

LHCb : LA PHYSIQUE DES SAVEURS ET DE LA VIOLATION DE CP POUR RECHERCHER LA NOUVELLE PHYSIQUE



Depuis le démarrage de l'expérience, l'équipe du LAPP joue un rôle moteur dans la calorimétrie de LHCb. L'expertise acquise sur ces détecteurs (construction, mise en route, suivi de fonctionnement, entretien et maintenance), permet aux membres du groupe de participer de façon importante à l'amélioration de la reconstruction des « objets calorimétriques ». Nous sommes impliqués dans plusieurs lignes d'analyse de physique : mesure de l'angle CKM γ avec les désintégrations des mésons $B_{(s)}$ en charme ouvert et étude de leur phénoménologie ; études des désintégrations radiatives des hadrons beaux (B en $X_s\gamma$) et des quarkonia ; mesure des angles CP $\beta_{(s)}$ par l'étude des désintégrations $B \rightarrow J/\psi\pi^0$ et $B_s \rightarrow J/\psi\eta/\eta'$. Le groupe participe également à la phase d'upgrade du détecteur LHCb au travers du projet d'acquisition des données à 40 MHz, en assurant la coordination du développement du firmware et des outils communs et génériques utilisateurs des différents sous-détecteurs.

INTRODUCTION

L'expérience LHCb a été conçue pour poursuivre, au LHC, l'étude des saveurs lourdes dans le secteur des quarks beaux et charmés, après les expériences sur les usines à B (KEK/Japon et SLAC/USA) et celles du TeVatron (FNAL/USA). Les années 2009-2012 ont été particulièrement fructueuses, puisque l'expérience LHCb est passée de la phase de mise en place du détecteur à celle de collecte massive de données avec des performances dépassant souvent celles du design. Le programme de physique de l'expérience s'articule principalement autour de la mesure des

L'ÉQUIPE DU LAPP

PHYSICIENS

I. De Bonis, D. Décamp, P. Ghez, J.-P. Lees, **M.-N. Minard**, B. Pietrzyk, S. T'Jampens, V. Tisserand, E. Tournefier

POST-DOCS

I. Machikhiliyan, W. Qian

DOCTORANTS

N. Déléage, P. Hopchev

VISITEURS

D. Golubkov, V. Egorichev, A. Konopliyanikov

EQUIPE TECHNIQUE

J. Ballansat, Y. Bastian, L. Brunetti, S. Cap, P.-Y. David, P. Delebecque, C. Drancourt, N. Dumont-Dayot, B. Lieunard, J.-L. Panazol, T. Rambure, G. Vouters

STAGIAIRES

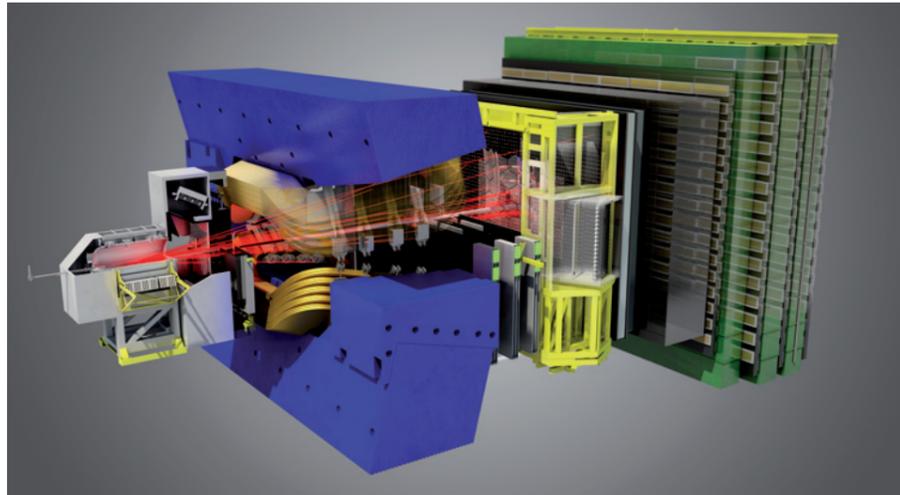
M1 (2), M2 (1)

éléments de la matrice V_{CKM} , incluant la violation de la symétrie CP, et l'étude des désintégrations rares des hadrons beaux et des mésons charmés. Les caractéristiques exceptionnelles du LHC permettent à LHCb, par des mesures très précises, de tester de façon indirecte et complémentaire aux expériences ATLAS et CMS, les limites du Modèle Standard (MS) et ainsi de chercher des indications de Nouvelle Physique. LHCb réalise ainsi en particulier des mesures à l'aide de désintégrations rares ou extrêmement rares, comme $B_{s,d} \rightarrow \mu^+\mu^-$, $B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-$, $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ ou $B \rightarrow X_s\gamma$, dont la phénoménologie est très riche. LHCb recherche des déviations aux mesures attendues par le MS qui peuvent indiquer la présence de Nouvelle Physique. Ces mesures permettent d'ores et déjà de contraindre fortement les modèles possibles de Nouvelle Physique. D'autre part, les analyses effectuées par LHCb atteignent déjà une précision sans précédent pour la mesure de l'angle γ du Triangle d'Unitarité, qui permet de contraindre de façon de plus en plus stricte la cohérence du mécanisme de Kobayashi et Maskawa (KM).

