

LHCb France contribution au GT08 pour l'exercice de prospectives nationales 2020-2030

November 19, 2019

H. Afshamia², Z. Ajaltouni², Y. Amhis⁴, E. Aslanides³, V. Balagura^{4,6}, S. Barsuk⁴, E. Ben-Haim⁵, E. Bertholet⁵, P. Billoir⁵, J.-P. Cachemiche³, J. Cerasoli³, M. Charles⁵, M. Chefdeville¹, J.A.B. Coelho⁴, J. Cogan³, E. Cogneras², D. Decamp¹, L. Del Buono⁵, O. Deschamps², F. Desse⁴, A. Downes¹, D. Fazzini⁴, F. Fleuret^{4,6}, B. Fuks⁸, F.A. Garcia Rosales⁴, D. Gerstel³, Ph. Ghez¹, V.V. Gligorov⁵, T. Grammatico⁵, D. Guadagnoli⁷, F. Hachon³, M. Knecht⁹, R. Le Gac³, R. Lefèvre², O. Leroy³, V. Lisovsky⁴, F. Machefert⁴, G. Mancinelli³, J.F. Marchand¹, C. Marin Benito⁴, E. Maurice^{4,6}, C. Meaux³, M.-N. Minard¹, A. Mogini⁵, S. Monteil², A.B. Morris³, E.M. Niel⁴, P. Perret², B. Pietrzyk¹, F. Polci⁵, A. Poluektov³, R. Quagliani⁵, B. Quintana², R.I. Rabadan Trejo³, M. Reboud¹, F. Reiss⁵, F. Réthoré³, P. Robbe⁴, A. Robert⁵, H. Sazak², M.H. Schune⁴, S. T'Jampens¹, V. Tisserand², D.Y. Tou⁵, A. Usachov⁴, D. Vom Bruch⁵, G. Vouters¹, S. Weber⁵, G. Wormser⁴

¹ *Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, IN2P3-LAPP, Annecy, France*

² *Université Clermont Auvergne, CNRS/IN2P3, LPC, Clermont-Ferrand, France*

³ *Aix Marseille Univ, CNRS/IN2P3, CPPM, Marseille, France*

⁴ *LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Université Paris-Saclay, Orsay, France*

⁵ *LPNHE, Sorbonne Université, Paris Diderot Sorbonne Paris Cité, CNRS/IN2P3, Paris, France*

⁶ *Laboratoire Leprince-Ringuet, Palaiseau, France*

⁷ *LAPTh, CNRS and Université de Savoie Mont-Blanc, Annecy, France*

⁸ *Laboratoire de Physique Théorique et Hautes Energies (LPTHE), UMR 7589, Sorbonne Université et CNRS, Paris, France*

⁹ *Aix-Marseille Univ., CNRS, CPT, Marseille, France*

Système d'acquisition à très haut débit

Dans l'Upgrade de LHCb (2021-2029), les données de toutes les collisions sont collectées dans leur intégralité. Cette approche, très ambitieuse, requiert la lecture du détecteur à 40 MHz, et la conception d'une nouvelle électronique d'acquisition pour agréger 40 Tb/s. Une première dans la communauté de physique des particules.

En 2009, nous avons lancé un programme de recherche et développement d'une carte d'acquisition utilisant des macro-FPGAs et des liaisons séries à très haut débit

(10 Gbit/s). La solution innovante développée au CPPM, lui a permis d'être le groupe qui conçoit et réalise la carte de lecture PCIe40. C'est une carte générique, commune à l'ensemble des sous détecteurs.

La carte PCIe40 permet d'assurer un très fort couplage entre les données FE et les CPUs de la ferme des serveurs de l'évent builder, via l'interface PCIe Express GEN3. Elle se caractérise par un très grand nombre de liens en entrée du fait de la bande passante limitée à 5 Gb/s en 2020 et à 10 Gb/s en 2025 des liens sériels résistant aux radiations. Il n'existe pas d'équivalent disponible dans le commerce. Un développement dédié est donc nécessaire.

