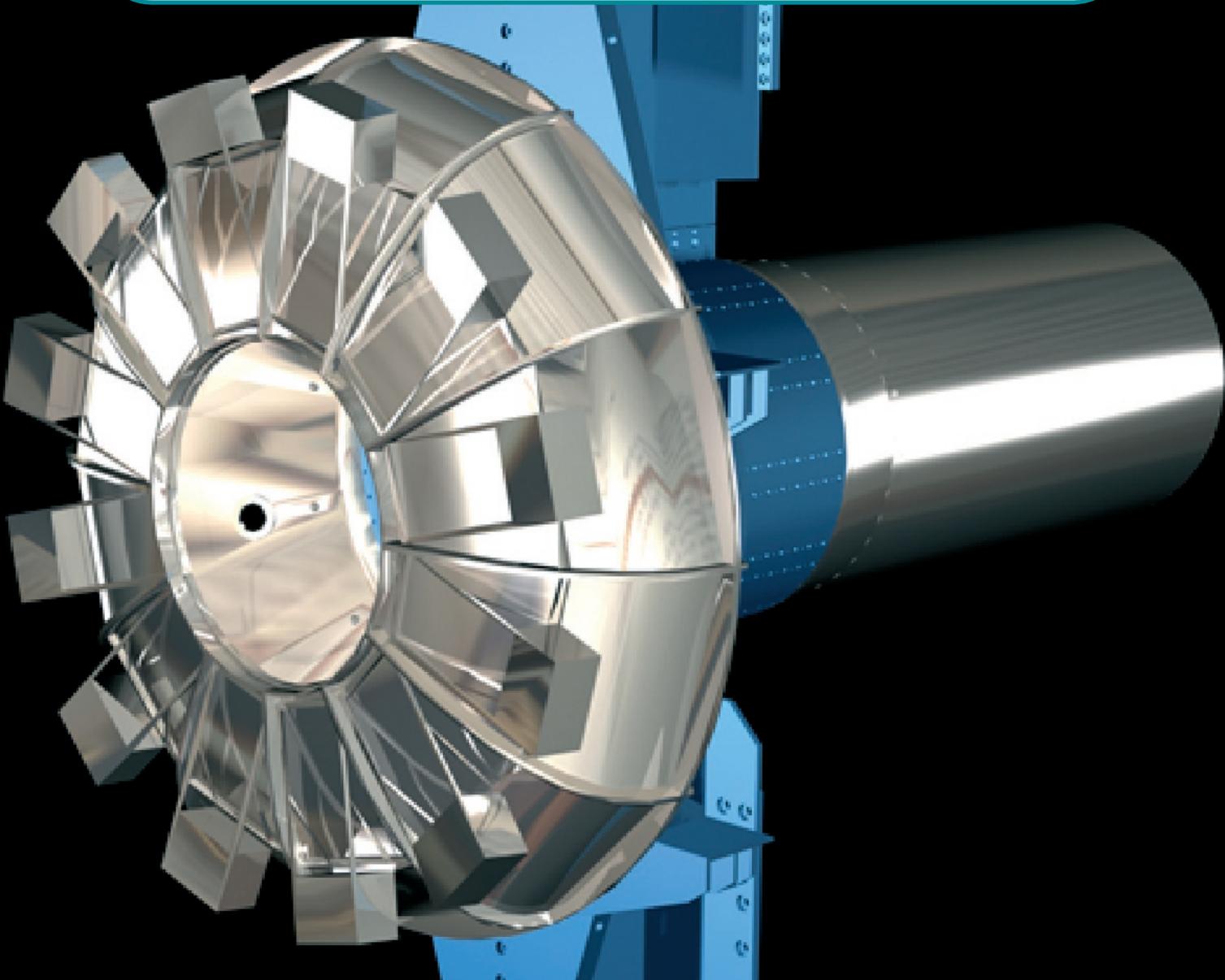


# Violation de CP

La violation de CP a été observée en 1964 dans le système des mésons K neutres ; son intérêt est, entre autres, lié à l'asymétrie matière-antimatière dans l'univers où les observations montrent qu'un baryon sur un milliard a survécu lors de l'annihilation matière-antimatière. Les prédictions du Modèle Standard ne suffisent pas à expliquer l'asymétrie observée.

En 2001, les expériences auprès des usines à B, **BABAR** et aussi **BELLE** à KEK (Japon), ont clairement établi la violation de CP dans le système des mésons  $B^0 - \bar{B}^0$ . Elles poursuivent leurs efforts pour mesurer de façon de plus en plus précise  $\sin(2\beta)$  où  $\beta$  désigne l'un des angles du triangle d'unitarité ainsi que pour déterminer les autres angles ( $\alpha$  et  $\gamma$ ) et les côtés de ce triangle.

L'expérience **LHCb** sera une expérience de deuxième génération, mettant à profit la production abondante de paires  $B^0 - \bar{B}^0$  au LHC pour effectuer les mesures les plus précises et les plus complètes sur les paramètres de la violation de CP, en particulier dans le secteur des  $B^0$ , non étudié auprès des usines à B, avec l'espoir de mettre en évidence une éventuelle insuffisance du Modèle Standard (non fermeture du triangle d'unitarité), ouvrant ainsi un fenêtre sur une « nouvelle physique », au-delà du Modèle Standard.





# Expérience BaBar sur le collisionneur PEP-II à SLAC

## Participation du LAPP

**Expérimentateurs :** B. Aubert, R. Barate, D. Boutigny, J-M. Gaillard, Y. Karyotakis, **J-P. Lees**, V. Poireau, V. Tisserand, A. Zghiche

**Equipe technique :** J-M. Dubois

**Doctorants :** F. Couderc, S. Grancagnolo, A. Hicheur, P. Robbe

**Stagiaire :** J. Lamouroux

## Abstract

*The observation of CP violation effects in the  $B^0 \bar{B}^0$  system is one of the last untested sectors of the Standard Model. The aim of BaBar is to study the CP violation and improve our knowledge of the CKM matrix elements. The experiment takes place at SLAC and began to take data in May 1999. A group of LAPP physicists contributes to this experiment. They have built the gas system of the central drift chamber and participate actively to the data taking and to the analysis.*

## Présentation générale

La violation de CP, mise en évidence pour la première fois en 1964, reste encore un phénomène complexe, difficile à étudier, et qui n'avait été observé jusqu'à ce jour que dans le système des mésons  $K^0$ . Dans le cadre du Modèle Standard, son origine est liée à l'existence d'un terme complexe dans la matrice de mélange entre quarks ; ce modèle prédit que des asymétries mesurables entre particules et anti-particules, liées à ce phénomène, devraient se manifester dans certaines désintégrations (rares) des mésons  $B^0$  et  $\bar{B}^0$  vers un état propre de CP. Les exemples les plus connus en sont les désintégrations  $B^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$  ou  $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ . La mesure de ces asymétries permet d'une part de tester la validité de la description du phénomène par le Modèle Standard et d'autre part de rechercher des signes indirects de la présence de mécanismes impliquant de la nouvelle physique.