Le détecteur LHCb (figure 1) est un spectromètre, constitué de sous-détecteurs performants, couvrant des collisions dans la région angulaire de ± 300 mrad dans le plan horizontal (plan de courbure de l'aimant) et de ± 250 mrad dans le plan vertical aux faisceaux de protons. Près de 25 % des paires $b\bar{b}$ produites par fusion de gluons dans les interactions proton-proton du LHC sont émises dans cette région angulaire. La section efficace de production des paires $b\bar{b}$ est d'environ $80 \mu\text{b}$, dans l'acceptance de LHCb,

FIGURE 1

Vue artistique écorchée de l'expérience LHCb, lors d'une collision.



et environ 20 fois plus pour les paires $c\bar{c}$, aux domaines d'énergies explorées au LHC. A la fin de l'année 2012, avec un peu plus de 3 fb^{-1} de données collectées à 7 et 8 TeV, plus de 260 milliards (5 900 milliards) de paires de $b\bar{b}$ ($c\bar{c}$) ont déjà été produites dans LHCb. Les hadrons beaux et charmés sont produits avec des impulsions suffisantes pour voler sur quelques millimètres en moyenne avant de se désintégrer. La figure 2 donne en illustration la visualisation d'un événement $B^+ \rightarrow \bar{D}^0[\pi^+\pi^-]\mu^+\nu_\mu$ qui montre, en particulier, comment les vertex de désintégration des mésons B et D peuvent être reconstruits par le VERtEx Locator de LHCb (VELO).

Le détecteur LHCb dispose d'un système de déclenchement flexible et efficace ; en s'adaptant, il a permis de faire fonctionner l'acquisition de données à 1 MHz dans des conditions bien supérieures aux paramètres initialement prévus pour le LHC. Ainsi, l'expérience fonctionne à une luminosité instantanée maximale de $4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, pour un temps de croisement de faisceaux de 50 ns (valeur de design de 25 ns).

Après les prises de données de 2012, la campagne suivante reprendra de 2015 à 2017, à une énergie de 14 TeV. Ainsi, LHCb pourra avant 2018 enregistrer au moins 10 fb^{-1} . LHCb s'est engagé dans un programme ambitieux d'upgrade, en modifiant une partie des détecteurs et le système d'acquisition qui devra

fonctionner à une cadence de 40 MHz, lorsque la luminosité instantanée sera 2 à 5 fois supérieure (2018). La partie de gestion et de coordination du développement du firmware de l'acquisition 40 MHz des sous-détecteurs et des outils communs et génériques utilisateurs, est assurée par Annecy. Ces modifications permettront d'accumuler à terme une statistique de 50 fb^{-1} afin d'effectuer des mesures d'une précision ultime, meilleure ou comparable aux prédictions théoriques pour les modes étudiés à LHCb, notamment pour des modes hadroniques. Toute déviation observée serait alors le signe non ambigu d'effets liés à la Nouvelle Physique.

Collaboration

La collaboration LHCb rassemble environ 750 chercheurs, provenant de 63 laboratoires de 17 pays. Les principales phases de l'expérience ont été les suivantes : conception et R&D (1995-2000), approbation par les comités du CERN (2000), construction et installation (2000-2008). Le démarrage de la prise de données a eu lieu fin novembre 2009, lors d'un run test du LHC ; puis fin mars 2010, reprise de données à 7 TeV pour quelques dizaines de pb^{-1} . En 2011, toujours à 7 TeV, LHCb a accumulé environ 1 fb^{-1} et, en 2012, à 8 TeV, environ 2 fb^{-1} . Au printemps 2011, la collaboration a soumis au LHCC une lettre d'intention pour une phase d'upgrade de l'expérience à partir

