

# LES SERVICES



Travail d'installation sur la caméra de HESS II

LES SERVICES

Le service électronique

## LE SERVICE ÉLECTRONIQUE

Le service électronique du LAPP comprend 22 personnes dont la mission est la conception et la mise en œuvre de systèmes électroniques nécessaires au fonctionnement des expériences.

Le service possède des compétences pointues, tant en électronique analogique que numérique, discrète ou intégrée. Ainsi le laboratoire maîtrise toute la chaîne de lecture du détecteur, depuis la lecture bas bruit et faible consommation du capteur, la numérisation du signal, son traitement par des systèmes rapides et performants à base de composants programmables ou processeurs, et finalement l'envoi des données vers le système d'acquisition de l'expérience. Le LAPP conçoit régulièrement des systèmes devant fonctionner dans des environnements sévères tels que l'espace ou des milieux soumis aux radiations.

Les années 2009 à 2012 du service électronique ont été marquées par les grands événements scientifiques du laboratoire :

- Le véritable démarrage du LHC en 2010 et les derniers réglages fins, notamment sur les calorimètres d'ATLAS et de LHCb où le laboratoire a des responsabilités impor-

### L'ÉQUIPE DU LAPP

#### SOUTIEN AUX EXPÉRIENCES

A. Belletoile, S. Cap, E. Chabanne, A. Dalmaz, P.-Y. David, S. Deprez, C. Drancourt, N. Dumont Dayot, N. Fouque, R. Gaglione, R. Hermel, N. Letendre, N. Massol, T. Mingam, J.-M. Nappa, A. Paixao, S. Petit, J. Prast, J. Samarati, J. Tassan, S. Vilalte, G. Vouters

#### ACHATS

S. Cap

#### IAO/CAO

F. Corageoud

#### DOCTORANT

F. Mehrez

#### STAGIAIRES

Ouvrier (2), IUT (8), Ingénieur (4), M2 (2)

tantes, et déjà, en parallèle, la préparation des upgrades pour la montée en luminosité de l'accélérateur.

- Le lancement et l'amarrage sur la station spatiale internationale d'AMS en mai 2011. Le service a largement contribué au développement de l'électronique du calorimètre.
- Les prises de données de VIRGO en coïncidence avec l'expérience américaine LIGO. Le LAPP a la responsabilité de l'électronique de lecture des photodiodes ainsi que de l'électronique d'acquisition et de synchronisation, et contribue également fortement à la préparation d'Advanced Virgo qui permettra d'améliorer la sensibilité de l'expérience.
- Le départ en Namibie en 2012 de la caméra de HESS II pour laquelle le service électronique a contribué au test du tiers des photomultiplicateurs et au développement de la sécurité et du slow control de la caméra.
- Enfin la préparation du futur grand accélérateur linéaire pour lequel le LAPP participe, d'une part à la mise au point de détecteurs