L'expérience BaBar, installée sur l'anneau de stockage  $e^+e^-$  PEP-II à SLAC, en Californie, étudie la violation de CP dans le système des mésons B. Les effets prédits par le Modèle Standard sont importants et expérimentalement observables. L'expérience est capable de mesurer les côtés et les angles du triangle d'unitarité dans un grand nombre de canaux, et de mettre à l'épreuve les prévisions théoriques. La construction de BaBar s'est achevée fin 1998. Les premières collisions  $e^+e^-$  ont été enregistrées à la fin du mois de mai 1999. Depuis cette date, les performances de l'accélérateur n'ont cessé de s'améliorer et à ce jour (fin octobre 2003), la luminosité intégrée enregistrée par l'expérience (Figure 1) s'élève à plus de  $137 \text{ fb}^{-1}$  dont  $126 \text{ fb}^{-1}$  au pic du  $\Upsilon(4S)$ , correspondant à plus de 137 millions de désintégrations  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B \bar{B}$ .

La violation de CP dans les désintégrations des  $B^0$  vers des états finals charmonium  $K_s^0$  a été clairement établie, avec une mesure de  $\sin(2\beta) = 0.741 \pm 0.067(\text{stat}) \pm 0.034(\text{syst})$ . La mesure de  $\sin(2\beta)$  dans les transitions telles que  $B^0 \rightarrow D^+ D^-$  ou  $B^0 \rightarrow \phi K_s^0$ , la mesure des angles  $\alpha$  et  $\gamma$  du triangle d'unitarité, ainsi que celle des côtés, l'étude des désintégrations rares et plus généralement celle de l'ensemble des désintégrations des mésons B forment un riche champ d'investigation.

Le groupe du LAPP participe à BaBar depuis la formation de la collaboration en 1993. Il a construit et est responsable du système de gaz qui alimente la chambre à dérive et a également construit une petite chambre servant à surveiller en ligne le gain du mélange gazeux utilisé. Il a joué un rôle important dans l'installation des différents logiciels de l'expérience au CC-IN2P3. Ce rôle se poursuit activement aujourd'hui avec l'importation des données au centre ainsi que les développements liés au projet de grille de calcul appliquée à BaBar. Le CC-IN2P3 a été reconnu centre de calcul BaBar par la collaboration (Tier-A). Depuis le démarrage de l'expérience, le groupe participe également à la prise de données et à la vie de la collaboration, avec plusieurs séjours de longue durée à SLAC (Y. Karyotakis, D. Boutigny et V. Tisserand). Y. Karyotakis a, en particulier, assuré de septembre 2000 à septembre 2002 la responsabilité

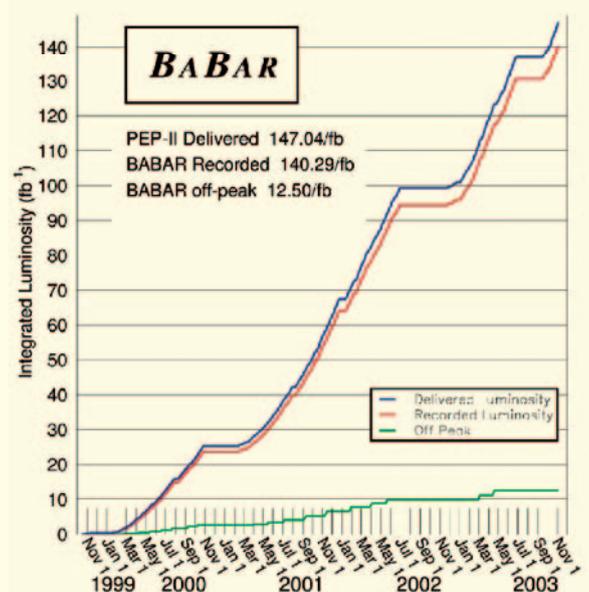


Figure 1 : La luminosité intégrée enregistrée par BaBar en fonction du temps, depuis le démarrage de l'expérience en 1999.

de coordinateur technique de l'expérience. Enfin, l'analyse des données est une part importante de l'activité du groupe BaBar-LAPP, avec d'une part la reconstruction exclusive de désintégrations hadroniques des mésons B, et d'autre part la reconstruction de désintégrations rares.

## La Chambre à dérive

Le LAPP a conçu et construit le système de gaz de la chambre à dérive du détecteur BaBar. Ce système a été installé en juin 1998 et mis en marche en septembre 1998. Depuis lors, le suivi de son fonctionnement, de son entretien, les améliorations et les modifications qui y sont apportées continuent d'être la responsabilité du LAPP. La composition du gaz, sa pression, sa teneur en différents éléments (eau, oxygène) doivent être mesurées avec précision et contrôlées en permanence.

La chambre à dérive ainsi que le système de gaz sont entièrement contrôlés par un ensemble de logiciels appelé EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System). EPICS gère les hautes et basses tensions, les systèmes d'alarme, les valves de circulation du gaz, les différentes sondes, etc... Le groupe est responsable des logiciels de contrôle hors ligne du système de gaz et de la chambre à dérive, et a contribué à diverses améliorations du système durant les dernières années.

## Calcul et traitement des données

Durant l'été 2000, la collaboration BaBar a redéfini son modèle de calcul afin de minimiser les coûts d'exploitation et de faciliter l'accès aux données. Ce nouveau modèle repose sur une stratégie de calcul distribué ou « multi-Tier » similaire à celle adoptée pour les expériences LHC. Les Tiers-A sont des centres de calcul majeurs recevant une copie complète des données dans un format adapté à l'analyse, ainsi qu'une copie d'une fraction des données dans un format détaillé permettant de réaliser des études de détecteurs ou des analyses de physique nécessitant l'accès à des grandeurs particulières. Les Tiers-A assurent également un rôle de production et de redistribution des données vers les Tiers-C (universités ou instituts travaillant localement sur une fraction réduite des données). Il y a actuellement 5 Tiers-A dans la collaboration : SLAC, Lyon, Padoue, Rutherford et Karlsruhe.

