

Service Electronique

L'essentiel

Le service électronique du LAPP comprend aujourd'hui 19 personnes dont la mission est la prise en charge des systèmes électroniques nécessaires au bon fonctionnement des expériences, que ce soit dans leur phase de conception, réalisation, installation, ou maintenance. Le service électronique possède des compétences pointues dans des domaines variés, tant en électronique analogique que numérique. 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 numérique 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 peut intervenir dans des environnements sévères tels que le spatial ou des milieux soumis aux radiations. Pour ce faire, le service s'appuie sur des outils performants, un service CAO (Conception Assistée par Ordinateur) pointu et des formations ciblées.

Les implications du service électronique s'inscrivent dans des expériences de physique des particules ou d'astrophysique, souvent dans un contexte international.

Une mission d'expertise pour les expériences de physique

Le service électronique du LAPP comprend 9 ingénieurs de recherche, 5 ingénieurs d'étude, 4 assistants ingénieurs et un technicien. Parmi eux 17 assurent le soutien direct aux expériences : 11 sont spécialisés en électronique numérique, 4 en électronique analogique et 2 en instrumentation. La plupart des ingénieurs et techniciens sont impliqués dans plusieurs projets. En parallèle de ces activités, deux autres personnes ont une fonction de service général pour la partie CAO et achats. Pour se maintenir au meilleur niveau et maîtriser les nouvelles techniques et méthodes, les membres du service attachent une forte

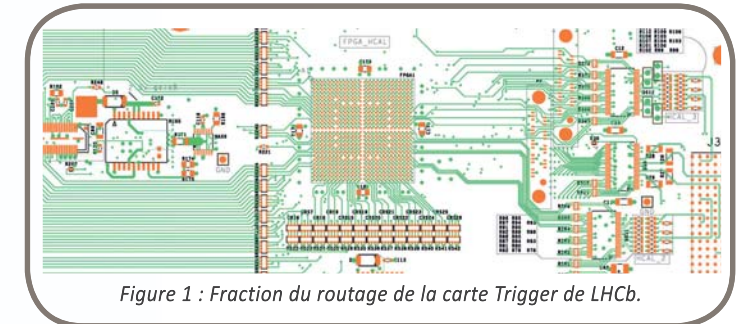


Figure 1 : Fraction du routage de la carte Trigger de LHCb.

importance à la veille technologique et participent régulièrement à des formations (formation CNRS ou IN2P3, formation Cadence et autres).

Le service met ses compétences au service des enseignements en école d'ingénieur et dans les formations de l'IN2P3. Le service accueille régulièrement des stagiaires, allant du niveau de 3ème au niveau d'ingénieur, en passant par les élèves d'IUT. 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.

Des compétences pointues

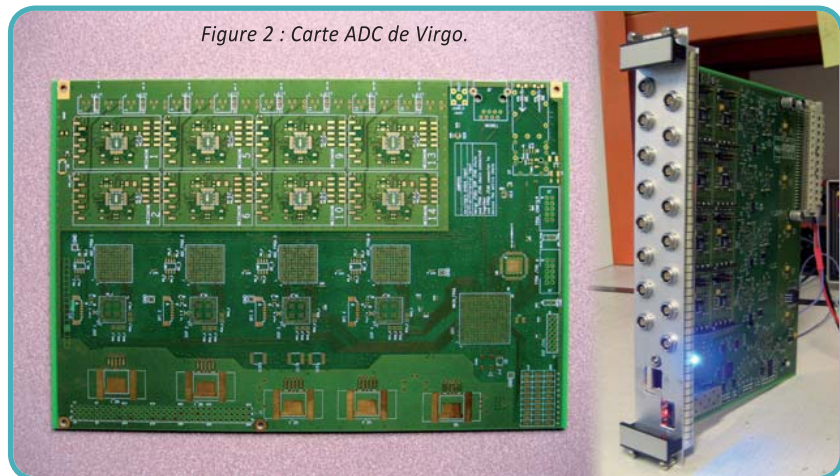
Le service électronique possède des compétences avancées dans les principaux domaines de l'électronique.

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. Dans les domaines de la radiofréquence, le LAPP possède une solide expérience en filtrage et modulation-démodulation (expérience Virgo notamment – figure 2).

