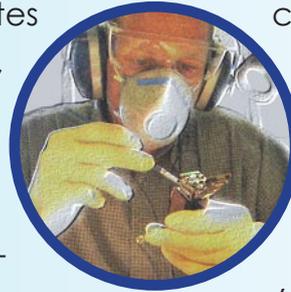


# Services techniques et administratif

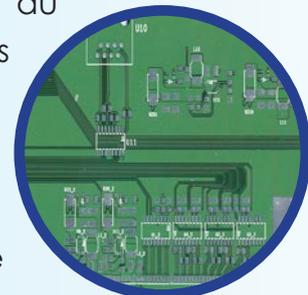
Les effectifs des services techniques (service d'études et réalisations mécaniques, service d'électronique, service détecteurs et instrumentation, administration, service informatique, service d'acquisition de données, services généraux) s'élèvent à environ 70 personnes, toutes compétences confondues. Durant la période 2004-2005, ces services ont fortement évolué, les phases de conception sur les gros projets comme ATLAS et Planck ont diminué au profit des montages et des tests des différents ensembles dont le laboratoire a la responsabilité. En parallèle, de nouveaux projets sont apparus (ALICE, CNAO, CREAM, CODALEMA, MIMAC-He3, nEDM...) qui eux nécessitent dans leur phase de démarrage un gros effort de conception et/ou de R&D.



Cette évolution a été un succès du fait de la très haute compétence des différents services, de leur complémentarité, de leur capacité à se fédérer en interne afin de répondre au mieux aux besoins des nouveaux projets. La capacité de réponse des services vis-à-vis des demandes extérieures des grands projets internationaux a été aussi fortement sollicitée et s'est avérée très efficace dans un contexte de restrictions budgétaires et de compétition croissante. La diminution des budgets de fonctionnement, associée à une augmentation des ressources propres et à la multiplication des sources de financement n'a pas entamé la qualité des prestations du LPSC, les services administratifs ayant accompagné ces évolutions par une adaptation constante des outils et méthodes.



En résumé, les services techniques du LPSC se sont parfaitement adaptés à la généralisation de la politique projet de l'Institut.



Les chapitres suivants détaillent les activités majeures des différents services, en y incluant les activités de R&D. ■

## Service Détecteurs et Instrumentation

*P. Stassi, J. Ballon, C. Barnoux, J. Berger, R. Blanc, T. Cabanel, O. Guillaudin, M. Heusch, M. Marton, G. Mondin, J.-F. Muraz, A. Nicollet, A. Pelissier, J.-P. Richaud, M. Tur, O. Zimmerman.*

*The Detectors and Instrumentation Service (SDI), is a team of engineers and technicians with various and different skills and experiences. The service has two objectives: - to construct systems of detection and instrumentation for laboratory projects, - to study and test new detection techniques.*

*The SDI has participated in all the projects listed below, sometimes in collaboration with other technical services of the laboratory.*

### ◆ ALICE

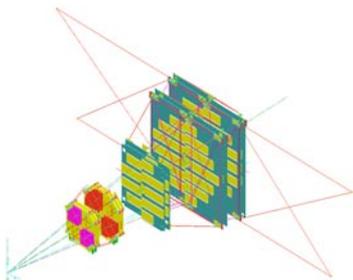
ALICE est la seule expérience exclusivement dédiée à l'étude des collisions d'ions lourds au LHC (CERN). La mise en évidence expérimentale du Plasma Quark-Gluon (PQG) et son étude s'obtiendront grâce à la mesure des différentes particules émises dans différents ensembles et sous-ensembles de détecteurs spécifiques. Plus particulièrement les muons issus des décroissances de résonances de quarks lourds seront identifiés grâce au spectromètre à muons. Ce spectromètre, disposé à l'avant du détecteur ALICE, est composé entre autres d'un absorbeur hadronique et de 10 plans de chambres à fils regroupées en 5 stations. Ces dernières permettent de reconstruire la trajectoire des muons, courbée par le champ d'un aimant dipolaire. Du fait d'éventuelles déformations et déplacements subis par les structures, une mesure de l'alignement de ces 10 chambres de trajectographie, à mieux que 50  $\mu\text{m}$  dans la direction de courbure des traces, est absolument nécessaire pour atteindre une résolution en masse invariante meilleure que 1%. Le GMS (Geometry Monitoring System) permettra de mesurer cet alignement (Figure 1). Il est constitué de lignes optiques BCAM [1] [2] et PROX [3] dont le nombre et la position ont été déterminés par simulation [4].

Pour permettre de valider ces simulations, les programmes de reconstructions géométriques ainsi que les études sur les effets dus à un gradient thermique sur la dispersion des mesures, etc. le LPSC a pris en charge l'étude et la réalisation d'un banc de test représentant à l'échelle 1 les demi-chambres des stations 6, 7, 8 du spectromètre (Figure 2). Les chambres sont réalisées en profilés d'aluminium. Elles permettent la fixation, dans les 4 coins, des éléments optiques tels qu'ils seront fixés dans l'expérience ALICE (Figure 3). La chambre centrale repose sur des tables motorisées qui permettent de la déplacer d'une valeur connue, que le GMS doit retrouver. La chambre 6 est équipée d'un dispositif chauffant et soufflant permettant d'étudier l'influence thermique des zones actives du détecteur sur la résolution des éléments optiques de mesure.

Notre service a pris en charge :

- la coordination technique de la réalisation du banc de test,
- l'étude et la réalisation du dispositif chauffant et soufflant,
- l'étude, le choix et la programmation (LabView) des 3 tables motorisées [5],
- le montage et le câblage complet du banc de test.

La campagne de mesure, à laquelle le service participera activement, devrait se dérouler de janvier à juin 2006. De plus le service a informé la collaboration de son intérêt à participer à l'intégration des 296 lignes optiques au CERN prévue à l'automne 2006.



**Figure 1:** Vue d'ensemble du GMS. **Figure 2:** Banc de test réalisé au LPSC. **Figure 3:** Quatre éléments optiques BCAM.

[1] <http://alignment.hep.brandeis.edu/Devices/BCAM/>

[2] <http://lyoinfo.in2p3.fr/alice/becam.png>

[3] <http://lyoinfo.in2p3.fr/alice/prox.png>

[4] [http://tel.ccsd.cnrs.fr/documents/archives0/00/01/06/85/index\\_fr.html](http://tel.ccsd.cnrs.fr/documents/archives0/00/01/06/85/index_fr.html) Thèse P. PILLOT (IPNL)

[5] <http://lpsc.in2p3.fr/ALICE/Echange/rapport%20stage.pdf> Stage ENSPG (M. Meziane, LPSC)

## ◆ AMS

L'objectif a été d'intégrer les 700 photomultiplicateurs (PM) qui constituent l'ensemble de détection de la matrice du détecteur Cherenkov (Rich) d'AMS. Une collaboration entre le service Électronique et le SDI a permis de mener à bien cette activité longue et complexe, qui a nécessité l'établissement d'une procédure pouvant être résumée de la façon suivante :

- appareillage de l'ensemble des PMs avec leur électronique puis tri par gain ;
- collage d'une gomme optique sur la fenêtre du PM (produit utilisé : gel Dow Corning 93-500, *potting*). Le dosage précis de la quantité de potting est effectué par une machine de dépose ;
- étuvage pendant 12 heures à 40° C ;
- intégration de l'ensemble PM+gomme dans une coque plastique servant de support mécanique et de moule pour le potting. Pour éviter les fuites de potting lors de l'opération suivante, un cordon de gel Dow Corning est appliqué entre la gomme optique et le fond de la coque, (polymérisation 8 heures) ;
- dosage précis du potting à 10%, puis dégazage long et minutieux du mélange pour l'évacuation complète de l'air emprisonné dans celui-ci ;
- le mélange est mis en seringue et injecté dans l'espace libre entre coque et PM, par un orifice prévu à cet effet (7 grammes de mélange par PM) ;
- une polymérisation de 12 heures à température ambiante termine l'opération.

Le rôle de l'opération de potting est le maintien mécanique du PM dans sa coque et l'isolement de l'électronique vis-à-vis des amorçages de la haute tension. Vient ensuite l'opération de coting, destinée à protéger et à isoler toute la partie visible de l'électronique, (connecteur flex, asic, etc.). Le produit utilisé est le Nusil CV 1152 de Silicone Technology, appliqué au pinceau, qui nécessite 12 heures de polymérisation.

Les PM ainsi préparés ont été expédiés à Madrid courant 2005. L'équipe s'est alors rendue sur place pour l'opération de collage des guides de lumière sur la gomme optique de chaque PM. Les guides ont d'abord été triés puis examinés à la binoculaire de façon à vérifier qu'ils ne présentaient aucun défaut mécanique, rayure, pixels pas sur le même plan, opacité. Ensuite, les opérations suivantes sont effectuées (Figures 4) :

- nettoyage des guides ;
- collage par dosage précis du potting 93-500 sur chaque pixel, par machine de dépose ;
- mise en place du guide et vérification optique de la bonne couverture du potting sur chaque pixel ; polymérisation 8 heures ;
- mise en place du fil de nylon qui maintient le guide en pression sur le PM, mise sous tension du fil, collage sur la coque par colle cyanoacrylate.

Par ailleurs, le service a également participé à la réalisation d'un banc de mesure optique permettant de caractériser et d'observer la transmission lumineuse des tuiles d'aérogels pour le RICH d'AMS (Figure 5).



Figures 4



Figure 5: Banc de mesure optique.

### ◇ CODALEMA

Dans le cadre de l'expérience CODALEMA, à laquelle le LPSC s'est rallié courant 2005, en collaboration avec le laboratoire de Subatech à Nantes, le SDI a conçu et déployé à l'automne 2005, un réseau de détection de rayons cosmiques. Celui-ci est composé de cinq stations de détecteurs à base de scintillateurs et photomultiplicateurs, stations identiques à celles utilisées pour l'expérience ULTRA. Ces détecteurs sont disposés de part et d'autre du réseau d'antennes décimétriques, exploité par le groupe de Subatech pour la détection des ondes radio émises par les gerbes cosmiques (Figure 6).

Le système d'acquisition de ces détecteurs est basé, du point de vue matériel, sur les cartes MATAQVME, développées par le LAL/DAPNIA, de façon à pouvoir s'intégrer au système existant sur le réseau d'antennes. Le service a mis en œuvre cette acquisition et a développé plusieurs programmes sous LabView permettant de récupérer et de stocker les données, d'effectuer un contrôle en ligne des taux d'événements ainsi que le pilotage des hautes tensions nécessaires aux photomultiplicateurs.

Avec l'aide du service informatique du LPSC, un système de sauvegarde automatique des données a été mis en place et le contrôle à distance de l'expérience peut s'effectuer de façon sécurisée à travers le réseau Internet.

L'objectif pour 2006, est de développer une application d'acquisition commune afin de pouvoir intégrer les acquisitions des détecteurs à scintillateurs et des antennes.

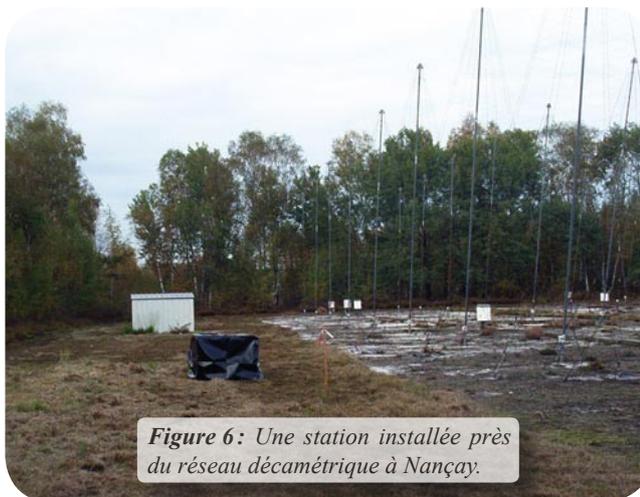


Figure 6: Une station installée près du réseau décimétrique à Nançay.

### ◇ ECRINS

L'Année Mondiale de la Physique en 2005 a permis au LPSC de promouvoir l'activité ECRINS (voir section correspondante du présent rapport), à laquelle le SDI a participé. Trois détecteurs de rayons cosmiques, à base de photomultiplicateurs et de scintillateurs, calqués sur ceux développés pour l'expérience ULTRA, ont ainsi été conçus et fabriqués. Ce réseau de détection, associé à un système d'acquisition basé sur des cartes électroniques développées par un laboratoire de Lisbonne (LIP) et une application LabView, a pu être installé avec l'aide du SDI, au début 2005 sur le toit du lycée Marie Curie d'Échirolles.

Le service s'est également largement investi, dès 2004, dans la formation d'un enseignant et des élèves du lycée impliqués dans cette activité, en organisant plusieurs séances de travaux pratiques sur la photo-détection (mesure de gain de photomultiplicateurs, etc.) et en formant l'enseignant responsable de cette activité aux techniques de programmation LabView.

En juin 2005, le service a participé à l'installation du dispositif ECRINS sur le site de QUASAR, près d'Aspres-sur-Buech (Hautes Alpes), pour participer à une animation de tourisme scientifique ayant pour thème le rayonnement cosmique (Grains cosmiques, figure 7).



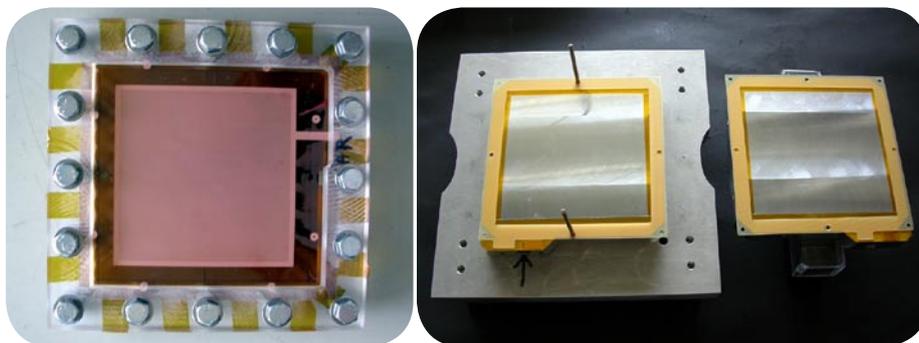
Figure 7: Une station ECRINS durant l'animation Grains cosmiques.

### ◇ MIMAC-He3

Le concept du détecteur MIMAC-He3 repose sur une matrice de micro-TPC (Chambre à Projection Temporelle) utilisant l'hélium 3 comme milieu sensible. Quatre personnes du service participent à ce développement. Le

projet est actuellement dans une phase de R&D avec pour objectif la construction et le test d'une micro-TPC à anode pixellisée, permettant la reconstruction des traces et la mesure d'énergie.

En 2005, le SDI a assuré le montage d'un premier prototype de détecteur gazeux utilisant des GEMs en cascade. Ce détecteur a permis de tester différents mélanges gazeux à base d'hélium et d'éthane pour la détection de rayons X et d'électrons de conversion de faible énergie.



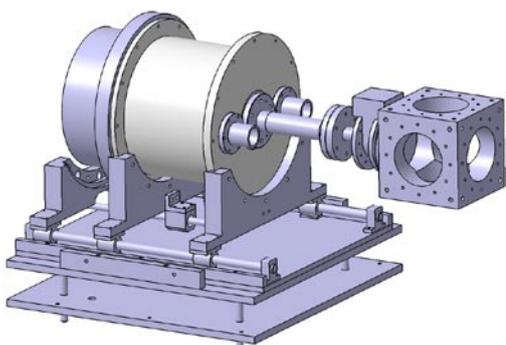
**Figures 8 :** À gauche, une GEM dans son cadre de tension en plexiglas épais. À droite, deux cadres époxy (0,5 mm) montés sur le système assurant le positionnement et le serrage des cadres sur la GEM.

Le service a également réalisé plusieurs sources nues de  $^{57}\text{Co}$  par évaporation d'une solution de  $^{57}\text{CoCl}_2$  sur des supports métalliques (or ou aluminium). Ces sources de faible activité (10 à 50 kBq) fournissent des électrons de conversion (7 et 13 keV) qui sont utilisés pour la calibration du détecteur.

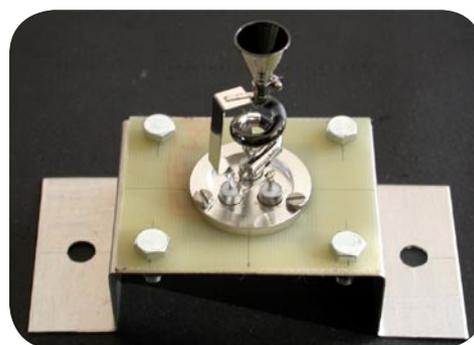
Un second prototype de TPC dont la mécanique a été conçue au laboratoire en 2005, sera couplé avec une source d'ions  $^3\text{He}$  de très faible intensité construite par le service des sources d'ions du LPSC (SSI). Ce dispositif est destiné à mesurer la trace et l'énergie libérée par un noyau de recul de quelques keV dans l'hélium 3 gazeux (Figure 9).

En 2005, le service est intervenu à plusieurs niveaux dans la phase d'étalonnage de la source d'ions :

- montage des détecteurs (Channeltron®, figure 10),
- fourniture de l'électronique et d'un système d'acquisition basée sur un oscilloscope numérique,
- montage de la membrane en nitrure de silicium (épaisseur 100 nm) qui servira d'interface entre la source d'ions (vide) et la TPC (hélium à la pression atmosphérique).



**Figure 9 :** La chambre MIMAC-He3 (conçue par un ingénieur du groupe Structure nucléaire), et son cube de couplage avec la source d'ions.



**Figure 10 :** Un channeltron® sur son support avant montage sur la flasque de l'enceinte à vide.

#### ◇ n-DVCS

Démarrée début 2003, notre participation à l'expérience n-DVCS [1] dans le hall A du Jefferson Laboratory (JLab, Virginie, USA) a consisté à concevoir et à réaliser le détecteur d'étiquetage des particules chargées (tagger). Le tagger est composé de 2 couches superposées et décalées de scintillateurs plastiques (57 éléments de 11 formes différentes), formant les  $\frac{3}{4}$  d'un cercle épousant la forme sphérique de la chambre à réaction de l'expérience DVCS.

L'objectif principal demandé était d'obtenir une très bonne uniformité de la réponse du scintillateur en regard du nombre de photoélectrons détectés suivant la zone du scintillateur traversée [2]. Pour y parvenir, nous avons mené à bien la phase de R&D et réalisé plusieurs prototypes permettant de déterminer le type et la forme des

scintillateurs [3], des guides de lumière, des photomultiplicateurs (PM) et de l'électronique. Ces études ont permis de sélectionner le scintillateur EJ 200 (ELJEN) de 2 cm d'épaisseur dont les faces usinées sont brutes de sciage diamanté. Chaque scintillateur est associé à un guide de lumière en PMMA collé avec de la colle UV DYMAX 3-20262-T. Les lattes ainsi constituées sont enveloppées dans du papier aluminium de 30  $\mu\text{m}$  d'épaisseur puis dans une feuille de TEDLAR noire et totalement opaque. Les photomultiplicateurs sont des Hamamatsu R7877 à 8 étages d'amplification choisis en raison du faible encombrement et de conditions expérimentales difficiles, i.e. en vue directe de la cible, à une distance de 1 m dans un environnement électromagnétique. L'interface entre le PM et le guide est constituée de gel optique BICRON BC630.

L'année 2004 aura été une année phare pour l'expérience avec la fabrication, l'assemblage et le montage sur site de l'expérience. Le montage au sein même du LPSC a démarré début 2004 pour se terminer en juin 2004. Le montage à JLab s'est déroulé du 28 juin au 8 juillet 2004.

Nous avons pris en charge :

- la réception des 57 scintillateurs et guides (contrôles dimensionnels, états de surfaces...);
- le collage des guides sur les scintillateurs (réalisation d'un outillage spécifique);
- l'habillage de chacune des lattes;
- le test de la réponse de chacun des 11 types de lattes + PM + électronique sur un banc cosmique;
- le montage des 2 couches de scintillateurs dans la structure mécanique réalisée au laboratoire par le SERM (Figure 11);
- l'intégration et le câblage des PMs et de l'électronique;
- l'expédition aux USA du détecteur entièrement monté (sauf PM et électronique);
- enfin, montage et intégration du tagger sur le site de JLab fin juin 2004; les prises de données se sont déroulées durant tout l'automne 2004 (Figure 12).



Figure 11 : Montage d'une des 2 couches de scintillateurs pour n-DVCS à JLab.



Figure 12 : Montage du tagger sur le détecteur.

[1] <http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/ndvcs.pdf>

[2] [http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/Note\\_1.pdf](http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/Note_1.pdf): Tagger Design Optimisation,

[3] [http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/Note\\_2.pdf](http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/Note_2.pdf): Tagger Paddles Characteristics JLAB-TN-04-041 (2004)

### ◇ n-EDM

Le projet n-EDM dans lequel le SDI est fortement impliqué depuis février 2005, a pour objectif la mesure du moment dipolaire électrique du neutron (n-EDM)  $d_n$  et l'amélioration de 2 ordres de grandeur de la valeur obtenue par l'équipe du Rutherford Appleton Laboratory-University of Sussex, ( $d_n \sim 2 \cdot 10^{-26}$  e.cm).

Le principe de la mesure est basé sur la méthode de Ramsey (ou principe des champs oscillants alternés) qui consiste en la *détermination d'un éventuel décalage de la fréquence de précession du spin du neutron*.