Les caractéristiques principales de cette carte très complexe sont décrites dans la Table 1.

Entrées Optiques	500 Gbps	48 liaisons à 10 Gbps 2 liaisons SFP+ ou PON à 10 Gbps
Sorties optiques	500 Gbps	48 liaisons à 10 Gbps 2 liaisons SFP+ ou PON à 10 Gbps
Sortie PCI Express	100 Gbps	Standard GEN 3
Calcul		FPGA Arria 10

Table 1: Caractéristiques de la carte PCIe40.

La carte PCIe40 suscite beaucoup d'intérêt dans la communauté. Elle a été choisie pour l'upgrade de l'expérience Alice et par les collaborations Mu3e et Belle2.

En 2014, après l'approbation du *LHCb Trigger and Online Upgrade Technical Design Report*, la collaboration LHCb a confié au CPPM, la responsabilité du projet PCIe40. Il est pris en charge par une vingtaine de physiciens et ingénieurs (CERN, CPPM, LAPP, Bologne). L'équipe du CPPM se compose de six ingénieurs et physiciens. Elle s'appuie sur la très forte compétence du service électronique en conception et fabrication de circuits imprimés très complexes. Le LAPP coordonne le développement des micro-codes pour les sous-détecteurs.

Pour couvrir l'ensemble des besoins des différentes collaborations, 1260 cartes ont été produites. Étant financés par les collaborations ALICE et LHCb, les industriels en charge de la production furent sélectionnés via un marché opéré par le CERN. En mars 2018, le contrat a été signé avec la société française FEDD pour un montant très concurrentiel qui inclut la maintenance des cartes sur dix ans.

La production des cartes de série a commencé en janvier 2019 et se terminera fin 2019. Un dernier lot, est prévu en 2020.

Le projet PCIe40 a doté le CPPM et le LAPP d'un savoir faire unique dans le développement de cartes très complexes mettant en jeux un grand nombre de liaisons sérielles à haut débit connectés à un macro-FPGA et dans le développement de micro-codes pour des macro-FPGAs poussés aux limites.

Pour l'Upgrade 2 de LHCb, envisagé à l'horizon 2030, le flux des données sera multiplié par un facteur dix. Pour anticiper cette phase, compte tenu des temps de développement et de notre expertise unique dans la collaboration, nous voulons mettre en place une R&D pour une carte générique qui pourrait traiter quatre fois plus de données (400 Gbit/s) à l'horizon 2024.

L'utilisation des FPGAs de dernière génération avec des courants pouvant dépasser 150 A et des liaisons sérielles à 112 Gbits/s présente de nombreux défis technologiques.

Cette R&D permettra de répondre le mieux possible aux problèmes suivants :

- Exploration des nouveaux standards de communication FE/BE, conjointement avec le programme *R&D on experimental technologies* du CERN couvrant la période 2020-2025 ;
- Exploration de nouveau standard de communication avec le CPU (PCIe Gen5 - 400 Gbits/s)
- Intégrité de signal à très haute vitesse, diaphonie;
- Routage de très forts courants dans des PCBs avec une épaisseur limitée et problèmes de découplage associés;
- Mécanismes de refroidissements;
- Méthodes de codage de très grosses matrices de FPGA (~3 millions de Logic Elements) et fonctionnement interne multiplexé à haute vitesse (entre 640 et 960 MHz);
- Méthodes de caractérisation des liens sériels.

Ce projet est le moyen le plus sûr pour préserver et étendre l'expertise du CPPM et du LAPP dans ce domaine, malgré les départs à la retraite envisagés dès la fin 2020. Il permettra aussi de former la jeune génération d'ingénieurs et de physiciens et de nous positionner pour contribuer au système d'acquisition de l'Upgrade 2 de LHCb.