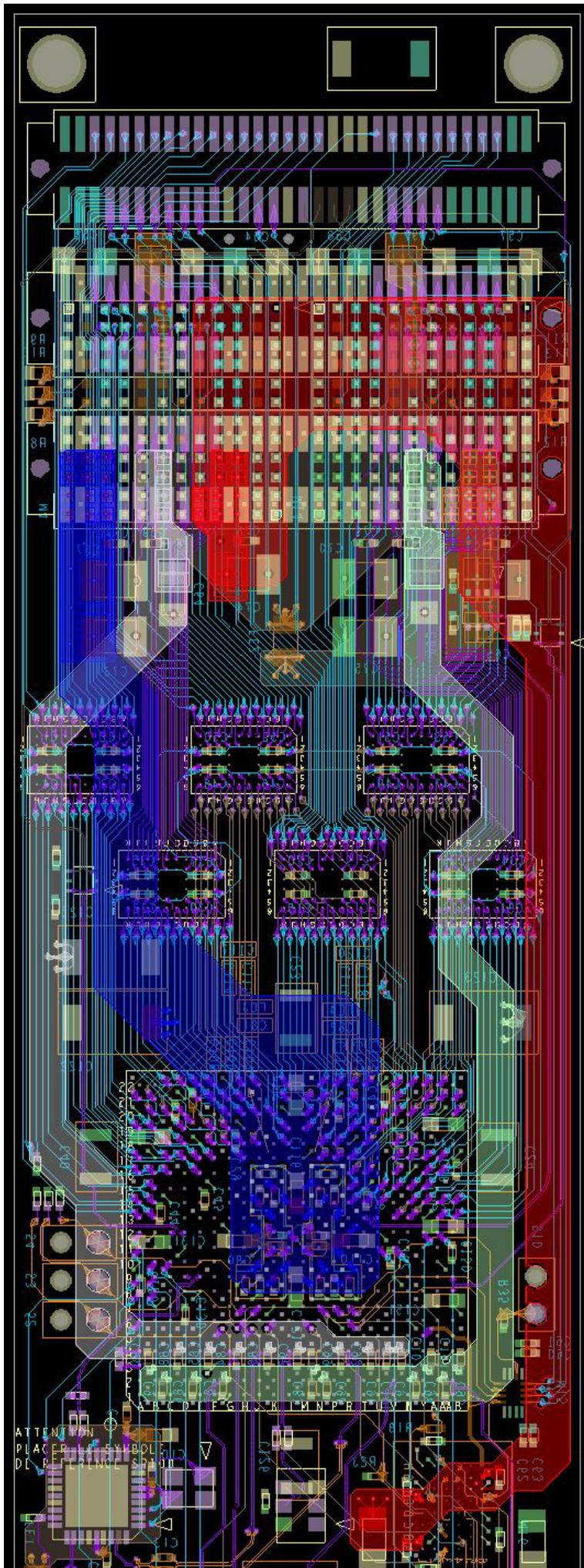
Makoto ASAI (SLAC)  
Philippe BLOCH (CERN)  
Jean Claude BRIENT (Chair)  
Frédéric MACHEFERT (LAL)  
Bruno MANSOULIE (IRFU/CEA)\*  
Joachim MNICH (DESY)  
José REPOND (ANL/DOE)  
Laurent SERIN (IN2P3)  
Yves SIROIS (LLR)\*  
Sophie TRINCAZ-DUVOID (LPNHE)\*  
Isabelle WINGERTER-SEEZ (LAPP)  
Tomio KOBAYASHI (ICEPP/Univ. of Tokyo)  
\*Local OC

Contact :

[CHEF2013.secretariat@llr.in2p3.fr](mailto:CHEF2013.secretariat@llr.in2p3.fr)

<http://llr.in2p3.fr/chef2013>





Sur le PCB de la carte TLB, on voit ici sur la partie droite, la superposition de 2 connecteurs 64 broches avec 2 composants convertisseur DC/DC en boîtier LGA. La connexion par « via borgne in PAD » assure la connexion des multiples plans internes d'alimentations (colorisés, pas tous visibles néanmoins) dans un environnement à très forte densité.

# Service électronique et instrumentation

## Équipe :

Michel Bercher <sup>◇</sup>, Rémi Cornat (resp.), Alain Debraine <sup>◇</sup>, Franck Gastaldi, Yannick Geerebaert, Akli Karar <sup>◇</sup>, Marc Louzir, Antoine Mathieu <sup>◇</sup>, Roland Mussat <sup>◇</sup>, Jérôme Nanni, Sébastien Rateau, Benoit Renaud, Jean-François Roig <sup>◇</sup>, Thierry Romanteau, Jean-Charles Vannel <sup>◇</sup>, Luc Zlatevsky <sup>◇</sup>.

Le groupe électronique et instrumentation est en charge de la recherche et développement, de la conception, de la mise en œuvre et de la validation fonctionnelle en laboratoire et sur site expérimental d'éléments de détecteurs, de modules ou de cartes électroniques et/ou de systèmes complets. Les membres du groupe interviennent régulièrement pour la formation d'étudiants et la diffusion en conférences, les séminaires de collaboration ou les publications.

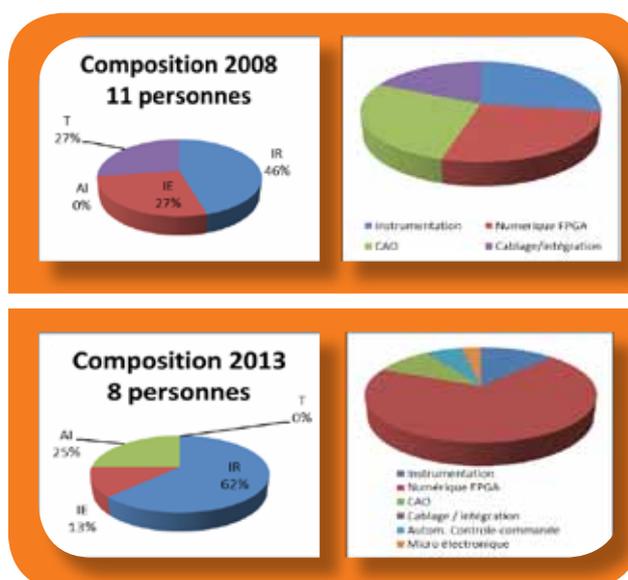
## Missions et compétences

Le groupe possède une forte dominante liée à l'électronique numérique sur composants programmables pour les structures de transfert de données (mémoire locale, liaisons série rapides) et le contrôle-commande. Le groupe prend en charge le développement de banc de tests et de qualification de détecteurs (mesures I-V, C-V, de diaphonie électrique, stimulation optique) et de systèmes électroniques (génération et analyse de vecteurs de tests). De façon plus ponctuelle, les ingénieurs peuvent intervenir sur du développement informatique (Labview, python) et automatique. Des compétences en microélectronique sont présentes mais non exploitées hors relations avec les groupes de développeurs externes.

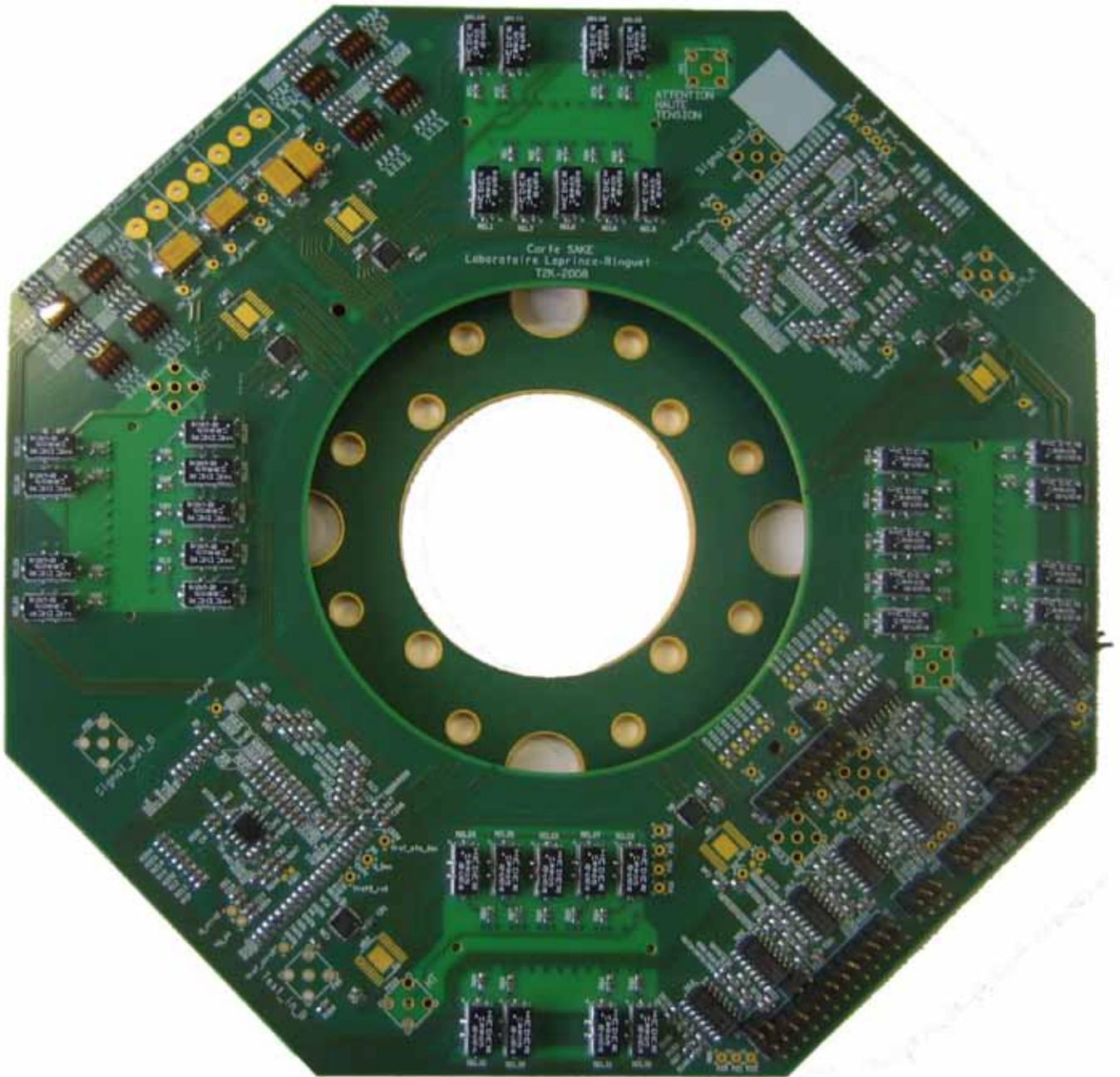
## Composition et évolution du groupe

L'effectif est à la fois en diminution et en fort renouvellement (6 départs en retraite ou mutations depuis 2009). En

2013, le groupe est composé de 8 permanents (11 en 2008) dont 5 IR, 1 IE (Ecole polytechnique) et 2 AI. Le groupe a connu un fort renouvellement (5 personnes sur 8), impliquant des efforts particuliers de formation et une montée en puissance progressive. Le service est amené à prendre en charge les projets de façon plus collective et la prise de responsabilité dans les collaborations s'oriente vers la prise en charge de blocs fonctionnels au détriment de systèmes plus complets (à l'exception des activités CALICE). La composition évolue en effet en faveur des Ingénieurs de Recherche (IR) et le groupe ne compte plus de Techniciens. Les activités de maintenance, câblage et d'intégration sont difficiles à prendre en charge et doivent se limiter aux urgences, la part confiée à la sous-traitance s'accroît.



\* non permanent, <sup>◇</sup> départ entre 2009-2013



*Carte électronique permettant de tester 36 photodétecteurs au silicium (MPPC) simultanément*

Pour la conception de cartes, qui ne repose plus que sur 1 FTE, l'activité tend à se réduire quantitativement au profit de la technicité (cartes frontales, cartes à haute densité et haute fréquence 5GHz). Il en est de même pour l'instrumentation (mesures au pA, pF). Cependant le fort nombre d'IR permet un bon positionnement sur les collaborations internationales (CMS, ILD/CALICE).

Le groupe entretient un intérêt naissant pour la mise en œuvre d'outils de conception avancés : simulation de ligne de transmission, system C et synthèse C vers silicium. Sa composition lui confère un potentiel en matière de micro-électronique et d'automatisme encore peu exploité sur les projets.

Depuis 2012, le pôle online du laboratoire est fonctionnellement lié au groupe, ce pôle est composé de trois IR recrutés récemment. L'objectif est de mettre en œuvre une approche combinée du développement des systèmes. De ce point de vue, le retour d'expérience du projet de calorimètre silicium-tungstène de CALICE est prometteur.