En pratique, on utilise un **spectromètre** dans lequel on fait précesser des neutrons ultra-froids (UCN) polarisés dans une enceinte où règnent un champ magnétique ( $\sim 1 \mu\text{T}$ ) et un champ électrique le plus élevé possible ( $\sim 15 \text{ kV/cm}$ ) (Figures 13 et 14), qui sont soit parallèles soit antiparallèles.

### Déroulement du projet

**Phase A – 2005 :** Cette phase a consisté à récupérer et faire fonctionner le spectromètre n-EDM de la collaboration RAL-Sussex-ILL, actuellement installé au niveau D de l'ILL. Un très gros travail de compréhension de l'appareillage, de remise en fonctionnement a été fourni par l'ensemble des personnes impliquées dans ce projet. Actuellement, tout le spectromètre est opérationnel, à l'exception de la haute tension (HT).

Une première mesure du champ B par la magnétométrie Hg a été obtenue en juillet 2005. Les performances obtenues en terme de précision du rapport signal sur bruit n'étaient alors que de 25  $\mu\text{Hz}$ . Un effort important a donc été fourni sur l'amélioration de ces performances : une précision du rapport signal sur bruit  $\cong 1 \mu\text{Hz}$  a été ainsi obtenue, mais avec un faible temps de relaxation des spins ( $Hg \cong 90 \text{ s}$  au lieu de 150 s). La chambre de polarisation a été démontée et nettoyée pour tenter d'améliorer le temps de dépolarisation des atomes  $^{199}\text{Hg}$ . Des décharges de gaz  $\text{O}_2$  et He sous HT sont également nécessaires pour améliorer ce temps de relaxation : le boîtier de contrôle-commande du débit de  $\text{O}_2$  est en cours de réalisation, et le système HT existant est en cours de diagnostic.

En septembre 2005, les performances obtenues ont quasiment atteint les performances optimales de l'installation.

Après un accident survenu en 2003 (rupture de vide), au cours duquel la feuille de polarisation a été brisée et a contaminé magnétiquement l'ensemble de l'installation, une anomalie magnétique persiste : elle a pour effet de dépolariser les neutrons et donc de réduire leur temps de relaxation. Un nettoyage chimique a donc été réalisé sur les électrodes et la chambre de stockage pour éliminer d'éventuelles particules magnétiques déposées sur les surfaces. Afin d'éliminer cette anomalie, il a été décidé de caractériser chaque élément (cellule de stockage, électrodes, vanne UCN). Les différentes pièces de la vanne suspectées d'être magnétiques seront caractérisées à Fribourg début 2006.

Une version existante du contrôle-commande et acquisition, développée par RAL-Sussex, a fait l'objet d'une prise en main et remise en état (adaptation au PC gestion turbine Steyerl de l'ILL, nouvelle version LabView du programme de gestion de la HT).

À la fin 2005, tout le système de vide est opérationnel (pompes turbo-moléculaires, pompes primaires, guide horizontal neutrons). On peut atteindre un vide poussé de  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ mb}$ .

De plus, un important travail de documentation (procédures notamment) a été réalisé (procédure vide, démontage/remontage chambre de polarisation, manuel utilisateurs du logiciel n-EDM, changement source Hg).

### Perspectives

**Phase B (→ juin 2006) :** le fait d'avoir à disposition ce spectromètre permet d'y apporter des améliorations et de tester diverses options pour la conception et la mise au point du nouvel appareillage n-EDM2 à PSI pour 2007-2008. Des travaux engagés en 2005 se poursuivent en 2006 : *reverse engineering*, inspection visuelle des guides de neutrons et leur remplacement éventuel. La cartographie du champ B et l'amélioration du design des bobines correctrices, le diagnostic de la HT et sa remise en fonctionnement, ainsi que la remise en conformité électrique de l'installation sont quelques exemples des points d'amélioration engagés en 2006.

### Bibliographie

Pour en savoir plus : <http://lpsc.in2p3.fr/UCN/index.html>

A high precision comparison of the gyromagnetic ratios of the  $^{199}\text{Hg}$  atom and the neutron, John Robert May, thesis University of Sussex, 1998.

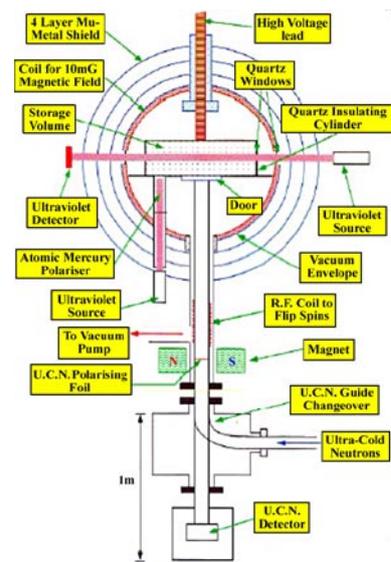
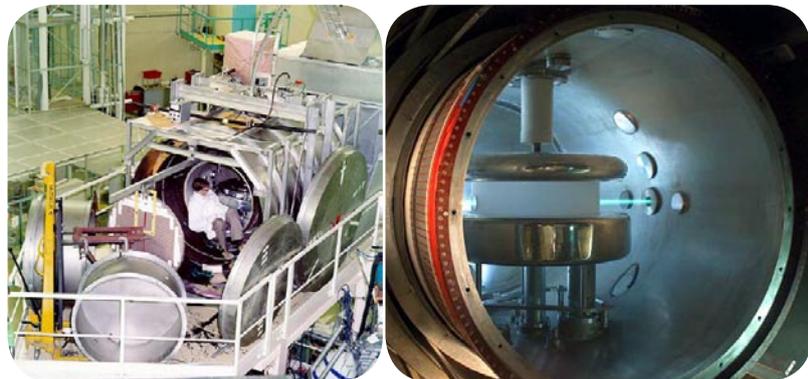


Figure 13: Principe du spectromètre n-EDM.



Figures 14: À gauche, les 4 couches de blindage, la chambre à vide et son système HT. À droite, la chambre de stockage et son faisceau UV pour la mesure de la fréquence de précession des atomes  $^{199}\text{Hg}$  pour déterminer B. (Photos RAL-Sussex).

### ◇ PEREN

Durant toute l'année 2004, les locaux devant recevoir le laboratoire de chimie du projet PEREN, environ 150 m<sup>2</sup> au sol, ont dû être complètement réhabilités. Le plafond, les sols et les murs ont été habillés de revêtements spéciaux. Une sorbonne, un sas d'entrée et un bureau ont également été installés.

L'équipement prépondérant du laboratoire est un ensemble de trois boîtes à gants destiné à la fabrication de cylindres de sels de fluorures fondus.

Pour gérer de façon très propre l'atmosphère intérieure des boîtes à gants, nous avons dû mettre en place un système fiable permettant de les alimenter en continu avec un gaz neutre. De plus, pour des raisons de sécurité, l'installation a été complétée par une détection oxygène ainsi que par une ventilation des locaux, permanente en journée et pouvant fonctionner jusqu'à cinq renouvellements par heure du volume d'air.

À la fin 2005, l'implantation des gros équipements est terminée ainsi que l'instrumentation du dispositif expérimental. Des tests préliminaires de fusion ont ainsi pu être réalisés.

**Le dispositif expérimental** est composé d'une chaîne de trois boîtes à gants en légère dépression, permettant d'assurer le confinement des matières (les poudres sont toxiques et réactives avec l'eau et l'oxygène) (Figure 15).

Une circulation d'argon et une unité de purification permettent de maintenir une atmosphère ayant des teneurs en eau et en oxygène de l'ordre de quelques ppm dans les boîtes à gants.

L'ensemble est équipé pour réaliser des essais sur des sels et des métaux liquides à petite échelle. Les boîtes à gants ont donc été dotées des dispositifs nécessaires à leur fonction :

**La première boîte** est destinée à la préparation des sels et est utilisée pour stoker des produits, peser, mélanger et dégazer des poudres.

**La seconde boîte** est destinée à la fusion des sels (Figure 16). Elle est également couplée à un four puits ① que nous avons conçu et fabriqué dans le but de réaliser des solidifications orientées. Ce four d'une puissance électrique de 12 kW comporte un corps de chauffe partagé en trois zones, d'égale puissance, indépendantes et régulées en température par un système programmable configuré par le service électronique du LPSC.

Le chauffage est donc programmable par zone, avec un écart de température de l'ordre du degré entre la partie la plus basse et la partie la plus haute du four. Cet ensemble fonctionne jusqu'à 1000° C. Pour manipuler des creusets ② pesant environ 15 kg, un palan à chaîne ③ et un panier support sont nécessaires. Pour chauffer l'intérieur du four à 900° C sans surchauffer la boîte à gants, une climatisation ④ est fixée au plafond, une bride froide à circulation d'eau ⑤ est soudée à l'interface boîte à gants-enceinte du four et un bouchon isolant ⑥ est prévu à l'extrémité de l'enceinte.

**La troisième boîte** est destinée au conditionnement des cylindres de sel. Elle permet l'usage (sciage et perçage) des cylindres de sel en adéquation avec les besoins expérimentaux.



Figure 15: Ensemble des 3 boîtes à gants.

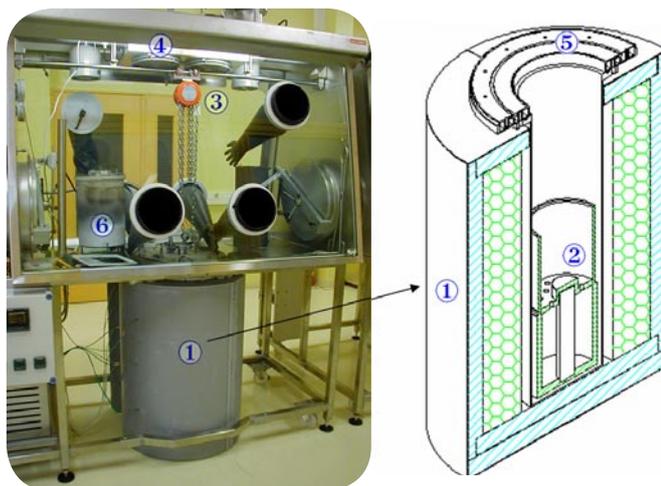


Figure 16: Détails de la deuxième boîte.

## ◆ Planck

### Cryo-générateur 20 K

Après les succès des tests du prototype (EQM) du système de commande du cryo-générateur 20 K (SCE) en 2003 (voir précédent rapport), la fabrication des modèles de qualification et de vol ont été confiées début 2004 à un industriel du spatial, CRISA-ASTRIUM en Espagne.

La livraison du premier modèle de qualification (EQM) dans le courant de l'année 2004 a permis de réaliser des tests couplés au cryo-générateur de vol en fin d'année, de nouveau sur le site du Jet Propulsion Laboratory (JPL), laboratoire NASA à Pasadena, USA.

Le service a été responsable de l'organisation de ces tests ainsi que du développement des outils logiciels de pilotage et de tests, développés sous LabView. La réalisation des premiers tests avec le cryo-générateur de vol, menée en étroite collaboration avec les services d'électronique et d'acquisition du laboratoire, a été, là encore, couronnée de succès et a permis la mise au point du logiciel embarqué dont le laboratoire est responsable.

Un deuxième modèle de qualification (CQM), identique en tous points aux futurs modèles de vol (Figure 17) mais construit avec des composants non qualifiés « spatial », nous a été livré au début de l'année 2005. Le service a organisé une deuxième campagne de tests au JPL au printemps 2005, toujours couplés au cryo-générateur de vol, juste avant sa livraison en Europe. Cette dernière campagne aux USA a permis de tester plusieurs procédures spécifiques nouvellement introduites dans le logiciel embarqué, dont les procédures de recouvrement automatique d'erreur de fonctionnement, nécessaires pour fiabiliser le système en vol. Les tests ont également inclus, en collaboration avec le service informatique, les premiers essais de la console de pilotage, développée suivant un standard spécifique (SCOS2000), qui sera utilisée au sol durant l'expérience pour contrôler le cryo-générateur en vol.



Figure 17: Le modèle de qualification du SCE.

Dès la fin de l'année 2005, l'intégration du satellite Planck a débuté chez Alcatel Space à Cannes, incluant le cryo-générateur et son électronique (Figures 18 et 19). Des campagnes de test sont déjà programmées.



Figure 18: Les cryo-générateurs et leur électronique en cour d'intégration sur le satellite Planck.

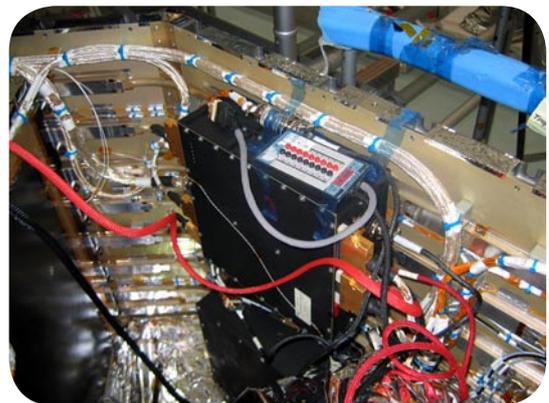


Figure 19: Le SCE intégré sur le satellite Planck.

En parallèle, durant l'été 2004, une activité de test et de validation systématique du logiciel spatial embarqué du SCE a débuté.

Ce processus adjoint au développement a pour but de fiabiliser le logiciel à toutes ses échelles (fonctions unitaires, modules intégrés et système sur cible). Il exige le concours de plusieurs testeurs, une forte implication des programmeurs et des ingénieurs système, et l'emploi d'une méthodologie plus familière de l'industrie des transports ou de la défense que des laboratoires.

Le SDI, déjà fortement impliqué dans le test des systèmes Planck au LPSC, a été chargé de coordonner et de piloter ce travail à la frontière de l'électronique, de l'informatique, du système et des méthodes de test. Une

équipe de test a été constituée avec des personnes des services Acquisition, Informatique et Instrumentation, mais aussi des chercheurs du groupe Planck du LPSC.

Une première itération de test unitaire a été confiée à un prestataire spécialisé recommandé par l'Agence Spatiale Européenne. Cette étape incontournable a toutefois montré ses limites: en effet les évolutions ultérieures du logiciel ont remis en cause la plupart des validations obtenues à cette époque, ensuite le prestataire a restreint le champ de ses responsabilités à des modules dont il maîtrisait le test.

Début 2005, cette prestation s'est terminée et l'objectif restait d'achever le test pour la livraison d'un module critique, le logiciel de *boot*, qui ne peut plus être modifié une fois implanté dans l'électronique. L'équipe de test logiciel a relevé ce défi en s'aidant, pour une part, de l'exemple et des résultats précédents, pour une autre part, de l'expertise du LSR (laboratoire Logiciels Systèmes Réseaux - INPG/UJF/CNRS), intéressé par notre démarche, et enfin d'une bonne dose d'imagination et d'esprit pratique.

Jusqu'en septembre 2005, deux stagiaires du LSR ont aussi apporté une importante contribution en complétant les tests unitaires sur la partie *applicatif* du logiciel à l'aide du logiciel Cantata++. Cette dernière phase sera formellement close début 2006, mais les scripts et les outils de test resteront indissociables du logiciel pendant toute la durée de la mission.

### Cryo-générateur 100 mK

Dans le but de tester et de valider le modèle de qualification et le modèle de vol du système de commande du cryo-générateur 100 mK (DCEU), tous deux fabriqués et livrés en 2004 et 2005, le service a réalisé sous LabView une application de test et de contrôle, capable de simuler l'interface de pilotage Planck-HFI (DPU) mais aussi de soumettre l'électronique à des commandes partiellement ou totalement erronées, de façon aléatoire et automatisée. Par ailleurs, et en collaboration avec les services d'électronique et d'acquisition du LPSC, le SDI a participé en 2004 aux tests couplés avec le DPU d'HFI, à l'IAS d'Orsay.

De plus, le service a pris en charge les activités d'Assurance Produit spécifiques au domaine du spatial, concernant le DCEU, incluant entre autres la traçabilité du produit et de ses constituants, la gestion de la configuration du produit et la constitution du dossier de livraison. Nous avons pu bénéficier de l'aide d'un expert dans ce domaine, prestataire du bureau Veritas, qui a travaillé avec nous durant quatre mois, fin 2004. L'expérience acquise pendant cette collaboration a été bénéfique pour le LPSC, mais elle a néanmoins démontré que le recours à des personnes expertes pour ces activités était irremplaçable.

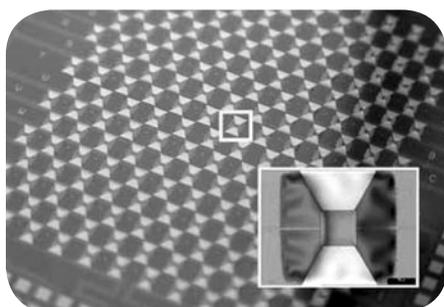
### ◇ R&D CMB

Pour l'étude du CMB (Cosmic Microwave Background), les expériences futures auront pour objectif la mesure de la polarisation du rayonnement. Le service s'est impliqué dans la collaboration DCMB (Développement Concerté de Matrices de Bolomètres) qui propose de passer du détecteur unique à des matrices de plusieurs centaines, voire milliers de bolomètres sensibles à la polarisation.

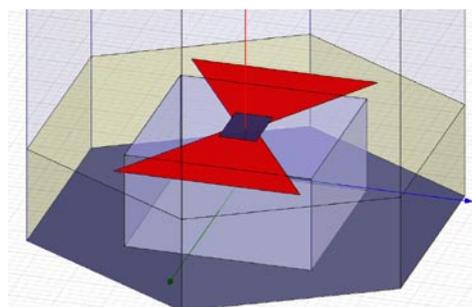
Depuis deux ans, le SDI s'est engagé sur l'étude du couplage du rayonnement avec le détecteur bolométrique. La voie explorée consiste à remplacer l'absorbeur et les filtres conventionnels par une antenne accordée en fréquence et sensible à la polarisation.

Ce développement s'appuie sur un logiciel commercial (HFSS) qui nous permet de modéliser l'interaction des ondes électromagnétiques avec les antennes disposées selon un réseau périodique, et cela pour une bande de fréquence allant de 50 à 300 GHz.

En collaboration avec le CRTBT, le LPSC a eu la responsabilité du projet de construction de la partie mécanique d'un interféromètre de type Martin-Puplett (MPI), appareillage dédié aux tests des matrices dans le domaine millimétrique et submillimétrique.

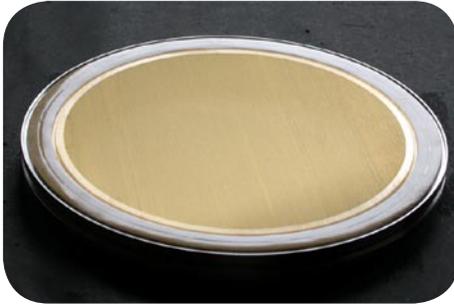


*Figures 20: À gauche, prototype de matrice hexagonale. À droite, modèle 3D d'un pixel avec une géométrie identique. On peut voir la résistance de charge (bleu foncé), le substrat de silicium (beige) et une cavité parallélépipédique creusée dans le substrat de silicium (bleu clair).*

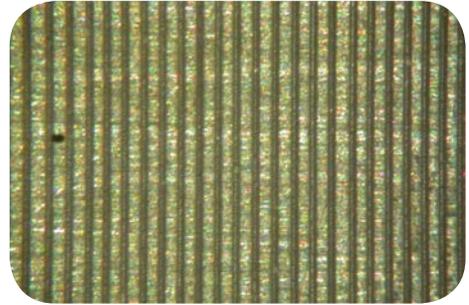


En 2004, le service a participé activement au dimensionnement de l'interféromètre et à la spécification de ses composants. Le service d'études et réalisations mécaniques du LPSC a ensuite conçu et réalisé l'ensemble des pièces du Martin-Puplett durant l'année 2005. Le montage final et l'installation au CRTBT se sont déroulés en décembre 2005 (collaboration de l'atelier et du SDI).

Le SDI a également assuré l'opération de tissage des polariseurs utilisés dans le Martin-Puplett. Ces polariseurs sont constitués de plans de fils fins (30 microns inox ou tungstène doré) tissés au pas de 75 microns sur des cadres métalliques de  $\sim 30$  cm de diamètre. Pour ces réalisations, le service a amélioré la mécanique de la machine à tisser du laboratoire afin d'augmenter la précision de positionnement des fils (Figures 21).



**Figures 21 :** À gauche, un polariseur à fils de 300 mm de diamètre. Les fils de tungstène doré (30  $\mu\text{m}$ ) sont tissés sur un cadre en inox au pas de 75 microns et sont fixés par un collage époxy. À droite, vue rapprochée des fils d'inox.



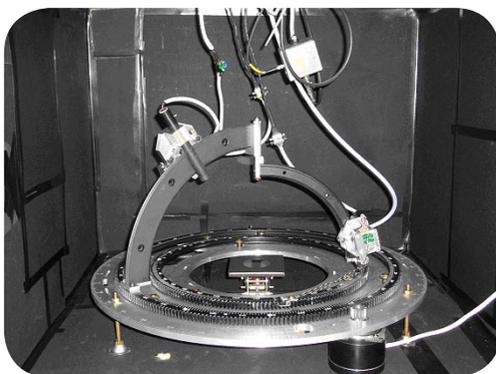
## ◇ ULTRA

L'année 2004 a vu l'expérience ULTRA prendre sa vitesse de croisière, à la suite de l'installation pour une durée de plus d'un an de l'ensemble de détection de gerbes atmosphériques, ET-Scope, sur le terrain de sport du laboratoire. Cet ensemble de 5 stations de détection a été équipé fin 2004 avec un système d'acquisition plus compact, développé par des collaborateurs de l'expérience du LIP au Portugal. Celui-ci est constitué de 4 cartes au standard PCI, comprenant chacune 6 voies ADC flash 100 MHz avec trigger programmable, le tout piloté par une application LabView sous Linux. Le dispositif a été également complété par 2 autres détecteurs développés par le SDI (Belenos) et un troisième conçu par les collaborateurs de l'IASF à Palerme (UV-Scope). Ces détecteurs sont destinés à mesurer les signaux Ultra Violet (250-450 nm) associés aux gerbes atmosphériques.