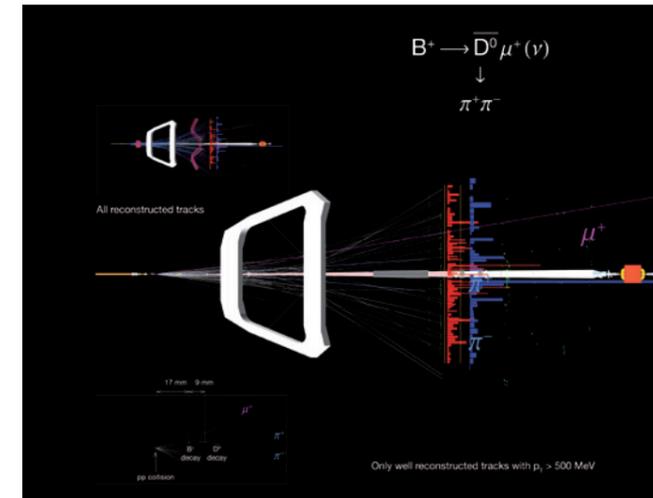


FIGURE 2

Visualisation graphique d'un événement $B^+ \rightarrow \bar{D}^0[\pi^+\pi^-]\mu^+\nu_\mu$.

de 2018, pour faire fonctionner l'acquisition du détecteur à 40 MHz. Cette lettre a été suivie, en mai 2012 d'un Framework Technical Design Report et d'un rapport de workshops sur les perspectives futures de la physique à LHCb, organisés avec la contribution des théoriciens de la discipline.

ACTIVITÉS DE RECHERCHE DU GROUPE DU LAPP

Résumé

Les activités opérationnelles du groupe du LAPP sont liées aux calorimètres de l'expérience. Nous avons assuré des responsabilités d'organisation de ce sous-système et apporté des contributions diverses et importantes, allant de la mise en route jusqu'aux calibrations fines de ces sous-détecteurs lors de la phase de construction et d'implémentation de LHCb. Nos activités concernent la mise en route, puis l'opération, le suivi et la maintenance :

- du système automatique permettant de déplacer ces détecteurs ;
- des cartes de trigger (TVB) ;
- des cartes d'acquisition TELL1 ;
- de la synchronisation de la lecture du signal des cellules ;
- du suivi des calibrations du calorimètre électromagnétique et calcul des corrections de vieillissement.

Des membres du groupe contribuent, en tant qu'experts, à l'opération au quotidien de ces détecteurs : surveillance et suivi du fonctionnement des calorimètres (shifts piquets) ; suivi du vieillissement

des calorimètres. Le groupe participe aux shifts généraux de l'expérience, et un membre du groupe assure des shifts « run coordination » de la prise des données de LHCb.

Le LAPP contribue également aux analyses de physique en cours, dans différents groupes de travail :

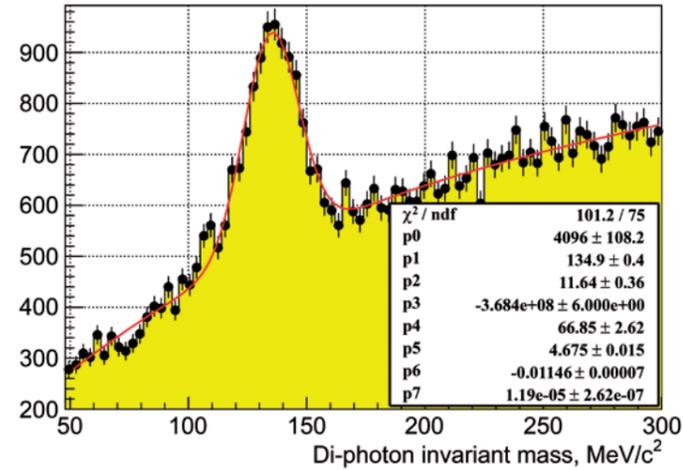
- « objets calorimétriques », avec des contributions aux outils d'analyse pour la calibration du détecteur, l'identification des particules et l'amélioration de leur reconstruction : photons convertis et bremsstrahlung des électrons, efficacité des π^0 , η , γ ... ;
- mesure de la luminosité de l'accélérateur LHC au point de collision LHCb ;
- mesure de l'angle CKM γ par les désintégrations des mésons B(s) en charme ouvert et étude de la phénoménologie de ces désintégrations ;
- canaux de désintégrations radiatives signés avec des photons convertis, physique des :
 - quarkonia,
 - « pingouins » radiatifs B en $X_{s,d} \gamma$;
- désintégrations des hadrons beaux en charmonium pour la mesure des angles CP β et $2\beta_s (\equiv -\phi_s)$ par l'étude des désintégrations $B \rightarrow J/\psi\pi^0$ et $B_s \rightarrow J/\psi\eta/\eta'$.

Le groupe du LAPP participe à la phase d'upgrade de LHCb au travers du projet d'acquisition des données à 40 MHz.

Un des membres du groupe est responsable des actions de communication de l'expérience « outreach » ; sur ces sujets, il travaille en relation directe avec le management de l'expérience et avec le service de communication du CERN.

FIGURE 3

Exemple de distribution de masse de π^0 obtenue en 2009.



Contributions techniques du groupe

Les équipes du LAPP ont eu des contributions importantes et reconnues en mécanique et en électronique au sein de la collaboration. Une physicienne du groupe a assuré la fonction de chef de projet du calorimètre, lors de la fin de la construction de ce sous-système et à sa mise en route lors de premières collisions du LHC. La figure 3 donne comme illustration une des premières distributions de $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ obtenu en 2009 (note CERN-LHCb-PUB-2013-010).