## Enseignement et formation

Le groupe encadre chaque année de 2 à 3 stagiaires de niveau M1 ou M2. Nous accueillons aussi 1 apprenti ingénieur en moyenne (L3 à M2). Le groupe peut assurer la direction de thèse (HDR) et intègre un doctorant sur un sujet orienté microélectronique. Ces efforts d'encadrement permettent la prise en charge de tâches prospectives ou annexes, au bénéfice des projets et de la formation des étudiants dont certains sont susceptibles d'intégrer nos structures comme c'est le cas pour un IE recruté en 2013.

## Responsabilités

Coordination ANR CALIIMAX  
 Coordination technique Si-W ECAL  
 Coordination technique Harpo  
 Coordination groupe semi-conducteur du labex P2IO

Participation au groupe de travail upgrade trigger Ecal-CMS  
 Participation aux groupes instrumentation IN2P3 (DAQ/xTCA, photo détecteurs, semi-conducteurs)

## Projets associés à CALICE/ILC

La contribution du groupe aux R&D instrumentales de la collaboration CALICE concerne deux thèmes : premièrement, une participation au système d'acquisition de données du calorimètre hadronique Semi-digital (SDHCAL) dans le cadre d'un projet ANR et deuxièmement, une implication importante pour l'instrumentation du calorimètre électromagnétique Silicium-Tungstène (coordination de l'ANR blanc CALIIMAX).

Une moyenne de 2 FTE est investie sur l'ensemble de ces

contributions entre 2008 et 2013. Ces travaux se sont effectués dans le cadre de la collaboration CALICE puis de la collaboration ILD et le support du projet FP7 AIDA.

### SDHCAL / Carte DCC

C'est en 2011 et dans le cadre d'un projet de R&D qu'a été développé une carte de concentration de voies de données. L'objectif premier de cette carte « Data Concentrator Card » (DCC) était de réduire l'utilisation voir de remplacer la carte dite « Link Data Agregator » (LDA) fournie par la collaboration anglaise du projet CALICE. En effet, cette dernière de fonctionnalité similaire, mais d'un encombrement important et d'un coût sensiblement élevé, présentait des fonctionnalités incomplètes, certaines instabilités de fonctionnement et une sensibilité aux bruits environnants.

La carte DCC est un concentrateur de données de neuf voies vers une. Elle comporte 9 voies d'interface avec la partie détecteur (DIF) et une voie d'interface vers le système de lecture global. Chacune de ces liaisons, via un connecteur HDMI, comportent 5 paires de signaux basées sur le standard LVDS. Les signaux principaux transitant sur ces paires sont : l'horloge (50 MHz), un lien dit de contrôle et un autre dit de donnée. Pour assurer la fiabilité de la transmission dont le débit est de 50 Mb/s, un codage 8b/10B a été adopté avec un protocole propre à l'expérience. Sur cette carte une interface USB est également disponible.

Une fois validée, plusieurs de ces cartes ont été intégrés à une chaîne d'acquisition globale pour des campagnes de faisceau test au CERN. Le succès rencontré a amené des équipes du LAPP d'Annecy et du LPC Clermont à nous demander des exemplaires de cette carte pour équiper leur propre système d'acquisition. Cela s'est concrétisé par la mise en place d'un système sans LDA avec configuration du détecteur via les cartes DCC et une lecture des données via liaison USB. Quatorze exemplaires de cette DCC ont été produites à ce jour et sont utilisées dans 4 laboratoires différents.

### Si-W ECAL

Pour le calorimètre électromagnétique silicium-tungstène, le groupe coordonne les activités techniques de 4 laboratoires IN2P3 (LAL, LPSC, LPNHE et LLR) et collabore avec nos partenaires japonais (Université de Shinshu et Tokyo). Les tâches prises en charge localement sont très diverses et concernent l'ensemble de la chaîne instrumentale : conception et test des capteurs, carte frontale, interface détecteur, acquisition de données (effort conjoint avec le SDHCAL), bancs de caractérisation et campagnes expérimentales.

### R&D capteurs : matrices de diodes PIN

Trois enjeux principaux ont motivés des efforts de R&D au sujet du détecteur pour ECAL (matrices de diodes PIN) :

- mise en évidence d'un phénomène de diaphonie entre les structures de protection périphériques (anneaux de

- garde) et les pixels du pourtour du capteur.
- nécessité de produire ces matrices avec de grandes dimensions afin de diminuer la densité des zones de détection inefficaces localisées à la périphérie.
- recherche de fabricants ayant les capacités nécessaires et le développement technologique conjoint.

Les phénomènes de diaphonie ont été modélisés et simulés de trois façons différentes : analytique, électrique et par simulation technologique (TCAD). Une solution d'anneaux de garde segmentés a été proposée et testée avec 3 fabricants différents (ON Semiconductor/Pragues, BARC/Bombay, HPK/Hamamatsu). Conjointement, un programme de R&D a été conduit avec HPK avec la production de matrices de 9 cm de côté incluant 256 pixels. Une nouvelle technique de découpage par laser a été testée. La dernière version de capteur n'inclura pas d'anneau de garde (non qualifié). Environ 200 échantillons de diverses natures ont été mesurés.

### Banc de Tests

Pour assurer la bonne conduite des développements de nouveaux détecteurs et de leur électronique associée, il est impératif de disposer d'outils capables de mesurer leurs caractéristiques en fonctionnement et leur éventuelle évolution au cours du temps. Ces outils doivent aussi permettre la prise en compte des perturbations extérieures et d'en mesurer l'influence sur le détecteur lui-même, voir sur l'ensemble avec son électronique.

### Banc de caractérisation électrique

Dans cette optique, le service électronique a mis en place des bancs de test et de caractérisation de détecteurs de type matrice de diode PIN et SIPM. Ces capteurs, utilisés en physique des particules, sont pour leur grande majorité des éléments semi-conducteurs dont les points de fonctionnement peuvent varier, entraînant un biais de mesure. À chaque capteur correspond une fonction de transfert reliant ses grandeurs électriques  $i=f(v)$ , il convient alors de connaître précisément l'équation de cette courbe. Les conditions de fonctionnement des détecteurs étant assez variables suivant les expériences, il est apparu nécessaire de mettre en place un banc de test climatique permettant de mesurer la fonction de transfert en fonction des variations de température et d'hygrométrie. Les conditions maximales applicables pouvant être de -30 à 80°C pour la température et de 10 à 90% pour l'humidité sur une enceinte climatique dédiée au test.

Ce banc automatisé permet de piloter une enceinte climatique au moyen d'une connexion Ethernet et d'un réseau d'instrumentation GPIB, sur lequel sont connectés les différents générateurs, alimentations et appareillage de mesure de tension, courant, impédance, etc. Toutes les données sont centralisées sous forme informatique permettant de retracer la réponse des capteurs mesurés. Ce banc permet aussi de mettre le capteur dans des conditions de fonctionnement pendant un temps très long (180 heures) et d'effectuer des mesures automatiquement avec des intervalles de temps programmés, des variations environnementales peuvent ainsi être simulées et leurs conséquences mesurées.

### Banc test Xtalk

Concernant les nouveaux capteurs silicium dédiés à la physique des particules, on assiste à une montée en gamme tant en résolution spatiale que dans la capacité de quantification des particules de physique. Par exemple, pour une matrice de diode à forte densité, se pose le problème des perturbations sur les diodes elles-mêmes que peut provoquer le champ électrique généré par le passage d'un électron dans l'anneau de garde de cette même matrice. Cette problématique est à prendre sérieusement en compte car génératrice d'artefact sur les diodes se trouvant en périphérie des anneaux de garde.

Afin de mesurer la relation (cross-talk) entre le signal mesurable sur un pixel (diode constituant la matrice) et le champs électrique sur l'anneau de garde, nous avons développé un banc de test permettant de mettre une matrice détecteur à l'abri des rayonnements électromagnétiques ambiants (cage de Faraday), d'injecter à l'aide de micro-positionneurs un champs électrique sur l'anneau de garde et de mesurer le signal de perturbation sur chacun des éléments de détection de la matrice à l'aide d'un analyseur de spectre. Ce type de mesure permettra l'optimisation du dessin de la matrice, de son anneau de garde, donc des performances globales du détecteur à réaliser ou à caractériser.

### Banc Laser

Un « Banc laser » picoseconde permet d'illuminer les capteurs (1055 nm). Le faisceau est guidé grace une fibre optique dont le positionnement est contrôlable.

### Carte Front-End Version 9 (FEV9) : activité CAO

Cette carte fait partie intégrante du détecteur ECAL à granulométrie fine. Elle comporte du silicium détecteur (diode PIN) collé sur une face et des composants électroniques (ASIC pour la lecture du détecteur) soudés sur l'autre face. Ce circuit est caractérisé par sa capacité à être chaîné à d'autres identiques, aboutissant à la création d'un module détecteur jusqu'à 2 m de long. Plusieurs exemplaires de ce module détecteur sont insérés dans une structure mécanique alvéolaire en tungstène et composite carbone. Elle constitue alors un des éléments structurels du calorimètre qui permettra la mesure d'énergie de certaines particules traversant la structure.

La qualité de la transmission des signaux analogiques sur le circuit imprimé (liaisons courtes et homogènes) a un impact direct sur la qualité de mesure des ASICs et donc en partie sur la précision du détecteur. La transmission des signaux numériques tout au long du module détecteur (liaisons longues) est aussi délicate. Ces signaux assurent la communication entre ASICs et le transfert des données vers le système de lecture (DAQ). Le routage, l'agencement et l'empilage, sur les différentes couches du PCB de ces deux classes de signaux, sont des tâches essentielles et difficiles pour garantir le parfait fonctionnement de l'ensemble. Des prototypes comportant plusieurs routages sont testés afin de valider les solutions techniques finales.

La carte doit assurer une fonction de détection optimale et

de transmission à la carte voisine de ses données. Un module détecteur est donc vu comme une conception modulaire non triviale en terme d'intégrité des signaux ainsi qu'en terme d'intégration mécanique. Ce dernier aspect, requiert une capacité d'itération et d'interaction entre les outils de CAO mécanique et électronique. Cela nous a amenés à définir les méthodes capables de favoriser ces échanges répétés, grâce au format Interface Data Format (IDF).

### Carte GDCC

Dans le cadre de l'ANR CALIIMAX, une version dite GDCC (Giga-Ethernet DCC) dérivée de la carte DCC a été conçue. Cette carte, dont la voie concentrateur de sortie est une interface Gigabit Ethernet cuivre ou optique, a été réalisée en version prototype et en version dite de série. Cette fonctionnalité « interface Ethernet » était initialement supportée par la carte anglaise LDA que cette GDCC est destinée à remplacer.

La couche physique Ethernet a été réalisée à partir d'un composant dédié de la société MARVELL prenant en charge l'auto-négociation du lien Ethernet simplifiant ainsi la mise en œuvre du bloc MAC. Dans l'objectif de garder la possibilité d'une évolution sans pour autant reprendre l'ensemble du routage de cette carte, la GDCC a été scindée en deux. Une partie « mère » qui contient les composants liés à la fonctionnalité principale de la carte, et une partie « mezzanine » contenant principalement les connecteurs vers les DIFs, soit 6 ou 7 suivant la version de GDCC. Seule la partie mezzanine pourra être refondue, par exemple dans le cadre d'une étude de faisabilité vers d'autres types de connectique et/ou pour suivre l'évolution de prochaine génération de carte dite « front-end ».

En juillet 2013, le groupe CALICE /ECAL du LLR a décidé d'effectuer une campagne de tests sur le site DESY de Hambourg avec une carte GDCC. Le taux de données enregistrées a été suffisant pour que l'équipe scientifique puisse faire ses analyses. Durant cette campagne, il a été démontré que le taux d'acquisition sur la GDCC (jusqu'à 50 Hz au moins) pouvait être meilleur que celui d'une LDA (tout au plus 10 Hz). Durant cette campagne, une version prototype 1 a été lancée en fabrication et réceptionnée en septembre 2013. Les problèmes ont été résolus à l'automne 2013 et actuellement la version 0 et la version 1 de la GDCC fonctionnent correctement. Il est à présent envisagé d'effectuer une série de test en cosmique au laboratoire afin rendre cette carte diffusable au sein de la communauté ILC/CALICE en cours :

- FCAL ILC (Pologne),
- Univ. Tokyo + Kyushu,
- LAPP.