En électronique numérique, le LAPP maîtrise les composants programmables de dernière génération (FPGA, DSP, microcontrôleur...) et les langages associés (VHDL, Verilog...). Ces composants performants permettent de traiter

Les savoir-faire

Figure 2 : Carte ADC de Virgo.



les flux gigantesques de données associés aux détecteurs de type ATLAS ou LHCb, où les taux de déclenchement de niveau 1 peuvent atteindre jusqu'à 100 kHz. Le formatage, la recherche d'erreurs, l'application d'algorithmes de traitement numérique du signal tel que le filtrage, ou le calcul de paramètres physiques (énergie de la particule incidente, facteur de mise en forme, ...) font partie des savoir-faire du service électronique.

Le laboratoire connaît parfaitement le domaine des FPGA : intégration de cœurs de processeurs (NIOS, DSP...), interfaçages complexes (liens séries ultra rapides, mémoire DDR, PCI express, Ethernet...). Le LAPP a été pendant longtemps site mainteneur de l'IN2P3 des logiciels d'Altéra et de Synplify.

Le LAPP conçoit des cartes multicouches, haute densité, mettant en œuvre des signaux rapides et des liens séries atteignant le 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 un réel atout 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. Le dernier ASIC conçu au LAPP est un circuit de lecture de photomultiplicateur multi-anodes 64 pixels pour l'expérience POLAR (Figure 3). Le circuit a été réalisé en technologie AMS BiCMOS SiGe0.35um. Dans le service, un groupe de 5 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 impédancées, 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...).

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 circuit intégré (schématique, routage, générateur de fichiers de fabrication),

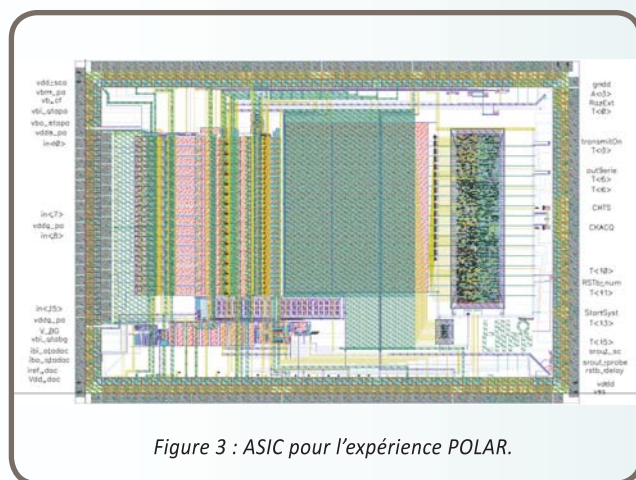
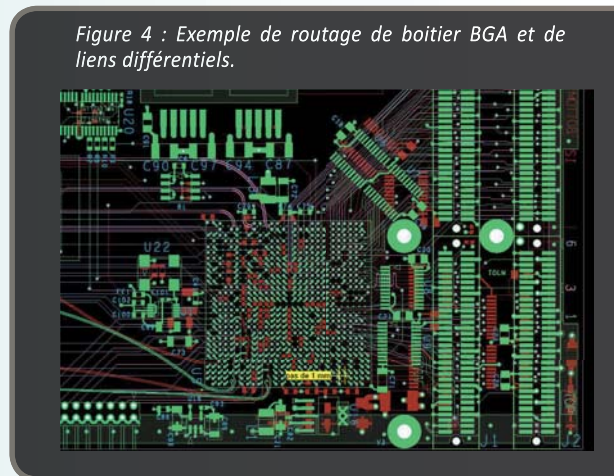


Figure 3 : ASIC pour l'expérience POLAR.

Figure 4 : Exemple de routage de boîtier BGA et de liens différentiels.



- la conception de cartes (schématique, routage, vérification de l'intégrité du signal - Figures 1 et 4),
- la conception de circuits programmables de type FPGA (simulateur, synthétiseur de langage VHDL et Verilog, placeur/routeur)
- la simulation de circuits analogiques ou mixtes.

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 une fraiseuse pour le prototypage de circuits imprimés double faces, ainsi qu'une station de soudage/dessoudage.

Des perspectives ambitieuses

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

- assurer la maintenance des expériences en cours (ATLAS, LHCb...),
- finir l'installation des cartes slow control de HESS,
- terminer le projet PMM2 (Figure 5).