Les prises de données auxquelles le service a largement participé, se sont déroulées quasiment en continu jusqu'au printemps 2005, et ont permis, malgré le niveau élevé de bruit de fond lumineux ambiant, de caractériser la lumière Cherenkov associée aux gerbes cosmiques.

L'expérience a ensuite été déplacée en avril 2005, à la surface de la mer en Sicile (Capo Granitola, Italie) avec une configuration très proche de celle utilisée à Grenoble. Là, grâce au faible bruit de fond nocturne, la détection de la lumière Cherenkov réfléchie a pu être effectuée (voir partie physique). L'ensemble des cinq stations a été rapatrié à Grenoble, fin décembre 2005.

En parallèle, et afin de mesurer la réponse spectrale de la réflectivité effective des sols, sur les sites d'expérience ULTRA, le spectro-gonio-reflectomètre UV conçu fin 2003 (voir rapport 2002 - 2003) a été réalisé comme prévu au premier trimestre 2004 (Figure 22). Celui-ci est constitué d'une lampe refroidie de deutérium, couplée à un spectromètre accordé à la longueur d'onde choisie, et d'un faisceau de fibres de quartz. Le faisceau de fibres est ensuite introduit dans une boîte étanche à la lumière ambiante puis fixé sur un des deux bras à déplacement semi-sphérique d'un goniomètre. La tête du faisceau de fibres, équipée d'un objectif, illumine un secteur horizontal au centre du goniomètre où on peut placer un échantillon. L'autre bras est équipé d'un tube photomultiplicateur R960 de chez Hamamatsu, avec une fenêtre UV. La sensibilité de ce photomultiplicateur permet une gamme dynamique de  $10^3$ . Le courant de l'anode du PMT est lu sur un oscilloscope piloté en GPIB par une application LabView sur PC (cette activité a fait l'objet d'un stage IUT mesures physiques, au sein du service en 2004).



**Figure 22 :** Le spectro-gonio-reflectomètre dans la boîte noire.

Les mesures effectuées avec ce dispositif ont permis de déterminer la fonction de réflexion diffuse bidirectionnelle (BDRF, Bidirectional Reflectance Diffuse Function) de différents matériaux, comme le Tyvek, le Teflon et même de l'eau de mer, soumise à un flux d'air constant pour simuler des vagues (voir section physique).

## Service Études et Réalisations Mécaniques

*D. Bondoux et D. Grondin, A. Beteille, J. Brunet, Y. Carcagno, J.-M. Carretta, L. Coppola, G. Damieux, F. Dekeirel, D. Fombaron, A. Fontenille, C. Fourel, M. Jullien, J.-C. Malacour, D. Marchand, G. Michel, E. Perbet, P. Petit, N. Rico, S. Roudier, G. Suteau, E. Vernay, F. Vezzu.*

*This service is in charge of design, manufacturing and assembly of mechanical and cryogenic systems. Its experienced people make use of modern design and simulation software and of numerous machining tools.*

### ◇ Évolution des outils de conception et de fabrication

#### CAO

Le logiciel CATIA reste l'outil de dessin de référence du Service Études et Réalisations Mécaniques avec des mises à jour régulières des versions utilisées. Le logiciel EUCLID est cependant toujours exploité afin d'assurer la compatibilité avec des études démarrées précédemment et afin de permettre des échanges avec des partenaires utilisant également ce logiciel (pour l'expérience ATLAS en particulier). La gestion de documentation technique est assurée via le logiciel SMARTEAM pour lequel le SERM a servi de site pilote pour l'installation du logiciel à l'IN2P3.

Pour les calculs prédictifs, le logiciel en Éléments Finis SAMCEF sert régulièrement pour des dimensionnements en thermique et en tenue mécanique.

#### Atelier

Le parc de machines-outils a été renforcé fin 2005 par l'acquisition d'un centre d'usinage numérique *DECKEL MAHO DMC 635V*. La charge programmée des réalisations de l'atelier du LPSC concerne principalement des ensembles mécaniques complexes et précis (instrument CREAM, Source PHOENIX 28 GHz, coupleurs et banc de test SPIRAL 2, R&D CMB (Interféromètre), sources MIMAC-He3)... Les pièces mécaniques correspondantes sont la plupart du temps impossibles à réaliser avec des machines traditionnelles.

Le centre d'usinage à commande numérique accroît de manière notable notre capacité à assurer ce type de travaux tout en s'intégrant dans une logique de plan qualité, de plus en plus exigée dans les cahiers des charges des expériences nouvelles.

#### CFAO

Afin d'exploiter au mieux les possibilités d'usinage de la fraiseuse numérique de l'atelier, les équipes du bureau d'étude et de l'atelier ont poursuivi l'utilisation d'une liaison CFAO entre cette machine et le logiciel CATIA. Les fichiers ainsi générés permettent de simplifier grandement la création des gammes d'usinage dans le cas de pièces mécaniques très complexes.

Cette liaison CFAO, déjà validée au LPSC, a été testée en 2004 par d'autres laboratoires de l'IN2P3. Un post processeur spécifique a été mis au point pour la fraiseuse CINCINNATI. Le développement et la mise au point d'autres post processeurs peuvent se faire en utilisant l'application IMS 7 dont une licence vient d'être commandée par l'IN2P3. Le SERM doit s'impliquer en 2006 dans l'utilisation de cette application.

### ◇ Principales réalisations

#### ALICE

Réalisation d'une maquette de test du système d'alignement du spectromètre dimuons de l'expérience ALICE en cours d'installation sur le LHC du CERN. Collaboration avec l'IPN Lyon. La conception mécanique et la réalisation de la maquette seront terminées début 2006.

#### Projet ATLAS / cryogénie de proximité

L'expérience ATLAS est implantée sur le LHC du CERN. Pour cette expérience le SERM est en charge de la cryogénie de proximité qui a pour fonction principale de maintenir sous-refroidi un volume total de 83 m<sup>3</sup> d'argon liquide à une température de 87 K pendant plus de 10 ans avec un gradient maximum de 0,6 K. Cette fonction est réalisée grâce à des échangeurs internes [1] à l'azote liquide placés autour des détecteurs. Deux

membres du service sont affectés à temps plein sur le site pour la durée de cette mission. Le rapport précédent décrivait le détail des prestations que le service devait fournir, les premières réalisations et installations, tant dans le hall 180 du CERN que dans la caverne ATLAS.

Ce projet a continué à représenter un travail important durant la période 2004-2005. À l'issue de la période 2002-2003 regroupant des phases d'ingénierie, d'approvisionnement, fabrication, montage et tests de nombreux équipements dans le hall d'intégration 180 du CERN, une importante coordination technique a été nécessaire afin d'assurer :

- la fin des tests dans le hall 180,
- le démontage des équipements du hall 180,
- l'installation et la mise en route des équipements dans la caverne.

La grande majorité des études est maintenant terminée. Les éléments de la cryogénie de proximité ont été livrés, assemblés et utilisés pour le test des cryostats au hall 180 du CERN.

#### ▪ Tests au B180

Les deux systèmes de calorimètres, Barrel et End-Cap, ont été mis en service début 2004 avant leur descente dans la caverne ATLAS pour une phase de tests en froid, qui s'est étalée jusqu'à fin 2005.

L'installation des équipements dans le hall 180 du CERN (Figure 1) a été complétée par :

- la fourniture de la plateforme End-Cap A pour l'installation du vase d'expansion et de la boîte à vannes,
- la fourniture et les tests de réception des vases d'expansion et boîtes à vannes, leur intégration au système cryogénique du hall 180,
- la fourniture et l'installation des systèmes de vide en collaboration avec l'équipe du CERN.

Enfin, le service a réalisé de manière continue jusqu'en novembre 2005, le démontage des équipements de la cryogénie de proximité des calorimètres afin de les descendre dans la caverne.

#### ▪ Lignes cryogéniques pour la caverne UX15

Concernant ce lot, les travaux suivants ont été effectués :

- la fabrication et la livraison des lignes flexibles azote pour les End-Caps, et le début de fabrication des deux lignes de sécurité argon liquide,
- le marché pour la fabrication [3 sous-traitants], l'assemblage des colliers [4<sup>ème</sup> sous-traitant], et les supports du système de guidage des lignes de sécurité argon,
- la validation et fabrication des systèmes de guidage des 2 lignes flexibles de sécurité argon liquide DN 150, longues chacune de 33 mètres, qui permettront le déplacement sur 12 mètres des 2 cryostats End-Cap en fonctionnement normal. L'installation se fera au 1<sup>er</sup> trimestre 2006,
- le marché des lignes de transferts cryogéniques rigides, simples et triples (140 m de DN 20 à DN 210),
- la fabrication du système de vide d'isolation des cryostats et des équipements de la cryogénie de proximité ainsi que le vide de purge des cryostats avant leur remplissage en argon liquide et les vides feedthroughs (128 traversées signaux sous vide indépendant).

Pour la rédaction des spécifications techniques des lignes cryogéniques rigides et flexibles, de nombreuses réunions de travail avec la Coordination Technique (TC) d'ATLAS ont été nécessaires afin de prendre en compte les nombreuses interfaces avec d'autres parties du projet et les contraintes d'environnement (compacité, mouvements relatifs dans ATLAS pendant sa construction et son fonctionnement, sollicitations sismiques...).

#### ▪ Installation dans la caverne

Le scénario d'installation de tous les équipements de la cryogénie de proximité dans la caverne a été préparé tant pour le détecteur ATLAS proprement dit que pour les plateformes techniques déportées.

Au cours de l'année 2005, le SERM a mené à bien, comme actions principales :

- l'intégration des services de la cryogénie de proximité sur le calorimètre Barrel en position garage (système vide et tronçons de lignes cryogéniques),



*Figure 1 : End-Cap C au hall 180 avant intégration des détecteurs et installation des équipements cryogéniques pour les tests en froid.*

- l'installation de la majorité des lignes de pompage du système vide (Barrel et End-Caps) y compris les groupes de pompage en novembre 2005,
- le début de l'installation du système de guidage de la ligne de sécurité argon du End-Cap C, et le test de communication avec le système de contrôle de déplacement des détecteurs,
- la mise en place de deux vases d'expansion et des boîtes à vannes (Figures 2 et 3) sur les plateformes de services.

2006 sera une année cruciale pour le projet avec les tests in situ de tous les composants, en particulier les lignes de transferts cryogéniques flexibles pour les End-Caps.



**Figure 2 :** Installation boîte à vanne azote du Barrel (caverne ATLAS, CERN).

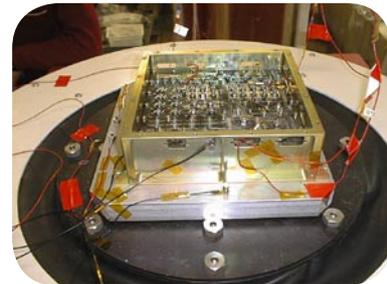


**Figure 3 :** Boîte à vanne et vase d'expansion azote du Barrel (caverne ATLAS, CERN).

### Planck-HFI

Cette mission de mesure du fond cosmique, embarquée sur satellite, sera lancée courant 2007. Le Service Études et Réalisations Mécaniques du LPSC est plus particulièrement en charge de la conception (dimensionnements thermiques) et de la réalisation des boîtiers devant accueillir la *Dilution Cooler Electronics*.

Après avoir effectué ce travail, dès octobre 2004, le SERM a réalisé l'usinage en commande numérique de deux modèles de qualification des boîtiers en Fortal. À cet effet une liaison CFAO entre le logiciel de CAO (CATIA V5) et la fraiseuse à commande numérique de l'atelier du LPSC a été exploitée. Les opérations de traitement de surface, peinture et mise en propreté ont été sous-traitées.



**Figure 4 :** PLANK - tests de vibrations d'un boîtier équipé.

Un boîtier équipé d'un lest représentatif du DC/DC et de deux cartes électroniques (composants représentés par des lests) a été soumis à des tests de vibrations (Figure 4) au Laboratoire d'Astrophysique de Marseille. Les niveaux vibratoires définis pour l'acceptation des équipements étaient relativement élevés (25 g). Ces tests ont permis de valider le bon dimensionnement de l'ensemble et de vérifier son intégrité.

### CNAO

L'équipement de base du CNAO sera un synchrotron. Un bêtatron doit être utilisé comme dispositif d'extraction lente des particules accélérées par le synchrotron.

Le SERM assure à ce titre la coordination technique au sein du LPSC du contrat englobant l'ingénierie, le design et la construction.

En 2005, le SERM a réalisé :

- le lancement et le suivi de fabrication de la maquette livrable en 2006,
- le design préliminaire du bêtatron ; suivra l'appel d'offre en 2006 pour une livraison début 2007.

### HIPPI

Le SERM s'est engagé dans la réalisation d'une maquette des cellules et du port de couplage du DTL. La pré-étude des cellules était réalisée en août 2005, et les consultations pour la fabrication du port de couplage engagées. Le SERM assurera l'usinage en commande numérique du coupleur début 2006.

### MIMAC-He3

Le SERM a assuré en 2005 la conception d'une source d'ions 2,45 GHz à base d'aimants permanents et devant produire des faisceaux d' ${}^3\text{He}^{2+}$  de très faible intensité pour le projet MIMAC-He3. Cette source a été réalisée en deux exemplaires, la deuxième devant assurer la production d'un faisceau de 1 mA de protons pour le projet IPMBio à l'IPN Lyon.

### SPIRAL 2

#### ▪ Coupleurs RF

Figure 5 : SPIRAL 2 - coupleur RF assemblé.



Fin 2004 la phase d'avant-projet détaillé des coupleurs RF des cavités accélératrices supraconductrices du LINAC de SPIRAL 2, auquel le SERM a fortement contribué s'est achevée. Ces coupleurs doivent en particulier répondre à des exigences de couplage électromagnétique et de dissipation thermique.

Après l'étude du projet et les calculs de dissipation thermique de l'antenne (transfert des données géométriques issues d'une maquette numérique du coupleur réalisée sous CATIA, vers le logiciel en éléments finis SAMCEF-FIELD), deux prototypes de coupleurs RF de puissance (Figure 5), utilisant deux technologies différentes de *fenêtre* céramique métal, ont été réalisés (1<sup>er</sup> semestre 2005). Les géométries et matériaux retenus ont été définis après de nombreuses simulations numériques afin de répondre au mieux à des exigences parfois contradictoires (encombrement, RF, thermique, mécanique, tenue au vide...) (Figure 6).

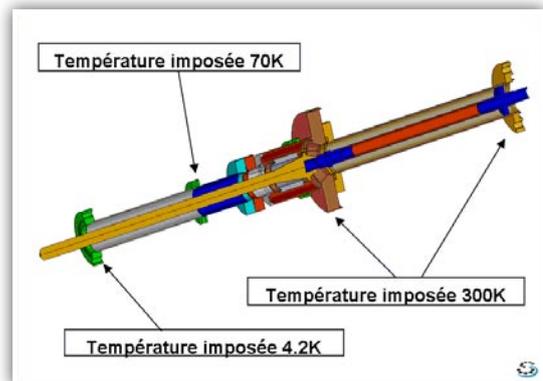


Figure 6 : SPIRAL 2 - conditions limites du modèle thermique.

Les procédures de fabrication et d'assemblage (en particulier brasures céramique métal et soudure par faisceau d'électrons) ont été définies. Le SERM a également conçu et réalisé le banc de test (Figure 7) qui permettra de tester ces coupleurs. Ce banc est entièrement monté et est actuellement en cours d'utilisation par le service Accélérateurs.

#### ▪ Booster de charge

Le booster de charge conçu initialement pour une tension accélératrice de 30 kV doit, dans le cadre de SPIRAL 2, pouvoir être porté à 60 kV ; les modifications nécessaires ont été apportées tout en augmentant la résistance mécanique de l'ensemble. Cette nouvelle version a été produite pour le LPSC et est en voie de l'être pour ISOLDE au CERN.

#### ▪ PHOENIX (Q/A=1/3)

Le LPSC qui a la responsabilité de l'injecteur (Q/A=1/3) de SPIRAL 2 a assuré la conception (SSI-SERM) d'une nouvelle source d'ions (A-PHOENIX) de haute technologie. Le champ magnétique axial est assuré par des bobines supraconductrices à haute température, tandis que le champ magnétique radial est assuré par un hexapole à aimants permanents de dernière génération. Les problèmes thermiques et la maîtrise nécessaire des forces magnétiques intenses ont nécessité des solutions innovantes au niveau de l'intégration mécanique.

#### n-DVCS

Après la définition en 2003 de l'ensemble de la partie mécanique du détecteur de neutrons, le SERM s'est engagé en 2004 dans la conception et la réalisation de ce détecteur de marquage pour l'expérience n-DVCS (Deep Virtual Compton Scattering). La forme conique du détecteur et la place disponible réduite ont conduit à une conception par secteurs angulaires. Une attention particulière a été portée aux procédures d'usinage et



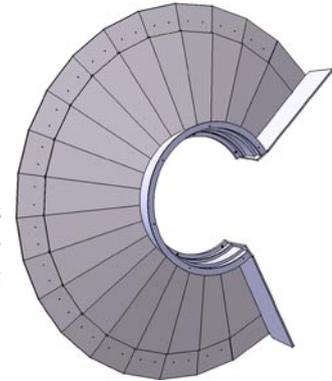
Figure 7 : SPIRAL 2 - banc de tests.

d'assemblage qui sont relativement complexes du fait de cette conception. La conception a été faite à l'aide de CATIA V5. Les données techniques CAO de l'étude ont été gérées avec SMARTEAM.

Le détecteur [2] s'intègre entre la chambre de diffusion et le détecteur de protons dans un espace de dimensions réduites (Figure 8). Il est constitué de deux couches de scintillateurs divisées en secteurs angulaires et disposées sur une couronne couvrant un angle de 270°. Entre la première couche et la chambre sphérique, un blindage [3] d'épaisseur 10 mm en Inox 304L a été nécessaire (Figure 9).



**Figure 8:** Le détecteur est fermé d'un côté par une tôle roulée en 304L et de l'autre par une tôle en AGS roulée en cône.



**Figure 9:** Le blindage est constitué de 20 secteurs dépouillés sur leurs faces latérales afin de permettre la reconstitution d'un cône facétisé.

Ces secteurs ont été usinés en commande numérique à partir de fichiers de programmation issus du module CFAO de CATIA V5. L'utilisation du 4<sup>ème</sup> axe a permis de faciliter l'usinage des faces dépouillées. Les 20 secteurs ont été soudés entre eux sur une couronne en forme de C. Cette couronne de mince épaisseur, usinée sur le tour à commande numérique du LPSC, a nécessité un recuit de stabilisation pour éviter une trop grande déformation due au relâchement des contraintes lors de sa découpe.

Le détecteur a été installé dans le hall A du Jefferson Laboratory en juin 2004.

### Interféromètre Martin-Puplett

Le SERM a eu en charge la conception et la réalisation mécanique d'un interféromètre de type Martin-Puplett (MPI) travaillant dans les domaines millimétriques et submillimétriques (bande spectrale 50 GHz - 1 THz).

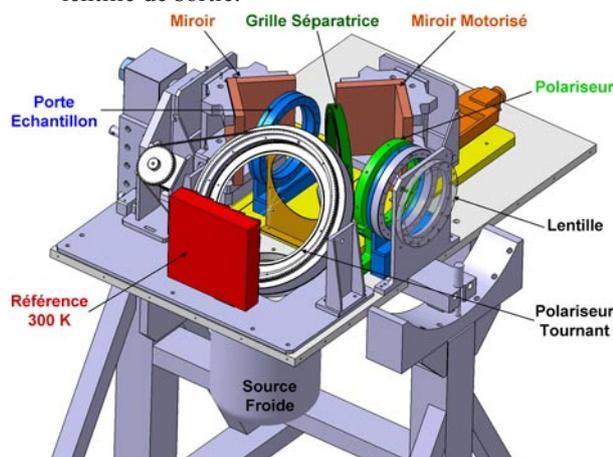
Cet interféromètre a été réalisé en 2005 en collaboration avec le CRTBT [4] [5] (cryostat pour la détection).

Les principaux objectifs à atteindre étaient :

- la mesure en transmission/réflexion d'éléments optiques dans le domaine 5 mm - 300 mm,
- la mesure de l'absorption de matrices de bolomètres en fonction de la direction de polarisation du rayonnement,
- le cryostat optique pour caractériser les matrices de bolomètres à basse température (4 K).

Les principaux composants de l'interféromètre sont (Figures 10) :

- une source froide, une référence 300 K, des diaphragmes, un premier polariseur tournant (600 tour/min) réalisant une modulation de la source, une grille séparatrice polarisante,
- un polariseur fixe de sortie, deux miroirs en coin dont un mobile en translation (déplacement motorisé), une lentille de sortie.