L'équipe mécanique du LAPP a pris en charge les études, réalisations et montages sur site des ensembles support des calorimètres de LHCb et de leurs déplacements :

- les chariots supports et structure des calorimètres électromagnétique (ECAL) et hadronique (HCAL) ;
- les plateformes électroniques situées au-dessus des calorimètres ;
- les structures de stabilisation de l'ensemble ;
- les structures de suspension pour les détecteurs annexes liés au calorimètre : PS/SPD, le Plomb ;
- la suspension et le guidage de la 1^{ère} chambre à muons (M1).

Chacun des éléments de la calorimétrie ECAL, HCAL, SPD, PS, Plomb peuvent se déplacer indépendamment sur une longueur de 5 m. Le LAPP a réalisé la conception des structures en respectant des normes antisismiques, ainsi que leur motorisation, leur automatisation et leur montage. Le système est robuste ; il a déjà parcouru plus de 1,5 km ! Dans le cadre de ce projet, l'équipe a donc pris en charge la réalisation

des équipements nécessaires pour ces déplacements et leur contrôle : vis à bille, motorisation, asservissement, capteurs et butées, chemin de câbles. Trois ingénieurs, quatre assistants ingénieurs et deux techniciens, avec l'apport sous forme de vacation d'un an de technicien, ont contribué à ce projet.

Le laboratoire a été chargé de la conception et de la réalisation de la carte de validation des déclenchements des calorimètres (TVB). Cette carte collecte les informations des différents sous-détecteurs et construit les signatures des déclenchements hadroniques en associant les informations des calorimètres hadronique et électromagnétique. Les déclenchements électrons, photons ou multi-photons sont effectués en associant les informations du détecteur de traces (SPD), du pied de gerbe (PS) et du calorimètre électromagnétique. L'information est transmise aux cartes de sélection. Ces cartes de validation sont programmables, et trois FPGA reprogrammables nous ont permis de tester plusieurs versions de firmware. A ces réalisations techniques s'ajoute le contrôle de l'acquisition de données par les cartes TELL1, sur lesquelles deux ingénieurs du LAPP ont contribué aux firmwares.

La mise en route de la calorimétrie a été une activité importante de 2008 à 2010. Elle a été assurée par les équipes techniques et par les physiciens. Le groupe est très présent dans les activités de maintenance hardware du calorimètre électromagnétique. Les physiciens contribuent depuis le démarrage de la prise de données à la surveillance du fonctionnement du calorimètre et à sa calibration :

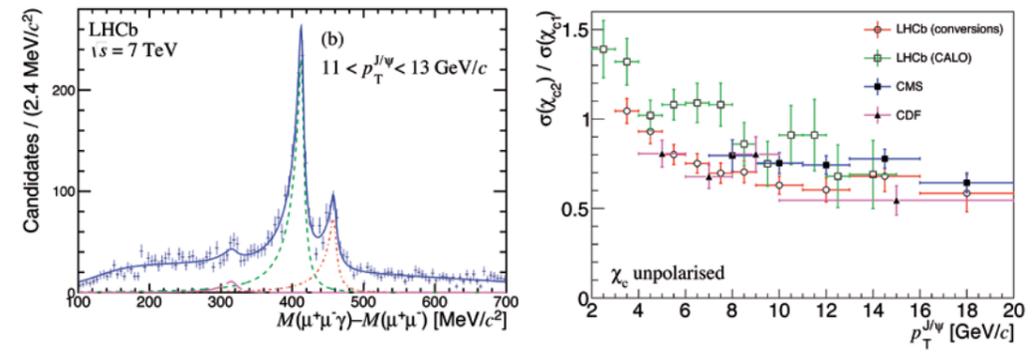


FIGURE 4

Spectre des $\chi_{c0,1,2}$ ($\rightarrow J/\psi \gamma$) avec des photons convertis et les données LHCb 2011 à 7 TeV (à gauche) et rapport $\sigma(\chi_{c2})/\sigma(\chi_{c1})[P_T J/\psi]$ (à droite).

- ajustement en temps par inter-alignment des cellules :
 - enregistrement des croisements consécutifs des paquets de protons du LHC,
 - mesure de l'asymétrie pour mesurer le timing ;
- calibration initiale, recensement des canaux morts et stabilité des gains des voies :
 - fonctionnement de flash LEDs (10 Hz) et suivi des gains photomultiplicateurs, ajustement de la haute tension pour corriger leur vieillissement,
 - mise au point d'une méthode pour stabiliser en ligne le taux de déclenchement L0 des calorimètres, par étude des variations des taux d'occupation brutes dans les diverses zones des calorimètres ;
- suivi des calibrations du calorimètre électromagnétique en étudiant la réponse aux électrons donnant lieu à des corrections de vieillissement ;
- alignement en position par corrections des « S-shapes », en comparant la position relative trace-centroïde des gerbes d'électrons.