Le service électronique

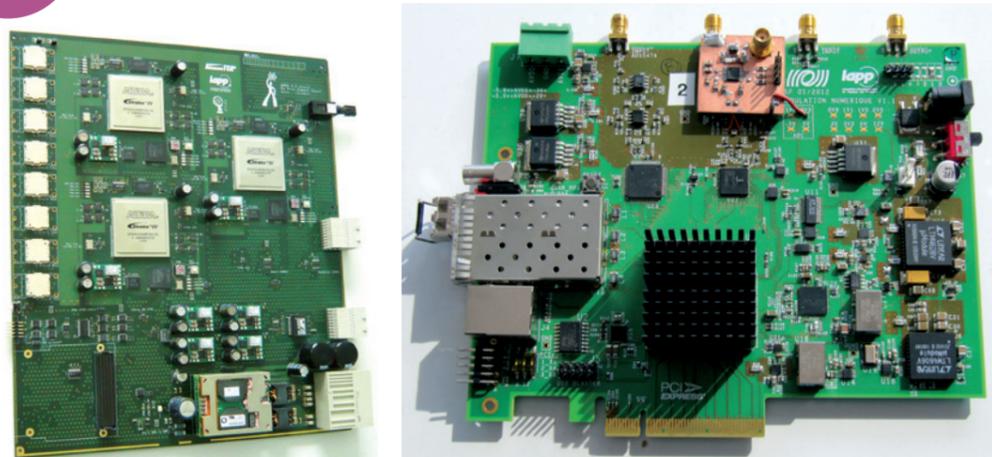


FIGURE 1

Carte d'acquisition de données pour ATLAS au format ATCA, débit en entrée 48 liens à 8 Gbits/s.

FIGURE 2

Carte de démodulation numérique de Virgo.

gazeux de type Micromegas dans lesquels l'électronique de lecture est directement intégrée au verso des détecteurs, et d'autre part au développement de l'électronique de lecture de capteurs de position de faisceau type BPM.

Ces années-là ont été également marquées par la poursuite du suivi de l'évolution des techniques, avec entre autres :

- L'utilisation de technologies submicroniques dans les ASICs développés au laboratoire, notamment les technologies AMS 0.35 um, IBM 130 nm ou TSMC 65 nm ;
- L'utilisation du standard ATCA en remplacement des châssis VME (figure 1) ;
- La mise en œuvre des toutes dernières générations de FPGA, avec notamment les familles STRATIX ultra performantes d'Altera qui incluent jusqu'à 1 million d'éléments logiques, 2 000 broches, des liens séries à 10 gigabits par seconde, plusieurs dizaines de transceivers (récepteurs/émetteurs) par boîtier, des blocs dédiés au traitement du signal ou à certaines interfaces comme le PCI express ou bien des contrôleurs de mémoire DDR3.
- L'utilisation de nouveaux protocoles tels que le 10 Gbits Ethernet, le PCI express, ...
- L'utilisation d'ADC rapides jusqu'à 250 MHz, 14 bits, sortie liens séries au gigabit/s. ;
- La fabrication de cartes toujours plus denses avec parfois des pistes et des isollements aussi fins que 60 um, une vingtaine de couches pour une épaisseur totale de seulement 1.6 mm, des empilements de vias lasers en couches internes...

## UNE MISSION D'EXPERTISE POUR LES EXPÉRIENCES DE PHYSIQUE

Le service électronique du LAPP comprend 11 ingénieurs de recherche, 5 ingénieurs d'études, 5 assistants ingénieurs et 1 doctorante. Parmi eux 21 assurent le soutien direct aux expériences et une personne a la responsabilité de l'IAO/CAO du service (ingénierie et conception assistées par ordinateur). La plupart des électroniciens sont impliqués dans plusieurs projets à la fois.

Le service possède des compétences avancées dans les principaux domaines de l'électronique :

- En électronique analogique, le service conçoit des systèmes bas bruit, faible consommation et possédant une grande gamme dynamique, adaptés aux spécificités des détecteurs de physique des particules. Il maîtrise également l'amplification, la mise en forme et la numérisation du signal. Le LAPP possède une solide expérience en filtrage et modulation-démodulation, notamment dans les domaines des radiofréquences et micro-ondes.
- En électronique numérique, le LAPP maîtrise les composants programmables de