### Intégration et campagnes expérimentales

Le groupe a réalisé la mise au point et les tests fonctionnels de l'électronique frontale basée sur un circuit de l'équipe OMEGA (SKIROC2) et a développé le reste de la chaîne instrumentale. Cela inclut la conception des cartes frontales et des cartes intermédiaires assurant la liaison avec le

système d'acquisition de données et qui implémentent une proposition originale d'alimentation pulsée. Pour l'interface détecteur, un code générique a permis le partage d'éléments de conception pour le SDHCAL et ECAL.

Le groupe a très fortement contribué, avec les autres services techniques, à la construction d'un prototype d'une dizaine de couches, validé au cours de 4 campagnes expérimentales incluant tests en champ magnétique et acquisition en mode d'alimentation pulsée. La technologie du ECAL silicium-tungstène est aujourd'hui en bonne position pour être sélectionné comme détecteur auprès d'un futur collisionneur linéaire ou pour une mise à jour d'un détecteur du LHC. Les activités dans le cadre de ce projet ont donné lieu à plus de 30 contributions à des séminaires de collaboration et plus de 10 interventions en conférences (IEEE, TIPP, CALOR, LCWS...).

### Projets associés à l'expérience CMS

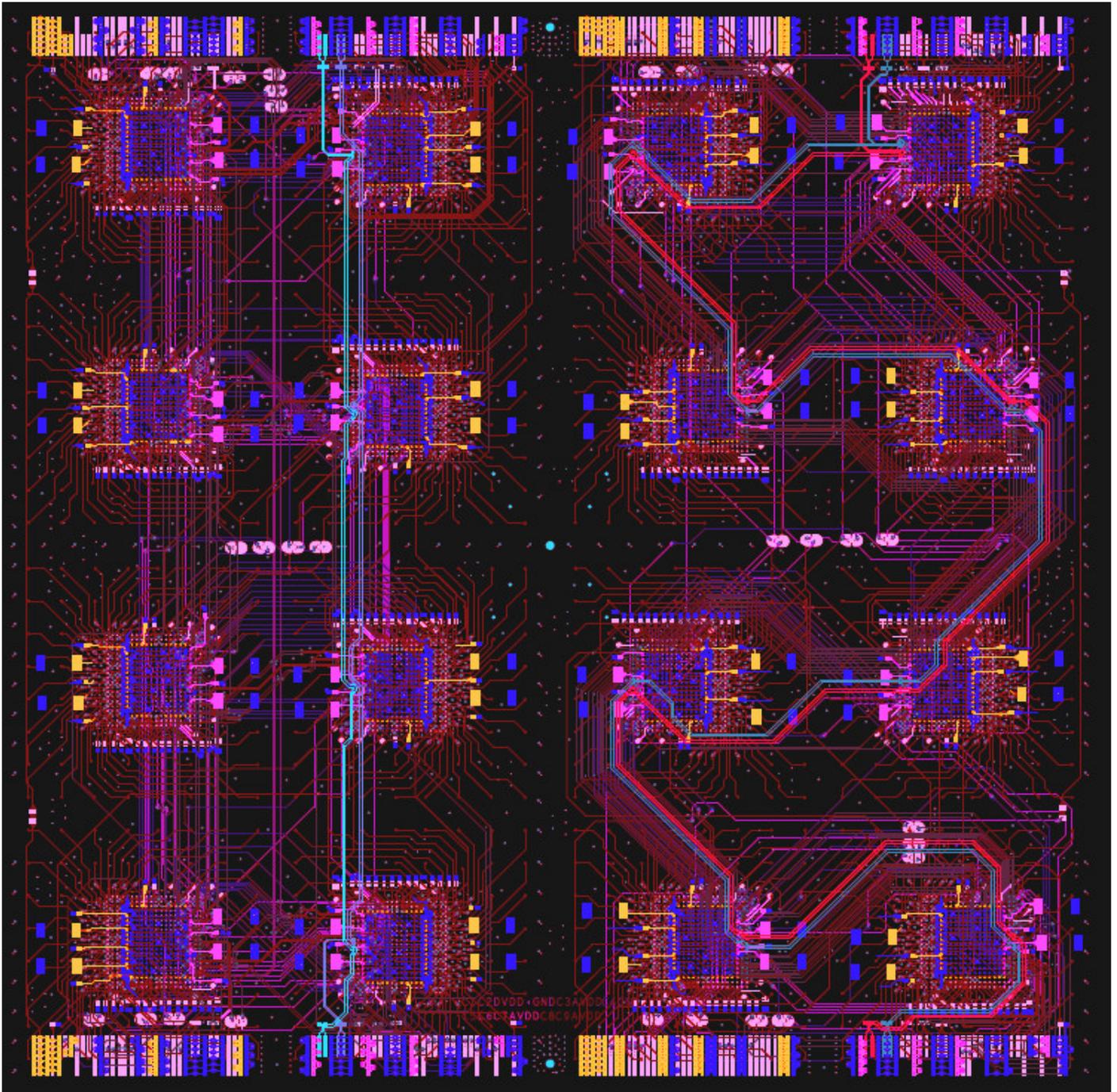
Le groupe a été impliqué dans cette expérience dès son origine et plus particulièrement dans l'électronique du calorimètre électromagnétique (ECAL). On lui doit la création et la mise en œuvre d'un banc pour le test des 3132 cartes Front End du Calorimètre, la conception et la mise en œuvre des cartes de déclenchements de la partie tonneau (36 cartes TCC68) et les bouchons (72 cartes TCC48), la fourniture d'IP sérialiseur haute vitesse pour le « Global Calorimeter Trigger ».

### Mise à niveau « Firmware » des cartes TCCxx-ECAL

Deux mises à jour importantes des fonctionnalités électroniques des cartes TCCxx ont été réalisées ces dernières années, grâce à l'emploi de composants de type programmable (FPGA). Ces mises à jour étaient motivées par la résolution de problèmes découverts au cours de l'utilisation du détecteur.

En 2010 des « spikes » sont apparus dans la partie tonneau du détecteur. Leur origine a été identifiée comme étant due au passage de neutrons dans les photodiodes à avalanche assurant la lecture des cristaux, pouvant ainsi simuler un dépôt d'énergie de plusieurs dizaine de GeV et générant un taux de faux déclenchements de premier niveau croissant avec l'intensité instantanée du LHC. La topologie de ce type de dépôt étant très différente de celle d'une gerbe électromagnétique, un algorithme de marquage combinant les informations provenant de l'électronique frontale a été développée et installée avec succès dans le firmware des TCC68 de la partie tonneau. La prise de données de 2010 et de 2011 a pu ainsi se dérouler sans problème lié aux « spikes ».

Durant l'arrêt d'hiver 2012 du LHC, il a été demandé au groupe électronique du LLR de développer un système permettant de gérer les erreurs apparaissant aléatoirement et par bouffées sur les liens série connectés à l'électronique frontale. De telles erreurs peuvent provoquer de très hauts taux de déclenchement et saturer le système d'acquisition.



*Deux routages (tracés) des lignes différentielles critiques ont été expérimentés ici (partie droite et gauche) à des fins de test et validation. Le routage en serpentins à droite diffère de celui plus direct à gauche. Nous ne voyons ici que les pistes de cuivre, les vias et les plages d'accueil des composants, soit 16 ASICs et 8 connecteurs principalement. Les fils rouges en étoile autour des ASICs assurent la connexion analogique vers le silicium détecteur collé sur l'autre face du PCB.*

Grâce à de nouveaux firmwares et du software associé, les liens instables sont maintenant détectés et un masquage dynamique est appliqué, permettant ainsi d'éviter de saturer l'acquisition. L'ensemble a été installé et utilisé avec succès jusqu'à l'arrêt programmé de l'expérience CMS en février 2013.

### Upgrade Phase1 du système « Calorimeters Trigger »

En février 2013 l'expérience est arrêtée afin d'appliquer une première mise à niveau (Upgrade Phase1) d'une partie importante de ses sous-systèmes. Le système de déclenchement des calorimètres doit subir un changement important basé sur la mise en œuvre de technologies industrielles MicroTCA, liens rapides haut débit et sera pourvu d'une architecture dédiée et novatrice appelée Time Multiplexed Trigger (TMT). Une partie de ce nouveau système devra fonctionner en parallèle avec le système existant, lui-même rénové. Puis il sera déployé dans son intégralité en 2015.

Pour ce faire il est nécessaire d'installer des cartes de transfert série optique (oSLB) dans les cartes électroniques TC-Cxx de déclenchements du ECAL. Elles ont pour fonction de transmettre les données de déclenchements aux deux « Calorimeter Trigger Systems » en parallèle (ancien et nouveau) et en synchronisme. Nous avons donc conçu une carte Test Link Board (TLB) permettant de tester et valider ce transfert de données synchrone en installant des oSLB et une TLB à l'intérieur de nos cartes TCCxx. La réalisation du PCB de cette carte a requis une technologie de fabrication du PCB (via-borgne in PAD) jamais utilisé au laboratoire jusqu'à présent, de plus la très faible taille des liaisons en cuivre nécessaire, n'était pas courante. Cette carte comporte deux liaisons séries bidirectionnelles à 5 Gbps au sein d'un FPGA. À la réalisation de la carte est aussi associé le développement du firmware du composant FPGA, qui intègre la fonctionnalité même de la carte. Ce firmware et ses tests associés sont en cours de finalisation.

Les physiciens CMS du laboratoire ont une expertise reconnue du fonctionnement intime du calorimètre électromagnétique et sont considérés référents quant aux analyses sur les objets Electron et Taus. De ce fait, ils contribuent de manière essentielle à la création de nouveaux algorithmes pour le nouveau système de déclenchement de type TMT. Le groupe électronique a pris la charge d'implanter et déployer ces algorithmes sous leur forme électronique dans une plateforme de test MicroTCA à base de FPGA, cette dernière est conforme à la solution matérielle retenue par l'expérience. Ce travail est, à ce jour, dans sa phase initiale de développement et de déploiement.

### Projet associé à l'expérience T2K

Fin 2007, le groupe d'électronique a eu la responsabilité de l'étude, de la conception et du développement de la partie

électronique d'un banc de réception et étalonnage de 4500 photo-détecteurs en silicium MPPC (Multi Pixel Photon Counter). Ces MPPC étaient destinés au détecteur INGRID (Interactive Neutrino GRID). INGRID est l'instrument qui permet de caractériser précisément le profil transverse du faisceau de neutrinos de l'expérience T2K au Japon.

L'objectif du banc de réception est de mesurer individuellement les paramètres des 4500 photo-détecteurs. Ces paramètres sont : le gain, le taux de comptage dans le noir (DNR, dark noise rate) et l'efficacité quantique (PDE, Photon Detection Efficiency). Ces paramètres dépendent de la tension appliquée (de l'ordre de 70 volts) et de la température.

L'enjeu a été de concevoir un banc capable d'assurer une reproductibilité des mesures tout en étant opéré par une personne non-spécialiste et de mesurer les paramètres des 4500 MPPC dans un temps limité imposé par la collaboration T2K. Les mesures se font parallèlement sur 32 MPPC et le banc est capable de mesurer 128 MPPC par jour.

Nous avons choisi d'utiliser un circuit FPGA (XILINX, Virtex2) pour orchestrer la synchronisation des éléments du banc. Ce dernier comprend un oscilloscope, un ordinateur, un picoampère-mètre, un générateur d'impulsions et une carte électronique supportant deux circuits électroniques dédiés conçus à l'IN2P3. Nous avons pu caractériser les MPPC avant la fin de l'année 2008 et les envoyer au Japon pour intégration dans le détecteur avant le démarrage de l'expérience en 2009. Les premiers événements du détecteur INGRID en faisceau de neutrino ont été enregistrés au début 2010.

### Projet associé à l'expérience HARPO

Depuis 2009, Le groupe d'électronique a la responsabilité technique du détecteur HARPO et des développements électroniques.

HARPO est un programme de R&D visant à caractériser l'utilisation d'une chambre à projection temporelle (TPC) pour mesurer précisément la polarisation des photons gamma issus de sources cosmiques. Une TPC permet de mesurer la trajectoire des particules chargées issues de la conversion d'un photon.

La première étape du projet est la construction et la caractérisation en rayons cosmiques d'un détecteur basé sur une TPC à gaz sous pression (5 bar). La seconde étape est la collection de données auprès d'un faisceau de photons gamma polarisés au Japon.