**Figure 10:** Schéma de l'interféromètre Martin-Puplett.



**Figure 11:** Interféromètre Martin-Puplett en cours de montage.

Les principales contraintes technologiques de réalisation sont liées au tissage des polariseurs et de la lame séparatrice et aux exigences de précision géométrique pour la réalisation des composants et leur positionnement relatif. La réalisation des différentes pièces (Figure 11) de l'interféromètre a nécessité 129 jours d'usinage. Certaines pièces gauches comme la grille séparatrice ont été réalisées sur commande numérique avec l'aide de la CFAO.

### CREAM

Le SERM a assuré, mi 2005, l'assistance pour la conception thermo-mécanique du support d'un compteur Cherenkov pour cette expérience.

### Usinage de pièces mécaniques complexes

- PHOENIX 28 GHz : deux chambres à plasma (Figure 12) en FORTAL ont été taillées dans la masse et ont nécessité 54,5 jours d'usinage sur tour et fraiseuse numériques, pour la source PHOENIX 28 GHz du Service des Sources d'Ions.
- Usinage dans la masse d'une nouvelle chambre à électrons-gammas en FORTAL pour le groupe Structure Nucléaire.



*Figure 12: Chambre à plasma avec hélice de refroidissement.*

### Accueil de stagiaires

Le SERM accueille et encadre régulièrement des stagiaires qui sont amenés à travailler sur des sujets de thermique et de mécanique. Ont été accueillis, en 2004 et en 2005, deux élèves ingénieurs de l'École Supérieure des Technologies Industrielles Avancées.

- [1] <http://lpsc.in2p3.fr/caomec/ATLAS/site%20html/image-ac5.html>
- [2] [http://lpsc.in2p3.fr/caomec/NDVCS/images/Ens\\_nDVCS\\_JLab.jpg](http://lpsc.in2p3.fr/caomec/NDVCS/images/Ens_nDVCS_JLab.jpg)
- [3] <http://lpsc.in2p3.fr/caomec/NDVCS/images/Blindage.jpg>
- [4] [http://crtbt.grenoble.cnrs.fr/astro/dcmb\\_pub/](http://crtbt.grenoble.cnrs.fr/astro/dcmb_pub/)
- [5] <http://crtbt.grenoble.cnrs.fr/>



## Service Électronique

*R. Foglio, C. Barruel, J.-L. Bouly, G. Bosson, P. Cavalli, D. Dzahini, L. Eraud, L. Gallin-Martel, J.-P. Girard, E. Lagorio, S. Muggeo, A. Patti, J.-P. Richer, J.-P. Scordilis, D. Tourres, C. Vescovi, M. Yamouni.*

*A team of electronics engineers and technicians develops ASICs for high density electronics which meets the needs of high energy physics (ATLAS) and astrophysics (AMS, Planck, EUSO, CREAM).*

Les années 2004 et 2005 ont été caractérisées par la poursuite des développements de circuits intégrés pour applications spécifiques (ASIC) et de leur utilisation comme éléments d'une électronique hautement intégrée pour les expériences de physique.

La compétence reconnue de l'équipe CAO du service Electronique dans l'utilisation des outils logiciels lui permet d'assurer la tâche de Site Mainteneur IN2P3 pour l'utilisation du logiciel de placement - routage ALLEGRO et de SPECTRA, le nouveau routeur de l'IN2P3. Cette maîtrise permet le développement de nombreuses cartes complexes et apporte une valeur ajoutée très importante dans tous les projets et les collaborations du laboratoire.

### ◇ Électronique spécifique à certaines expériences

#### AMS

L'utilisation du banc de test pour la calibration simultanée de 16 modules nous a permis de procéder aux tests des 680 ensembles photomultiplicateurs (soit 10880 voies de mesures) et modules d'électronique avant la livraison au laboratoire CIEMAT de Madrid. En 2005 nous avons participé au collage des guides de lumière, câblage des hautes tensions, insertion des photomultiplicateurs dans leur coque au CIEMAT ; toutes ces opérations font parties de l'intégration de l'imageur Cherenkov (Figure 1).



Figure 1 : Module du détecteur Cherenkov d'AMS avec PM multianodes.

#### Planck

Dans le cadre du projet Planck, le service Électronique du LPSC est impliqué dans la conception de deux électroniques de contrôle de machines cryogéniques. Le Sorption Cooler développé par le Jet Propulsion Laboratory (NASA, USA) permet la descente en froid de 50 K à 20 K tandis que le Dilution Cooler développé par le CRTBT de Grenoble et construit par Air Liquide DTA permet d'atteindre les 0,1 K depuis l'étage 4 K.

##### ▪ Sorption Cooler Electronics

L'électronique du Sorption Cooler a été développée conjointement par les services d'électronique et d'acquisition de données. Depuis mai 2003, la société ASTRIUM/CRISA (Espagne) est en charge de l'adaptation de la conception de nos équipes aux contraintes spatiales ainsi que de la fabrication et des tests des modèles de qualification et des modèles de vol de cette électronique.

L'EQM (Engineering Qualification Model), premier modèle fourni par CRISA en août 2004, a été testé par le LPSC afin de valider le hardware avant la mise en fabrication du modèle de qualification final et des modèles

de vols. Il a été utilisé comme base de développement du software embarqué.

Ce modèle a ensuite été utilisé intensivement au cours de deux campagnes de tests au JPL couplé au Cooler développé par la NASA.

Après les tests du CQM (Cryogenic Qualification Model) en juin 2005 et la livraison de ce modèle chez Alcatel Alenia Space, restent les trois modèles de vol à recevoir dans le premier trimestre 2006 afin d'être testés fonctionnellement sur le simulateur du LPSC avant livraison chez Alcatel.

#### ▪ Dilution Cooler Electronics

L'électronique du cryogénérateur à dilution d' $^3\text{He}/^4\text{He}$  est aussi développée conjointement par les services d'électronique et d'acquisition de données. Le LPSC est chargé de l'étude du prototype, du développement et de la fabrication des modèles de qualification et de vol.

Le modèle de qualification a été intégré sur la boîte à vannes (DCPU) d'Air Liquide en décembre 2004. Les tests de qualification en vide thermique ont été réalisés sur l'électronique seule avant intégration, alors que les tests en vibrations ont été faits sur le système intégré en janvier 2005 avant livraison à Alcatel Alenia Space.

Le modèle de vol a été livré pour tests fonctionnels définitifs au LPSC en décembre 2005 (Figure 2). Il sera ensuite intégré à la DCPU avant de passer la batterie de tests d'acceptance (vibrations, vide, thermique, compatibilité électromagnétique) pour ensuite être livré pour intégration sur le satellite par Alcatel Alenia Space.

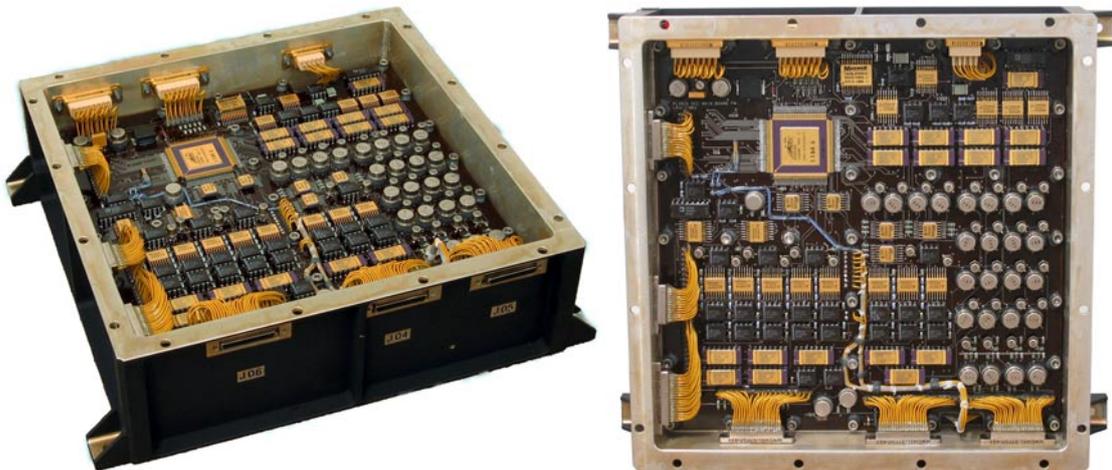


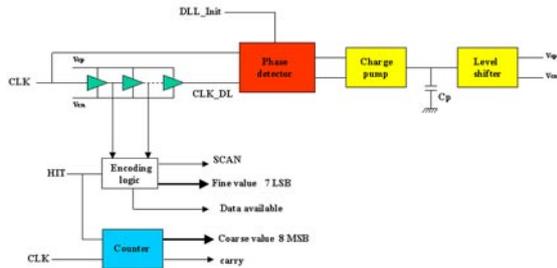
Figure 2: Planck DCE Flight Model.

Le projet Planck aura permis au laboratoire et au Service Électronique de découvrir les particularités et contraintes des projets spatiaux. L'importance de l'assurance qualité dans ce type de projets notamment aura été une contrainte forte pour l'avancement du projet et l'aide d'un ingénieur qualité extérieur durant trois mois, fin 2005, a été précieuse pour l'équipe Planck.

#### Tomographe

Le Service Électronique du LPSC a, durant ces deux années, contribué aux tests d'un module prototype devant équiper un  $\mu\text{TEP}$  à xénon liquide à 16 modules. La cellule contenant le xénon présente une section de  $20 \times 20 \text{ mm}^2$  et une longueur de 50 mm et peut recevoir différentes matrices de guide de lumière (100 guides de  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  ou 40 guides de  $2 \times 5 \text{ mm}^2$ ). Les photons de scintillation sont détectés à chaque extrémité de la cellule par un photomultiplicateur à anodes croisées (PSPMT) de type R8520 de chez Hamamatsu. Une forte interaction a été nécessaire avec ce fabricant pour obtenir un PM compatible avec les contraintes du xénon liquide (scintillation dans le VUV à 178 nm et température de fonctionnement de 165 K). Les deux prototypes fournis par Hamamatsu présentent un gain de l'ordre de  $1,5 \cdot 10^6$  et une efficacité quantique de 15% et 20% à 178 nm. Les coordonnées x et y (plan du PM) de l'interaction du  $\gamma$  dans la cellule sont obtenues par un calcul barycentrique sur les signaux d'anodes d'un même PM (6 anodes en x et 6 anodes en y). La coordonnée z (le long de l'axe du module) peut, quant à elle, être obtenue par le même type de calcul mais cette fois sur les signaux de dynode des deux PM. Le traitement des signaux des PM est assuré par des modules standard NIM et CAMAC, l'acquisition numérique se faisant au moyen d'un châssis VME.

Parallèlement à son implication dans ces tests, le service a débuté en 2004 l'étude d'une électronique dédiée. Cette électronique auto-déclenchée doit être implantée sur le module de xénon (165 K) et doit fonctionner indépendamment des 15 autres modules (16 modules sont prévus pour le  $\mu$ TEP). Elle doit permettre la localisation en x, y et z de l'interaction dans la cellule (mesure de charge multivoie) ainsi que le marquage en temps de l'événement ; la validation d'un événement se faisant, au niveau du  $\mu$ TEP, par la coïncidence en temps d'événements dans 2 modules diamétralement opposés. Cette électronique doit de plus assurer la conversion analogique numérique et le stockage des données en attente d'acquisition. La conception de convertisseurs charge tension nécessitant la validation des photo-détecteurs, l'étude a débuté par le développement d'un convertisseur temps numérique (CTN) en collaboration avec le service d'acquisition de données. Ce circuit (Figure 3), réalisé en technologie AMS CMOS 0,35  $\mu$ m, permet le marquage en temps des interactions (HIT) par rapport à une horloge de référence commune aux 16 modules (CLK).



### Caractéristiques du CTN à température ambiante :

- Résolution typique :** 244 ps pour 32 MHz.
- Plage de fonctionnement de la ligne :** de 13 MHz à 40 MHz.
- Plage de verrouillage de la DLL :** de 20 MHz à 40 MHz.
- Non linéarité différentielle :**  $< \pm 20\%$ .
- Non linéarité intégrale :**  $< 1\%$ .
- Dispersion :** pour un même retard les 5 circuits testés donnent la même mesure.
- Consommation :** 14 mW.

Figure 3 : Schéma synoptique du CTN.

Le circuit utilise une ligne à retard de 128 cellules asservie par une boucle à verrouillage de retard (DLL) sur la période du signal d'horloge CLK ( $T_{clk}$ ). La résolution est donnée par la valeur d'un retard élémentaire soit  $T_{clk}/128$ . La DLL assure la stabilité à long terme de cette résolution en réduisant les effets des variations de température, de tension d'alimentation et des paramètres technologiques. La résolution obtenue pour une horloge de 32 MHz est de 244 ps sur une gamme de température allant de 80° C à -120° C. Dans ces mêmes conditions, la non linéarité différentielle, mesurée en utilisant deux horloges décorrélées, est inférieure à  $\pm 20\%$ . Le CTN comprend également un compteur 8 bits qui permet d'étendre la pleine échelle à une valeur de  $256 \times T_{clk}$ . Le temps mort maximum est de  $3 T_{clk}$  et la sortie DATA AVAILABLE permet une lecture synchrone des données.

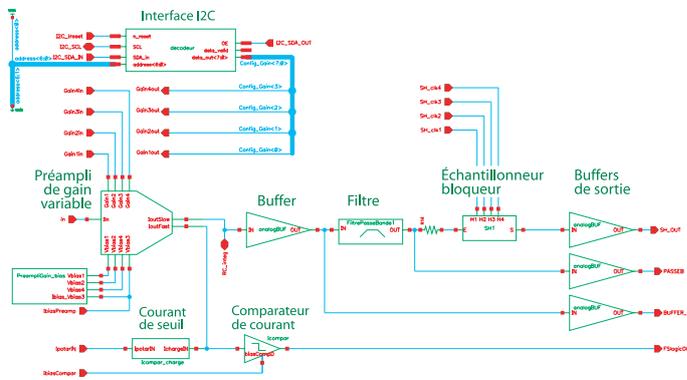


Figure 4 : Schéma bloc d'une chaîne de lecture pour PM.

Le courant dispose de deux sorties : une rapide qui va sur un comparateur de courant sert pour le comptage, tandis que la deuxième plus lente sert à mesurer l'amplitude ou l'énergie. Quatre bits de contrôle permettent de régler le gain en courant de la voie lente pour compenser les fluctuations de gain des PM. Ce contrôle peut être effectué par des entrées directes ou par un port I2C intégré dans le circuit (Figure 4). Le signal résultant passe ensuite dans un filtre de type Sallen-Key et la valeur maximale est prélevée par un échantillonneur bloqueur.

Le projet Tomographe s'orientant vers l'utilisation de photodiodes à avalanches (APD), nous avons lancé la conception d'une double alimentation Haute Tension (Figure 5).

De plus, un prototype de circuit intégré a été réalisé et encapsulé dans le même boîtier que le TDC. Il inclut un préamplificateur de courant pouvant supporter les signaux de fortes amplitudes ( $> 2$  mA) venant des photo multiplicateurs situés aux extrémités des guides d'onde. Le préamplificateur de



Figure 5 : Double alimentation HT pour APD.

Pour la conception de ce tiroir, nous sommes partis d'un convertisseur DC-DC existant dans le commerce et spécialement étudié pour les APD. Celui-ci fournit une tension de 0 à 2 000 volts et limité en courant à 0,5 mA, ce qui est suffisant pour nos essais.

La principale difficulté lors du développement a été la partie mesure de courant. En effet, du fait des hautes tensions et du faible courant utile, il a fallu concevoir un ensemble composé d'un optocoupleur, d'une alimentation à masse flottante et d'un amplificateur avec une très grande résistance d'entrée.

Un premier prototype a été réalisé ainsi que la procédure de calibration. Le point sensible à prendre en compte dans la conception d'une alimentation pour un capteur quel qu'il soit, c'est le bruit qu'elle produit. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur notre banc d'acquisition relié à une APD, lui-même alimenté successivement par une alimentation étalon (commerciale) puis par la nôtre. Il s'est avéré que notre alimentation était un peu plus bruyante que l'alimentation de référence. Après une légère modification, le bruit a été ramené sensiblement au même niveau, ce qui nous a permis de valider la conception. Aujourd'hui une version finale en standard NIM est en cours de calibration.

Bien qu'elle ne soit pas, en terme de performances bruit et puissances, capable de concurrencer des alimentations d'instrumentation, elle est d'un faible coût, plus simple à utiliser, moins encombrante, et convient parfaitement pour des essais sur des APDs à l'unité.

### Électronique frontale pour l'expérience EUSO

Pendant la durée de la phase A (~ 4 ans) le Service Électronique a réalisé quatre ASIC prototypes pour finaliser l'architecture de la partie frontale analogique (Analog Front End Electronics) du circuit devant traiter les signaux provenant des 5 000 photomultiplicateurs multi anodes (36).

Le dernier prototype *chip\_euso\_mars* réalisé comprend :

- une voie dynode constituée d'un préamplificateur de charge associé à une mémoire analogique 128 cellules et 2 comparateurs de tension fournissant les signaux pour le trigger. Un système de décharge automatique de la capacité d'intégration en cas de saturation permet d'évaluer le nombre de photons incidents en comptant les signaux *reset* générés pendant la durée du GTU (Gate Time Unit) ;
- 18 voies anode constituées chacune d'un préamplificateur de courant avec correction automatique de courant d'offset via un amplificateur *auto-zéro*. Ce préamplificateur est associé à un intégrateur capacitif, une mémoire analogique 32 cellules et un comparateur de tension qui ne valide le stockage à la fin du GTU que pour les événements utiles. Une deuxième sortie associée à un comparateur de courant fournit un signal pour le comptage des photons.

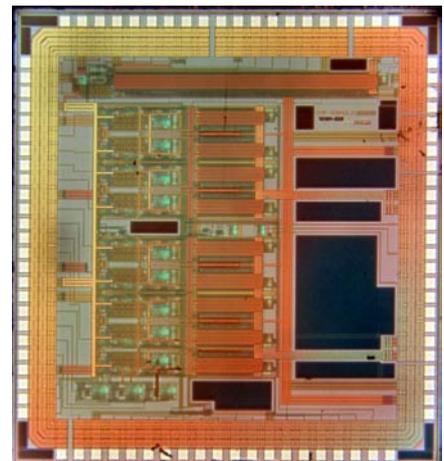


Figure 6: Photo de l'ASIC *chip\_euso\_mars*.

Ce circuit a été testé avec succès, ce qui nous a permis de valider une bonne partie du design et de mettre en évidence certains défauts en particulier au niveau de la lecture des blocs mémoires (Figure 6).

Nous avons ensuite réalisé une version réduite à 18 canaux de l'ASIC final avec nos collègues italiens de l'INFN de Gênes. Ce premier et dernier prototype franco-italien, baptisé *mars0\_18* (Figure 7), s'inspire directement du circuit précédent pour la partie frontale analogique.

Quelques améliorations ont été apportées, en particulier la possibilité d'ajuster les gains des préamplificateurs de courant pour compenser les fluctuations de gains entre anodes d'un même photomultiplicateur ( $\pm 50\%$ ). L'intégration du courant est réalisée par un amplificateur de charge au lieu d'un simple condensateur, et la capacité de stockage des mémoires analogiques a été réduite à 8 cellules.

La partie numérique réalisée par nos collègues génois est dérivée de leur ASIC prototype de l'électronique frontale numérique (Digital Front End Electronics). Elle assure le comptage des signaux provenant des comparateurs de courant ; le stockage en mémoire interne à la fin de chaque GTU est validé par un seuil numérique.

De nombreuses fonctionnalités sont aussi introduites dans ce bloc numérique. Il gère tous les seuils des comparateurs (DACs), les gains des préamplificateurs, les signaux de synchronisation (GTU, clock, reset...), les différents registres de configuration, etc. Par exemple, dès qu'un signal de trigger externe valide la lecture des mémoires analogiques, le contenu de chaque cellule est transféré séquentiellement vers l'ADC externe. Tous les signaux de synchronisation utiles à l'ADC sont générés via une interface ad hoc et le résultat de la conversion est mémorisé en interne. Tous les transferts de données sont effectués via des interfaces série.

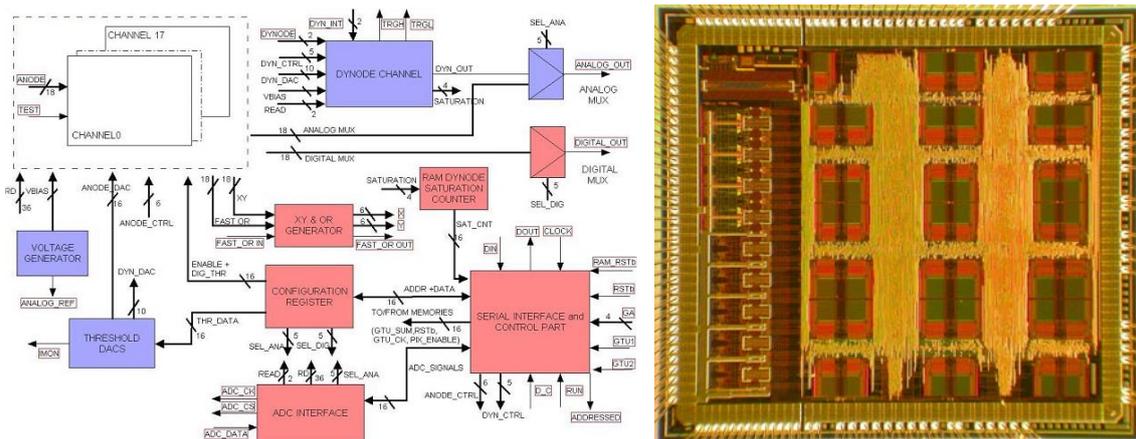


Figure 7: Schéma de principe et photo de l'ASIC mars0\_18 (surface ~ 30 mm<sup>2</sup>).