Les perspectives des **développements micro-électroniques** pour le LAPP se situent dans l'utilisation des technologies submicroniques. Un moyen d'acquérir le savoir-faire nécessaire à la maîtrise de telles technologies est de s'engager dans un développement nous permettant d'avoir une implication dans la conception, le dessin et les tests d'un grand nombre de blocs (par exemple un chip pour la lecture des PIXEL

du détecteur interne d'ATLAS, ou bien pour la lecture de photo détecteurs SiPM). Cette expérience acquise sur des circuits en deux dimensions permettra le cas échéant de nous orienter dans le futur vers des assemblages en trois dimensions.

Le groupe souhaite développer ses activités microélectroniques en collaboration avec d'autres laboratoires de l'IN2P3. Ce partenariat permettrait la mise en commun de matériels, d'espace disque, la maintenance logicielle, mais également un gain de temps non négligeable lors du passage à de nouvelles technologies.

Du fait de sa forte implication dans LHC, le service souhaite tout naturellement continuer à s'investir sur les expériences de **SuperLHC (SLHC)**.

Le service s'est engagé, en collaboration avec le groupe informatique, à participer à la définition, la conception et la réalisation des éléments Back-End de la chaîne de lecture du calorimètre à argon liquide de l'expérience ATLAS pour la phase 2 du SLHC. Ce travail nécessite :

- l'évaluation de la norme et des produits **ATCA** (Advanced Telecommunications Computing Architecture) permettant la connectique haut débit, l'utilisation de processeurs rapides, une fiabilité améliorée, et des interférences électromagnétiques limitées.
- l'étude de **liaisons séries rapides** optiques et électriques (10Gbits/s) et leur implémentation en nombre important (centaine et plus) sur une carte au format ATCA.
- une évaluation des performances et des facilités de programmation pour l'implémentation d'algorithmes de calculs soit sur des cellules dédiées de FPGA, soit sur un processeur intégré au FPGA ou DSP externe.

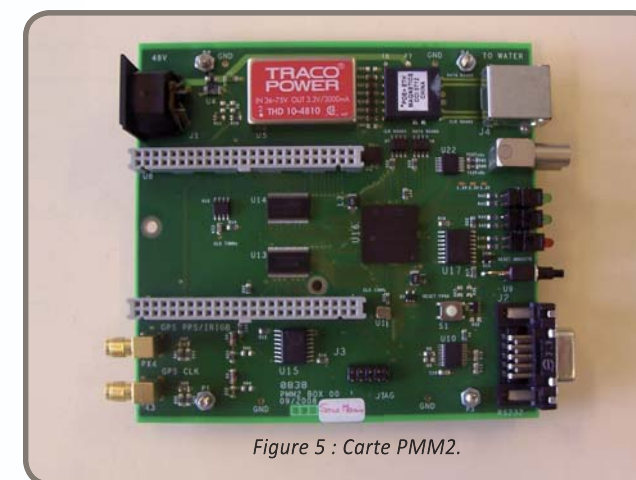


Figure 5 : Carte PMM2.

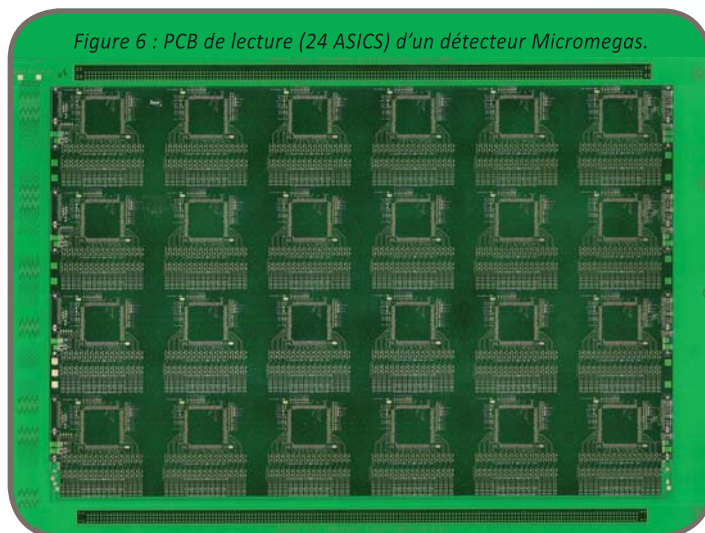


Figure 6 : PCB de lecture (24 ASICs) d'un détecteur Micromegas.