Depuis début 2001, Dominique Boutigny assure la coordination de la mise en œuvre du Tier-A au CCIN2P3. Des outils spécifiques de distribution des données ont été développés pour assurer la transmission des 160 TB de données qui sont stockées et mis à la disposition de la collaboration, grâce au système de stockage hiérarchique HPSS. De l'ordre de 150 comptes ont été ouverts pour des physiciens étrangers et de nombreuses analyses de physique ont été menées de bout en bout au CCIN2P3. Actuellement, avec plus d'un million d'heures CPU normalisées par mois, BaBar est l'un des plus gros consommateurs de CPU du CCIN2P3 et l'un des plus importants fournisseurs d'évé-

nements simulés de la collaboration. Après 3 ans de fonctionnement, le bilan du Tier-A est tout à fait positif et les engagements formalisés dans le MOU signé entre l'IN2P3 et BaBar sont pleinement remplis.

Depuis cette année, la collaboration BaBar s'est engagée dans une migration de son modèle de calcul vers le système ROOT. Le Tier-A de Lyon, possédant l'ensemble des données dans l'ancien format Objectivity, contribuera à assurer la continuité de l'accès aux données pendant la période de transition. Parallèlement, les données dans le nouveau format seront rapatriées et mises à la disposition des utilisateurs.

Il est important de souligner que le Tier-A de Lyon, grâce à son personnel compétent, a toujours joué un rôle moteur dans la mise en place et le déploiement d'outils performants d'accès aux données (« staging » dynamique, serveurs de données, outils de répartition, dynamique de charge, etc...). Dominique Boutigny assure également la coordination du développement d'une grille de calcul (GRID) pour BaBar. Des tests encourageants ont été réalisés, mettant en œuvre les logiciels du projet européen DataGrid. Ces efforts devraient aboutir l'an prochain à la mise en production d'un système de grille de calcul dédié à la production Monte-Carlo, et d'un autre, spécifique à l'analyse.

## Analyse

### Désintégrations $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}D^{(*)}K$

Notre groupe a joué un rôle moteur dans l'étude des désintégrations  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}D^{(*)}K$ . On pense que ce type de désintégrations forme une fraction significative des transitions  $b \rightarrow c \bar{c} s$ , mais jusqu'à présent, seule une poignée d'événements complètement reconstruits avait pu être observée dans les expériences ALEPH et CLEO. Les dizaines de millions de mésons B accumulés par BaBar ont permis une mesure précise et systématique de tous les modes  $\bar{D}^{(*)}D^{(*)}K$  (Thèse de Patrick Robbe et publication correspondante dans Phys.Rev.D). Cette étude a montré que ces désintégrations sont responsables d'environ la moitié du taux de production de charme dit de mauvais signe ( $B \rightarrow DX$ , par opposition à  $B \rightarrow \bar{D}X$ ) dans les désintégrations du B. Il a également été montré que la contribution à cet état final des désintégrations de type  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}D_s^{**}$ , où  $D_s^{**}$  est une excitation orbitale des mésons  $D_s$  se désintégrant dans l'état final  $D^{(*)}K$ , était négligeable.

### Désintégrations $B \rightarrow cX$ , $B \rightarrow \bar{c}X$

Les taux inclusifs de charme et d'anticharme dans les désintégrations du quark b sont des paramètres fondamentaux de la physique de la beauté. Les modèles théoriques les relient précisément au taux de branchement semi-leptonique après calcul de toutes les corrections QCD. Le charme provient de la désintégration directe du quark b alors que l'anticharme provient de la désintégration du W virtuel. Mais expérimentalement le taux inclusif pour ce

dernier processus n'est connu qu'à 30 % près. Ceci constitue aussi l'erreur dominante dans de nombreuses analyses. Dans les événements  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B^+B^-$ , la reconstruction complète de l'un des B permet de déterminer le signe et la cinématique du second. La reconstruction d'une particule charmée additionnelle (méson  $D^\pm, D^0, \bar{D}^0, D_s^\pm$  ou baryon  $\Lambda_c^\pm$ ) provenant du second B permet donc, en corrélant sa charge à celle du méson B complètement reconstruit, de mesurer les taux inclusifs de production de charme de bon et de mauvais signe  $B^+ \rightarrow cX, B^+ \rightarrow \bar{c}X$  pour chacune de ces espèces de particules. Cette méthode peut également être généralisée aux mésons  $B^0$ , en corrigeant des effets du mélange  $B^0 \bar{B}^0$ . Grâce au nombre exceptionnel de paires  $B \bar{B}$  produites, l'expérience BABAR est la première où une telle méthode puisse être appliquée avec un résultat statistiquement significatif. Cette analyse est développée dans le cadre de la thèse de F. Couderc et complète notre analyse des transitions  $b \rightarrow c \bar{c} s$  à partir des désintégrations exclusives  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}D^{(*)}K$ . Elle a déjà permis d'obtenir des lots de plus de 100.000 B complètement reconstruits dans les modes  $D^{(*)}\pi, D^{(*)}\rho,$  et  $D^{(*)}a_1$ . Une analyse préliminaire de ces événements a permis de réduire les erreurs statistiques sur les rapports de branchement inclusifs, pour la première fois de séparer les D provenant de la désintégration du quark b de ceux venant de la désintégration du W virtuel et d'obtenir des lots de  $\Lambda_c$  provenant des deux processus.

Enfin, pour ces mêmes événements, l'étude des caractéristiques cinématiques des particules charmées dans le référentiel du centre de masse du B, la reconstruction des particules manquantes à partir des contraintes cinématiques et l'étude de la production associée de particules étranges sont quelques-unes des méthodes que nous étudions afin de préciser les mécanismes de production associés à la production de charme de bon et de mauvais signe. De telles méthodes pourraient permettre de mieux comprendre des processus tels que  $B^+ \rightarrow D_s^+ X$ , qui nécessitent la création d'une paire  $s \bar{s}$ , ou  $B^+ \rightarrow \Lambda_c^+ X$ , où un  $\Xi_c$  devrait être produit. Plus simplement, elles peuvent aussi permettre la mesure des rapports de branchement  $B^+ \rightarrow D^0 D_s^{(*)+}$  en s'affranchissant de l'erreur relative de 25 % associée à la mesure du rapport de branchement  $D_s^+ \rightarrow \varphi \pi^+$ .