Le banc de test des circuits a été réalisé conjointement avec nos collègues génois qui ont développé un logiciel et une carte de tests spécifiques. Cette carte IEFE (Interface to EUSO Front End) est connectée au PC, via une liaison USB, et à la carte de test de l'ASIC développée au LPSC. Elle permet de configurer le circuit mars0\_18 et lui fournit tous les signaux de synchronisation utiles. En mode acquisition/lecture elle récupère les données mémorisées en interne pour vérifier la fonctionnalité et évaluer les performances des différents canaux dynode et anodes (Figure 8).

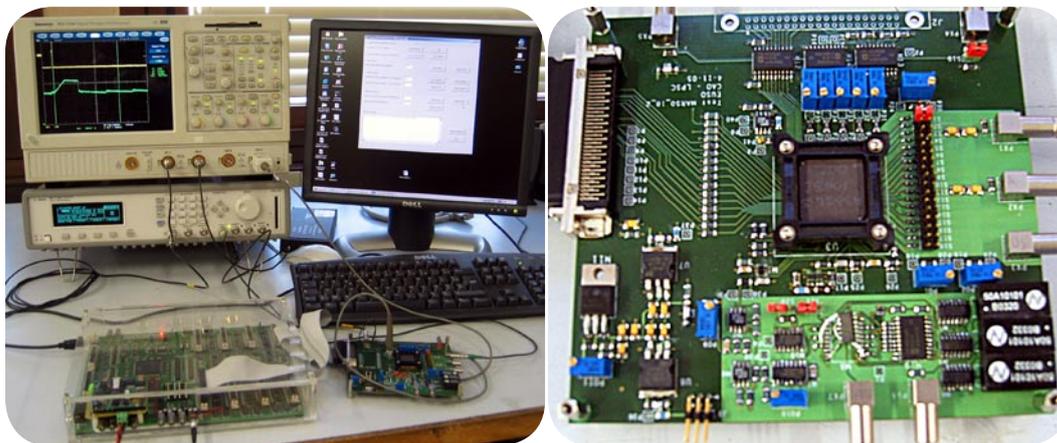


Figure 8: Banc de test du circuit mars0\_18.

## ASIC pour l'expérience MIMAC-HE3

Après les premières études préliminaires, c'est une solution associant un préamplificateur de charge et un comparateur de courant qui a été retenue. Les sorties des comparateurs sont échantillonnées toutes les 20 ns (50 MHz) pour permettre de reconstruire la trace tridimensionnelle d'une particule traversant la chambre.

Compte-tenu du niveau des signaux à détecter comparé au bruit intrinsèque de l'électronique, une solution de repli a aussi été implantée associant au préamplificateur d'entrée un circuit de filtrage suivi d'un comparateur de tension. Ceci permettra d'évaluer les performances d'une voie en perdant toutefois l'information temporelle.

Des compensations automatiques d'offset via des amplificateurs auto-zéro, hérités des développements pour EUSO, ont aussi été prévues sur chaque voie. La sortie du comparateur, courant ou tension, est convertie au standard LVDS (Low Voltage Differential Signaling) pour minimiser les couplages numérique ↔ analogique. Seize voies identiques ont été implantées dans cet ASIC, associées à un circuit de sommation et de filtrage à deux gains donnant une information sur l'énergie de la particule incidente.

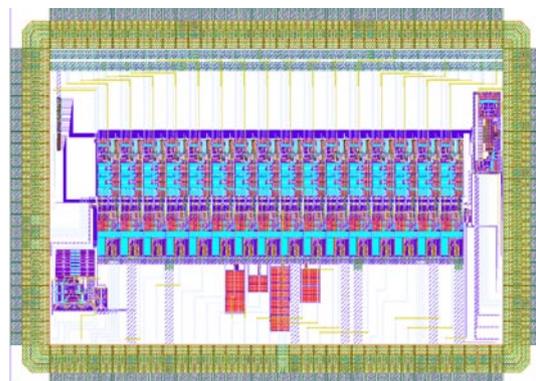


Figure 9: Layout de l'ASIC MIMAC (surface ~ 15 mm<sup>2</sup>).

Par ailleurs, dans le but de réduire le nombre de connexions en sortie et la consommation, un double sérialiseur à 400 MHz (convertisseur parallèle série) a aussi été intégré. Il transfère les 16 sorties des comparateurs sur deux lignes au standard LVDS ( $2 \times 8$  bits) entre deux échantillonnages successifs. Ceci nécessite l'implantation d'une boucle à verrouillage de phase (PLL) pour générer à partir de l'horloge système à 50 MHz une horloge à 400 MHz, associée à deux registres à décalage. Par contre c'est un point difficile car la cohabitation entre un oscillateur à 400 MHz et des préamplificateurs bas bruit n'est pas évidente (Figure 9).

La carte de test est en cours de développement. Elle permettra d'évaluer les performances de l'ASIC tout en réfléchissant à la carte d'acquisition qui intégrera probablement une connectivité Ethernet, et à l'implantation future des ASICs au niveau du détecteur, d'où l'intérêt de la liaison Ethernet qui permettra de limiter le nombre de passages de fils.

### ILC : International Linear Collider

#### ▪ Électronique pour les pixels MOS du traker

En collaboration avec l'IRES de Strasbourg qui développe des capteurs pixel de type MOS (MAPS), un circuit a été conçu pour la lecture des signaux et leur conversion en données numériques. Le signal minimal est de très faible valeur (1 mV), et chaque canal d'électronique a la largeur de deux colonnes de pixels ( $40 \mu\text{m}$ ), et fonctionne à la vitesse de 20 MHz pour lire les deux colonnes par multiplexage. La chaîne électronique inclut un échantillonneur bloqueur avec une compensation d'offset et un contrôle de la variation de mode commun. Ensuite le signal est codé sur une dynamique de 5 bits. L'architecture du codeur est du type pipeline non différentiel. La consommation totale est de 1,4 mW, et une fonction de mise en sommeil presque total permet d'éteindre et d'activer le circuit en 300 ns. La figure 10 présente le dessin des masques d'un premier prototype à 8 canaux.

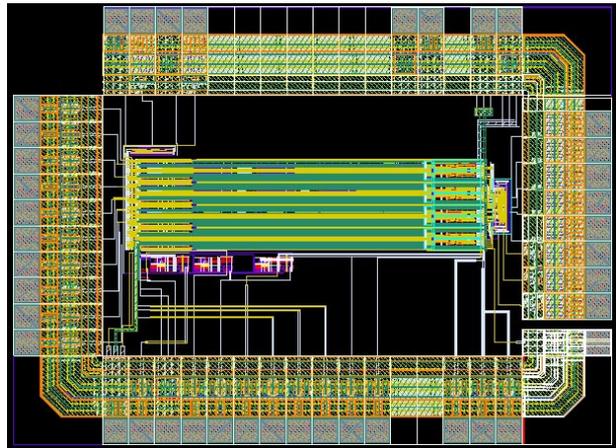


Figure 10: ADC pipeline de 5 bits pour pixel MOS.

Une deuxième version de circuit comporte plusieurs dizaines de canaux d'ADC qui seront couplés à la matrice des capteurs. Un exemple de 50 canaux est donné à la figure 11, les dimensions de chaque canal ADC sont de  $40 \mu\text{m}$  par  $1440 \mu\text{m}$ .



Figure 11: Vue de quelques uns des 50 canaux ADC pipeline de 5 bits pour pixel MOS.

▪ **Électronique pour le calorimètre électromagnétique**

Les études pour un convertisseur d'au moins 10 bits sont terminées. L'architecture est de type pipeline différentiel. Chaque étage du codeur donne 1,5 bit et un correcteur numérique permet de faire les compensations nécessaires des erreurs dues aux offsets des comparateurs. Cette version du codeur consomme 24,3 mW en mode continu d'après les simulations. Le schéma bloc de l'ensemble du convertisseur est donné à la figure 12. La courbe de linéarité d'un étage (Figure 13) permet d'envisager 10 à 12 bits de dynamique, pour une fréquence d'échantillonnage allant jusqu'à 16 MHz.

La simulation des 4 premiers étages du convertisseur est représentée à la figure 14. Ces courbes de résidus laissent entrevoir une dynamique différentielle de  $\pm 500$  mV.

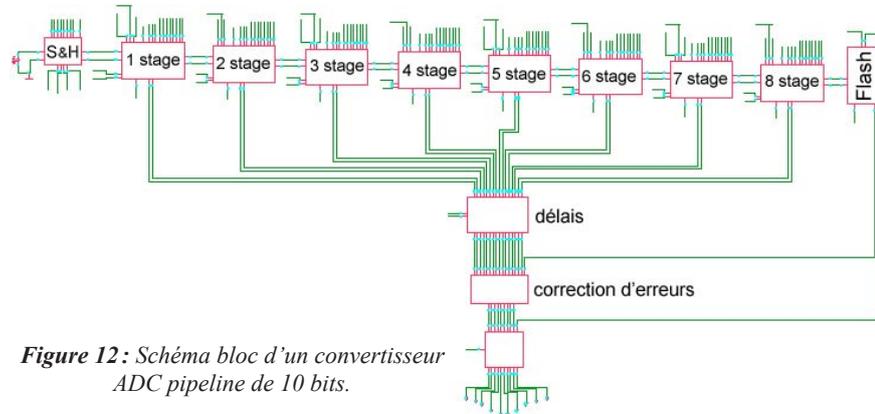


Figure 12: Schéma bloc d'un convertisseur ADC pipeline de 10 bits.

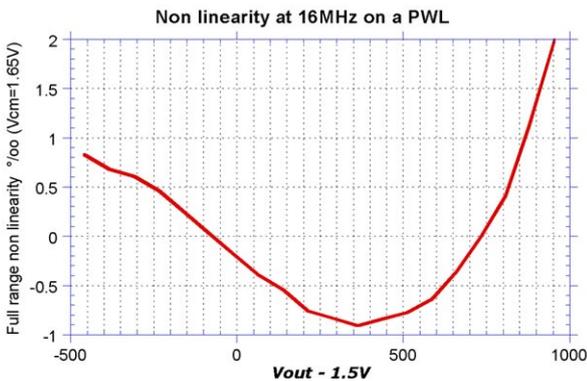


Figure 13: Simulations de non linéarité d'un étage ADC en fonction du résidu en mV.

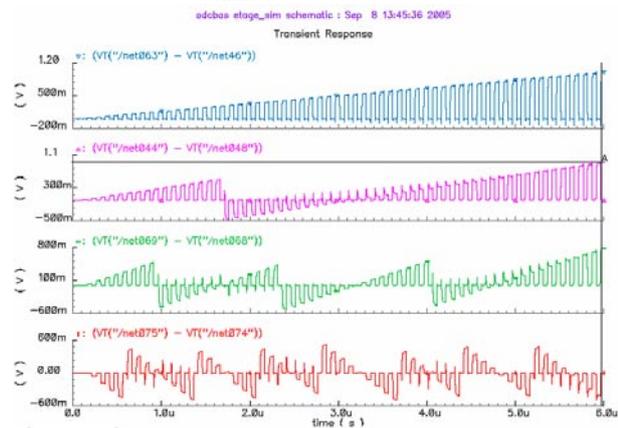


Figure 14: Courbe de résidus des 4 premiers étages du convertisseur.

**CLUB 035**

Ce circuit (Figure 15) a été soumis dans le cadre du club 035 de microélectronique, et il inclut les cellules et fonctions de base suivantes :

- un amplificateur opérationnel rapide utilisé dans une configuration échantillonneur/bloqueur,
- un buffer analogique *rail to rail* en CMOS,
- un comparateur rapide de faible offset commandé par une horloge.

**CREAM**

Le Service Électronique a la responsabilité de concevoir les 100 modules haute tension 1500 V du projet CHERCAM de CREAM. Ces modules alimentent 1600 photomultiplicateurs à partir du 28 V DC et doivent résister aux contraintes de pression critique et de température. L'aspect mécanique et l'encapsulation des 100 modules ont été également pris en compte. Les premiers prototypes donnent entière satisfaction. L'expérience et la maîtrise de cette technique vont permettre de réaliser des modules 1800 V pilotables à distance pour d'autres expériences.

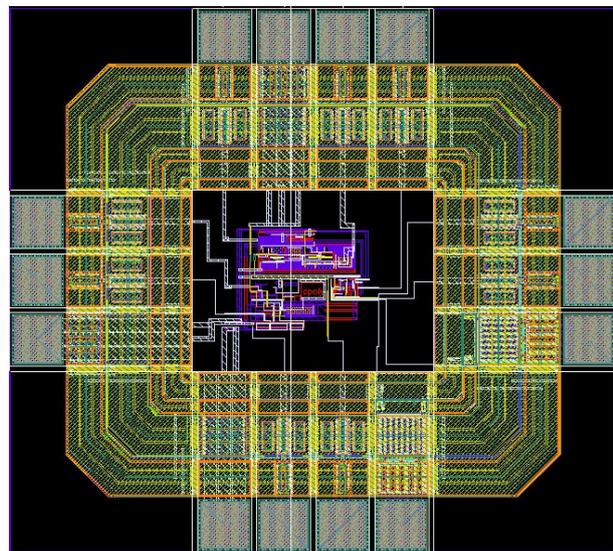


Figure 15: Circuit incluant des fonctions de base analogiques.

## ATLAS

En collaboration avec le KTH de Stockholm nous avons effectué deux campagnes de mesures (avril et mai 2005) afin de contrôler les connexions électriques du pré-échantillonneur central installé à l'intérieur du puits ATLAS au CERN. Ces mesures ont consisté à envoyer un signal sinusoïdal de basse fréquence (10 kHz) et de faible amplitude (20 volts crête à crête) puis enregistrer et analyser la réponse du détecteur. Cette technique permet de mettre en évidence des défauts de connexion : par exemple une résistance de protection de 1 M $\Omega$  mal soudée sur une anode pour un total d'environ 175 000 résistances. Les résultats de ces campagnes de mesures ont été portés sur le Web afin de permettre l'accès au reste de la collaboration argon liquide d'ATLAS :

[http://lpsc.in2p3.fr/atlas/base\\_de\\_donnee/M\\_Wheel\\_PS\\_Status.htm](http://lpsc.in2p3.fr/atlas/base_de_donnee/M_Wheel_PS_Status.htm), et  
[http://lpsc.in2p3.fr/atlas/base\\_de\\_donnee/P\\_Wheel\\_PS\\_Status.htm](http://lpsc.in2p3.fr/atlas/base_de_donnee/P_Wheel_PS_Status.htm)

## CNAO

Fin 2004, le LPSC a été contacté par la fondation CNAO afin de participer à la fabrication d'un synchrotron pour le traitement de tumeurs cancéreuses. De part la similitude entre ce projet et le futur projet français ETOILE, le laboratoire a décidé de s'impliquer dans CNAO dans plusieurs domaines, dont l'électronique de contrôle de la cavité accélératrice, Low Level RF, qui a été confiée au Service Électronique épaulé par le Service Acquisition de Données.

Le but de cette électronique est de piloter l'unique cavité accélératrice du synchrotron de CNAO à partir des consignes fournies par le centre commande-contrôle. L'électronique doit réguler la fréquence (300 kHz - 4 MHz), l'amplitude (10 V - 5 kV) et la phase du signal sinusoïdal fourni à la cavité tout en assurant l'accord de celle-ci, et doit également assurer le positionnement transverse et longitudinal du faisceau.

Une première carte de test fournissant les signaux de contrôle de la cavité a été réalisée et testée au CERN en septembre 2005. Après quelques difficultés pour figer les spécifications des boucles de régulation et les interfaces avec le commande-contrôle, le design de la carte calculateur basé autour d'un DSP Analog Device ADSP21261 dédié à la régulation a été lancé fin 2005 et devrait être testé sur la cavité courant mars 2006. Le design de la carte définitive assurant les fonctions de contrôle de la cavité accélératrice et de la position du faisceau sera alors lancé de manière à avoir un prototype en test fin 2006.

## Bobines supraconductrices de space cryomagnetics

Le service d'électronique a développé pour le projet A-PHOENIX (SPIRAL 2) une électronique permettant de protéger les bobines supraconductrices des effets *quenches*.

Plusieurs ponts diviseur de tension (7) sont installés aux bornes de chaque couple de galettes. Leur fonction est de détecter le moindre déséquilibre, engendré par un quench (0 - 4 mV et > à 50 ms), de transmettre l'information à l'électronique associée, pour stopper l'alimentation (200 A) et éviter ainsi tout effet destructeur.

Les ponts, constitués par les galettes et des résistances ajustables, permettent leur équilibrage à la valeur de l'inductance de chaque couple. Cet équilibrage s'effectue une fois pour toutes en injectant 2 V/50 Hz aux bornes de l'ensemble des couples de galettes.

Les mesures de tensions (amplis d'isolement + ampli d'instrumentation fort gain) doivent avoir une grande sensibilité et un excellent rapport signal/bruit, car la gamme de signal à exploiter est de l'ordre de 0 - 4 mV. Le système permet aussi de localiser physiquement le premier quench.

## n-DVCS

Pour l'expérience n-DVCS (Deep Virtual Compton Scattering) qui est installée à JLab (USA), le service a étudié et réalisé l'électronique des ponts des photomultiplicateurs et les amplificateurs associés les mieux adaptés pour limiter le courant anodique des PM Hamamatsu R7877 (très haut flux de particules).

L'intégration sur site de l'instrumentation des 70 ensembles constituant le détecteur de marquage a donné entière satisfaction.

## Robot

Le robot qui jusque-là avait servi aux tests de différents circuits intégrés (Shappers, SCA, OPAMP) tous destinés aux expériences du CERN a été transplanté au C4I (organisme associé à l'IN2P3).

Notre service a opéré à la fois le déménagement et la réinstallation sur le site du C4I à Archamps (74). Il a également assuré le redémarrage de l'ensemble robot-imprimante et la liaison série de l'électronique de test.

À la suite de cette opération, notre service a étudié, réalisé et fourni, à la demande du C4I, un dispositif complet pour un nouveau test d'un circuit intégré *Micro BGA*, expérience NINO du CERN. Cet ensemble a également été suivi d'une prestation de service sur site (mise en place, tests de fonctionnement).

### **ATLAS LAr End-Cap**

À la demande du service de mécanique, notre service a étudié et réalisé, suivant un cahier des charges, un système pour le pilotage des moteurs des plateaux mobiles, pour le déplacement des lignes cryogéniques de LAr End-Cap au CERN.

Les déplacements des lignes s'effectuant à distance, pendant la maintenance, il a été nécessaire de réaliser une armoire avec un coffret de commandes locales et un système de convertisseurs (4 - 20 mA) pour les commandes à distance (CSD) qu'il a fallu adapter à un ensemble fournissant des données informatiques géré par nos collègues américains.

Les contraintes de réalisation résultant des impératifs de sécurité (fond du puit ATLAS), ont nécessité l'utilisation de composants et matériaux répondant aux normes (coffret métallique CEM, câbles *Allogène 0*, pas de dégagement de gaz toxique en cas d'incendie). Cet ensemble monté et testé sur place est prêt pour sa mise service.

### **Activité sur PEREN**

Le Service Électronique a étudié le système de régulation thermique d'un four 3 zones. Ce four est utilisé pour réaliser un système de fusion et de moulage des sels massifs LiF-BeF<sub>2</sub> dans des cylindres de graphite. Le four est géré par un système informatique qui pilote le régulateur Euroterm principal et trois régulateurs esclaves commandant trois gradateurs de puissance destinés au contrôle de phases et à la régulation de charge triphasée industrielle.



# Service Acquisition de Données

*G. Barbier, O. Bourrion, J. Bouvier, B. Boyer, F. Pancher.*

*This service is specialised in digital electronics, real time data acquisition and control of experiments. It takes an important place on most experiments where the LPSC is involved. The work has continued on the software for the cooler control of the Planck experiment and on the electronics for the G0 experiment phase two. It has also worked for EUSO, CNAO, tomography experiments and more recently for CREAM experiment.*

## Introduction

Au cours de ces deux dernières années, le service a participé à de nombreuses expériences dans lesquelles le LPSC est impliqué. Si les expériences Planck et G0 ont continué à occuper une part importante de notre activité, d'autres expériences telles que EUSO, CNAO, MIMAC-He3, la tomographie et plus récemment CREAM ont nécessité des développements matériels et logiciels. Le service a eu également en charge les acquisitions pour les expériences sur la physique des réacteurs, sur Lohengrin, sur n-EDM, MIMAC-He3 et sur GRAAL.

Une partie du temps a été consacré à la recherche et développement pour des réalisations électroniques telles qu'un codeur de charges 16 voies en standard VME, un module VME générateur de signaux ou un module adaptateur USB-GPIB. Certains de ces travaux ont été menés à bien avec le concours de stagiaires.

## ◆ Expérience Planck

Le service est chargé de l'étude et de la réalisation de l'électronique numérique et de l'informatique nécessaires au pilotage de la machine cryogénique à 20 K « Sorption Cooler » développée par la NASA au Jet Propulsion Laboratory (JPL) et de l'électronique numérique de la machine à dilution 100 mK développée par la société Air Liquide.