Par ailleurs, le service s'est engagé au côté du groupe **ATLAS** du LAPP dans l'**upgrade du détecteur interne**. Cet ambitieux projet nécessite la conception d'un nouveau détecteur tant du point de vue de son architecture que du point de vue mécanique et électronique pour faire face au défi de la nouvelle luminosité. De plus, d'autres contraintes fortes viennent du temps d'installation très réduit dépendant de l'arrêt de la machine pour son upgrade et de l'environnement radioactif limitant les temps d'accès in situ. Dans un premier temps, le service participe à la définition et la réalisation des services (électriques, optiques, fluides). Dans un deuxième temps le groupe souhaite s'impliquer dans la conception de la carte de contrôle et de lecture des «échelles» de détecteurs silicium, et dans la conception du circuit de lecture du silicium.

L'équipe du LAPP

Soutien aux expériences : D. Biare, L. Bellier, D. Boget, G. Cougoulat, A. Dalmaz, P.Y. David, C. Drancourt, N. Dumont-Dayot, D. Fougeron, N. Fouque, R. Gaglione, R. Gallet, R. Hermel, N. Letendre, N. Massol, J.M. Nappa, G. Perrot, P. Poulhier, J. Prast, J. Tassan, S. Vilalte, G. Vouters

Achats : S. Cap

CAO du LAPP : F. Corageoud

Stagiaires : Ingénieurs (2), IUT (5)

Dans les années futures, le service électronique souhaite continuer à **développer sa branche accélérateur en vue de CLIC et ILC**. Cela comprend notamment la poursuite des développements de la lecture de détecteurs type Micromegas (collaboration CALICE) (Figure 6), mais également, le développement d'une électronique d'acquisition de l'intensité et de la position du faisceau pour CTF3 (Figure 7). Cette dernière englobe toute la chaîne analogique et numérique. Le LAPP est impliqué dans une évolution de ce système spécifique pour le CLIC : accès rares, grand nombre de canaux, alimentations autonomes, fiabilité du transfert de données...

D'autre part, le LAPP souhaite s'investir dans l'étape suivante du détecteur Virgo, Advanced Virgo, qui a pour but d'améliorer encore la sensibilité de l'interféromètre. Le service électronique serait impliqué dans l'upgrade du système de détection (photodiodes et électronique associée) et dans l'amélioration de l'électronique numérique.

Enfin, le service souhaite continuer à développer sa **branche R&D photo détection** et électronique associée. L'électronique front-end pour POLAR s'inscrit dans cette optique. Il s'agit de lire les 64 anodes d'un photomultiplicateur Hamamatsu H5800. La sensibilité doit permettre de détecter le photoélectron unique. La gamme dynamique est d'environ 1000. Cet ASIC est basé sur un circuit développé par le LAL et a été modifié pour s'adapter aux spécifications requises pour POLAR.

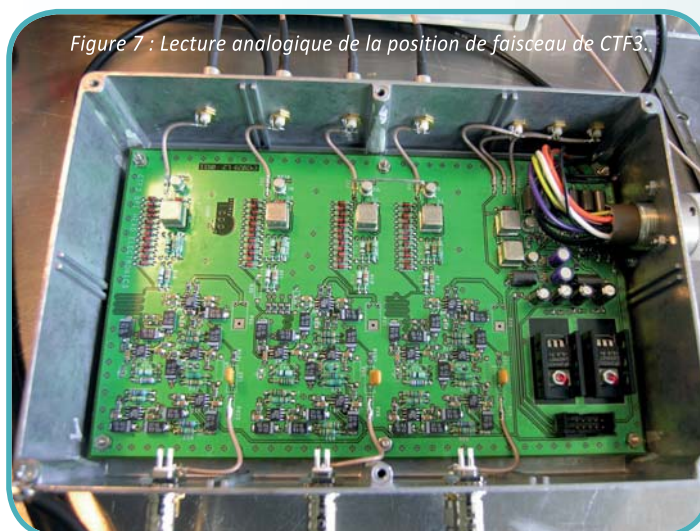


Figure 7 : Lecture analogique de la position de faisceau de CTF3.