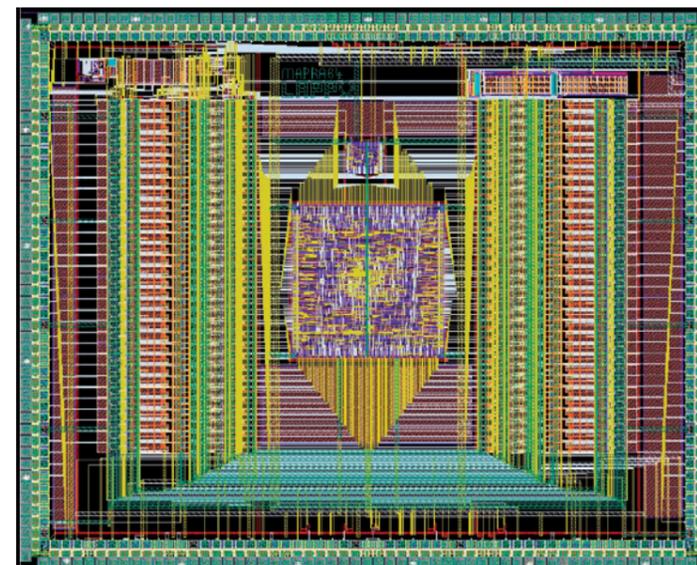


FIGURE 3

ASIC 64 voies pour l'expérience POLAR.

dernière génération (FPGA, DSP, microcontrôleur...) et les langages associés (VHDL notamment). Ces composants performants permettent de traiter les flux gigantesques de données associés aux détecteurs de type ATLAS ou LHCb, où les débits de données peuvent atteindre 1.5 Terabits par seconde et par carte. Le formatage, la recherche d'erreurs, l'application d'algorithmes complexes de traitement numérique du signal tel que le filtrage, ou le calcul de paramètres physiques, font partie des savoir-faire du service électronique (figure 2).

Le laboratoire connaît parfaitement le domaine des FPGA : intégration de cœurs de processeurs (NIOS, DSP...), interfaçages complexes (liens séries haute vitesse, mémoire DDR3, PCI express, 10 gigabits Ethernet...).

Le LAPP conçoit des cartes multicouches, haute densité, mettant en œuvre des signaux rapides et des liens séries atteignant la dizaine de gigahertz. Les composants et les techniques employés sont souvent en limite de la technologie. Pour ce faire, le souci constant de l'intégrité du signal et de la compatibilité électromagnétique est primordial.

Le LAPP conçoit également des ASICs (Application Specific Integrated Circuit). Ces circuits sont utilisés principalement pour l'électronique frontale des détecteurs, où leurs faibles encombrements et niveaux de bruit sont de réels atouts pour

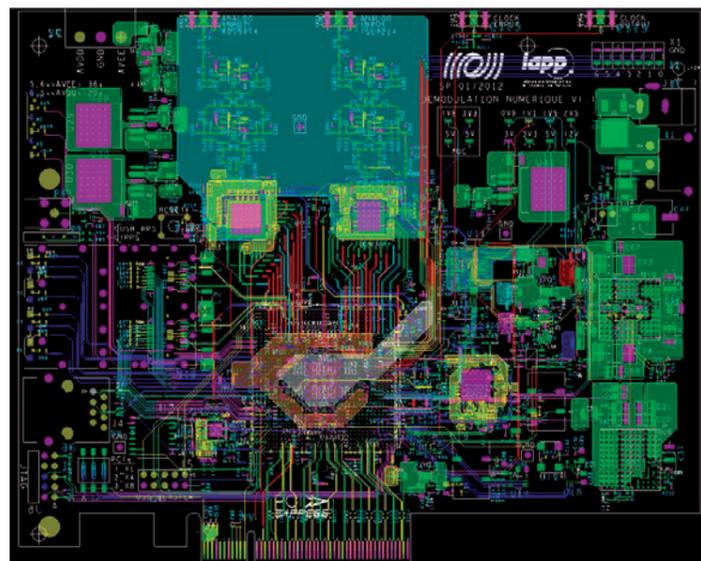
nos détecteurs. De plus, certaines technologies permettent une bonne tenue aux radiations, indispensable lorsque l'ASIC est situé près du point de collision de l'expérience. Un ASIC, typique de ceux conçus au LAPP, est illustré figure 3. Il s'agit d'un circuit mixte de lecture de photomultiplicateur multi-anodes 64 pixels pour l'expérience POLAR. Le circuit a été réalisé en technologie AMS BiCMOS SiGe 0.35 um. Dans le service, un groupe de quatre personnes effectue régulièrement ou occasionnellement de la microélectronique.