### **Électronique logique et informatique de commande du 20 K**

Ces deux années ont été consacrées au développement et au test des modèles EQM (Electronic Qualification Model) et CQM (Cryogenic Qualification Model). Des changements dans le cahier des charges ont amené la société espagnole CRISA chargée de la construction des différents modèles de qualification et de vol à effectuer quelques modifications dans le design initial. Celles-ci ont entraîné des changements dans le contenu du FPGA chargé de gérer l'interface entre le DSP et les différentes entrées/sorties de la carte numérique ainsi que dans le logiciel. Des tests ont été réalisés durant le premier trimestre 2004 et le premier modèle (EQM) a été livré en août 2004 pour être connecté à la machine cryogénique du Jet Propulsion Laboratory de la NASA au cours du dernier trimestre 2004. Ces premiers résultats ont été concluants et ont démontré que l'électronique et le logiciel étaient opérationnels. L'ensemble EQM a ensuite été monté sur la version CQM du satellite chez Alenia à Turin pour des tests de connectique et de communication.

Le modèle CQM a été livré début 2005, testé puis connecté au premier modèle de vol de la machine cryogénique du JPL en avril 2005. Ces tests ont permis, entre autre, de valider le logiciel avec toutes ses fonctionnalités. Depuis août 2005, l'ensemble CQM est opérationnel dans les locaux de la société Alcatel à Cannes pour des tests fonctionnels et de communication avec le satellite. Les premiers tests ont été effectués avec succès en août et octobre 2005.

Au cours du deuxième semestre 2004 et tout au long de l'année 2005, des tests unitaires et fonctionnels systématiques du logiciel ont été entrepris afin de réduire au maximum les risques d'erreurs. Ces tests ont d'abord été réalisés sur le logiciel de démarrage (boot) par la société irlandaise Captec. Cette partie du logiciel est cruciale car elle permet d'initialiser la communication avec le satellite et ne peut plus être modifiée après la fabrication de la carte électronique. Après un transfert de compétences, ces mêmes tests ont été appliqués au logiciel applicateur par différentes équipes du laboratoire. En parallèle de ces tests, les documentations associées ont été écrites.

## ◇ Expérience GØ

### Module CEDFPD

Après une phase de test et de caractérisation, le service a fabriqué puis testé 5 modules CEDFPD.

Ces modules, au format VXI taille C, font le comptage des coïncidences entre les informations issues de 9 détecteurs proches du cryostat (appelés Cryostat Exit Detectors) et de 14 détecteurs situés à environ 2 mètres de la cible (appelés Focal Plan Detectors) et ceci dans une fenêtre en temps déterminée par l'utilisateur (ce temps est défini par un signal externe). Voir figure 1.

En outre une partie de ces coïncidences peut aussi être validée par un autre signal, issu d'un détecteur Cherenkov, connecté en face avant du module.

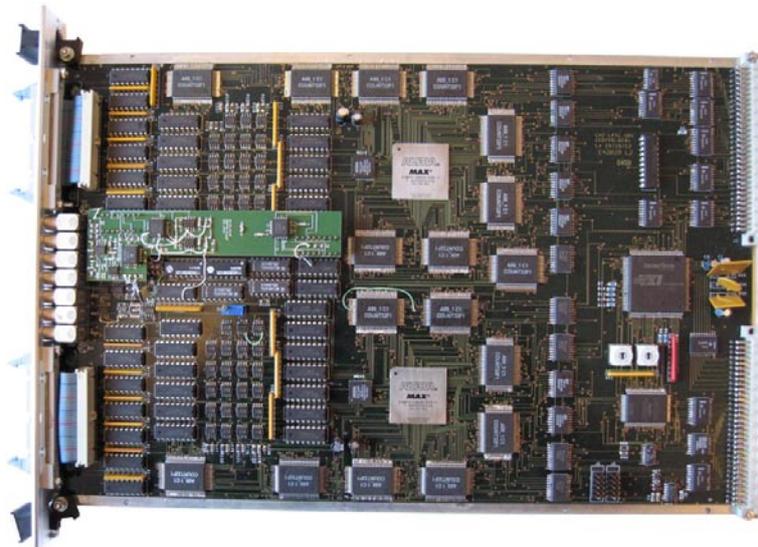


Figure 1: Module CEDFPD pour l'expérience GØ.

### Module SPLITTER/TRIGGER (rapport interne LPSC05-90)

Dans le cadre de l'expérience GØ, à la suite d'un changement de génération de faisceau, a été développé un module nommé SPLITTER/TRIGGER. Celui-ci est chargé de faire la transposition de signal entre la nouvelle version de génération de faisceau et l'ancienne. Par ailleurs ce module sera utilisé par les parties françaises et américaines de la collaboration. Ce module intègre 2 grandes fonctions :

- fonction SPLITTER :  
le module crée 3 copies de chacun des 32 signaux d'entrée, tous ces signaux étant en technologie ECL différentielle et repartis sur des connecteurs pour nappe souple. Ces copies peuvent, de façon globale (voie A ou B), être soit retardées, soit inversées (1 voie correspond à 16 entrées);
- fonction TRIGGER :  
le module génère 2 signaux de sortie (niveau de sortie sélectionnable) quand les conditions sur les voies A et B sont remplies ainsi que les signaux correspondant aux différentes conditions (OR logique et analogique des entrées des voies A et B, TRIGGER local des voies A et B, OU logique de toutes les entrées du module) sur des sorties dédiées (voir figure 2).



Figure 2: Face avant du SPLITTER/TRIGGER.

### Carte MPS\_BOARD (rapport interne LPSC05-9)

De nouvelles fonctionnalités ayant été ajoutées à l'acquisition de données de la partie française de la collaboration pour la mesure aux angles arrières de l'expérience GØ, le nombre de modules dépassait le nombre d'emplacements dans un seul châssis d'acquisition VXI taille C. Il a donc été nécessaire de répartir l'électronique d'acquisition dans deux châssis.



Figure 3

Certains signaux de contrôle n'étant présents que sur le premier châssis, il a fallu développer un ensemble de deux modules pour propager ceux-ci du premier châssis au deuxième, chaque module se plaçant dans l'un des châssis. La liaison entre ceux-ci se fait à l'aide d'un cordon RJ45 Ethernet (Figure 3).

Le premier de ces modules est émetteur/récepteur et se place dans le premier châssis, le second est récepteur et se trouve dans le deuxième châssis (le premier module pourrait être à la fois dans le premier et le deuxième

châssis mais certaines fonctionnalités décrites après ne seraient pas présentes).

Le deuxième module possède, outre sa fonction de récepteur de signal, d'autres fonctionnalités décrites ci-après :

- réception et mise en forme d'un autre signal de contrôle (seuil de déclenchement réglable);
- deux générateurs de test interne (30 Hz et 120 Hz) pour un fonctionnement de test en mode STAND ALONE;
- pilotage par programme de la carte (choix logiciel du signal de contrôle de l'acquisition);
- visualisation en temps du signal de contrôle de l'acquisition.

#### ◆ Expérience de tomographie (rapport interne LPSC05-07)

Le LPSC s'est engagé dès 2001 dans le cadre du programme interdisciplinaire IPA (Imagerie du Petit Animal), dans un projet de R&D sur un tomographe TEP à xénon liquide basé sur le fort rendement lumineux de ce scintillateur rapide. Pour cette expérience, il a fallu développer une électronique spécifique et le service a été chargé d'étudier un Convertisseur Temps/Numérique (CTN). Une carte électronique a également été réalisée pour tester le circuit.

#### Principe de fonctionnement du CTN

Ce circuit, conçu en technologie AMS CMOS 0,35  $\mu\text{m}$ , permet le marquage en temps des interactions qui se sont produites dans le module. Cette donnée correspond en fait au codage de l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre le dernier front montant d'une horloge commune à tous les modules (CLK signal START) et le signal fourni par le DFC de chaque module (signal STOP).

Le CTN utilise une ligne à retard comprenant 128 cellules de retard élémentaire dans laquelle se propage le signal d'horloge CLK. Lorsque le signal STOP est activé, l'état de la ligne est mémorisé et la logique de codage recherche la position du front montant du signal CLK dans la ligne à retard. Le retard entre le front montant de CLK et le signal STOP est alors obtenu en faisant le produit de la position par la valeur du retard élémentaire. La logique de codage ne peut fonctionner que s'il y a un et un seul front montant du signal CLK dans la ligne. Il faut donc que le retard cumulé des 128 cellules soit exactement égal à une période de CLK. Chaque cellule retard étant composée de deux inverseurs CMOS il est impossible de remplir la condition précédente sans un contrôle de la vitesse de commutation de chaque inverseur. La différence de retard entre deux inverseurs provenant de deux wafers différents peut aller du simple au double, de plus ces retards sont dépendants de la température ainsi que de la tension d'alimentation. L'asservissement de la ligne est réalisé en utilisant une DLL (Delay Locked Loop: boucle à verrouillage de retard). Voir figure 4.

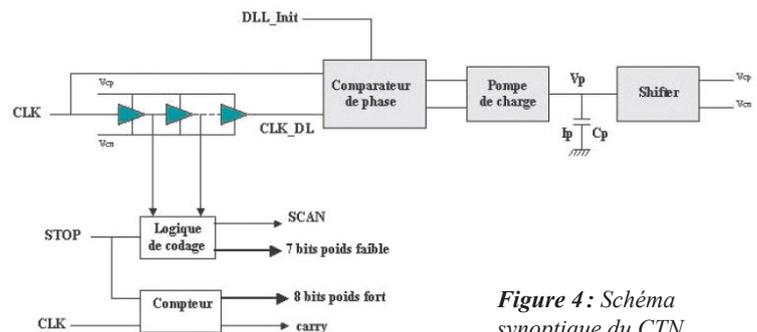


Figure 4: Schéma synoptique du CTN.

La DLL est constituée de la ligne à retard, d'un comparateur de phase, d'une pompe de charge et d'un étage shifter générant les tensions de contrôle Vcn et Vcp.

Le comparateur de phase commande la pompe de charge (et donc la vitesse de la ligne) de façon à ce que le retard entre les signaux CLK et CLK\_DL soit nul. Avec un tel dispositif, il y a un risque qu'à la mise sous tension la DLL se verrouille sur un retard qui soit non pas égal à une période de CLK mais à un multiple de cette période. L'entrée DLL\_init permet d'initialiser les tensions Vcn et Vcp à des valeurs conduisant à un retard faible pour les inverseurs de la ligne. Quand le signal DLL\_init est désactivé, le retard de la ligne est alors augmenté jusqu'à obtenir la valeur d'une période de CLK. Comme nous l'avons vu précédemment, la logique de codage fournit un mot de 7 bits correspondant au retard entre les signaux CLK et STOP.

La sortie SCAN donne accès, en mode test, à l'état logique des 128 cellules retard de la ligne (sortie série). Le CTN comprend également un compteur 8 bits qui permet d'étendre la pleine échelle à une valeur de 256 périodes de l'horloge CLK.

Les tests dans le cryostat ont montré que le CTN fonctionne au moins jusqu'à une température de  $-120^{\circ}\text{C}$ . La non-linéarité différentielle reste inchangée et la gamme de fonctionnement de la ligne à retard s'étend de 15 MHz à 50 MHz.

## Expérience EUSO : carte de test du circuit ASIC

Cette carte est pilotée par le port parallèle du PC. Elle est capable de configurer l'ASIC et de relire les données de sortie. Elle doit aussi écrire les seuils et valeurs DAC dans l'ASIC.

Elle doit pouvoir également :

- faire le reset du chip (activation du reset);
- passer en mode calibration (amélioration de la sensibilité);
- permettre de choisir la voie à présenter en sortie et aiguillage de l'ordre de lecture (0 = dynode et 1 → 9 choix de l'anode);
- générer des signaux d'écriture et de lecture;
- générer le signal de sélection. Il doit basculer entre 2 fronts d'écriture et le signal de lecture est désactivé pendant le basculement;
- générer un signal de déclenchement en sortie tous les n GTU ( $100 < n < 1000$ ) sur sortie BNC;
- générer un signal de sortie tous les GTU.

Le test se fait soit sur la voie dynode, soit sur une des voies anode. Il y a trois modes de fonctionnement :

- le mode manuel : le chip tourne en écriture, l'utilisateur choisit le moment de la lecture et les données réceptionnées sont écrites dans un fichier;
- le mode semi-automatique : tous les 128 (pour la dynode) ou 32 (pour les anodes) déclenchements valides, les données sont lues et stockées dans un fichier, ce cycle s'exécutera entre 100 et 1000 fois;
- le mode illimité : lecture tous les 32 ou 128 déclenchements de manière infinie jusqu'au stop manuel.

Les plans étant séparés, il a fallu prévoir un système d'alimentation séparé pour pouvoir mesurer la consommation de chaque partie du design (on utilise ou pas les régulateurs pour la partie analogique). Des picots de test seront implantés sur chaque signal numérique.

## CNAO

Dans le cadre de l'expérience CNAO, le service participe à l'étude et au développement de la partie numérique de l'électronique Low Level RF du synchrotron de CNAO. Ce travail est fait en collaboration avec le service électronique.

Le but de cette électronique est de piloter l'unique cavité accélératrice du synchrotron de CNAO à partir des consignes fournies par le centre commande/contrôle. Une première carte a été réalisée et testée au CERN en septembre 2005. Une nouvelle version incluant un DSP est en cours de développement et devrait être testée sur la cavité courant mars 2006.

## CREAM

Dans le cadre de l'expérience CREAM, le service est en charge du développement de toute l'électronique numérique d'acquisition de données. Le principe adopté est de placer le maximum d'électronique au plus près du détecteur et de faire une lecture de données avec suppression de zéro pour minimiser le temps mort et la quantité de mémoire liée à la mémorisation des données.

L'architecture matérielle s'articule principalement autour de trois modules électroniques, le module DAQ\_FEE, le module MERGER et le module SPARSIFICATION (Figure 5).

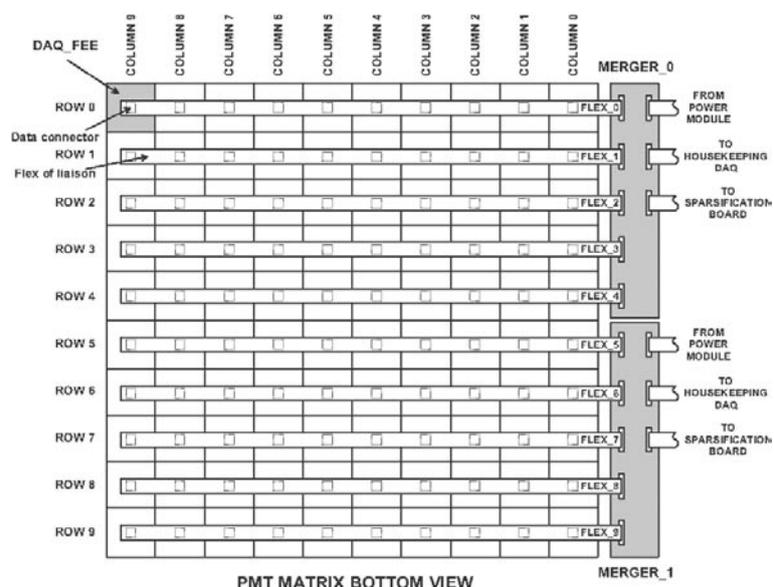


Figure 5: Synoptique de l'électronique d'acquisition pour CREAM.

### Carte DAQ\_FEE

Réalisation de cent modules appelés DAQ\_FEE. Ce module, placé au plus près d'une matrice de seize photomultiplicateurs, convertit seize valeurs analogiques en valeurs numériques avec un gain approprié. DAQ\_FEE

est capable de communiquer avec la carte de niveau supérieur (appelée MERGER) en recevant des commandes et en envoyant ses données grâce à un bus LVDS. La fréquence d'horloge de cette carte est de 40 MHz. Pour réaliser ces fonctions on utilise un ASIC développé au laboratoire, capable de lire seize valeurs analogiques, un convertisseur ANALOG DEVICE ADC7476, un circuit FPGA de la famille PROASIC de ACTEL et des drivers de bus LVDS pour la communication.

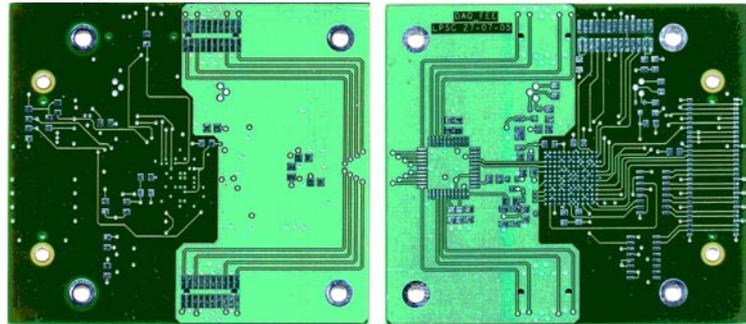


Figure 6: Carte DAQ\_FEE pour CREAM.

### Carte MERGER

Le rôle principal d'un module MERGER (CHERCAM en possède 2) est de centraliser les données venant des modules DAQ\_FEE de la moitié du détecteur et de sérialiser celles-ci vers le module de SPARSIFICATION. Ce module gère aussi l'alimentation des modules de conversion DAQ\_FEE et est architecturé autour d'un circuit de logique programmable basé sur la technologie de mémorisation FLASH. Pour l'instant, seules les études mécaniques et électriques ont été faites (conduisant à la fabrication du circuit imprimé présenté figure 7). Le contenu du FPGA est à l'état embryonnaire et reste à définir complètement.

Le test de ce module est prévu au cours du premier trimestre 2006.

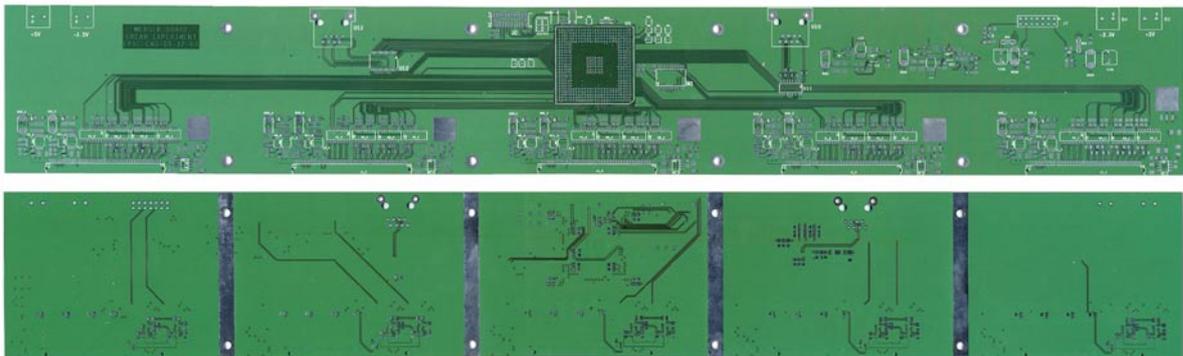


Figure 7: Un module MERGER pour CREAM.

## ◆ Recherche et développement

### Carte codeur de charge 16 voies (rapport interne LPSC04-101)

La carte QDC16 a pour fonction d'effectuer des intégrations de charges sur 16 voies indépendantes et de les convertir en données 12 bits. En entrée les impulsions de courant sont négatives. Les impulsions logiques sont au standard NIM.

Elle est conçue au format VME avec un connecteur auxiliaire (type CERN). Elle intègre aussi les fonctionnalités suivantes (tous les réglages sont individuels) :

- réglages des piédestaux ;
- suppression de voie avec seuils réglables ;
- sélection du calibre d'intégration ;
- bufferisation de 512 mots (permet 25 événements avec toutes les voies conservées) ;
- génération d'une interruption VME en mode coup par coup ;
- échelle glissante ;
- possibilité d'intégrer les voies en utilisant soit des portes individuelles, soit une porte commune.

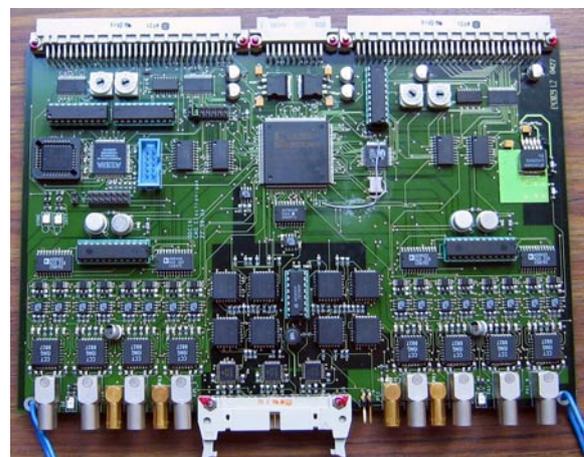


Figure 8: Carte codeur de charge 16 voies.

Une interface graphique développée sous UNIX et représentant le synoptique fonctionnel de la carte permet d'effectuer les réglages et de les télécharger par une liaison Ethernet.

### Carte générateur

Pour faciliter le réglage des expériences, le service a développé une carte générateur de signaux. Le rôle de cette carte est de générer des signaux de test pour régler les acquisitions de données lors de leur montage sans avoir besoin des signaux des détecteurs (Figure 9).