Contributions aux outils d'analyse et à la physique

Les activités du groupe ont évolué depuis 2010 vers l'analyse et ses outils déjà mentionnés. Plusieurs lignes d'études de physique sont suivies. Au démarrage de la prise de données, une thèse ayant pour objet la mesure de la luminosité absolue enregistrée durant la campagne 2010, avec des collisions proton-proton à une énergie de 7 TeV dans le centre de masse, a été effectuée au sein du groupe par P. Hopchev. Outre la méthode classique employée par les expériences du LHC appelée « van der Meer scan », une nouvelle technique a été développée, permettant une détermination directe des paramètres de chaque faisceau en localisant le recouvre-

ment des interactions faisceau-faisceau et des interactions faisceau-gaz résiduel. Cette méthode n'est possible que grâce à la résolution, unique au LHC, du détecteur de vertex de LHCb (VELO) et sa proximité avec la zone des faisceaux de protons. Ainsi, les paramètres tels la position, les angles et les largeurs des faisceaux peuvent être mesurés. En combinant les deux méthodes, une incertitude systématique record de 3,5 % sur la valeur de la luminosité a été obtenue. Ce travail a été prolongé par l'installation d'un système de jet de gaz dans le VELO lors de périodes de mesures spécifiques.

Dans ce cadre des activités liées à la reconstruction des objets calorimétriques, les membres du groupe contribuent à :

- l'étude de la mesure de l'efficacité relative de détection des π^0 et des η à l'aide de la mesure du rapport relatif des modes $B^+ \rightarrow J/\psi K^{*+} [K^+ \pi^0] / B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0} [K^- \pi^+]$ et des événements de biais minimum ;
- la mise au point d'un algorithme de récupération de l'énergie des électrons emportée par les photons de bremsstrahlung, émis lors d'interactions dans la matière du trajectographe. Cet algorithme permet ainsi d'améliorer la résolution en énergie des électrons, donc leur identification par le rapport E/P. Il est utile pour diminuer la résolution de masse invariante, en réduisant l'importance des queues radiatives avant l'aimant, des paires e^+e^- pour des désintégrations comme $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ et $B^0 \rightarrow K^{*0} e^+e^-$;
- la mise au point d'un algorithme de reconstruction des photons convertis (qui concerne 20 % des photons) et des paires e^+e^- de faible masse invariante qui est exploité pour l'étude des quarkonia, car il permet une meilleure séparation de résonances proches ($\chi_{c,b}$). Nous étendons l'utilisation de

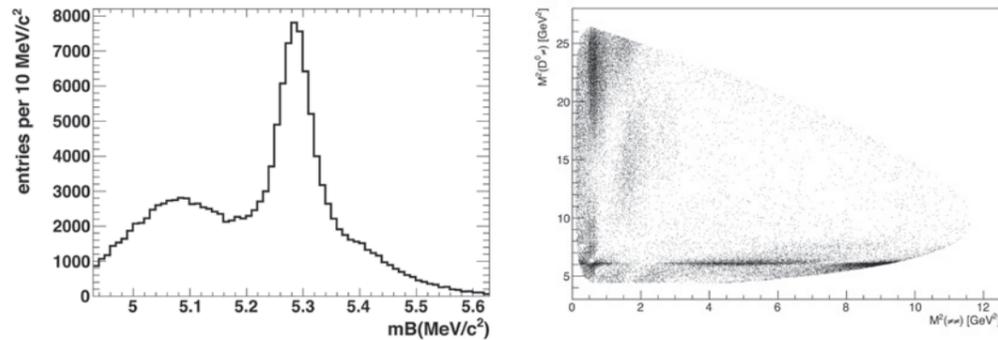


FIGURE 5

Spectre de masse invariante de candidats $B^- \rightarrow D^{*0}[D^0[K^-\pi^+]\gamma]\pi^-$ (à gauche).
Plan de Dalitz pour les désintégrations $B^0 \rightarrow \bar{D}^0\pi^+\pi^-$ (à droite).
Pour les données 2011-2012 de LHCb, dans les deux cas.

cet algorithme à l'étude de la polarisation du photon dans $b \rightarrow (d,s)\gamma$;

- l'étude des désintégrations $D^{*0} \rightarrow D^0\gamma/\pi^0$. Le but de cette étude spécifique est d'optimiser la sélection et la reconstruction des γ et π^0 de basses impulsions produites dans ces désintégrations. Ce travail se fait en commun avec le groupe du LPC de Clermont-Ferrand. Une détermination de l'efficacité de la détection est en cours. Ces désintégrations sont utilisées en coordination avec le groupe de Bari pour l'étude de la spectroscopie des résonances charmées $D^{*0}[K^-\pi^-]$. Le groupe du LAPP exploite également ces désintégrations pour l'étude des modes $B^- \rightarrow D^{*0}[K^-\pi^-]$ afin d'effectuer une mesure de l'angle CKM γ par étude de violation directe de CP avec les méthodes ADS et GLW.