L'utilisation d'une TPC comme cible active et télescope de photons gamma est inédite. Une TPC réalise une imagerie extrêmement fine de l'ensemble des traces d'un événement. On peut voir la TPC comme un appareil photo 3D dont le nombre de pixels est lié à la dimension et à la résolution, et dont la cadence de prise de vue correspond à la fréquence de production des traces. Ainsi, pour HARPO, le volume actif est un cube de 300 mm de côté avec une résolution de 1 mm, ce qui correspond à 27 millions de pixels à enregistrer à plusieurs centaines de hertz. Ce flux de données est consi-

dérable. Pour le minimiser, HARPO utilise une surface de collection à deux fois une dimension (des pistes X,Y et pas des pixels). On passe ainsi de 27 millions à 180000 données par événement mais au prix d'une électronique et d'un logiciel sophistiqués, permettant de reconstruire l'événement initial.

Guidé par ces contraintes, nous avons choisi les éléments du détecteur suivants :

- Un MICROMEAS (MICROMesh Gaseous Structure), système d'amplification et de collection des électrons de la TPC.
- Deux cartes électroniques (FEC) de lecture d'une TPC développée par le CEA et capable de lire 288 voies chacune.
- Deux FPGA (Xilinx Virtex5) montés sur des kits de développement (ML507).
- Deux alimentations haute-tension (10kV et 2x6kV) pilotables par ordinateur.
- Une carte de lecture de photo-multiplieurs (Pmm2), basée sur un circuit (PARISROC\_2 conçu à l'IN2P3 par le groupe OMEGA) développée par un laboratoire voisin (IPN d'Orsay).

Aujourd'hui le détecteur HARPO fonctionne et a pris de nombreuses données en rayons cosmiques (environ un million de traces) permettant à un étudiant en thèse de développer un logiciel de reconstruction de traces.

## Bilan

Le groupe électronique durant les 4 dernières années a su faire face à un fort renouvellement de ses membres. Les compétences sont aujourd'hui largement tournées vers l'électronique numérique basée sur l'emploi de composants programmable (FPGA). Pour ces composants, on a constaté une rapide évolution en performance et en complexité, qui a imposé la mise en œuvre d'outils logiciels plus complexes

et l'utilisation de technologies d'implantation sur circuits imprimés sophistiqués. Le groupe a su acquérir les compétences pour l'électronique haute vitesse (5GHz) et haute densité. Le groupe a aussi su concevoir des systèmes mixant les circuits ASIC et du silicium détecteur ultra granulaire dans le cadre de programme R&D dont il est porteur du projet. Ce concept particulièrement innovant est supporté par un contrat ANR et par la communauté ILC/CALICE. La participation au programme de mise à niveau de l'électronique de l'expérience CMS au CERN, montre encore l'intérêt du groupe à relever les défis techniques pour les forts débits de données (standard xTCA, structures de traitement embarquées). La présence de deux développeurs « Software On Line » au sein même du groupe électronique a montré son efficacité tant sur l'utilisation de bancs tests locaux qu'en développement d'environnement logiciel pour des tests de détecteur sous faisceau. L'encadrement de stagiaires de niveau Master est aussi devenu une constante au sein du groupe qui répond ainsi à sa mission de formation et de transfert de connaissance. L'enseignement et la publication dans le cadre de conférences internationales est aussi une préoccupation pour un nombre de personnel plus important au sein du groupe.

Malgré un changement important d'effectif et grâce à une adaptabilité affirmée, le groupe électronique du LLR a su montrer, ces 4 dernières années, son savoir-faire, son implication dans des projets innovants, sa détermination à rester à la pointe des techniques et à donner au sein de grandes collaborations l'image d'un groupe dynamique et investi dans ses missions.





# Service Informatique

## Équipe :

Émilie Becheva, Arnaud Beck, Éric Beyer, Muriel Cerutti<sup>◇</sup>, David Chamont (resp.), Arnaud Chiron, Simon Chollet<sup>◇</sup>, Yohan De Oliveira\*<sup>◇</sup>, David Decotigny<sup>◇</sup>, Joelle Doublet<sup>◇</sup>, Jean Gilly, Gilles Grasseau, Pascale Hen-  
nion, Frédéric Magniette, Paulo Mora De Freitas<sup>◇</sup>, Gabriel Musat<sup>◇</sup>, Gilen Oyharcabal, Jocelyn Piednoir\*,  
Andrea Sartirana, Igor Semeniouk, Benjamin Taklifi<sup>◇</sup>, Floris Thiant, Julien Tugler.

L'équipe informatique est chargée de fournir aux membres du laboratoire les ressources matérielles et logicielles nécessaires à leurs activités, et de les accompagner dans leur utilisation.

L'essentiel de l'activité du laboratoire se faisant en collaboration avec des partenaires internationaux, dans un contexte concurrentiel fort, tous les services informatique doivent être opérationnels en permanence : il est par exemple inenvisageable d'être privé de messagerie le week-end, de ne pas suivre une télé-réunion de développement logiciel avec le Japon ou les Etats-Unis à des heures totalement décalées, ou bien d'arrêter la grille de calcul pendant les vacances alors que l'accélérateur du CERN tourne à plein régime etc.

Pour apporter une continuité de service maximale, nous nous efforçons d'avoir toujours au moins deux personnes compétentes sur chaque offre technique. La diversité des besoins impose aux membres de l'équipe une grande polyvalence, mais nous avons néanmoins quatre sous-groupes assez distincts dans leur mode de fonctionnement :

- Administration des systèmes et réseaux (~4 Équivalent Temps Plein, ETP) : postes de travail, courriel, agendas partagés, bureautique, sauvegarde et archivage, réseau, sécurité.
- Administration du calcul et des données (~2 ETP) : site de grille, nuage local, ressources intensives et many-core.
- Développement logiciel online (~2 ETP) : contrôle-commande des détecteurs et acquisition des données.
- Développement logiciel offline (~4 ETP) : simulation des détecteurs et traitement des données.

En matière d'informatique générale LLR, ces cinq dernières années auront été marquées par le déploiement d'un serveur Exchange. À l'aube d'une période chargée en travaux de réurbanisation de nos salles machines, nous devons maintenant finir de sécuriser les services les plus critiques. Concernant le soutien aux expériences, nous avons vécu la découverte du boson de Higgs, où l'équipe informatique peut revendiquer des contributions significatives : site de grille particulièrement bien classé, calibration du calorimètre électromagnétique, modules de reconstruction des électrons. Après cette étape majeure, le temps est revenu de faire plus de prospective, et l'équipe s'engage résolument dans la course à la parallélisation, devenue incontournable.

## Administration des Systèmes et Réseaux (ASR)

L'équipe effectue les achats, l'installation et la maintenance du matériel informatique : ~150 postes individuels (61% Windows, 26% Linux, 13% MacOSX), ~30 serveurs windows et linux (hors calcul), plusieurs imprimantes et scanners collectifs. Nous accompagnons les utilisateurs dans l'usage de ces ressources locales, ainsi que dans l'usage des ressources distantes de nos tutelles et des laboratoires partenaires. Le bon fonctionnement de l'ensemble repose sur de multiples tâches souterraines, notamment en matière de réseau.

\* non permanent, <sup>◇</sup> départ entre 2009-2013



### Avec les chercheurs : diversité et souplesse

Nos chercheurs sont liés dans de multiples collaborations internationales, qui s'ingénient à faire des choix d'outils informatiques différents : CMS discute via hypernews et E-Group, documente en Twiki, et se réunit virtuellement par Vidyo ; ILD se réunit par FuzeMeeting ; Fermi documente en Confluence ; CTA documente en SharePoint et se réunit par SeeVogh et Indico... À cela s'ajoute maintenant la diversification des terminaux mobiles, ainsi que l'utilisation croissante de matériel privé ou de logiciels propriétaires puissants mais incontrôlables tels que gmail, dropbox, skype ou doodle. Aujourd'hui plus qu'hier, chaque chercheur s'appuie sur un empilement unique de matériel et de logiciel, avec des dysfonctionnements particulièrement complexes à diagnostiquer.

L'équipe informatique fait face au cas par cas, en traitant les chercheurs en partenaires éclairés plutôt qu'en clients. Pour autant, conformément aux directives du CNRS, les ordinateurs portables sont cryptés à chaque fois que cela n'entrave pas le fonctionnement normal des applications scientifiques. Pour réduire l'usage des outils déconseillés, nous communiquons sur les problèmes de sécurité, nous aidons les chercheurs à s'orienter vers les offres proposées par les tutelles, et parfois nous déployons nos propres services. Par exemple :

- l'hébergement local de courriel, basé sur sendmail, en fin de vie ;
- l'hébergement de listes de diffusion, basé sur mailman, appelé à évoluer ;
- l'hébergement de wikis, basé sur TRAC, comme outil de communication et de gestion de projets ;
- l'hébergement de fichiers partagés, basé sur owncloud, comme alternative à "dropbox".

Sur le thème particulier de la téléconférence, nous avons préféré des ordinateurs multimédias plutôt que du matériel spécialisé, afin de pouvoir installer les multiples logiciels réclamés par les différentes collaborations. Ces systèmes polyvalents et en libre service demandent évidemment un peu plus d'attention de notre part. Trois salles ont été équipées en moyens de téléconférence, à chaque fois à l'occasion d'une rénovation : la salle de conférence, la salle de réunion Éric Paré, le "CMS Center". La double utilisation réunion/téléconférence est régulièrement source de conflit, et nous cherchons à présent quelques mètres carrés pour réaliser un espace strictement réservé aux téléconférences impliquant au maximum 5 personnes locales.

### Pour les groupes techniques, l'administration et la direction : un support plus formel

Pour les populations moins expertes en matière informatique, ou menant des tâches critiques pour la vie du laboratoire, il est nécessaire de faire preuve d'une meilleure qualité de service, au prix d'un peu plus de rigidité sur le choix du matériel et des applications.

En matière bureautique, cela fait très longtemps que nous essayons toutes sortes d'outils collaboratifs, notamment les agendas partagés. Il y a trois ans, en l'absence d'un produit

libre capable de démontrer sa fiabilité sur tous les systèmes d'exploitation et tous les terminaux mobiles du laboratoire, et en l'absence d'une offre mature de nos tutelles, nous nous sommes lancés dans le déploiement local d'une solution basée sur Exchange, à l'imitation de nos collègues du LAPP. Nous sommes aujourd'hui en cours de déploiement de la solution auprès du dernier groupe technique et des chercheurs.

Concernant le suivi des demandes et des problèmes des utilisateurs, nous avons abandonné l'utilisation d'une simple adresse générique "support-informatique@llr.in2p3.fr" au profit d'un site web permettant de regrouper des pages de documentation avec un système de tickets. Nous avons motorisé le site avec un outil familier dans le monde du développement : TRAC. Nous sommes conscients qu'il ne s'agit pas d'un véritable outil de support utilisateur, mais il nous a d'ores et déjà permis de remédier à plusieurs défauts :

- les pages de documentation sont maintenant accessibles de l'extérieur du laboratoire, contrairement à l'ancien intranet ;
- il y a moins de problèmes dormants, car chaque ticket est doté d'un propriétaire principal, chargé de faire avancer le cas (une réunion hebdomadaire de revue de tickets est venue compléter et renforcer cet aspect) ;
- lorsque de multiples intervenants coopèrent sur un problème donné, les commentaires du ticket permettent de centraliser les informations sur le sujet, ce qui évite la dispersion des efforts.

En matière de site web, après avoir procédé à une refonte du site public du LLR (en nous reposant sur le kit SPIP du CNRS), et après avoir procédé à un nettoyage de l'intranet pour ne garder que l'essentiel, nous préparons maintenant un site collaboratif basé sur Drupal, avec l'espoir d'y placer tout ce qui ne sera pas sous Exchange :

- dans un premier temps, le contenu actuel de l'intranet, et des espaces réservés aux différents groupes scientifiques pour se substituer aux wikis TRAC actuels ;
- dans un deuxième temps, une version renouée du support informatique, une photothèque, et peut-être retenter des groupes de discussion interne.

Enfin, côté wifi, après avoir longtemps eu recours à notre propre borne, l'École polytechnique nous fournit à présent une infrastructure qui couvre l'essentiel de nos besoins, notamment depuis le déploiement d'Eduroam. Il reste utile de disposer de quelques bornes et d'avoir le savoir-faire pour les mettre en production, notamment lors des événements que nous organisons à l'extérieur.