Une interface graphique développée sous UNIX et représentant le synoptique fonctionnel de la carte permet d'effectuer les réglages et de les télécharger par une liaison Ethernet. Cette carte est au format VME et a pour caractéristiques :

- deux modes de fonctionnement autonome (la carte n'utilise que les alimentations du fond de panier VME), ou programmé (les différents paramètres décrits ci-après sont initialisés à travers le bus VME);
- fréquence programmable dans une plage allant de 10 Hz à 100 MHz;
- générateur de fréquence en mode continu ou en mode train d'impulsions (nombre d'impulsions programmable);
- générateur pseudo aléatoire en mode continu ou en mode train d'impulsions;
- générateur arbitraire en mode continu ou en mode boucle (cette fonction n'est accessible qu'à travers le mode programmé car il faut initialiser la mémoire interne de la carte ce qui est impossible manuellement);
- technologie de sortie programmable par switch;
- synchronisation du fonctionnement de la carte par un signal extérieur.

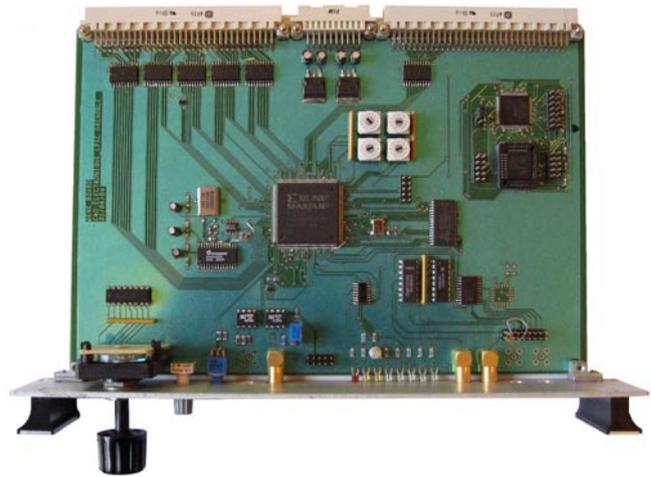


Figure 9: Carte générateur de signaux de test.

### Carte USB-GPIB

Cette interface permet de communiquer avec le bus GPIB par l'intermédiaire du bus USB (Figure 10). Elle permet de contrôler divers appareils de laboratoire sans avoir à faire appel aux logiciels et cartes de *National Instruments*. La programmation des cycles se fait en langage C++. Une bibliothèque de fonctions (DLL) est fournie, contenant les commandes nécessaires pour réaliser des acquisitions sur le bus GPIB. La carte n'accepte que le PC comme seul contrôleur du bus GPIB et peut fonctionner soit en mode *polling*, soit en mode interruption. Le taux de transfert maximum est de 1,4 Mo/s.

Actuellement le module fonctionne sous les systèmes Windows (2000, Millenium et XP).



Figure 10: Carte Interface USB-GPIB.

# Service Informatique

*B. Bouterin, S. Albrand, J. Fulachier, C. Gondrand, F. Lambert, F. Melot, P. Meyrand, J. Mirasolo, J. Piarulli.*

*The service has two principal roles:*

- *the administration and maintenance of the computing infrastructures, in particular the network and the various server;*
- *the development of software applications for high energy physics, and the software development support for research groups.*

## ◆ Exploitation des infrastructures informatiques du laboratoire

Le service informatique met en œuvre les infrastructures informatiques répondant aux besoins d'environ 200 utilisateurs. Parmi ses missions on peut noter : la bonne marche des serveurs et des services du réseau, l'exploitation quotidienne d'un parc de plus de 500 machines, le conseil et l'assistance aux utilisateurs, la mise en place d'outils de surveillance des services, l'administration et la supervision du réseau local.

### Services

Le service informatique met en œuvre et exploite les ressources suivantes : serveurs de données (16 To répartis sur 5 serveurs fin 2005), sauvegarde centralisée, messagerie, DNS, Active Directory, serveurs d'applications Windows, serveurs Web internes et externes, serveurs d'impression, système de visioconférence, serveurs CVS à usage interne et externe, serveurs de Bases de Données à usage interne et externe.

Pendant la période 2004-2005 l'équipe informatique a fourni un effort important pour consolider les services offerts aux utilisateurs externes et en améliorer la disponibilité. En effet cette période a vu le passage en production des services *ATLAS TagCollector* et *ATLAS Bookkeeping*, dont l'exploitation matérielle et logicielle est assurée par le laboratoire. Ces outils logiciels doivent être opérationnels 24 heures sur 24 car ils sont utilisés quotidiennement par plus d'une centaine de physiciens répartis sur l'ensemble du globe.

Des outils de surveillance des services ont été déployés pour générer des alertes en cas d'incident. Pour les ressources les plus critiques (climatisation, onduleur) un message téléphonique est envoyé aux administrateurs.

Services mis en place en 2004-2005 :

- augmentation à 16 To de la capacité des serveurs de données ;
- mise en production de *ATLAS TagCollector* et *ATLAS Bookkeeping* ;
- mise en place et exploitation d'un serveur CVS accessible depuis l'extérieur de façon sécurisée. Ce service est utilisé par le personnel du LPSC et nos collaborateurs de l'IPNO, de l'IMAG, du CENBG, de SUBATECH, de l'université de Cantabria Santander (Espagne) ;
- répliqués à des fins de sauvegarde au LPSC du *repository* CVS de nos correspondants de l'université de Glasgow.

### Réseau

En 2005 le point d'accès réseau du LPSC a évolué depuis une ligne spécialisée fournie par Complétel vers le réseau métropolitain METRONET. Cette migration a permis l'augmentation de débit de 20 Mbits/s à 100 Mbits/s. Un secours de ce réseau via l'ESRF est prévu et sera mis en place en 2006.

Il y a 3 ans le réseau local du LPSC a été complètement remodelé pour permettre la création de plusieurs réseaux logiques basés sur la technique des VLAN(s) *Virtual Local Area Network*. Un de ces réseaux est dédié aux machines du laboratoire, un autre est destiné aux visiteurs. Ces réseaux sont séparés par un firewall. Un serveur VMPS *VLAN Membership Policy Server* a été installé pour permettre l'identification automatique et l'attribution du VLAN au moment de la connexion d'une machine au réseau.

Un réseau sans fil comprenant 8 bornes a été déployé, permettant la connexion de visiteurs ainsi que celle des portables du laboratoire. Un système de contrôle d'accès au Wi-Fi a été établi. Il est basé sur un écran captif demandant une validation par courrier électronique au correspondant du laboratoire.

La base de données pour la gestion du matériel et du réseau a été complètement remodelée en 2005 pour permettre sa mise à jour automatique chaque fois que cela est possible. Ainsi les informations permettant de situer géographiquement une machine (n° de prise, n° de bureau, port, commutateur ou borne Wi-Fi, VLAN etc.) sont mises à jour quotidiennement de façon automatisée.

### Parc de machines

#### ▪ Serveurs

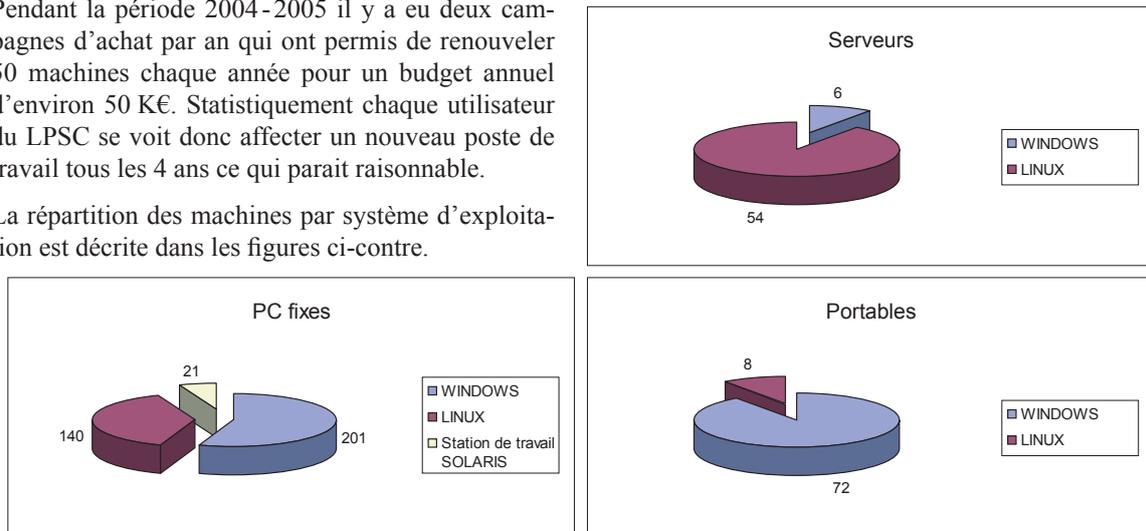
La période 2004-2005 a vu une augmentation significative du parc de serveurs (machines en rack installées dans une salle informatique dédiée). Pendant cette période 14 serveurs ont été acquis pour être affectés à des services, tandis que 30 serveurs de calcul (dont les plus performants ont 4 processeurs) étaient achetés pour les expériences.

#### ▪ Postes de travail

Depuis 4 ans les acquisitions de postes de travail s'effectuent dans le cadre de campagnes d'achat afin d'assurer une meilleure qualité dans la gestion du parc : meilleure connaissance du parc informatique et homogénéité des matériels et des logiciels.

Pendant la période 2004-2005 il y a eu deux campagnes d'achat par an qui ont permis de renouveler 50 machines chaque année pour un budget annuel d'environ 50 K€. Statistiquement chaque utilisateur du LPSC se voit donc affecter un nouveau poste de travail tous les 4 ans ce qui paraît raisonnable.

La répartition des machines par système d'exploitation est décrite dans les figures ci-contre.



### ◇ Développement et exploitation de systèmes informatisés pour les expériences de physique

#### Expérience ATLAS

Le service informatique est impliqué dans trois groupes de travail de l'expérience ATLAS : *Databases*, *Data challenge* et *Software Infrastructure*. Il a en charge la conception, le développement et l'exploitation des logiciels AMI <http://ami.in2p3.fr>, *ATLAS Bookkeeping*, *ATLAS TagCollector* décrits ci-après. De plus, S. Albrand est co-responsable de l'assurance qualité du logiciel « off-line » d'ATLAS. Elle a organisé un certain nombre de revues de projet et contribué à la réalisation de documents de travail sur les règles de codage C++ et la mise en place des outils de vérification de code.

#### ▪ AMI ATLAS Metadata Interface

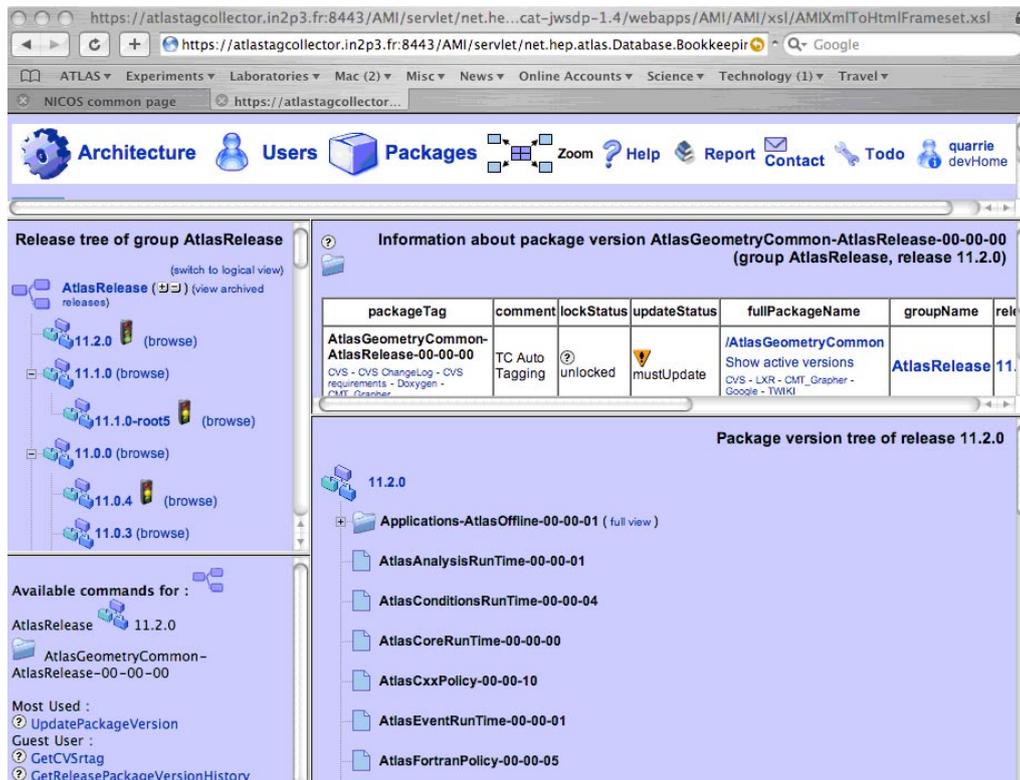
Ce projet fournit les interfaces nécessaires pour gérer une base de données. AMI met en œuvre une architecture 3 tiers et s'appuie sur la technologie des *servlets java*. Il est largement utilisé dans les développements d'ATLAS et a fait l'objet de plusieurs communications à CHEP *Computing in High Energy Physics* à San Diego, USA en mars 2003, puis à Interlaken, Suisse en septembre 2004.

Une application majeure d'AMI développée au LPSC est le *Production Bookkeeping* d'ATLAS : catalogue permettant la sélection des métadonnées issues de la production Monte-Carlo de l'expérience en fonction des attributs fournis par les physiciens. Ce projet dépasse maintenant le cadre du LPSC, en particulier l'université de Glasgow y participe depuis 2004.

L'équipe du LPSC assure l'exploitation du serveur de *Bookkeeping* d'ATLAS pour les tests partiels (*Data Challenge*, *Combined Test Beam*) du système. Pendant la période 2004-2005, AMI a été utilisé pour le *Bookkeeping* de DC2 *Data Challenge 2*, et pour le *Combined Test Beam* avec des données issues de l'acquisition et de la simulation.

## ▪ ATLAS TagCollector

ATLAS TagCollector est un outil complémentaire de CVS, pour la gestion des versions de logiciels.



TagCollector permet, dans un environnement faisant collaborer des centaines de développeurs, de marquer les versions de logiciels qui fonctionnent ensemble. L'application TagCollector a été totalement réécrite pendant la période 2004-2005.

Cet outil est très utilisé par les développeurs d'ATLAS, et le serveur correspondant – dont l'exploitation est assurée par le LPSC – enregistre en moyenne plus de 100 connexions journalières ! Ce service est critique pour la production du logiciel d'ATLAS.

Pour ces projets de nouveaux enrichissements sont régulièrement introduites, comme par exemple la mise en place de services Web pour faciliter l'intégration à la grille Grid Middleware.

### Planck

Le LPSC est impliqué dans l'étude et la réalisation de l'électronique et de l'informatique nécessaires au pilotage de la machine cryogénique à 20 K, nommé *sorption cooler*, développé par la NASA au *Jet Propulsion Laboratory*.

Le service informatique a en charge l'écriture de la *Mission Information Base MIB*, qui décrit les télémetries et télécommandes échangées entre l'électronique du *sorption cooler* et la station terrestre.

Les tests de cette MIB sont d'abord effectués au LPSC, grâce à l'installation d'un *EGSE Electrical Ground System Equipment*: SCOS2000, et d'une chaîne d'intégration. Une validation de cette base est également effectuée lors de tests plus conséquents, avec une collaboration entre Alcatel Space, l'ESA et la NASA. Le service a un rôle très important d'interface avec ces différents interlocuteurs.

### Gate

- Développement du site Web pour la documentation du projet ainsi que sa mise à jour automatique à partir des développements effectués dans le *repository* CVS de la collaboration.
- Développement d'un moteur de recherche par mots-clés sur tout ou partie du site.

### Codalema

Le service informatique a mis en place un système de pilotage à distance et de réplication des données du système d'acquisition implanté sur le site de Nancay pour l'expérience CODALEMA (Détection des Rayons Cosmiques par Ondes Radio).

## Autres développements

### ▪ Réservation PHPMYRESA

Développement d'un système de réservation, PHPMYRESA. Ce projet a été effectué en collaboration avec le Centre de Calcul et le LPNHE, il est diffusé sous licence GPL. Ce logiciel est très largement diffusé au-delà de l'IN2P3 comme le montre le nombre de téléchargements effectués (plus de 300 à ce jour).

Il a été présenté aux Webmasters et aux responsables des services généraux de l'IN2P3. Il a été adopté par 12 laboratoires sur 18.

### ▪ Extra

Le service informatique du LPSC est à l'origine du développement du logiciel Extra de surveillance réseau. Pendant la période 2004-2005 nous nous sommes attachés à la valorisation de cet outil. Ainsi fin 2004 la décision de déployer Extra dans les 18 laboratoires de l'IN2P3 a été prise avec le Centre de Calcul de l'IN2P3.

Pour faciliter le déploiement il a été décidé d'intégrer les éléments nécessaires (Linux, base de données MySQL, serveur Web Tomcat) sur un CDROM. Le service a pris la responsabilité de parties importantes de ce projet effectué en collaboration avec le Centre de Calcul et l'IPN de Lyon :

- le développement en Java d'un nouveau collecteur plus performant pour supporter la charge réseau du Centre de Calcul : pointes à 600 Mbits/s et plus de 300 000 insertions par période de 5 mn dans la base de données MySQL !
- la configuration du serveur Tomcat utilisé par Extra pour accepter l'authentification des utilisateurs par certificats électroniques. Cette authentification permet de garantir le respect des rôles définis dans la politique de gestion des traces du CNRS ;
- la création d'une distribution sous forme de paquetage pour l'installation et la mise à jour automatisée d'Extra.

Extra a été présenté aux JRES 2005 à Marseille du 5 au 9 décembre 2005 dans le cadre d'un poster et d'une démonstration.

Début 2006 Extra était utilisé dans 12 laboratoires de l'IN2P3. Le déploiement devrait être terminé sur l'ensemble des laboratoires de l'IN2P3 au premier trimestre 2006.

Le logiciel PHPMYRESA.

Le logiciel Extra.

## ◇ **Autres activités**

### **Activités de Formation**

#### ▪ **CVS**

Formation CVS diffusée à plusieurs reprises dans le cadre de la formation permanente du CNRS.

#### ▪ **École IN2P3 authentication**

Responsabilité scientifique et participation aux cours de l'école IN2P3 *Authentication Centralisée*. Cette école a rassemblé une quarantaine de participants au Centre Paul Langevin (Aussois) du 17/10/2005 au 22/10/2005. <http://ecoles.in2p3.fr>.

#### ▪ **« Parlez-vous réseau ? » Université Joseph Fourier**

Intervention dans la session 2005 de l'école *Parlez-vous réseau ?* organisée par la mission ressources humaines de l'Université Joseph Fourier.

#### ▪ **DESA Casablanca Maroc**

Cours de sécurité informatique dans le cadre de la formation DESA en Informatique scientifique en physique expérimentale des hautes énergies.

## ◇ **Organisation de Workshop**

En 2004 constitution en collaboration avec l'université de Glasgow, d'un groupe inter expériences sur les métadonnées. Organisation du deuxième *Meta data workshop*, du 25 au 28 avril 2005 à Grenoble. Cette réunion a rassemblé une vingtaine de participants venant de 5 expériences auxquels se sont ajoutés des représentants de LCG et EGEE.

## ◇ **Mission Sécurité Informatique IN2P3**

B. Bouterin est chargé de mission Sécurité Informatique auprès de la direction de l'IN2P3, il est également coordinateur sécurité dans l'organisation sécurité du CNRS.

### **Journées sécurité IN2P3**

Organisation des journées sécurité IN2P3 : <http://cert.in2p3.fr>

- 22, 23 janvier 2004 : CC IN2P3 Villeurbanne
- 3, 4 février 2005 : GANIL Caen

Ces réunions ont rassemblé respectivement 40 et 50 participants.

### **Collaboration CNI (Tunis)**

Pour faire suite à la demande du CNI nous avons défini mi 2002 un programme pour une école de Sécurité Informatique. Il s'agit d'une formation sur 5 jours avec des travaux pratiques.

Pour cette formation, les intervenants sont B. Bouterin (LPSC) et B. Delaunay (Centre de Calcul IN2P3). Cette école a eu lieu à 3 reprises au CNI – Tunis pendant la période 2002-2003 et à 2 reprises pendant la période 2004-2005.

## ◇ **Encadrement de stagiaires**

Encadrement de 10 stagiaires d'origines diverses principalement sur des projets de développement pendant la période 2004-2005.

## Services Généraux

P. Roisin, C. Bernard, N. Ben M'hamed.

Outre les travaux d'entretien récurrents, quelques réalisations notables ont été effectuées, certaines entièrement prises en charge par les Services Généraux, d'autres par des entreprises sous-traitantes.

### ◆ Économies d'énergies

La campagne d'économies d'énergie se poursuit, les résultats sont moins probants que sur la période 2002-2003 mais restent néanmoins intéressants. Principales actions menées en 2004-2005 :

- remplacement de 90% des ampoules incandescentes par des ampoules fluo compactes ;
- installation d'une quinzaine de programmateurs sur les ballons d'eau chaude, interdisant ainsi le démarrage de ceux-ci lors des heures de pointes ;
- câblage de cellules photosensibles sur les éclairages communs ;
- optimisation grâce aux relevés de courbes de charge (Figure 1) ;
- changement d'équipements sanitaires ;
- remplacement de 30 blocs fenêtres.