Le groupe participe à l'étude des modes $B \rightarrow J/\psi\pi^0$ et $B_s \rightarrow J/\psi\eta/\eta'$. La motivation de ces études est la compréhension fine des diagrammes pingouins charmonium qui limitent les incertitudes systématiques de la mesure de l'angle CKM β avec les modes $B \rightarrow J/\psi K_s$ et l'accès aux phases de Nouvelle Physique pour ces modes par étude de la violation de CP. Pour les désintégrations de B_s , ces modes offrent une mesure alternative du paramètre de violation de CP dans le mélange et l'interférence $2\beta_s$ ou ϕ_s . Cette mesure est effectuée à LHCb grâce aux modes abondants $B_s \rightarrow J/\psi K^+K^- (\phi/\rho(980))$; les mesures avec les modes $J/\psi\eta/\eta'$ n'ont pas besoin d'analyses angulaires spécifiques, ni d'étude de la contamination des contributions des ondes S ou D.

En exploitant, les outils mis au point pour la reconstruction des photons convertis dans la ma-

tière du détecteur de vertex et de traces chargées, le groupe étudie la phénoménologie des quarkonia $\chi_{c0,1,2} (\rightarrow J/\psi\gamma)$ et $\chi_b (1,2,3P) (\rightarrow \Upsilon\gamma)$ et leur production au LHC. Ces mesures permettent d'étudier les mécanismes de production des résonances $c\bar{c}$ et $b\bar{b}$ dans les collisions hadroniques et de tester les théories effectives de QCD (NR-QCD, CSM, CEM,...). Une mesure du rapport relatif de production $\sigma(\chi_{c2})/\sigma(\chi_{c1})$ a été effectuée et un signal de χ_{c0} a été mis en évidence pour la première fois dans une machine hadronique. La figure 4 illustre, pour les données 2011 à 7 TeV, le spectre obtenu où les pics des 3 résonances χ_{c0} , χ_{c1} et $\chi_{c2} (\rightarrow J/\psi\gamma)$ avec un photon converti sont clairement visibles. Une comparaison du rapport $\sigma(\chi_{c2})/\sigma(\chi_{c1}) [P_T J/\psi]$ avec d'autres expériences du TeVatron, de CMS et la mesure de LHCb avec des photons détectés dans le calorimètre est également donnée, et montre combien cette méthode est compétitive avec une partie seulement des données de LHCb.

Cette méthode de détection des photons avec des paires de conversions e^+e^- est également exploitée pour l'étude des désintégrations radiatives pures pingouins $b \rightarrow (d,s)\gamma$. Elle permet d'améliorer potentiellement fortement la pureté de la sélection de l'échantillon de signal et la résolution en impulsion du photon, et donc de la mesure de son angle d'émission dans la désintégration du méson B. Par des échanges de particules virtuelles non standards dans les boucles de diagrammes pingouins, la Nouvelle Physique peut affecter les rapports d'embranchement des processus B en Xs γ , en modifiant les asymétries CP ou introduisant une composante d'hélicité droite dans la polarisation du photon. De tels effets non encore observés supposent des mesures de précision fortement accrues. La méthode des

photons convertis est une façon d'y parvenir grâce à l'énorme statistique de LHCb. En collaboration avec Diego Guadagnoli du LAPTh, et dans le cadre du LABEX ENIGMASS, le groupe travaille à l'étude des canaux $B^+ \rightarrow \phi K^+\gamma$, $B_s \rightarrow \phi\phi\gamma$, $B_d \rightarrow \phi K^+\gamma$, $B_s \rightarrow \phi\pi^0\gamma$, $\Lambda_b \rightarrow \Lambda\gamma$, ou $B \rightarrow K\pi\pi\gamma$. Le but est la mesure des rapports d'embranchements et la distribution angulaire des photons. En plus de la méthode des photons convertis, le groupe travaille à l'amélioration de l'identification et de la reconstruction des photons (séparation γ/π^0).