### Derrière le rideau

De façon continue, nous procédons au renouvellement, à la mise à jour et à la surveillance des serveurs et de l'infrastructure réseau. La qualité de ce travail se mesure à son "invisibilité" et au peu de rupture de service subi par le laboratoire : sur ces cinq dernières années, en dehors de la maintenance annuelle des transformateurs électriques de l'École polytechnique, nous ne déplorons qu'une seule interruption Outlook de quelques heures, liée à des travaux

non planifiés dans notre petite salle machine de l'aile 4. Depuis 2009, un gros travail a été fait pour la rationalisation et la sécurisation des services :

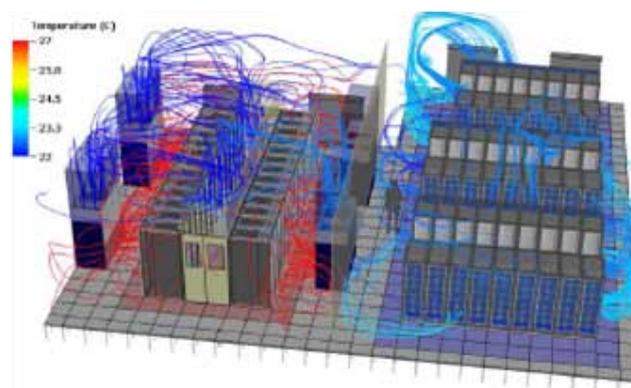
- mise en place d'une topologie en étoile pour le réseau,
- virtualisation de la majorité des serveurs (hypervision),
- recours maximum à un login unique (Active Directory),
- centralisation des répertoires des utilisateurs (homes) sur un serveur de fichiers haute disponibilité (NetApp),
- déploiement d'un logiciel d'inventaire (OCS),
- centralisation des fichiers journaliers (logs),
- installation d'outils de surveillance réseau et système (nagios, mrtg),
- mise en production d'une sauvegarde sur bande (tivoli) basée au CC IN2P3.

Les serveurs généraux, ainsi que les machines de calcul et de stockage, ont besoin d'être hébergés dans des salles machines correctement climatisées et alimentées en puissance électrique. Actuellement, le laboratoire s'appuie à la fois sur la grande salle machine commune de l'École polytechnique (222m2) et sur une petite salle propre au LLR (30 m2) pour répartir ses différentes baies et s'efforcer d'obtenir de la redondance pour ses services critiques. Du fait de son site de grille, le LLR est un des occupants principaux de la salle commune de l'École, et s'investit dans les nombreux projets d'infrastructure informatique du voisinage :

- nous portons un projet de rénovation de la salle commune de l'École, en vue d'introduire une forte composante de baies haute densité refroidies par eau (figure ci-contre) ; nous allons profiter des travaux pour accroître la capacité électrique de la salle ;
- nous contribuons au projet de salles redondantes du labex P2IO, qui vient d'inaugurer une salle "vallée", et nous a chargé de créer un espace "plateau" dans la salle de l'École ;
- simultanément, nous militons auprès de l'École pour qu'elle construise son propre datacenter. Le bâtiment serait construit au nord de l'ENSTA, en trois tranches de 300m2 de salle machine (soit au final un bâtiment de 3000 m2) ;
- nous sommes présents dans le groupe de travail "datacenter" de la future Université Paris-Saclay ;
- nous participions au groupe gérant le réseau régional SAPHIR, bientôt repris par la FCS .

Nous sommes également pleinement mobilisés pour améliorer la robustesse des services :

- duplication des services dans les deux salles, voire dans la salle vallée de P2IO,
- étude de solutions de bascule automatique d'un serveur vers un autre,
- recherche d'une solution simple et gratuite pour un stockage redondant.



*Simulation du flux thermique de la nouvelle salle informatique*

### Perspectives

Cette branche d'activités est en profonde mutation. Le mélange des sphères publiques et privées, l'explosion de la mobilité et de la bureautique collaborative, le décalage technique des tutelles vis à vis des offres du marché, la baisse sensible des effectifs et les projets d'externalisation concourent à placer le personnel sous très forte pression. Un des enjeux des années à venir sera de préserver un effectif suffisant pour le support de proximité. Notre prochain déploiement majeur devrait être un site web collaboratif basé sur Drupal, pour remplacer avantageusement notre intranet et nos wikis vieillissants, et pour franchir une nouvelle étape dans le support aux utilisateurs. Nous travaillons également sur un système de stockage de type Ceph. Enfin, nous devons continuer de suivre de près les bouleversements d'infrastructure liés à la future université de Paris-Saclay.

### Administration du calcul et des données

À l'image de domaines scientifiques de plus en plus nombreux, le traitement des données est pour nous le nerf de la recherche. Cela recouvre la simulation des collisions et des détecteurs, la reconstruction des données brutes, l'analyse statistique finale des données reconstruites. Pour y parvenir, une logistique assez lourde est indispensable pour transférer les données au plus près des ressources de calcul, et distribuer les tâches selon un modèle qualifié de « parallélisme embarrassant », parce qu'il suffit « simplement » de répartir des millions d'événements indépendants sur les coeurs de calcul disponibles. Le défi réside à la fois dans la taille des données et dans l'ampleur des calculs à mener en quasi continu sur des mois, voire des années. On parle de « high-throughput computing » ou de « calcul massif ». Pour répondre à ce défi, notre communauté a mis en place le système maintenant bien connu des grilles de calcul. Le LLR s'intègre dans la grille européenne EGI, et le rôle de nos administrateurs calcul est principalement d'opérer

cette ressource et d'accompagner ses utilisateurs.

### La grille

Le LLR est un des 6 sites composant GRIF, noeud francilien de la grille de calcul européenne EGI. Le laboratoire représente environ 15% de GRIF, qui représente 30% de l'activité totale grille pour la France et 45% de l'activité Tier2 en France. Le LLR gère ses propres services grille (Computing Element, Storage Element, etc.) ainsi que certains des services communs à l'ensemble de GRIF : Argus, Pakiti. Notre site offre actuellement 0,8 Po de stockage (en 2009 : 200 To) et 1200 coeurs, pour 7 millions d'heures de calcul par an. GRIF fonctionne avec un Comité Technique (CT) constitué d'ingénieurs de tous les laboratoires membres, où nous participons à hauteur de 2 ETP. Au-delà des différentes taches d'administration de GRIF, nous prenons part à certains projets R&D de la grille EGI.

### Activités phares

- Animation du Comité Technique (CT) : l'équipe LLR organise les rendez-vous téléphoniques hebdomadaires, le planning des tours de Garde, et représente le CT auprès du Comité Scientifique (CS) de GRIF.
- Tours de garde : nous participons à la surveillance quo-

tidienne de l'ensemble des ressources de GRIF ; en cas de problème, selon sa criticité, la personne de garde exécute les actions d'urgence ou avertit les administrateurs du laboratoire hébergeant le service défaillant.

- Développement des fichiers de configuration : nous participons activement au développement des configurations qui sont déployées sur tous les serveurs de GRIF via l'outil Quattor.
- Erratas et mises à jour de noyaux : une équipe de 3 personnes (dont 1 LLR) est en charge de tenir à jour les noyaux et les systèmes d'exploitation des serveurs ; ces erratas sont intégrés dans Quattor et peuvent profiter à tous les utilisateurs de Quattor dans le monde.
- Support des activités CMS : une grande partie des ressources informatiques du LLR étant dédiée à CMS, nous sommes experts dans le workflow particulier de CMS et nous assurons le contact entre GRIF et cette expérience.
- Participation à la collaboration DPM : GRIF étant le plus grand site de CMS utilisant le système de fichiers DPM, l'équipe LLR fait le lien entre les utilisateurs CMS et la communauté des développeurs DPM, vaste et active.



*Un noeud grille informatique de la salle 0*

- Transmission de savoir-faire à l'international : nous avons formé un ingénieur indien du TIFR (Tata Institute of Fundamental Research) ; nous avons aussi effectué plusieurs voyages au Caire, dans le cadre du projet européen EENP (Europe Egypt Network for Particle Physics project), et reçu deux de leurs ingénieurs ici.

### Faits marquants

- Début 2010 : la prise de données des expériences LHC commence ; c'est l'aboutissement d'une longue phase de préparation pour les sites grille supportant les expériences LHC et le début d'une première phase de production qui durera près de 3 ans.
- Été 2012 : découverte du boson de Higgs, où la grille de calcul a joué un rôle important, reconnu officiellement au même titre que l'accélérateur et le détecteur.
- Début 2013 : migration de l'intergiciel (middleware) glite3.2 à EMI-2, partout dans le monde, avec une forte contribution du LLR sur les fichiers de configuration Quattor.
- Fin 2013 : migration de Scientific Linux 5 vers Scientific Linux 6, avec l'habituelle contribution Quattor.
- En cours : le CT étudie la possibilité d'utiliser Puppet à la place de Quattor ; le LLR est impliqué dans cette étude avec l'IRFU et l'APC.

### Le Tier-3

Le LLR a quelques ressources « privées » qui ne font pas partie du Tier-2 mais sont exclusivement à la disposition des groupes de recherche du laboratoire. Cela représente environ 50 To de stockage et un petit site grille dont la taille varie entre 50 et 100 slots selon les besoins de nos chercheurs. Pendant les périodes de découverte, ponctuées d'analyses urgentes, il est précieux de disposer d'un T3 proche, stable, efficace, bien (inter)connecté, avec du personnel de support efficace et réactif.

### Perspectives

Notre site de grille est incontestablement une des grandes réussites de l'équipe sur ces cinq dernières années. Réussite qui repose aussi sur le travail de l'équipe ASR. Un des problèmes qui nous guette maintenant n'a rien de technique : nos capacités de calcul et de stockage ont été construites en grande partie par le biais de financements ponctuels, mais ces ressources vieillissent et nécessitent un renouvellement régulier. Nous avons évidemment toujours besoin de la grille, même en temps de coupure du LHC, notamment pour simuler les prochaines phases de production. Les technologies de grille ayant perdu l'attrait de la nouveauté auprès des décideurs, il devient difficile de remporter des appels d'offres : il faut trouver des financements récurrents et plus pérennes.

Par ailleurs, l'industrie informatique poursuit sa course à la performance non plus en augmentant la fréquence des processeurs, mais en multipliant les coeurs de calcul, qui tendent à devenir plus légers et moins dotés individuellement en mémoire vive. Face à cette évolution du marché, notre modèle de calcul est mis à mal, car les nouveaux

coeurs de calcul ne disposeront plus de l'espace mémoire nécessaire au traitement d'un événement physique complet. C'est tout le concept de grille qui mérite d'être revisité et croisé avec les concepts du calcul intensif. Dans le paysage IN2P3, nous voulons investir cette problématique du parallélisme, et en faire notre marque de fabrique. Par ailleurs, il est impossible de faire l'impasse sur les technologies de cloud, qui permettent de construire des machines virtuelles à la demande, avec le système d'exploitation de son choix. Pour préparer ces évolutions, nous avons d'ores et déjà commencé à diversifier notre matériel et nos processus afin que les chercheurs du LLR puissent explorer toutes les nouvelles formes de calcul :

- un cluster MPI de 128 coeurs avec connection Infiniband (commutateur mellanox), est largement utilisé par le groupe Galop du LLR, et partagé avec quelques autres laboratoires (LSI) ;
- un cluster de machines virtuelles (basé sur StratusLab) est en cours d'installation, sa vocation première étant de permettre aux chercheurs de créer leur propres machines virtuelles, et remplacer les actuels serveurs interactifs qui servent à la fois à lancer des calculs sur la grille mais aussi à faire de l'analyse, de la sauvegarde etc.
- un cluster hybride, doté d'Infiniband et de quelques exemplaires des derniers accélérateurs NVidia et Intel, permet au labex P2IO de tester le GPGPU ;
- un serveur doté de 128 Go et 6 cartes Titan, en cours d'acquisition, permettra de tester des applications d'analyse GPU-intensives ;
- nous explorons également l'usage d'Hadoop sur grille et sur cloud, en collaboration avec l'IBENS.

## Développement logiciel online

Le rôle du pôle online est de concevoir, développer et déployer les différents systèmes de contrôle-commande et d'acquisition de données en temps réel, pour l'ensemble des matériels des expériences de physique des hautes énergies. Pour réaliser ces systèmes, nous utilisons différents types de langages et de technologies à la frontière des domaines de l'électronique, de l'instrumentation et de l'informatique. Les contrôle-commandes que nous développons sont très diversifiés et correspondent à tous les équipements que l'on peut retrouver dans nos détecteurs ou sur les bancs de test. Cela inclut, pour les matériels industriels : des alimentations haute et basse tension, des générateurs de pulsations, des oscilloscopes, des équipements réseau et des contrôleurs de mouvement. Naturellement, l'essentiel de notre activité est consacrée aux cartes qui sont développées au sein même du laboratoire, inscrivant notre démarche en collaboration étroite avec les électroniciens et les instrumentalistes.

### Pyrame

Afin de réutiliser au maximum nos développements, nous les intégrons au sein d'un cadre (framework) maison nommé Pyrame. Il fournit toutes les fonctionnalités de base d'un système de contrôle-commande et d'acquisition de

données, et grâce à sa forme totalement générique, il peut être facilement décliné sur l'ensemble de nos projets.