De la phase de prototypage à la phase de production, le service électronique travaille en étroite collaboration avec des sous-traitants industriels, lui permettant de tirer profit des meilleures techniques de production de cartes (fabrication de PCB multicouches impédancés, câblage de composants en boîtier BGA, utilisation de via lasers...). Les enjeux financiers sont parfois tels qu'ils exigent de faire appel aux procédures de marchés publics.

En partenariat avec le service informatique, le service électronique développe également les bancs de tests nécessaires aux études spécifiques de nos systèmes, assure leur installation sur site, puis leur maintenance tout au long de la durée de l'expérience. La fiabilité des systèmes développés est primordiale, car leur accès sur site est souvent réduit, du fait de la sévérité des environnements (vide, radiations, spatial...).

FIGURE 4

Exemple de routage d'une carte numérique.



## DES MOYENS INDISPENSABLES À LA RÉUSSITE DES PROJETS

Le service électronique du LAPP possède l'ensemble des moyens indispensables à la réussite des projets. Nous possédons des logiciels de pointe, notamment la chaîne de conception Cadence, nous permettant :

- la conception de circuits intégrés (schématique, routage, générateur de fichiers de fabrication) ;
- la conception de cartes (schématique, routage, vérification de l'intégrité du signal) figures 4 et 5 ;
- la programmation de circuits type FPGA (simulateur, synthétiseur de langage VHDL et Verilog, placeur/routeur) et ce pour différentes familles de composants : Altera, Xilinx, Actel ;
- la simulation de circuits analogiques ou mixtes.

Le service s'est récemment doté d'un nouveau serveur ainsi que de nouveaux outils tels que le logiciel de microélectronique Calibre de chez Mentor pour la vérification de circuits intégrés, ainsi que HSpice de chez Synopsys pour la simulation de liens haute vitesse.

Nous possédons des appareils performants nous permettant de tester nos réalisations. Parmi eux des oscilloscopes,

des générateurs de signaux, des analyseurs de spectre, ainsi qu'un testeur de connectivité Boundary Scan. Nous maîtrisons le pilotage de bancs de test avec Labview.

Nous possédons également un atelier de fabrication et de réparation de cartes électroniques incluant notamment une fraiseuse pour le prototypage de circuits imprimés double face, une station de soudage/dessoudage et plus récemment un four à refusion.

Pour se maintenir au meilleur niveau et maîtriser les nouvelles techniques et méthodes, les membres du service attachent une forte importance à la veille technologique et participent régulièrement à des formations (formation CNRS ou IN2P3, formation Cadence et autres).

## ACTIVITÉS TRANSVERSES AU SERVICE DE LA COLLECTIVITÉ

Le service met ses compétences au service des enseignements en école d'ingénieur ou en IUT et dans les formations de l'IN2P3. Deux ingénieurs du LAPP font partie du comité de pilotage des écoles électroniques de l'IN2P3. Ils organisent l'école analogique (tous les 4 ans) et l'école numérique (tous les 2 ans) de l'institut et donnent régulièrement des