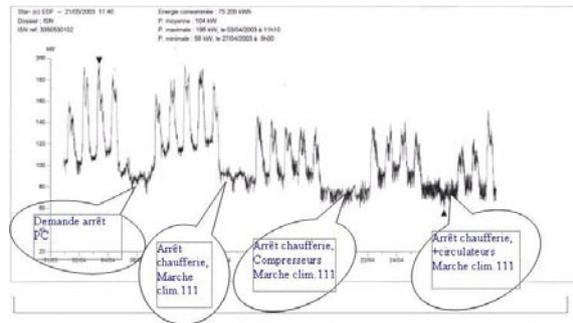


Figure 1 : Relevés de courbes de charge.

### ◆ Les travaux réalisés

#### Infrastructure

- rénovation des locaux de CAO électronique et mécanique ;
- changement des faux-plafonds de l'entrée principale et des couloirs du rez-de-chaussée (Figure 2) ;
- rénovation complète d'une partie du bâtiment pour l'installation de la Plateforme d'Étude et de Recherche pour l'Énergie Nucléaire (PEREN) ;
- mesure conservatoire d'étanchéité sur la toiture du bâtiment 8 (Figure 3) ;
- réhabilitation du bâtiment 4A pour accueillir l'équipe Plasmas Matériaux Nanostructures ;
- élargissement d'un passage pour le transport des coupleurs RF de SPIRAL 2 (Figure 4) ;
- création d'une salle blanche pour les coupleurs RF du projet SPIRAL 2 de classe 1000 (ISO 6) ;
- mise en place d'un portillon d'accès au site.



Figure 2 : Les nouveaux faux-plafonds de l'entrée principale.

#### Électricité

- câblage d'un nouveau portillon sur contrôle d'accès existant ;
- fin de la mise en conformité du bâtiment principal ;
- installation et mise en place du réseau électrique pour les expériences de l'équipe Plasmas Matériaux Nanostructures (Figure 5) ;
- installation et mise en place du réseau électrique pour PEREN ;
- équipement CAO électronique et mécanique.



Figure 3 : Travaux d'étanchéité sur la toiture du bâtiment 8.

**Plomberie**

- remplacement de 90 m de tuyaux des réseaux d'eau de ville et d'eau industrielle;
- remplacement et adaptation d'une cinquantaine d'équipement sanitaires;
- pose de climatisations à refroidissement à eau en salle informatique;
- pose de sous-compteurs d'eau;
- remise en état d'une ligne d'eau industrielle pour l'équipe Plasmas Matériaux Nanostructures.

**Chauffage**

- changement des vannes au bâtiment 8;
- changement de la régulation et de la sonde du bâtiment 9;
- installation d'un réseau complet de chauffage (12 radiateurs), d'une régulation ainsi qu'une CTA pour PEREN (Figure 6).



*Figure 4: Élargissement d'un passage pour le transport des coupleurs. RF de SPIRAL 2.*



*Figure 5: Installation électrique pour le CRPMN.*



*Figure 6: Installation du chauffage, de la régulation et d'une CTA pour PEREN.*

## Valorisation et Transferts de Technologies

*Research and development for technology transfer are presented: developments in electronics, microelectronics, detectors, informatics, electron guns, UV sources and treatments by plasmas; a low-background laboratory for detection of very low specific activities; surface treatment by thin metalised films.*

Le laboratoire a poursuivi et diversifié ses activités de valorisation en liaison étroite avec le chargé de mission valorisation de l'IN2P3.

Des opérations sont suivies depuis de longues années, notamment en électronique, dans les détecteurs, dans le traitement de surfaces avec la société Techmeta, les mesures de faibles radioactivités.

Pour la première fois, une personne du LPSC va participer à l'aventure de la création d'une petite entreprise qui valorisera son invention.

L'implantation récente du Centre de Recherche Plasmas-Matériaux-Nanostructures (CRPMN) au LPSC accélère de manière très significative l'activité de valorisation du laboratoire.

D'autres développements, décrits par ailleurs dans ce rapport d'activité, pourraient donner à l'avenir des actions de valorisation : la tomographie, la hadronthérapie avec le lancement du projet ETOILE à Lyon et certains développements dans l'énergie nucléaire...

Les nombreuses compétences techniques et scientifiques du LPSC permettent de répondre à diverses sollicitations d'industriels, parfois très ponctuelles comme des actions de formation à des logiciels de simulation, des tissages de fils fins, des montages de détecteurs, des réalisations de pièces mécaniques...

### ◆ Laboratoire de mesure des faibles radioactivités

*R. Brissot, M. Heusch, J.-P. Richaud.*

Le laboratoire des faibles radioactivités a mesuré, au cours de ces deux dernières années, environ 120 échantillons :

- pour le compte de la recherche fondamentale (groupe réacteurs et service des accélérateurs du laboratoire, CEA Cadarache) ;
- pour diverses branches de l'industrie privée : mesure de radioéléments d'origine naturelle pour le compte de CEZUS-AREVA, matériaux de construction pour le compte de l'industrie du bâtiment (CERIB) ;
- pour l'environnement : contrôle de la radioactivité des nappes phréatiques.

Le laboratoire a participé à la sélection du nickel servant à la réalisation de l'arrêt faisceau de IPHI. Les mesures ont notamment permis d'identifier la présence inattendue de  $^7\text{Be}$ , probablement produit par réaction (p,n) sur des traces de lithium dans le nickel.

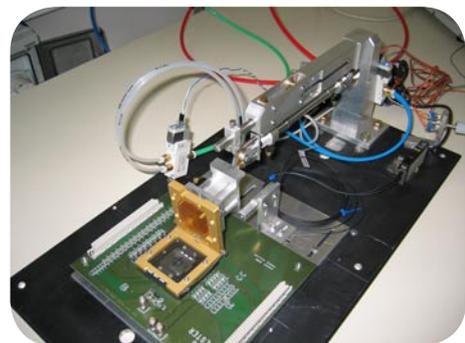
Une collaboration avec le CEA Cadarache a également débuté en 2005 (programme FLUOLE). Elle cherche à améliorer la connaissance de la fluence neutronique subie par la cuve des réacteurs à eau pressurisée de la filière actuelle et de l'EPR. Les performances du laboratoire permettent en effet de mesurer de très faibles flux de neutrons rapides, responsables des dommages par irradiation, par activation de cibles à seuil de réaction élevé.

### ◆ Électronique

*R. Foglio, A. Patti, D. Dzahini, L. Gallin-Martel, J.-P. Richer, D. Tourres.*

Le service d'électronique est très attentif à la valorisation des résultats de ses nombreuses études, notamment en microélectronique (voir des détails dans l'activité du Service Électronique).

Une collaboration avec le centre de compétences en conception de circuits intégrés (C4I) a été mise en place. Elle se traduit par la location du robot de test des circuits ASIC qui avait été construit au LPSC pour tester des circuits de la collaboration ATLAS. Le C4I a aussi demandé la réalisation d'une tête de test spéciale pour le robot afin qu'il puisse recevoir le support des chips NINO pour ALICE.



*Figure 1 : Tête de test spéciale du robot pour les circuits NINO d'ALICE.*

- L'université de Giessen en Allemagne a sollicité le service pour obtenir divers circuits : circuits hybrides (convertisseur charge tension), un circuit ASIC *QAC*, ce qui a entraîné la réalisation d'un circuit de test spécifique.
- La société CAEN est toujours intéressée par nos réalisations qui leur permettent d'enrichir leur catalogue de tiroirs (NIM, VME...)
- L'ILL a demandé la réalisation de modules NIM convertisseur temps-amplitude et de discriminateurs à fraction constante pour équiper une expérience.
- L'Université de Triumph a aussi bénéficié de circuits réalisés au LPSC.
- Dans le cadre d'un contrat de collaboration, le service a formé un ingénieur électronicien de l'ILL à la conception de circuits ASIC, ce stage a donné lieu à une soutenance de mémoire pour obtenir le diplôme d'ingénieur CNAM.
- Un brevet a été déposé en microélectronique sur une nouvelle architecture de régulation d'offset dans les comparateurs. Le principe utilisé permet de réduire d'au moins un facteur 10 la consommation des comparateurs rapides et de faible offset. Il ouvre de nouvelles perspectives pour la conception des convertisseurs analogiques-numériques de type flash ou pipeline dans la meure où un offset de 100  $\mu\text{V}$  est raisonnablement envisagé. Dans le contexte de la conception de circuits analogiques dans les nouvelles technologies de faible tension de polarisation, cette nouvelle architecture est une solution astucieuse pour les problèmes de détection et de conversion de faibles signaux. De plus il permettra d'élargir la gamme dynamique des convertisseurs rapides.

### ◆ Sources UV pour la stérilisation de l'eau : RC-lux

*P. Sortais.*

P. Sortais, du service des sources d'ions, a fait un effort important de valorisation des technologies des sources ECR, en inventant un concept original de lampes de haut rendement et facilement modulables en intensité. La première application pratique de cette invention est la stérilisation en continu de l'eau, qui est un marché en pleine expansion.

Il a décidé de participer à la création d'une entreprise, RC-Lux, qui produira des stérilisateur UV pour l'eau des robinets. Il s'agit d'une proposition originale et très innovante et l'inventeur et le LPSC sont lauréats 2005 du prix des techniques innovantes pour l'environnement décerné par l'ADEME.

La collaboration RC-Lux avec le LPSC est soutenue par la région Rhône-Alpes qui a financé l'achat d'un spectromètre UV permettant de qualifier les performances physiques de ce nouveau type de lampes.

### ◆ Informatique : valorisation de TagCollector

*S. Albrand, F. Lambert.*

TagCollector est une application de base de données avec une interface Web très puissante. Elle a été conçue au LPSC pour aider à la gestion du logiciel *off-line* d'ATLAS. En effet, la taille de la collaboration, environ 300 développeurs, et leur distribution géographique rendait nécessaire un moyen pour centraliser l'information concernant les versions des différentes parties du logiciel à construire ensemble. TagCollector a permis d'augmenter l'efficacité de la procédure en diminuant les erreurs, et en fournissant des outils pour appliquer la politique de management du logiciel. Le premier prototype était victime de son propre succès, et la collaboration a demandé une refonte de l'application, avec beaucoup plus de fonctionnalités et de modularité. Un premier contrat accordé à la fin de 2003 par le Comité d'Orientation des Moyens Informatiques du CNRS, suivi par un CDD en 2004-2005 a permis de prendre en compte les différents besoins et ensuite de développer cette nouvelle version, qui a été mise en production pour ATLAS en avril 2005. Depuis cette date nous avons eu des contacts avec d'autres expériences pour la mise en place d'autres instances de l'application. Nous envisageons de mettre l'application en libre accès, avec une licence de type CECILL.

### ◆ Traitements des surfaces par plasmas

*J. Menet, G. Callois, P. Oving (ingénieur Techmeta), V. Comparat.*

Il s'agit de la poursuite de la collaboration entre le laboratoire et la société Techmeta qui a débuté il y a 15 ans. Cette collaboration a été récompensée par la remise en 2004 à J. Menet, du prix de la valorisation de l'IN2P3 (rubrique Transferts de technologies), avant son départ à la retraite.

Celui-ci a mis au point des sources de grandes dimensions, notamment une source atomique, qui allait permettre de décaper de manière très efficace des surfaces isolantes. Cette source est l'élément original et essentiel pour le traitement de surfaces isolantes car elle permet aux couches métalliques déposées ensuite par pulvérisation, d'avoir une très bonne adhérence sur le substrat.

La société Techmeta, spécialisée dans la soudure par canon à électrons, a construit avec notre collaboration, une machine automatique de dépôt de couches métalliques sur des surfaces atteignant  $1,2 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$ . Cette machine est actuellement capable de produire  $10 \text{ m}^2$  de surfaces traitées à l'heure, ce qui fait baisser notablement les coûts de production. Elle est consacrée principalement au dépôt sur du verre de couches métalliques résistives permettant la productions d'éléments chauffants par effet Joule.

Les productions sont :

- des miroirs chauffants, commercialisés par différentes petites structures ;
- des chauffe-plats pour les repas délivrés par les hôpitaux, commercialisés par la société ISECO ;
- des radiateurs électriques classiques par la société AMSTUTZ.

Ce prix de la valorisation rend hommage à une collaboration exemplaire entre une PME dynamique et un laboratoire de recherche fondamentale. Il faut souligner le fait qu'un débouché vers des applications grand public n'est pas si courant.

Des études ont été aussi menées pour améliorer les performances des canons à électrons pour la soudure sous vide, notamment par l'amélioration du blindage magnétique.

D'autres développements sont en cours pour des dépôts d'or ou de germanium suite à des demandes de divers industriels à Techmeta.

### ◆ Valorisation du CRPMN (EPM - LPSC)

*J. Pelletier, A. Lacoste, S. Béchu, A. Bès, J. Sirou, D. Vempaire.*

#### **Dépôt de brevets et cessions de licences**

Le Centre de Recherche Plasmas-Matériaux-Nanostructures (CRPMN) poursuit une politique très active de dépôt de brevets, avec un dépôt en cours (procédé d'élaboration de nanostructures), accepté par le CNRS, et quatre nouvelles demandes soumises (cf. liste ci-dessous). Ces demandes concernent des inventions qui vont conforter et compléter des demandes antérieures sur les technologies plasmas (nouvelle génération de sources plasma micro-onde) et les procédés plasmas (gravure, nettoyage des réacteurs). Une demande de soutien au transfert (support financier de 45 000 € et un an de IR de valorisation) a été soumise pour les deux demandes relatives aux nouvelles technologies plasma.

Quant aux demandes de brevets de procédés, elles résultent des recherches effectuées dans le cadre de contrats de la Région Rhône-Alpes (micro-filtration) et de l'Europe (projet STREP-MATECO) :

- D. Vempaire, S. Miraglia, J. Pelletier, D. Fruchart. Procédé de réalisation de microstructures multi-couches à propriétés magnétiques ou électroniques contrôlées (demande acceptée, dépôt en cours) ;
- J. Pelletier, A. Lacoste, S. Béchu, A. Bès. Procédé et dispositif de production de plasma à partir de structures magnétiques multipolaires (demande en cours) ;
- J. Pelletier, A. Lacoste, S. Béchu. Procédé et dispositif de confinement et de production de plasma à partir de structures magnétiques distribuées (demande en cours) ;
- J. Pelletier, A. Lacoste, S. Béchu, J. Sirou, A. Bès. Procédé de nettoyage d'un réacteur à parois métalliques par gravure chimique assistée par plasma (demande en cours) ;
- J. Pelletier, A. Lacoste, J. Sirou. Procédé plasma de gravure anisotrope par passivation latérale contrôlée des parois de gravure (demande en cours).

Un certain nombre de cessions de licences ont été délivrées par le CNRS à la société Surtec (2 cessions) et à la start up Boreal Plasma (2 cessions plus une en cours). À l'heure actuelle, plus de la moitié des brevets déposés par le groupe depuis 2000 fait l'objet d'une exploitation industrielle. De nouvelles cessions de licences sont en discussion.

#### **Création d'entreprise, partenariats industriels et contrats**

Un premier fait marquant de l'activité de valorisation économique est la création en janvier 2005 de Boreal Plasma, start-up du CNRS issue de l'incubateur grenoblois (projet ABCD Plasma). Cette société a pour objectif d'industrialiser les plasmas multi-dipolaires et les plasmas micro-onde matriciels. Dans l'attente de la création de Boreal Plasma, c'est la société Surtec qui a assuré en 2004 cette industrialisation (cf. cessions de licences).

Un second est la création de l'ERT (Equipe de Recherche Technologique) *Plasmas HF* avec la société HEF R&D. Le Ministère de la Recherche a toutefois indiqué que cette ERT ne serait pas financée en 2006, mais seulement à partir de 2007 dans le cadre du prochain contrat quadriennal. En attendant, un accord de partenariat a été signé fin 2005 entre le CNRS et HEF R&D dans le cadre d'un contrat-relais.

Il est prévu que le CRPMN prenne en charge la poursuite du partenariat du LPSC avec la société Techmeta.

De nombreux contrats se sont déroulés en 2004-2005 :

- contrat *Performance*, Ministère de l'Industrie / HEF R&D, projet TIAG, (15/07/2001 - 24/01/2005);
- contrat Région Rhône-Alpes, Réalisation de microfiltres, (01/09/2003 - 31/08/2006);
- contrat européen STREP-MATECO, HEF R&D, (01/02/2004 - 31/01/2007);
- contrat ARCELOR / IMPHY Alloys, Implantation PBII dans alliages spéciaux, (2004);
- contrat CEA-DRFMC, Dépôt d'erbium par pulvérisation, (2004);
- contrat Région Rhône-Alpes, Filière plasma francophone + bourse, MIRA 2004, (2004);
- contrat Schneider Electric, Dépôt d'alliages magnétiques à mémoire de forme, (2005);
- contrat CEA-DRFMC, Dépôt d'erbium-nickel par copulvérisation, (2005);
- contrat Nitruvid, Modification des énergies de surface par implantation, (2005);
- contrat Région Rhône-Alpes, Filière plasma francophone + bourse, MIRA 2005, (2005);
- contrat HEF R&D, Optimisation des plasmas micro-onde multi-dipolaires, (2005-2006)

J. Pelletier a des activités de consultance auprès de Metal Process et d'Air Liquide. Il est aussi expert ANVAR.

## ◆ Divers

*V. Comparat, A. Pélissier, O. Guillaudin, O. Meplan, J.-M. De Conto.*

La machine à tisser des fils fins, mise au point pour tisser des plans de fils de chambres à fils a permis de valoriser ce savoir faire :

- pour un industriel, Biospace, qui avait besoin de plans de fils pour la réalisation de détecteurs pour la radiographie médicale par rayons X;
- pour une équipe russe de Dubna qui a fait tisser des fils et monter une grande chambre à fils pour détecter les neutrons auprès du réacteur de recherche de Dubna. Cette chambre à fils était délicate à réaliser car elle avait un trou au centre pour laisser passer le faisceau de neutrons;
- pour une expérience de mesure de la polarisation du fonds diffus cosmologique qui avait besoin de polarimètres réalisés à base de plans de fils fins très serrés;
- la société Trixell qui commercialise les détecteurs électroniques pour la radiographie médicale a demandé au laboratoire une mesure de fluorescence X d'un matériau entrant dans la composition du détecteur. Ceci a été réalisé auprès d'un générateur X servant aux tests de détecteurs;
- la société ATR Ingénierie a sollicité le laboratoire pour la formation de deux de ses collaborateurs à l'utilisation du code de simulation MCNP, afin de pouvoir effectuer des calculs de radioprotection;
- la collaboration avec Thomson Tubes and Displays se poursuit dans le cadre d'une thèse CIFRE pour l'amélioration des faisceaux d'électrons des tubes de télévision (voir dans le Service Accélérateurs).

## Service Administration

---

*C. Cholat, C. Blanc-Gonnet, A.-M. Guglielmini, P. König, Y. Langellier, C. Martin, C. Mazzola, N. Ollivier, B. Roisin, A. Vey.*

Le service administratif et financier est composé de 10 personnes sous divers statuts (IATOS et ITA du CNRS). Il participe, comme d'autres services techniques, au soutien des activités scientifiques du laboratoire. Au-delà des actes de gestion courante de plus en plus chronophages, ce service assure de manière permanente un rôle d'interface avec les tutelles, d'assistance et de conseil aux agents, chefs de groupe, et chefs de service de l'unité.

Le départ à la retraite non remplacé de l'un des agents du service a nécessité le redéploiement des missions précédemment assurées. Ainsi, la gestion des dossiers de stage est à présent suivie par C. Martin et A. Vey du service financier et le volet formation permanente est dévolu à N. Ollivier. Dans ce contexte de réduction des effectifs, une réflexion a été engagée afin d'optimiser le temps consacré à la gestion de certaines tâches, conduisant à leur informatisation progressive.

La mise en place du Compte Épargne Temps a entraîné l'informatisation du suivi des congés désormais effectué à l'aide du logiciel GLOP. Chaque agent du laboratoire peut actuellement saisir ses demandes de congés, lesquelles sont validées électroniquement par les chefs de service. Le service administratif assure une veille réglementaire en la matière ainsi qu'un suivi des évolutions sollicitées auprès de la DSI du CNRS chargée de maintenir ce logiciel.

Les demandes de missions traitées par les gestionnaires du service financier ont également fait l'objet d'une informatisation au sein du laboratoire et sont en voie de généralisation à l'ensemble des groupes de physique et des services à l'issue d'une période de test avec quelques uns d'entre eux.

Les 180 agents du laboratoire bénéficient de l'écoute, de l'assistance et du conseil dispensés par la gestionnaire du personnel, A.-M. Guglielmini, supervisée par N. Ollivier. L'interface avec les services centraux, la veille réglementaire, la préparation des dossiers de carrière sont le quotidien de ce bureau.

En ce qui concerne l'aspect financier, il convient de noter que les deux années passées ont été marquées par une réduction des budgets de fonctionnement général et une augmentation des ressources propres (contrats européens du 6<sup>ème</sup> PCDRT, contrat ANR...) amenant le service financier à affiner de plus en plus, tant les prévisions que le suivi de l'exécution budgétaire. Ainsi l'arborescence des lignes du budget a été totalement revue afin de permettre une gestion par projet et un suivi analytique des dépenses, en particulier de certaines lignes de consommation générale, induisant une motivation des personnels à réaliser des économies.

Le bilan tiré du passé récent démontre que s'il est possible de rationaliser certaines missions par le biais d'une informatisation contrôlée, il n'en reste pas moins vrai que les activités, du service financier en particulier, tendent à devenir de plus en plus complexes du fait de la réglementation et de la nécessaire vérification qu'elle impose.