### Mesure de rapport de branchement des désintégrations hadroniques du $B \rightarrow D^{0(*)}\pi$ par la méthode de reconstruction partielle

La compréhension des désintégrations hadroniques du méson B s'est améliorée ces dernières années avec le développement de la théorie effective des quarks lourds (HQET) et du modèle de la « factorisation naïve ». Ce modèle permet de calculer les amplitudes de désintégration hadroniques du méson B, mais il néglige les effets de l'interaction forte dans l'état final. Avec l'observation récente par les expériences BaBar, Belle et CLEO des modes supprimés de couleur de la désintégration du méson  $\bar{B}^0$  en un  $D^{(*)0}$  accompagné par un méson neutre léger, une mesure plus précise des rapports de branchement des modes favorisés de couleur devient nécessaire. Cela permet de contraindre plus précisément l'hypothèse

de factorisation dans le cadre du modèle HQET. En effet, lorsque les amplitudes de désintégrations des modes  $D\pi$  et  $D\rho$ , notamment, sont écrites sous forme d'une combinaison linéaire d'amplitudes d'états propres d'isospin 1/2 et 3/2, les mesures récentes obtenues pour les modes supprimés de couleur suggèrent des effets importants d'interaction dans ces états finals. Ces effets se manifestent en particulier par des différences de phases fortes entre les amplitudes d'isospin dont les valeurs calculées à partir des taux de branchement mesurés sont significativement différentes de zéro.

La méthode de reconstruction partielle que nous utilisons dans notre analyse permet de s'affranchir des hypothèses utilisées jusqu'à présent pour mesurer les rapports de branchement  $B \rightarrow D^{0(*)}\pi$ . En reconstruisant complètement un premier méson B, le quadri-vecteur du second B est précisément connu, tout comme le nombre total de B. Ainsi, aucune hypothèse sur le rapport relatif de production des mésons B chargés et neutres dans la désintégration du  $\Upsilon(4S)$  n'est nécessaire. Les rapports de branchement sont alors obtenus par ajustement des résonances de mésons  $D^{0(*)}\pi$  qui apparaissent dans la distribution de la masse manquante au  $\pi$ . Ainsi affranchie des rapports de branchement de la désintégration des mésons charmés D puisqu'ils ne sont pas reconstruits, cette méthode permettra d'attendre des mesures plus précises lorsque l'expérience BaBar aura accumulé plus de données.

### Désintégrations $B \rightarrow D_{sj}D^{(*)}$

En 2002 et début 2003, les expériences BaBar, Belle et CLEO ont observé dans leurs données deux nouvelles résonances, l'une d'une masse de 2317 MeV/ $c^2$ , se désintégrant dans l'état final  $D_s D^0$ , et la seconde d'une masse de 2460 MeV/ $c^2$ , se désintégrant dans les états finals  $D_s D$  et  $D_s^* D^0$ . Pour un système (méson)  $Q \bar{q}$  formé d'un quark lourd Q (tel que le c) et d'un quark léger q, la théorie prédit que le spin du quark lourd se découple et que le spin J du méson et le moment angulaire total  $j_q$  du quark léger forment de bons nombres quantiques. On prédit ainsi pour ce système l'existence de quatre excitations d'onde P avec les nombres quantiques  $(J^P, j_q)$  suivants :  $(0^+, 1/2)$ ,  $(1^+, 1/2)$ ,  $(1^+, 3/2)$  et  $(2^+, 3/2)$ . Dans le cadre de ce modèle, les deux mésons (déjà connus)  $D_s(2536)$  et  $D_s(2573)$  sont interprétés comme les excitations  $(1^+, 3/2)$  et  $(2^+, 3/2)$  d'une paire  $c \bar{s}$  et les deux nouvelles résonances  $D_{sj}(2317)$  et  $D_{sj}(2460)$  pourraient fort bien correspondre aux deux états (jusqu'à présent inobservés)  $(0^+, 1/2)$  et  $(1^+, 1/2)$ . L'observation et l'étude des propriétés des désintégrations  $B \rightarrow D_{sj}D^{(*)}$  pourront aider à confirmer cette hypothèse ; c'est pourquoi nous avons entrepris une étude afin de sélectionner et d'identifier de telles désintégrations dans les données de BaBar.

### Désintégrations supprimées de couleur et désintégrations $B \rightarrow \bar{D}^{(*)0}\pi\pi$

Depuis septembre 2001, le groupe travaille sur la mesure du taux de branchement des désintégrations

des mésons  $\bar{B}^0$  dans les modes supprimés de couleur  $D^{(*)0}X^0$  (avec  $X^0 = \pi^0, \rho^0, \omega, \eta, \eta'$ ). Des études précédemment publiées en 2002 par les expériences CLEO et Belle, et réalisées pour certains de ces modes uniquement, laissent apparaître une différence significative (un facteur 3 à 10 environ) par rapport aux prédictions théoriques basées sur les modèles décrivant les désintégrations des mésons beaux : les modèles dits de « factorisation naïve ». Cette différence laisse entrevoir une contribution importante liée aux effets de l'interaction forte qui interviennent dans les états finals B en  $D\pi$  et  $D\rho$ , notamment. Les modèles de factorisation sont couramment utilisés de nos jours par les théoriciens pour calculer le taux de branchement des désintégrations hadroniques charmées comme  $D^{(*)0}D^{(*)0}$ , ou bien encore ceux des désintégrations hadroniques sans charme comme  $\pi\pi, K\pi$  et  $KK$ , qui tous interviennent pour la mesure des angles  $\beta$  et  $\alpha$  du triangle CKM. L'étude des modes supprimés de couleur offre donc un laboratoire unique pour la compréhension détaillée des effets QCD qui interviennent dans les états finals des désintégrations hadroniques des mésons B et pour contraindre leur calcul à partir de principes fondamentaux.