Dans le prolongement de l'expertise acquise sur l'expérience BaBar, des membres du groupe travaillent sur la phénoménologie des désintégrations des mésons B^0 , B^+ , B_s en charme ouvert (modes $B \rightarrow DX$, avec $X = 1$ ou plusieurs K^+/π^+), pour la mesure de l'angle CKM γ à l'aide de ces désintégrations. Ces désintégrations sont produites par l'intermédiaire de processus à l'arbre quasiment insensibles à la Nouvelle Physique et dont les incertitudes théoriques sont négligeables. Une mesure précise de cet angle ($\sim 1^\circ$) permettra de fixer un point de référence absolu pour les tests de cohérence globale du mécanisme KM dans le cadre du MS. L'angle γ est encore assez mal connu, les expériences BaBar et Belle le mesurent avec une précision de l'ordre de $14-17^\circ$; LHCb en combinant diverses méthodes avec les données 2011 et 2012 obtient déjà une précision de 12° . Une grande variété de modes et de méthodes sont disponibles à LHCb, la plupart d'entre elles sont encore largement limitées par des effets statistiques.

Nous travaillons au LAPP sur la mesure de γ avec les désintégrations $B^- \rightarrow D^{*0}[K^-\pi^-]$ à l'aide des méthodes GLW et ADS. La figure 5

(à gauche) présente comme exemple le spectre de masse invariante de candidats $B^- \rightarrow D^{*0}[D^0[K^-\pi^+]\gamma]\pi^-$ pour les données 2011-2012 et dont la statistique est déjà supérieure à celle des expériences BaBar et Belle.

Le groupe travaille également sur les désintégrations $B^0_{(s)} \rightarrow \bar{D}^0 K^+ K^-$ et $B^0 \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+ \pi^-$, le but est d'améliorer la sélection et la mesure du rapport d'embranchement dans les modes avec 2 kaons. A terme et avec plus de statistique, il sera possible de mesurer, dans une analyse de CP dépendante du temps, le paramètre $\sin(2\beta_s + \gamma)$ dans les désintégrations $B_s \rightarrow DK^+K^-$ quand le D se désintègre dans un état propre de CP K^+K^- ou $\pi^+\pi^-$ ou $K_S\pi^+\pi^-$. Mais dans un premier temps, il est impératif d'étudier et de connaître la structure des désintégrations $B^0_{(s)} \rightarrow \bar{D}^0 h^+ h^-$ où les paires $h^+ h^-$ et $\bar{D}^0 h^\pm$ peuvent provenir de la désintégration de résonances intermédiaires. Nous effectuons ces analyses par étude du plan de Dalitz ; la figure 5 (à droite) illustre, pour les données 2011-2012, la structure en résonances dans un plan de Dalitz pour les désintégrations $B^0 \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+ \pi^-$.

Participation à l'amélioration du détecteur : la phase « d'upgrade »

La motivation essentielle de l'upgrade de LHCb est de passer à une acquisition à 40 MHz permettant d'améliorer d'un facteur 10 la statistique des canaux hadroniques et d'un facteur 5 ceux des canaux muoniques.

L'essentiel de la participation du LAPP à la phase d'upgrade du détecteur LHCb est basée sur le projet d'acquisition des données à 40 MHz.



AMC40
1 Stratix V GX
36 optical inputs and
36 optical outputs at up to 10 Gbits/s
Slow control through PCIe

FIGURE 6

Prototype d'une carte d'acquisition AMC40.

Ces cartes seront génériques et communes à tous les sous-détecteurs. Chaque sous-détecteur sera amené à développer des configurations « firmwares » (en langage de description de matériel VHDL) spécifiques pour son application. Toutefois des bibliothèques communes sont à développer, tout comme les parties communes à toutes les cartes pour la gestion des entrées-sorties. La conception et le prototypage de la carte de lecture 40 MHz sont en cours au CPPM, depuis 2009.

La carte de lecture à 40 MHz (au standard ATCA) accueillera plusieurs cartes AMC 40 (Advanced Mezzanine Card) abritant des circuits logiques programmables FPGA de type Stratix V GX, dans lesquels seront implémentés les différents firmwares. Une photo d'un prototype de carte mezzanine AMC40 est présentée sur la figure 6. Le standard PCIe est également à l'étude.

L'ensemble de l'acquisition, du slow control et de la distribution des horloges utilisera un protocole spécifique (CERN) de transmission (GBT), reliant les cartes front-end electronics (FEE) des sous-détecteurs aux cartes de lecture de l'acquisition centrale par plusieurs fibres optiques. Les cartes de lectures doivent donc faire l'interface entre le protocole GBT développé par le CERN et un protocole informatique disponible sur le marché (10 Gbit Ethernet ou autre).

Ce projet est fondamental pour l'Upgrade de LHCb. Chaque sous-détecteur sera concerné au travers du dimensionnement et du développement de la lecture associée à ce sous-système. Les équipes du CERN sont en charge de l'infrastructure (GBT, Regulator, Optical links, distribution des signaux), celles de Marseille (crate, architecture TELL40) sont déjà impliquées dans le projet. Les problèmes majeurs à résoudre sont les suivants :

- dimensionnement de l'intelligence locale sur les cartes de lecture ;
- dimensionnement des FPGA à utiliser ;
- type de communication avec le FPGA ;

- problème d'horloge et de timing ;
- évaluation des performances.