Pyrame fournit un module central qui embarque une machine virtuelle Python et qui permet d'envoyer et de recevoir des commandes. Nous avons choisi un format très ouvert pour l'interconnexion de nos modules : une simple socket TCP est nécessaire et les communications sont en XML afin d'être totalement interoperables avec tous les systèmes. Pyrame fournit également un service de variables partagées, un service de statistique, une chaîne d'acquisition générique et performante, ainsi qu'un système unifié de configuration basé sur des fichiers XML.

Des bindings existent pour les langages C, C++, Python et R ainsi que pour les SCADA Tango et OPC-UA. D'autres bindings sont en cours d'écriture. Pyrame fournit enfin des pilotes pour tous les bus standards utilisés par les matériels (Ethernet, RS-232, USB, GPIB...)

Ce framework fonctionne sous Linux et en particulier Scientific Linux, qui est la distribution de référence dans le domaine de la physique des particules. Il a également été adapté ou porté pour des architectures embarquées (Arduino et Raspberry-Pi).

### Revue des projets

Nous travaillons globalement pour toutes les expériences du laboratoire ayant besoin de contrôle-commande pour leurs bancs de test ainsi que pour leurs systèmes d'acquisition. Certaines sont détaillées ci-dessous.

#### ILC - CALICE

Nous sommes responsables de la mise en place d'une structure d'acquisition de données pour le calorimètre Silicium-Tungstène du détecteur du futur collisionneur linéaire. Nous avons développé les contrôle-commandes de toutes les cartes et de tous les périphériques, ainsi qu'un pilotage de haut niveau pour assurer une facilité d'usage aux expérimentateurs physiciens. Pour cette expérience, nous utilisons les technologies suivantes : Pyrame, Python, C, C++, Wxwidgets.

#### CTA

Nous participons aux études préalables au montage de CTA (formellement "CTA-preparatory phase"). Dans ce cadre, nous avons écrit un contrôle-commande sur Arduino pour piloter des périphériques de la caméra.

#### Instrumentation médicale

Nous avons développé un banc de calibration de détecteurs utilisés pour l'hadronthérapie. Les logiciels développés, utilisent les technologies suivantes : C/C++, Python, Firewire.

#### HARPO

Nous travaillons en collaboration avec les services d'électronique et de mécanique pour fournir le système d'acquisition d'un détecteur de mesure de polarimétrie. Nous intervenons sur des domaines d'enregistrements rapides depuis un lien Ethernet et vers des disques durs, et d'interactions

en « temps réel » sur les données acquises. Les technologies utilisées sont les suivantes : C/C++, Python, FTDI.

#### T2K

Nous sommes responsables du logiciel de pilotage des différentes alimentations du détecteur de neutrinos. C/C++, Python, MIDAS, RS485 sont utilisés.

#### CMS

Le laboratoire étant responsable de la conception des 2 cartes de déclenchement de premier niveau, l'équipe online a développé des superviseurs, des interfaces homme-machine ainsi que des infrastructures de tests. Nous participons aujourd'hui à la mise à jour du système pendant le premier « arrêt long ». Dans ce cadre, le système est migré sur un nouvel OS, sa structure est rationalisée et de nouvelles fonctionnalités sont ajoutées.

## Développement logiciel offline

L'équipe « offline » est en charge du développement logiciel pour la simulation des expériences, la reconstruction des données, les analyses statistiques et la visualisation. Chaque expérience est généralement pilotée par une collaboration internationale, qui définit un ou plusieurs cadres (frameworks) pour organiser son environnement logiciel. Nous contribuons parfois aux frameworks, mais le plus souvent nous développons des modules particuliers liés aux activités spécifiques de nos chercheurs. Nous avons une expertise dans l'utilisation des bibliothèques les plus pratiquées dans la discipline, telles que Geant4 et ROOT. Les langages de programmation que nous utilisons le plus couramment sont le C++ et le Python. En matière d'outils de gestion de configuration, nous délaissions progressivement CVS et SVN au profit de GIT. Nous sommes également régulièrement amenés à manipuler des bases de données sous MySQL ou ORACLE. Ci-dessous, une revue un peu plus détaillée des projets dans lesquels nous sommes actuellement engagés.

### Physique des particules : du LHC à l'ILC

Le LLR est un des contributeurs historiques à l'environnement de simulation et de reconstruction de la collaboration CMS, CMSSW, en particulier pour tout ce qui a trait au calorimètre électromagnétique (ECAL). Nous avons notamment contribué à la simulation de l'empilement des événements (pile-up), à la simulation des primitives de déclenchement du ECAL, à la reconstruction des électrons etc.

Concernant le futur collisionneur linéaire (ILC), nous avons développé et maintenu le système logiciel de simulation détaillée, Mokka (reposant sur Geant4). Le dépôt SVN du code, ainsi que la base de données contenant les géométries, sont hébergés et administrés par nos soins.

### Astronomie Gamma

Pour FERMI, nous avons commencé un travail d'optimisa-

tion de certains algorithmes et des outils d'analyse (ScienceTools). Le code est développé en C++ et utilise des scripts python. Le travail est réalisé en collaboration avec des collègues américains du Centre de l'accélérateur linéaire de Stanford (SLAC).

Pour HARPO, en 2011-2012, nous avons bâti un système logiciel de reconstruction des données en Fortran, reposant sur les bibliothèques HBOOK et PAW. Depuis 2012, les nouveaux développements sont basés sur le langage C++ et l'environnement ROOT. Nous utilisons une base de données MySQL pour stocker les principaux paramètres des sessions d'acquisition de données. Tout le code de l'expérience est stocké sur le serveur SVN du laboratoire.

### Perspectives

Comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, après quinze ans de règne de la programmation orientée objet, l'évolution récente du matériel informatique induit un grand retour de la programmation parallèle. Nous ne voulons pas rater ce virage, et nous essayons maintenant de cultiver cette spécialité au sein du groupe. Quitte à remettre en cause nos habitudes de programmation séquentielle, et sachant que les grands centres de recherche travaillent déjà très activement sur des approches assez conservatrices (multi-threading), nous avons choisi d'explorer en premier lieu le parallélisme intensif sur accélérateurs de calcul, notamment ceux que proposent NVIDIA et INTEL. De plus, conscients de l'hétérogénéité matérielle de nos grilles de calcul, nous avons décidé de privilégier l'approche logicielle la plus portable du moment, OpenCL (plutôt que CUDA). Ainsi est né le projet GridCL, où nous avons été rejoint par plusieurs laboratoires voisins (dont l'IAS). Le labex P2IO a contribué au financement de GridCL via l'acquisition d'une plateforme matérielle et logicielle de R&D.

Cette plate-forme est en cours de finalisation. D'ici la fin de l'année, elle devrait comprendre :

- deux noeuds sandy-bridge dotés chacun de deux cartes NVidia K20, connectés en Infiniband,
- deux noeuds sandy-bridge dotés chacun de deux cartes Intel 5110P, connectés en Infiniband,

- un noeud ivy-bridge doté de six cartes NVidia Titan,
- en matière d'outils logiciels : Intel Cluster Studio XE, CAPS OpenACC, Alineos DDT.

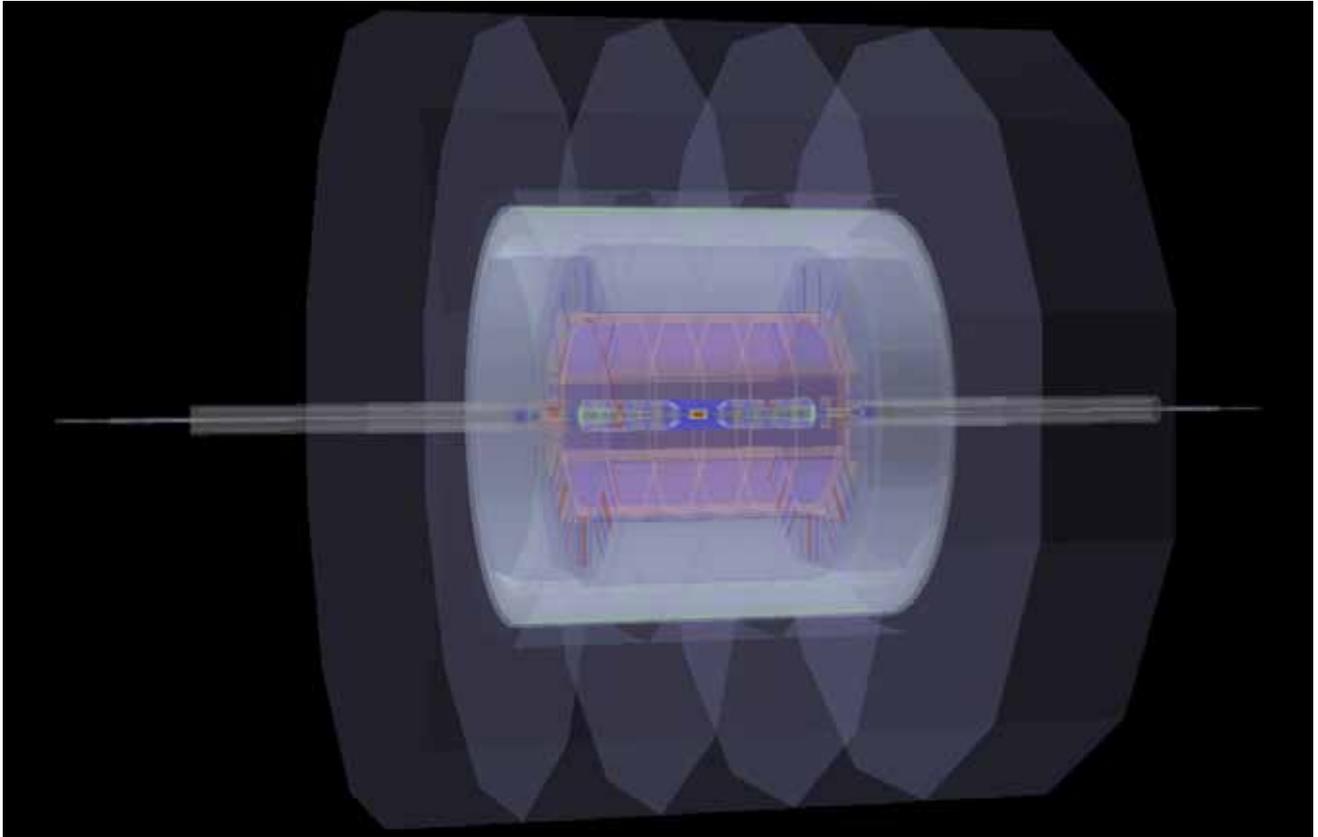
Dans le monde du calcul intensif, notre spécificité est d'avoir à composer avec un patrimoine logiciel énorme, essentiellement en C++, très orienté objet, pleins de « pointeurs » et purement séquentiel. Il est inimaginable de re-développer de zéro les grands codes de physique des hautes énergies, et nous mesurons chaque jour qu'il n'est pas non plus aisé de ne paralléliser que les seules parties critiques (pour les performances), quand le framework général repose sur des structures de données qui n'ont pas été pensées pour la parallélisation.

Des projets concrets ont déjà commencé au LLR : pour CMS Ions Lourds, la parallélisation du tracking en OpenCL ; pour CTA, le déploiement sur CPU et GPU du traitement des données issues de la matrice des photomultiplicateurs du télescope. Dans le cadre strict de GridCL, les actions générales planifiées sont les suivantes :

- portage d'applications pilotes vers OpenCL,
- adaptation de l'intergiciel (middleware) de grille,
- évaluation du banc d'essai SHOC et développement d'utilitaires,
- dissémination des résultats auprès des ingénieurs et physiciens P2IO,
- exploration d'approches et d'outils complémentaires : OpenACC, Thrust, etc.

En complément, nous essayons Hadoop, OpenMP, MPI. Notre dernier ingénieur recruté utilise couramment MPI pour des simulations d'accélération de faisceaux électrons par sillage laser (pour le projet GALOP). L'essentiel de sa production est réalisé « hors les murs » dans le centre national TGCC, sur des ressources allouées sur projet par GENCI. En ressource d'appoint, nous venons d'acquérir un cluster local de 192 coeurs, qui facilite aussi la mise au point du code et la visualisation des résultats. Les codes « Particle in Cell » utilisés sont développés en partie au sein de notre laboratoire, et il est prévu de tenter à moyen-terme un portage vers les accélérateurs de GridCL.

Il s'agit donc, progressivement, de construire dans l'équipe une culture de la programmation parallèle sous toutes ses formes, et de la partager le plus possible avec les agents du laboratoire.