Nous avons mis en place une chaîne d'analyse permettant de sélectionner et d'étudier les 10 modes supprimés de couleur cités plus haut, dans 63 états finals différents. Nous avons mesuré pour la première fois les taux de branchement des modes  $B^0 \rightarrow D^{*0}\omega, D^{*0}\eta$  et  $D^0\eta'$ . Nous avons amélioré par près d'un facteur 2 les mesures précédemment publiées par les expériences Belle et CLEO sur les désintégrations  $D^{(*)0}\pi^0, D^0\eta$  et  $D^0\omega$ . La Figure 2 présente la distribution de masse des mésons  $\bar{B}^0$  se désintégrant dans les modes  $D^0\pi^0$  et  $D^0\eta'$ , le second mode de désintégration étant observé pour la première fois.

Ces résultats ont été présentés sous une forme préliminaire

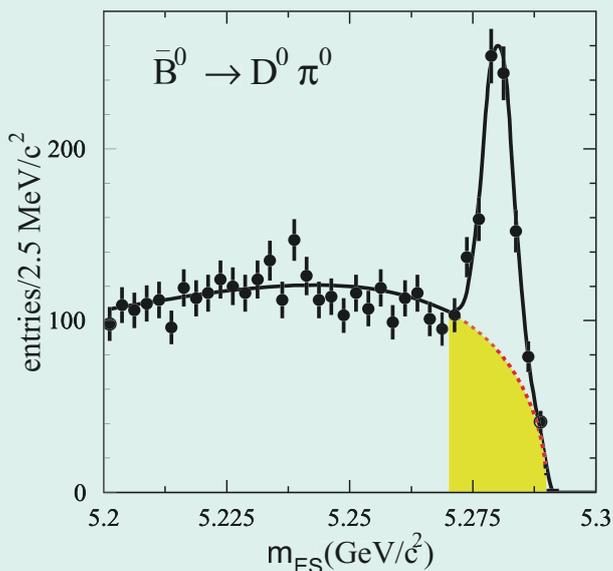


Figure 2 : Distribution de masse des mésons  $\bar{B}^0$  se désintégrant dans le mode  $D^0\pi^0$ .

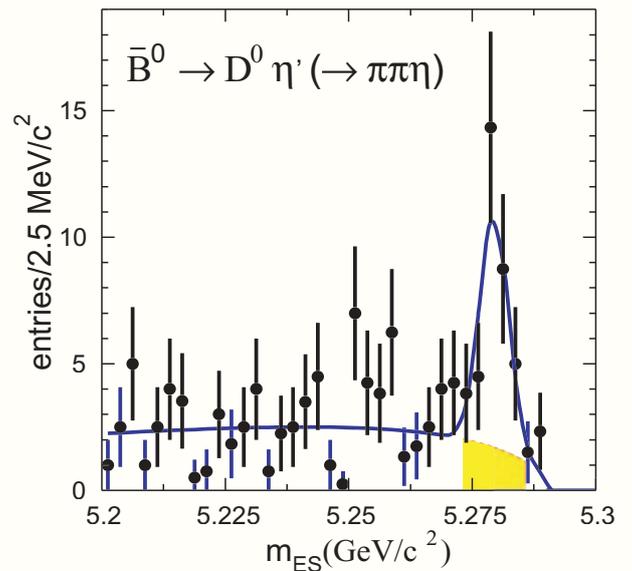


Figure 3 : Distribution de masse des mésons  $\bar{B}^0$  se désintégrant dans le mode  $D^0\eta'$ .

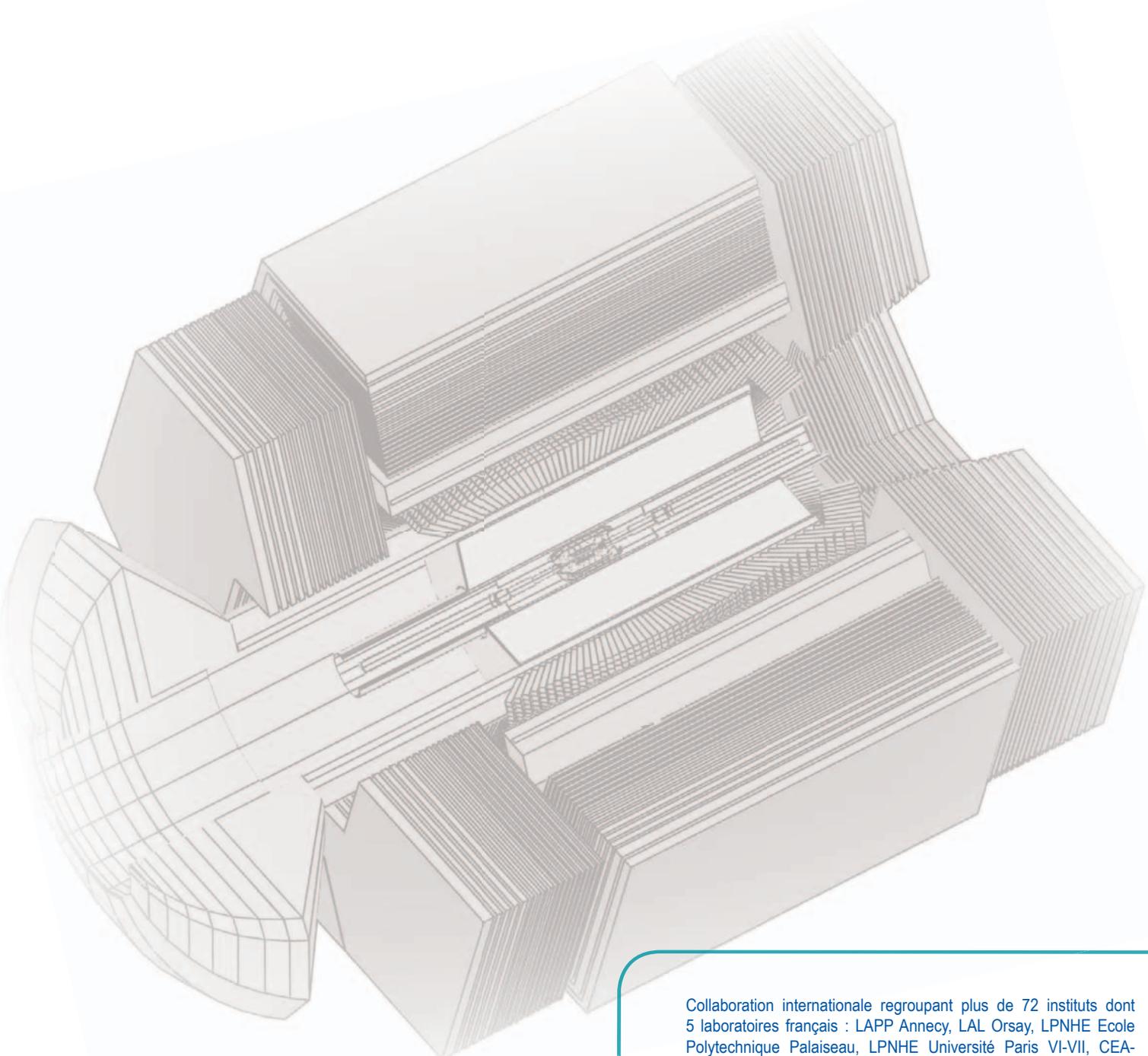
à la Conférence Internationale de Physique des Hautes Energies (ICHEP2002), qui a eu lieu en juillet 2002 à Amsterdam. Nous avons achevé cette analyse à la fin du printemps 2003 en utilisant les 89 millions de paires  $B\bar{B}$  enregistrées par l'expérience BaBar d'octobre 1999 à juillet 2002. Un de nos membres, V. Tisserand, a présenté ces mesures pour la première fois à Aachen en Allemagne, lors de la Conférence de la Société Européenne de Physique (EPS2003). La publication de cette analyse est actuellement soumise à la revue Physics Review D.