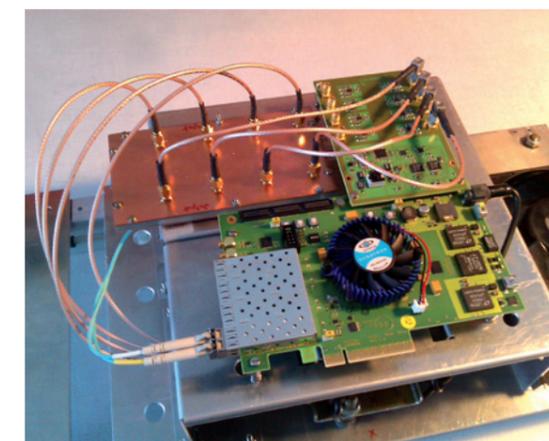
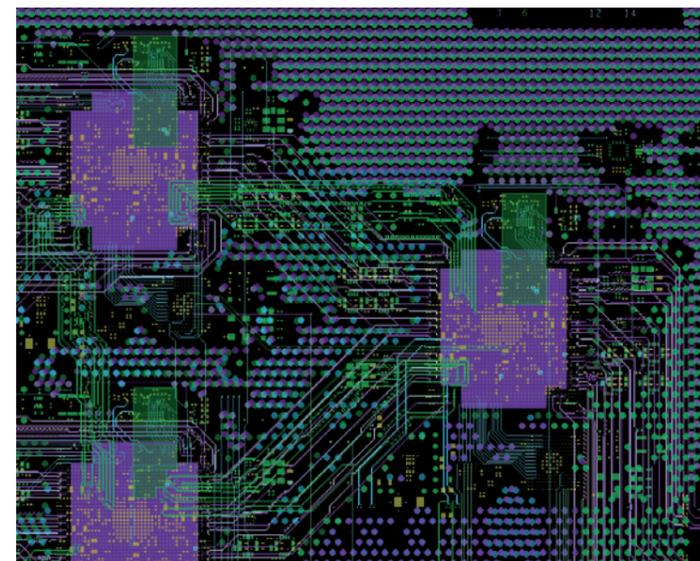


FIGURE 5

Fraction du routage d'une carte d'acquisition d'ATLAS.

FIGURE 6

Electronique de lecture pour capteur de position de faisceau.

cours pendant les écoles de microélectronique et de mécatronique.

Le LAPP est également impliqué dans les réseaux technologiques récemment mis en place par l'IN2P3. Ainsi nous faisons partie du réseau acquisition, détecteurs gazeux et animons le réseau photodétection.

Le service accueille régulièrement des stagiaires, allant du niveau de 3<sup>ème</sup> au niveau d'ingénieur, en passant par les élèves d'IUT. Pendant la période 2009-2012, le service a accueilli 16 stagiaires de niveau universitaire. De plus, le service fait valoir ses réalisations en les présentant régulièrement en réunions de collaboration, conférences internationales, dans des publications et sur le site web du laboratoire.

Enfin, le service électronique du LAPP participe chaque année à la fête de la science. Il contribue à la mise en place et à la tenue des stands et y expose quelques-unes de ses réalisations. En 2012 il a développé spécifiquement un simulateur du fonctionnement du LHC en utilisant un système de LEDs qui simulent le passage des particules dans l'accélérateur, géré par une carte à base d'un FPGA de type Cyclone IV.

## DES PERSPECTIVES NOMBREUSES ET AMBITIEUSES

Dans les prochaines années, le service électronique du LAPP devra assurer les engagements pris, notamment :

- Assurer la maintenance des expériences en cours (ATLAS, LHCb, HESS2, VIRGO...);
- Continuer la R&D en cours sur les détecteurs Micromégas ;
- Continuer et finir les développements pour Advanced VIRGO ;
- Poursuivre les développements en cours pour l'upgrade du LHC : pour ATLAS, amélioration du trigger et de l'acquisition du calorimètre argon liquide, étude des services pour le futur détecteur interne, participation à l'électronique de lecture du détecteurs à pixels ; pour LHCb contribution à la nouvelle acquisition et au trigger (passage du taux de trigger de 1 à 40MHz) ;
- Poursuivre les études préparatoires au futur collisionneur linéaire : calorimétrie, électronique de lecture des capteurs de position de faisceau, ... (figure 6) ;
- Poursuite des développements pour les expériences d'astrophysique, notamment développement du slow control des caméras de CTA et participation à l'étude d'une caméra de 2<sup>ème</sup> génération à base de photodétecteur de type SiPM ;
- Contribution aux expériences neutrinos type SuperNemo, ou faisceaux neutrinos à longue distance.