*Simulation d'un détecteur réalisée avec le logiciel Mokka*



# Service Mécanique

## Équipe :

Marc Anduze (resp.), Alain Bonnemaïson, Antoine Cauchois, Luc Christophe, Stéphane Dheilley, Évelyne Édý, Oscar Ferreira, Mickael Froton, Stéphane Hormigos, Hamid Khaled, Pascal Manigot, Philippe Maritaz, Patrick Poilleux, José Vieira, Élisabeth Zlatevski <sup>◇</sup>.

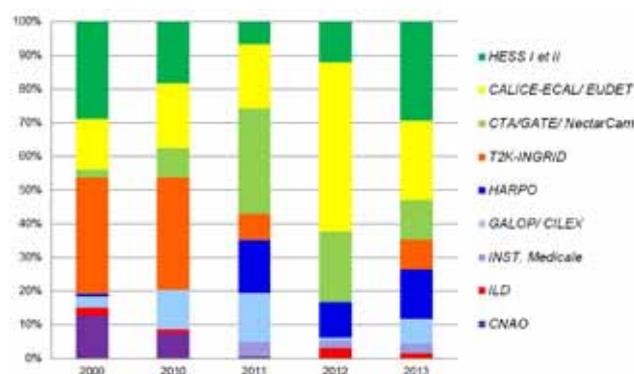
Le service mécanique a pour mission de prendre en charge l'ensemble des développements techniques, des études et des réalisations de détecteurs et d'appareillages de physique auxquelles le laboratoire contribue.

Le service mécanique du LLR est composé de 15 personnes réparties en 4 groupes :

- Etudes & Projets ;
- Méthode & CFAO ;
- Atelier ;
- Service Général.

Son savoir-faire s'appuie sur de solides bases en conception de grands instruments, conception et réalisation de prototypes physiques et technologiques, avec une réactivité importante liée à ses moyens de production (machines à commandes numériques, machine de découpe à jet d'eau ou encore imprimante 3D), ou encore son expertise en calculs par éléments finis, dans des domaines aussi variés que la statique linéaire/non-linéaire, vibratoire et sismique, matériaux spécifiques (composites) en utilisant des outils modernes tels qu' ANSYS.

Les domaines de compétences couverts par le service nous ont conduits ces dernières années à être en mesure de contribuer à la genèse d'un projet jusqu'à l'installation sur site des expériences, en passant aussi par la gestion et le suivi de projet. Le service s'est donc investi dans une dizaine de projets en physique des particules, astrophysique, technique d'accélération laser-plasma ou encore en applications médicales, avec des niveaux d'implication différents en fonction de l'état d'avancement de ceux-ci. Ces expériences s'inscrivent la plupart du temps dans des collaborations internationales.



*Implication du service dans les expériences (période 2009-2013)*

## HESS I & II

Dans cette expérience, le service de mécanique a eu la responsabilité de réaliser les caméras des 5 télescopes constituant le réseau. La phase 1 du projet concernait la prise en charge des 4 caméras des premiers télescopes. Elle s'est déroulée de 1998 à 2004.

Durant la période concernée par ce rapport, le service a pris en charge l'étude et la réalisation de la dernière caméra, de plus grande taille et plus complexe, qui équipe le télescope central du réseau (HESS II). Cela comprenait l'étude des structures, l'intégration des divers éléments étudiés par les laboratoires de la collaboration, la gestion des fabrications en interne ou en sous-traitance pour les superstructures, l'assemblage, le montage et la mise en fonctionnement dans le berceau des télescopes. La caméra a été installée avec succès.

\* non permanent, <sup>◇</sup> départ entre 2009-2013

en juin 2012, finalisant ainsi notre participation à ce projet. Le service reste cependant mobilisé pour les phases de maintenance sur site en Namibie des caméras.

#### CTA/GATE/NectarCam

L'expérience acquise en conception et construction de caméra pour des télescopes d'astrophysique nous conduisent naturellement à nous impliquer dans le futur projet de réseau de télescopes CTA. Nous participons à plusieurs voies de développement, à la fois dans les études d'industrialisation et de prototypes à l'échelle 1 (projet GATE) ou encore dans les études générales des caméras de moyenne taille (MST), en prenant en compte les études thermiques et l'adaptation du système de refroidissement de l'électronique front-end.

Dans le projet GATE, le service de mécanique a pris en charge en 2010 la réalisation d'une caméra instrumentée, qui doit servir à étudier le comportement dynamique du télescope prototype implanté à DESY, proche de Hambourg. Les études menées concernaient le design global d'une enveloppe de caméra, intégrant les études de structure, les études d'interfaces avec le télescope, l'automatisme des portes d'ouverture et l'étude d'une structure interne. Le LLR s'était aussi engagé à assembler, mettre au point et à livrer cette enveloppe. Ce prototype de caméra a été installé avec succès dans les bras du télescope en juin 2013.

#### T2K-INGRID

Le service mécanique du LLR a accompagné l'implication du laboratoire dans le projet neutrinos T2K dès l'année 2006. Sa contribution à cette expérience, implantée dans le laboratoire nationale Japonais J-PARC à Tokai-mura, s'est focalisée sur le détecteur INGRID, instrument chargé de mesurer le profil du faisceau de neutrinos issu de l'accélérateur. Cela comprenait l'étude, la conception et la fabrication de l'armature veto, en prenant en compte les études sismiques, l'intégration des plans de détection, la gestion en interne et en sous-traitance de la fabrication, l'assemblage et enfin le montage sur site au Japon.

L'année 2009 a vu la construction et l'installation des 14 premiers modules du détecteur INGRID. Les châssis métalliques, pour une masse proche de 10 tonnes, ont été sous-traités dans l'industrie en France, avant d'être livrés au Japon pour l'assemblage final des modules.

Le service mécanique a activement participé à cette phase d'assemblage en collaboration avec les partenaires Japonais des universités de Kyoto et Osaka. Il a supervisé l'installation des modules dans le puits de l'expérience et a participé aux opérations de câblage, là encore avec les partenaires Japonais. L'année suivante deux nouveaux modules ont été construits et ajoutés, selon le même mode opératoire.

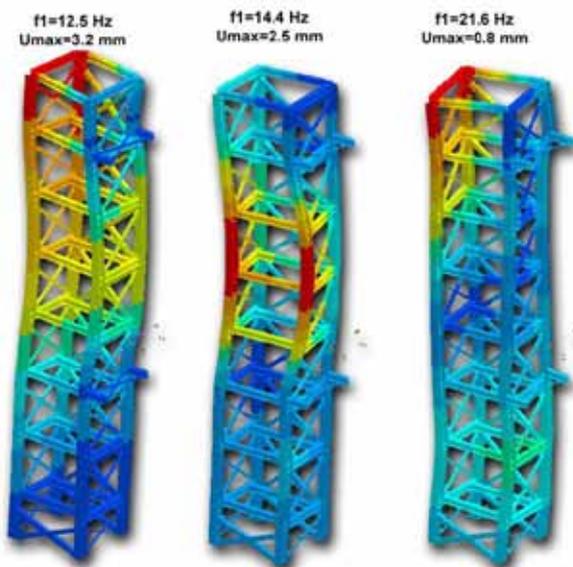
Le Proton Module a fini de compléter le détecteur, également en 2010. Bien que basé sur les mêmes technologies, celui est conceptuellement très différent et a demandé un travail de design spécifique. Les pièces mécaniques qui le composent ont toutes été réalisées à l'atelier du LLR, à l'exception des quelques pièces peu adaptées au parc machine.

Le module a été assemblé au Japon avec la participation du laboratoire.

En ce qui concerne les infrastructures du site, le service mécanique a géré l'implantation des racks électroniques dans le puits, défini l'implantation des chemins de câbles et le routage des câbles entre les racks et les détecteurs. Il s'est également intéressé à la distribution de l'alimentation électrique.

Le détecteur INGRID fonctionne conformément aux attentes depuis sa mise en service, cela y compris après le violent tremblement de terre de mars 2011.

En parallèle à ce travail, le service mécanique a aussi pris en charge la conception d'un banc de caractérisation de capteur Silicium (MPPC) devant calibrer plus de 5000 pièces, avant leur utilisation dans les modules du détecteur.

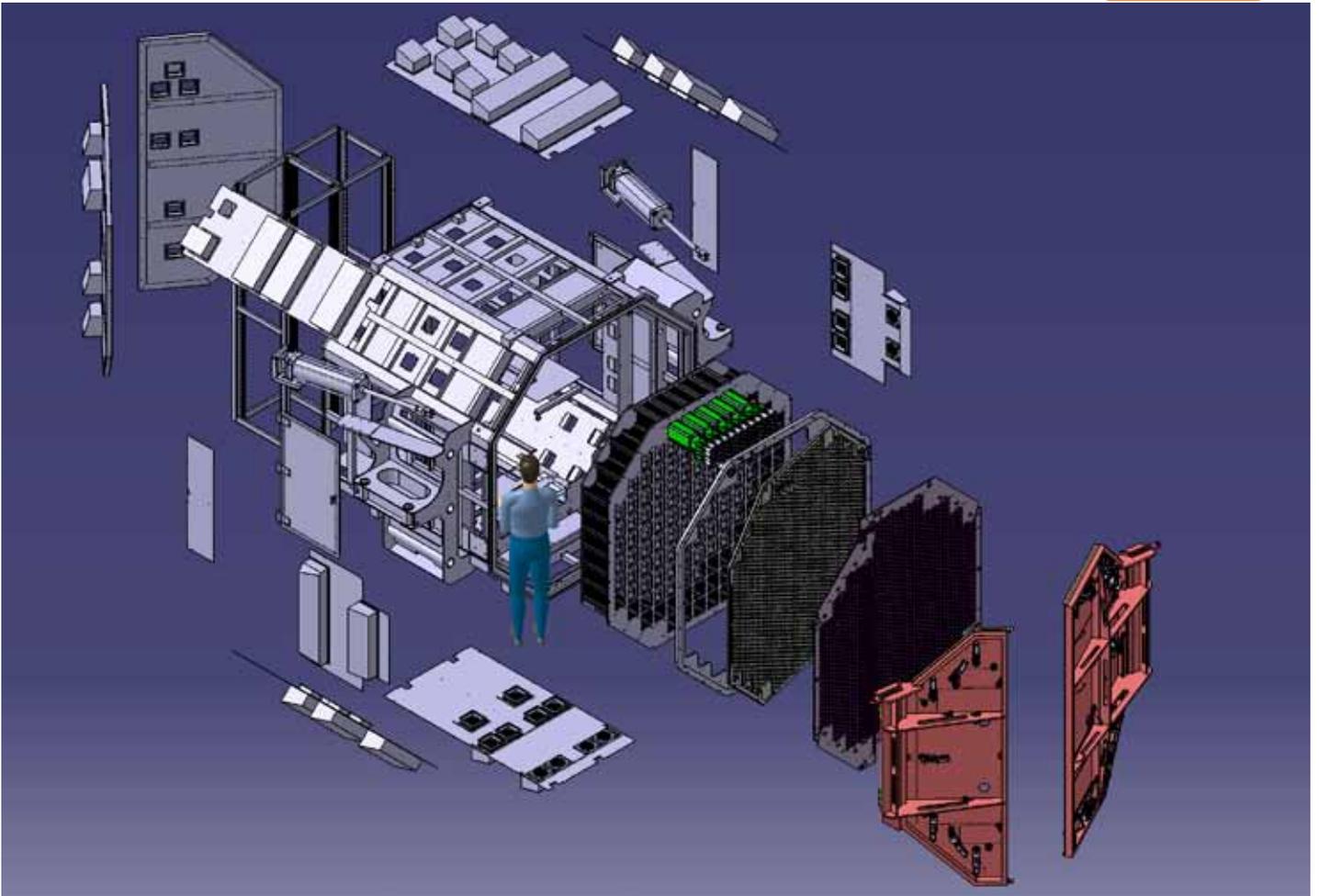


Analyse dynamique de la structure d'INGRID sous sollicitations sismiques

#### HARPO

Dans cette expérience le service de mécanique a pris en charge la réalisation d'un démonstrateur de chambre TPC (chambre à échantillonnage temporel), constitué d'une enceinte à vide à l'intérieur de laquelle se trouve une cage de dérive, 6 plans de scintillateurs qui forment le trigger et un plan de détection (GEM et/ou micromégas). Le service de mécanique a réalisé les études de l'enceinte à vide et de la cage de dérive, le suivi de fabrication en sous-traitance de l'enceinte à vide ainsi que la fabrication et le montage de la cage de dérive en interne.