En avril 2003, nous avons commencé l'étude des désintégrations  $B^0$  en  $D^{(*)0}\pi\pi$ . Ces modes permettent en particulier de mesurer précisément la production des modes supprimés de couleur  $D^{(*)0}\rho^0$ , ou  $D^{(*)0}\pi\pi$  direct, qui souffrent d'un bruit de fond résonnant important. Cela permettra d'achever l'étude des modes charmés supprimés de couleur précédemment décrite. Ces modes sont également particulièrement intéressants car, en plus de pouvoir mesurer leur taux de production dans les désintégrations des mésons beaux, ils offrent la possibilité d'étudier, à partir d'un échantillon pur et de haute statistique, la spectroscopie des mésons charmés doublement excités, les  $D^{**}$ . La spectroscopie de ces modes est rendue compliquée car il faut mesurer 4 résonances larges ou étroites avec des moments angulaires différents dans une fenêtre en masse restreinte. Il faut également souligner qu'une telle étude dans les désintégrations des mésons B est tout à fait complémentaire de l'étude de la production des états  $D_s(2317)$  et  $D_s(2460)$ , récemment découverts par BaBar et confirmés par CLEO et Belle, ainsi que celle des états  $D_s(2536)$  et  $D_s(2573)$ . Pour cela nous avons mis au point la chaîne de sélection et d'analyse de ces désintégrations. Nous disposons dès à présent d'un échantillon pur et abondant de  $D^{**}$  chargés, qui se désintègrent en  $D^{(*)0}\pi$ , et dont les propriétés spectroscopiques ne sont pas encore mesurées, elles sont simplement prédites par rapport aux modes  $D^{**}$  neutres par symétrie d'isospin.

## Désintégrations rares

Ces études s'inscrivent dans le cadre des désintégrations non charmées des mésons B. Il s'agit ici de mesurer le taux de branchement de la désintégration  $B \rightarrow \eta' X_s$  où  $X_s$  est un ensemble de particules comprenant un kaon et un ou plusieurs pions, pour des  $\eta'$  de haute impulsion dans le centre de masse. Cette désintégration est une des signatures du processus à une boucle  $b \rightarrow sg^*$  (pingouin gluonique). Elle permet de tester l'hypothèse de l'existence d'un état gluonium dans la fonction d'onde du  $\eta'$  et l'intervention d'un couplage  $\eta'-g-g$  selon la chaîne  $b \rightarrow sg^*, g^* \rightarrow g \eta'$ .

En effet, le taux anormalement élevé pour la transition  $B \rightarrow \eta' X_s$  mesuré par la collaboration CLEO (1998), ainsi que le spectre de la masse du système  $X_s$ , tendent à être en accord avec des modèles théoriques incluant la production de  $\eta'$  à partir de gluonium. La mesure préliminaire présentée récemment par BaBar confirme tout en l'améliorant le résultat de CLEO. L'analyse prend également en compte la possibilité de pollution par les désintégrations supprimées de couleur  $B^0 \rightarrow \eta' D^{(*)0}$ . Ces résultats sont détaillés dans la thèse d'Adlène Hicheur et la publication correspondante est actuellement en préparation.



Collaboration internationale regroupant plus de 72 instituts dont 5 laboratoires français : LAPP Ancey, LAL Orsay, LPNHE Ecole Polytechnique Palaiseau, LPNHE Université Paris VI-VII, CEA-DAPNIA Saclay.

### Pour en savoir plus

<http://www.lapp.in2p3.fr/babar/babar.html>

<http://doc.in2p3.fr/babar>

<http://heplibw3.slac.stanford.edu/BFROOT>

# Expérience LHCb

## Participation du LAPP

**Expérimentateurs :** I. De Bonis, D. Décamp, M-N. Minard, S. Moreau, **B. Pietrzyk**

**Equipe technique :** J. Ballansat, P. Baudin, Y. Beeldens, D. Boget, P-Y. David, P. Delebecque, C. Drancourt, N. Dumont-Dayot, C. Girard, B. Lieunard, M. Moynot

**Doctorant :** H. Terrier

**Stagiaire :** N. Letendre

## Abstract

Participation of LAPP in LHCb has been accepted in 2001. The group contributes to physics analysis [electron identification, analysis of  $B_d \rightarrow J/\psi K_s$  ( $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ ) channel], electronics (intelligent zero suppression, LO electronics) and mechanics (calorimeter supports).

## Présentation générale

Le Modèle Standard a été vérifié avec un grand succès ces dernières années. Certains de ses paramètres ont été mesurés avec une excellente précision. Dans le secteur des quarks, la matrice de mélange  $V_{CKM}$  que le modèle suppose unitaire, a pu être partiellement mesurée, avec cependant moins de précision que

d'autres paramètres du Modèle Standard. Les expériences Babar et Belle ont fermement établi la violation de CP dans le secteur des mésons  $B_d^0$  en 2001, ce qui représente une avancée importante dans ce domaine. La motivation principale pour l'expérience LHCb consiste à poursuivre l'étude de la violation CP, à partir de l'étude de désintégrations des mésons B ( $B_d$  et  $B_s$ ). Cela consiste à mesurer complètement, et avec la meilleure précision possible, la matrice  $V_{CKM}$ , en particulier les paramètres  $\sin 2\beta$ ,  $\sin 2\alpha$  et surtout le troisième angle  $\gamma$  pratiquement inaccessible pour les expériences fonctionnant sur le pic du  $\Upsilon(4S)$ . Si  $V_{CKM}$  s'avère unitaire, le MS est confirmé, si elle n'est pas unitaire cela pourrait indiquer la présence de nouveaux phénomènes physiques. La situation au démarrage du LHC (prévu en 2007) pourrait, par exemple, être représentée par le cercle de la Figure 1, en parfait accord avec le MS. En 2008, grâce à l'expérience LHCb (Figure 2), les mesures de l'angle  $\gamma$ , représentées par la croix, pourraient alors montrer une contribution de nouveaux phénomènes physiques.