L'ensemble du projet est basé sur le développement de cartes à même de répondre à de nombreuses applications ayant le même cahier des charges en ce qui concerne les données entrantes et sortantes :

- même gestion des contrôles ;
 - même gestion des entrées et sorties pour les applications ;
 - simulateur des signaux des cartes FEE, du système d'alignement en temps (Timing & Fast Control : TFC), déclenchement de bas niveau (Low Level Trigger : LLT) et ferme de processing identique ;
 - gestion des buffers de monitoring ;
- d'où le développement d'une interface de bas niveau pouvant recevoir les codes utilisateurs sans souci de la gestion des connexions spécifiques comme le GBT ou Gbit Ethernet.

Dans ce contexte, la partie gestion et coordination du développement du firmware et des outils communs et générique utilisateurs est assurée par le LAPP. Outre le développement des cartes et de leurs outils, le LAPP sera impliqué sur :

- le déclenchement des calorimètres (LLT Calo), ce qui fera l'objet de développements spécifiques, dont nous serons les maîtres d'œuvre, comme prolongation de la responsabilité du déclenchement actuel assuré par les TVB ;
- l'acquisition du Calo (ECAL + HCAL) correspond au travail déjà fait dans la version actuelle de l'acquisition TELL1. Ce travail a été effectué par Annecy. Le fait que l'upgrade ne conservera pas les détecteurs Pre-Shower (PS) et Scintillation Pad (SPD) simplifiera cette contribution. Elle sera intégrée dans le cadre du développement d'un firmware générique.

En ce qui concerne la mécanique, le groupe honore ses engagements reliés aux activités de maintenance concernant le système d'ouverture/fermeture des calorimètres, ainsi que la vérification de la structure des calorimètres durant les longs arrêts du LHC. Le

service mécanique étudie le développement d'outils pour le remplacement des modules internes du ECAL et de leurs photomultiplicateurs qui pourraient être trop irradiés à la fin de cette décennie.

PUBLICATIONS IMPORTANTES

Publications les plus citées de l'expérience par ordre décroissant :

- [1] *Strong constraints on the rare decays $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ and $B_d \rightarrow \mu^+ \mu^-$* , Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 231801
- [2] *Evidence for CP violation in time-integrated $D^0 \rightarrow h^- h^+$ decay rates*, Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 111602
- [3] *Measurement of $\sigma(pp \rightarrow b\bar{b}X)$ at $\sqrt{s} = 7$ TeV in the forward region*, Phys. Lett. B694 (2010) 209
- [4] *Measurement of J/ψ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV*, Eur. Phys. J. C71 (2011) 1645
- [5] *Measurement of the CP-violating phase s in ϕ the decay $B_s \rightarrow J/\psi\phi$* , Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 101803
- [6] *Search for the rare decays $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ and $B_d \rightarrow \mu^+ \mu^-$* , Phys. Lett. B699 (2011) 330
- [7] *Measurement of b-hadron production fractions in 7 TeV pp collisions*, Phys. Rev. D85 (2012) 032008
- [8] *First observation of $B_s \rightarrow J/\psi f_0(980)$ decays*, Phys. Lett. B698 (2011) 115

THÈSES

P. Hopchev, *Mesure de la luminosité absolue de l'expérience LHCb*, thèse soutenue le 25 Novembre 2011

N. Déléage, *Etude de la violation de CP avec les désintégrations de B en charme ouvert à LHCb*, thèse débutée en octobre 2012

PRÉSENTATIONS DANS DES CONFÉRENCES

M.-N. Minard, *LHCb physics potential*, Aspen (Colorado, Etats-Unis), Février 2009

P. Hopchev, *Luminosity measurement at LHCb*, Moriond EW, La Thuile, Italie, Mars 2010

I. Machikhiliyan, *Current status and performance of the LHCb electromagnetic and hadron calorimeters*, CALOR, Pékin, Chine, Mai 2010

B. Pietrzyk, *New Physics search at LHCb*, SUSY, Fermilab, Chicago, Etats-Unis, Août 2011

I. Machikhiliyan, *LHCb: status and physics results*, LHC on the march, Protvino, Russie, Novembre 2011

S. T'Jampens, *Overview talk: heavy flavor and the CKM matrix*, CIPANP, St Petersburg, Floride, Etats-Unis, Mai 2012

P. Hopchev, *The LHCb upgrade*, ICFP, Kolymbari, Grèce, Juin 2012

I. Machikhiliyan, *Production and polarisation measurements in LHCb*, SPIN, Prague, République Tchèque, Juillet 2012

POUR EN SAVOIR PLUS

Page grand public de l'expérience maintenue par Bolek Pietrzyk : <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/>

Page de l'expérience avec notamment un lien vers les publications de l'expérience : <http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>