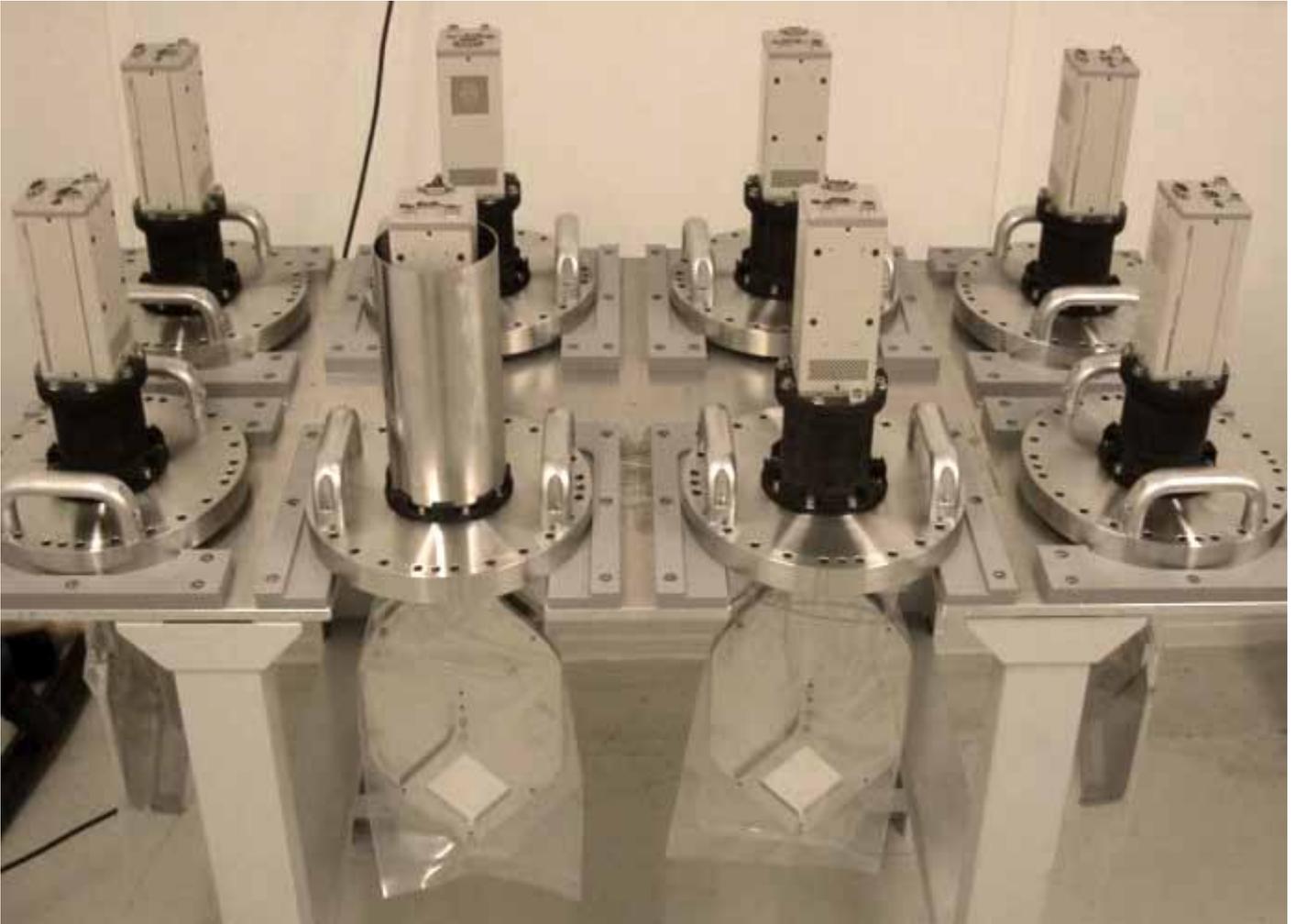
Le plan de détection a été réalisé en partenariat avec le service électronique du LLR, l'atelier central du CERN et le labo RD51. Ce démonstrateur a été testé en rayons cosmiques en avril-mai 2012 au laboratoire et la prise de données en faisceau de photons polarisés est prévue pour 2014 au Japon.



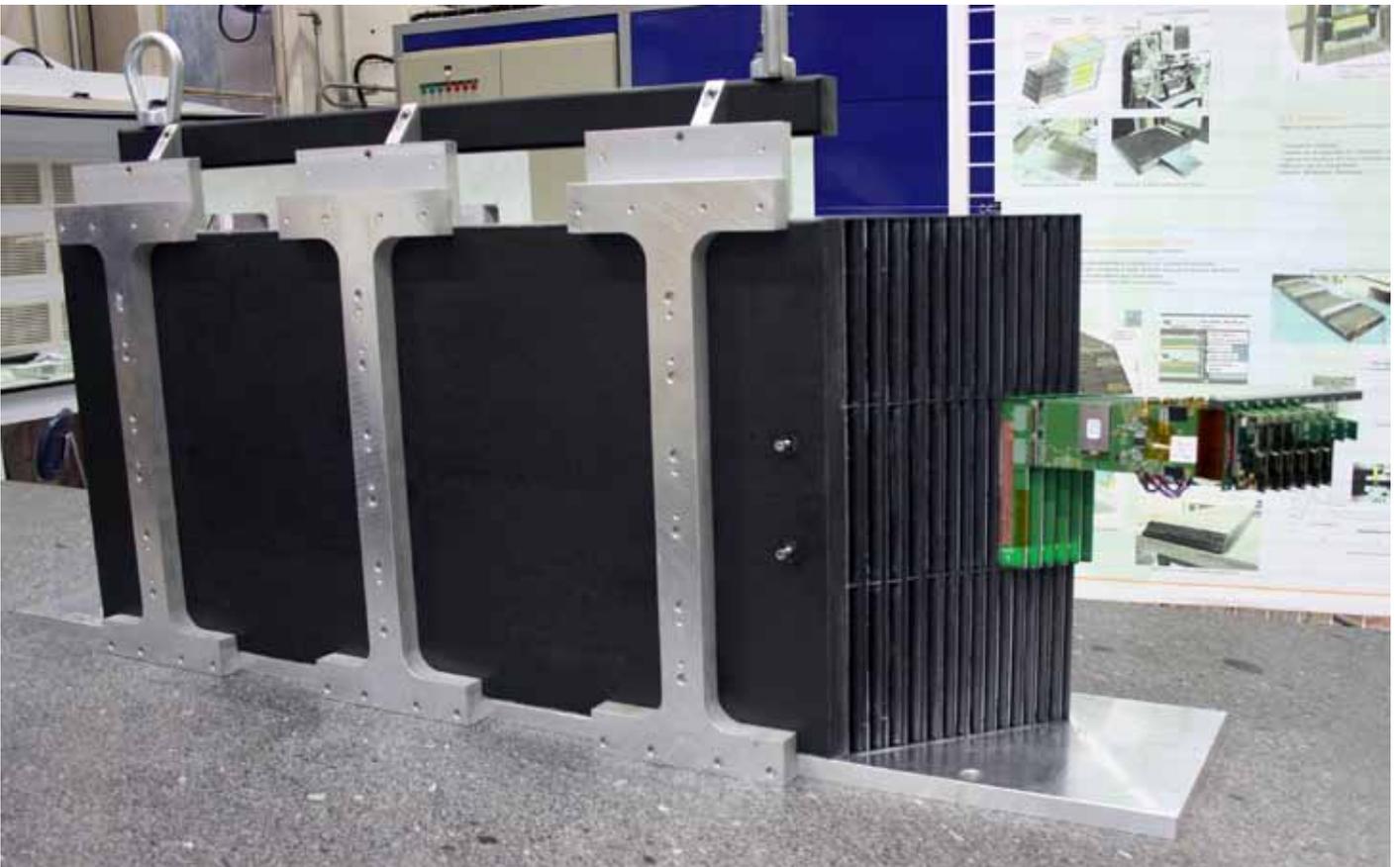
*Vue éclatée CAO de la caméra HESS II*



*Télescope prototype CTA*



*Production et calibration des profileurs faisceau CNAO/MEDAUSTRON*



*Structure Alvéolaire et Slabs du prototype technologique ECAL CALICE*

### GALOP/CILEX

Le laboratoire s'investit dans l'étude d'interactions par ondes laser-plasma. Ces techniques en pleine expansion demandent encore beaucoup de recherche afin de bien comprendre le phénomène. Dans le cadre du projet GALOP, le service mécanique a pris en charge la conception et la réalisation d'un banc de caractérisation destiné à connaître l'énergie et la dispersion en énergie de sortie d'un faisceau plasma situé au Laboratoire d'Optique Appliqué. Cet ensemble se compose d'une ligne de focalisation du faisceau, réalisée à partir d'un alignement précis de 3 quadripôles autour d'un tube à vide et d'une enceinte à vide contenant le spectromètre, composé d'un aimant permanent de 70Kg, couplé à des écrans phosphorescents et des caméras. L'implication du service comprenait l'étude, la conception, la gestion en interne et en sous-traitance de la fabrication, l'assemblage et l'installation au LOA. L'installation finale du banc a été réalisée en 2011.

Les développements actuels du service concernent le projet CILEX où il est demandé de proposer un design conceptuel de la salle d'expériences longue focale, qui sera dédiée à l'accélération laser-plasma double étage d'électrons.

### CNAO / Instrumentation Médicale

En 2004 le CNAO (Centro Nazionale di Adronterapia Oncologica) centre médical dédié aux traitements des tumeurs cancéreuses en Italie, a sollicité le laboratoire pour construire un système de guidage des faisceaux de particules vers les patients. Les systèmes devaient répondre à deux critères : ne pas présenter de phénomène de saturation comme dans les chambres à fils et être simple à utiliser.

Le service de mécanique après avoir construit et testé des prototypes, a eu en charge la réalisation de 24 hodoscopes à fibres scintillantes, lues par une camera CCD. Ce travail a largement contribué à l'obtention du prix de la valorisation IN2P3 en 2007, et a fait l'objet d'un dépôt de brevet par la suite. Depuis 2010, le service est engagé dans un transfert de technologie vers l'industrie de ces profileurs, afin de fournir au centre autrichien d'Hadronthérapie MEDAUSTRON, l'ensemble du système de suivi du faisceau à l'identique. Cela comporte l'aide à la réalisation de la série de détecteurs puis les calibrations de chaque profileur en interne au laboratoire.

### CALICE-ECAL

Le service participe aux phases de R&D pour le futur accélérateur linéaire ILC au sein de la collaboration CALICE. Depuis 2002, le LLR est le laboratoire pilote sur un concept de calorimètre électromagnétique, dont le principe de détection est basé sur une technologie silicium-tungstène. Après avoir pris en charge la réalisation d'un prototype physique (2003-2007), le service a aujourd'hui la responsabilité de la réalisation d'un prototype technologique, qui servira à valider les choix technologiques pour le futur détecteur. Son expertise en élaboration de matériaux composites a permis de proposer des structures alvéolaires auto-portantes en fibres de carbone, qui permettent d'assembler simplement les plaques d'absorbeur et de réduire considérablement les zones mortes du détecteur. Une solution d'éléments de détecteur sous forme de Slab, insérés dans chaque alvéole, permet une modularité importante nécessaire pour optimiser son fonctionnement et la maintenance du détecteur.

Après la réalisation d'un démonstrateur en 2009, le service a finalisé et réalisé avec succès en 2012 la structure finale du prototype technologique. C'est une étape fondamentale dans la validation du concept final. Durant la même période, il a participé à la mise en place de plusieurs campagnes de tests en faisceau, en prenant en charge l'ensemble des demandes de montage de tests, leur transport et leur installation sur les sites de faisceaux tests à FERMILAB (près de Chicago), au CERN (Genève) ou encore à DESY (Hambourg).

Le service est aussi à l'initiative d'une R&D sur de nouveaux capteurs de mesure de déformées, basée sur l'utilisation de fibres optiques intégrant des réseaux de Bragg. Ils sont non-intrusifs et donc directement implantés dans les structures composites afin de pouvoir faire un suivi de déformation mécanique en continu des modules.

### ILD

Depuis 2007, le service participe à l'étude générale du futur concept de détecteur ILD, proposé dans le cadre du projet ILC. Cela s'est concrétisé par la prise en charge de la maquette 3D du détecteur sous CATIA, la gestion des interfaces entre les sous détecteurs, une vérification des premiers dimensionnements par des simulations mécaniques et les premières simulations de tenues aux sollicitations sismiques des détecteurs complets. Le service a aussi en charge la conception du détecteur ECAL et de ses interfaces (mécaniques, fluidiques) avec l'extérieur.