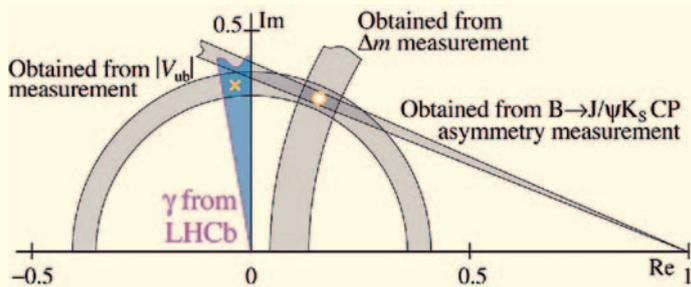


Figure 1 : Situation potentielle en 2007 (cercle) et après un an de prise de données de l'expérience LHCb (croix).

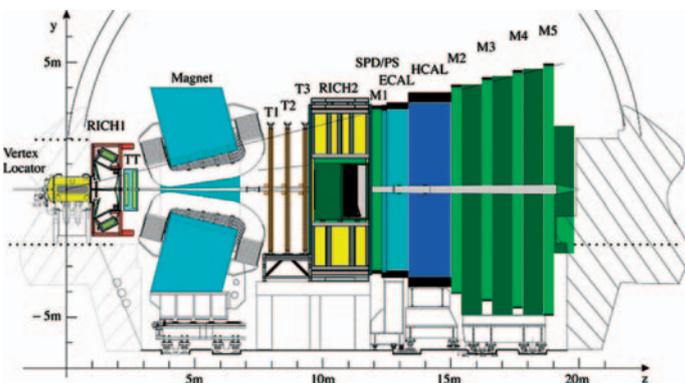


Figure 2 : Vue de côté du détecteur LHCb après re-optimisation pour réduire la quantité de matière traversée par les particules et améliorer les performances du déclenchement de niveau 1. Les principaux changements concernent le détecteur de vertex, le RICH1, le trajectographe et la partie du détecteur de muons située avant les calorimètres.

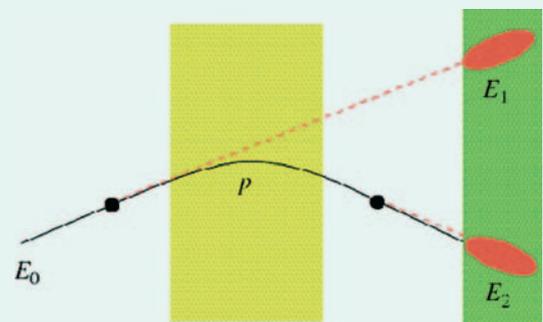


Figure 3 : Schéma de principe de la reconstruction des photons émis par rayonnement de freinage par les électrons.

Un électron d'énergie  $E_0$  peut radier un photon avant ou après l'aimant. Dans le premier cas, un cluster associé au photon, est reconstruit dans le ECAL avec une énergie  $E_1$ , alors que dans le second cas le photon est associé au cluster de l'électron. Pour l'identification des électrons on utilise le fait que  $E_2 = p$ , impulsion mesurée dans le spectromètre alors que l'énergie initiale de l'électron est  $E_0 = E_1 + E_2$ .

La participation du LAPP à LHCb a été acceptée par le Conseil Scientifique du LAPP, l'IN2P3 et par la collaboration LHCb au cours de la période juin-septembre 2001.

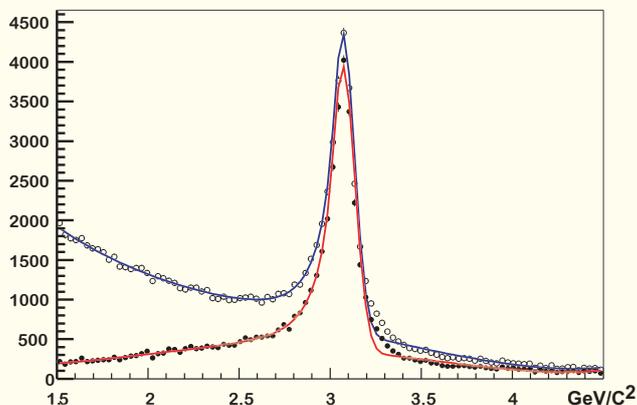


Figure 4 : Histogramme de la masse invariante pour la reconstruction du  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ . La distribution représentée par des cercles blancs est obtenue sans coupure sur l'impulsion transverse,  $p_T$ , alors que celle représentée par les cercles noirs avec  $p_T > 0.5 \text{ GeV}/c$ . L'intérêt de cette coupure est de rejeter les traces mal reconstruites.

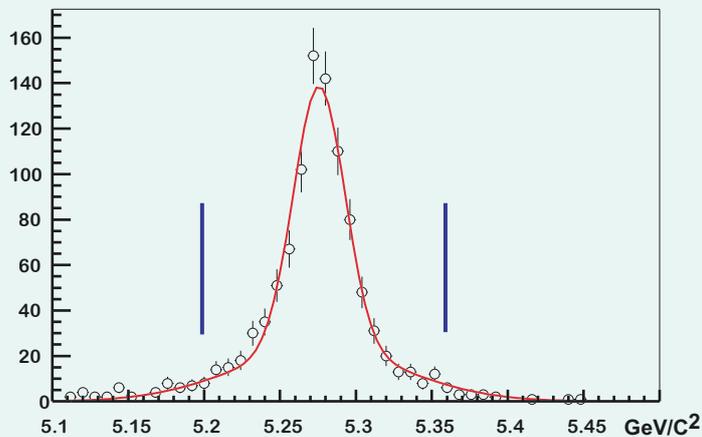


Figure 5 : Histogramme de la masse invariante pour la reconstruction du  $B_d \rightarrow J/\psi K_s$ . Les traits bleus représentent la coupure appliquée sur la masse invariante.

## Analyse

Le groupe s'est impliqué dans l'amélioration du détecteur LHCb particulièrement à travers l'analyse du canal  $B_d \rightarrow J/\psi K_s$  ( $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ ). Cette analyse inclut l'identification des électrons avec les détecteurs ECAL, PRS, HCAL et RICH, ainsi que la reconstruction des photons émis par rayonnement de freinage par les

électrons (Figure 3) et la reconstruction des  $J/\psi$ ,  $K_s$  et  $B_d$  (Figures 4 et 5) à partir de coupures topologiques et cinématiques.

Les autres contributions du groupe se font à travers des participations en électronique et en mécanique.

## Électronique

Le groupe participe à la construction d'une carte de processeur de transmission des données des calorimètres vers le DAQ avec une suppression intelligente des zéros. Cette carte TELL1 (Figure 6) est utilisée par la majorité de la Collaboration LHCb. Le groupe est chargé de la construction d'une carte permettant les tests de l'ensemble des cartes TELL1 de la collaboration (voir le rapport du service électronique).

Dans la chaîne de déclenchement le groupe est aussi en charge de la construction d'une carte de validation pour le trigger des calorimètres.

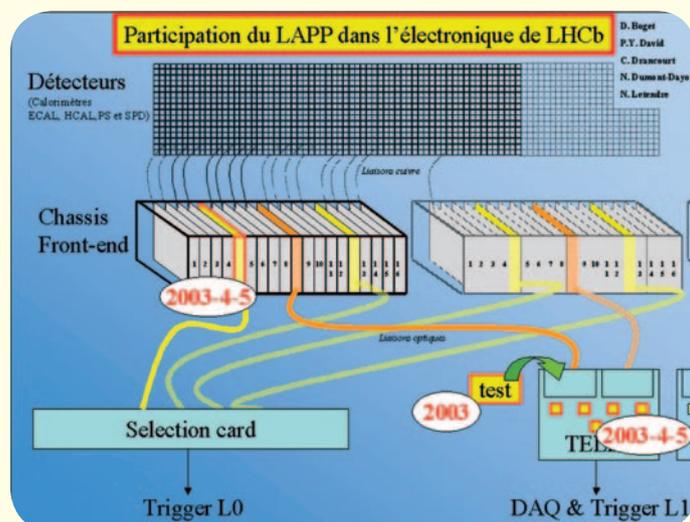


Figure 6 : Participation du LAPP à la construction de l'électronique du calorimètre électromagnétique LHCb.

## Mécanique

Le groupe assure, en collaboration avec le CERN, l'étude et la réalisation mécanique des supports et des chariots pour les preshowers SPD/PS et les calorimètres ECAL et HCAL (Figures 7, 8 et 9), ainsi que les plates-formes électroniques des calorimètres électromagnétique et hadronique et la gestion des quelque 120 km de câbles associés au détecteur. La réalisation permet le déplacement de chaque détecteur (ECAL, HCAL, SPD, PS) entre la position à l'intérieur du détecteur et la position à l'extérieur du détecteur sans déconnecter les câbles. Cette étude comprend les calculs sismiques (voir le rapport du service mécanique) pour l'ensemble de la structure. Ce travail a été très apprécié à l'occasion de la revue technique faite récemment par la collaboration LHCb. L'installation de l'ensemble débutera en octobre 2004.

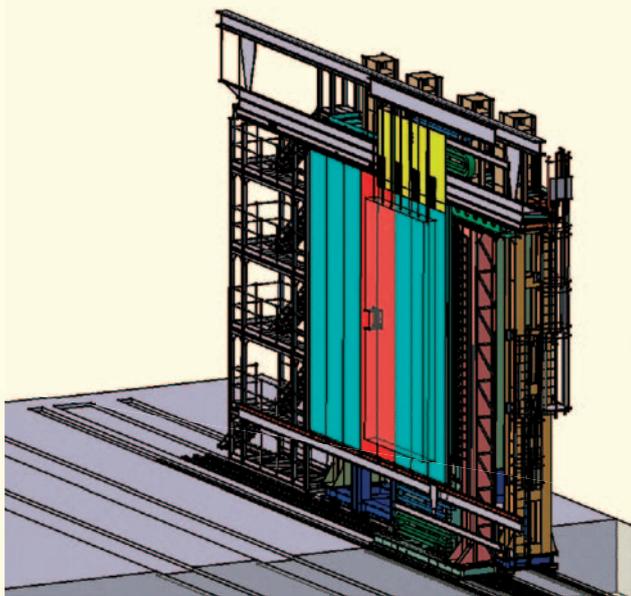


Figure 7 : Calorimètres LHCb, vue générale.

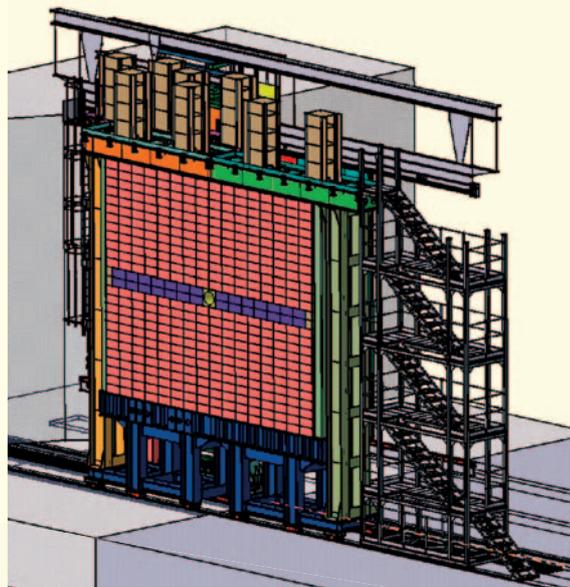


Figure 8 : Calorimètres LHCb fermés par le preshower.



Figure 9 : Calorimètres LHCb, vue de côté.

Collaboration internationale regroupant 51 instituts dont 4 laboratoires français : LAPP Ancecy, LPC Clermont-Ferrand, CPPM Marseille, LAL Orsay.

Pour en savoir plus  
<http://www.lapp.in2p3.fr/lhcb/>  
<http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>