

# BABAR : LA PHYSIQUE DES SAVEURS ET LA VIOLATION DE CP



L'expérience BaBar, installée sur l'anneau de stockage  $e^+e^-$  PEP-II à SLAC, en Californie, a accumulé une luminosité intégrée totale de  $524 \text{ fb}^{-1}$  entre les débuts de l'expérience en 1999 et la fin de la prise de données en 2008. La plus grande partie des données ( $426 \text{ fb}^{-1}$ , soit environ 468 millions de paires de mésons B) a été prise sur la résonance  $\Upsilon(4S)$ , ce qui a permis d'effectuer des études de précision dans le secteur des mésons B, avec en particulier la mesure des effets de violation de CP dans leurs désintégrations. Une activité d'analyse s'est poursuivie au sein du groupe BaBar LAPP entre 2009 et 2012. Cette activité est centrée sur la reconstruction exclusive de désintégrations hadroniques des mésons B, avec l'étude des désintégrations supprimées de couleur des  $B^0$  et celle des désintégrations  $B \rightarrow D^{(*)} D^{(*)} K$ , et sur la mesure de l'angle  $\gamma$  du Triangle d'Unitarité, avec l'étude des désintégrations  $B^+ \rightarrow D^{(*)0} K^{(*)+}$ .

## INTRODUCTION

Les chercheurs du LAPP, ainsi que ceux de trois autres laboratoires de l'IN2P3 et d'un du CEA, participent à l'expérience BaBar depuis la formation de la collaboration en 1993. Le groupe du LAPP a construit et était responsable du système de gaz qui alimente la chambre à dérive, et a participé activement à la prise de données et à la vie de la collaboration, avec plusieurs séjours de longue durée à SLAC. Depuis l'arrêt de l'expérience, une activité d'analyse des données centrée autour de la reconstruction exclusive de désinté-

## L'ÉQUIPE DU LAPP

### PHYSICIENS

P. Del Amo Sanchez,  
T. Hryn'Ova-Berger, J.-P. Lees,  
V. Poireau, V. Tisserand

### POST-DOC

E. Principe

### STAGIAIRE

M1 (1)

grations hadroniques des mésons B et la mesure de l'angle  $\gamma$  du Triangle d'Unitarité s'est poursuivie dans notre groupe. Dans ce cadre, l'un des membres du groupe a assumé de 2008 à 2011 la co-responsabilité du groupe d'analyse « BRECO » sur les désintégrations hadroniques des mésons B et la mesure de l'angle  $\gamma$  du Triangle d'Unitarité. Cette même personne s'est également, en tant que « system manager » de la chambre à dérive, occupée du démontage de celle-ci ainsi que du rapatriement du système de gaz sur Annecy. Elle a aussi été, de 2009 à 2012, le responsable du centre de calcul de Lyon (CC In2p3) vis-à-vis de l'expérience BaBar. Enfin, certains des membres du groupe ont participé à la rédaction du BaBar-Belle Legacy Book ou ont fait partie du groupe d'étude et de conseil sur les perspectives de la collaboration, de ses ressources et de son encadrement pour les années au-delà de 2010 (« BaBar Beyond 2010 Task Force »). On notera également qu'une réunion de collaboration BaBar a été organisée au LAPP en juin 2011.

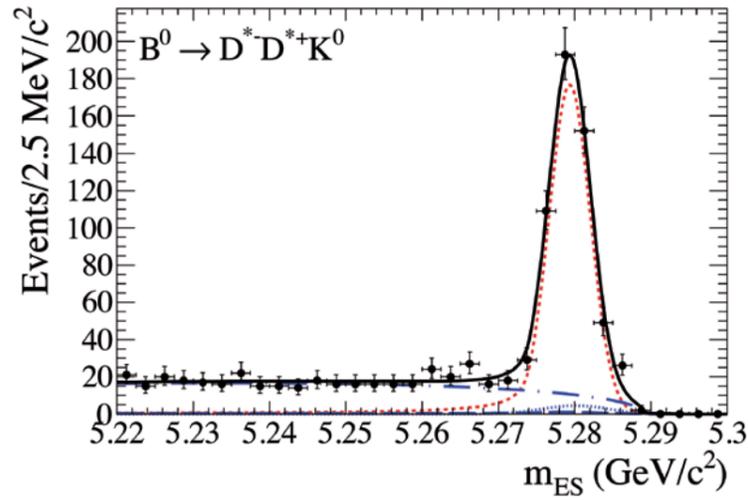
## ACTIVITÉS DE RECHERCHE DU GROUPE DU LAPP

### Étude des désintégrations $B \rightarrow D^{(*)0} h^0$

Depuis 2001, le groupe travaille sur l'étude des désintégrations des mésons  $\bar{B}^0$  dans les modes supprimés de couleur  $D^{(*)0} h^0$  (avec  $h^0 = \pi^0, \eta, \omega$  et  $\eta'$ ). La mesure des taux de branchements des désintégrations  $B^0 \rightarrow D^{(*)0} h^0$ , à l'aide de la statistique totale de BaBar, constitue le résultat du travail de la thèse de

FIGURE 1

Spectre en masse des candidats  $B \rightarrow D^* D^* K_s^0$  reconstruits dans BaBar.



Xavier Prudent, soutenue en juin 2008. Cette analyse a été définitivement achevée au printemps 2011. Ses résultats ont été présentés à la conférence EPS-HEP de Grenoble, en juillet 2011, et publiés fin 2011 dans Physical Review D [5]. Nous améliorons sensiblement les valeurs des moyennes mondiales des rapports d'embranchement pour les huit modes cités ci-dessus. Nous réalisons la première mesure de polarisation du mode vecteur-vecteur  $D^* \omega$ , pour laquelle nous obtenons une valeur significativement différente de la prédiction des théories effectives de quarks lourds mais qui corrobore les prédictions de la « Soft Collinear Effective Theory » (SCET) et qui laisse la porte ouverte à des effets de physique au-delà du Modèle Standard.

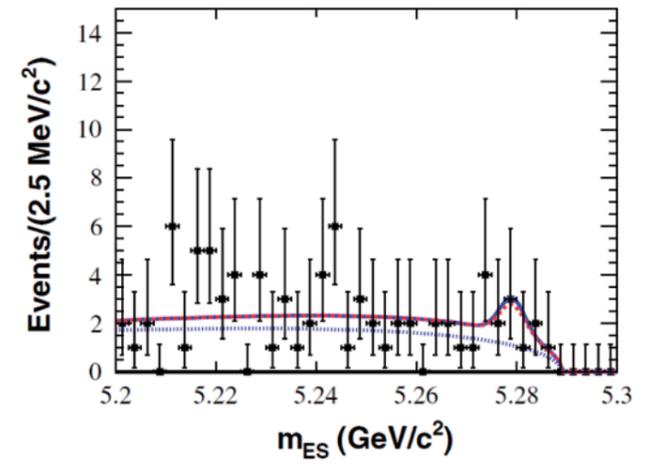
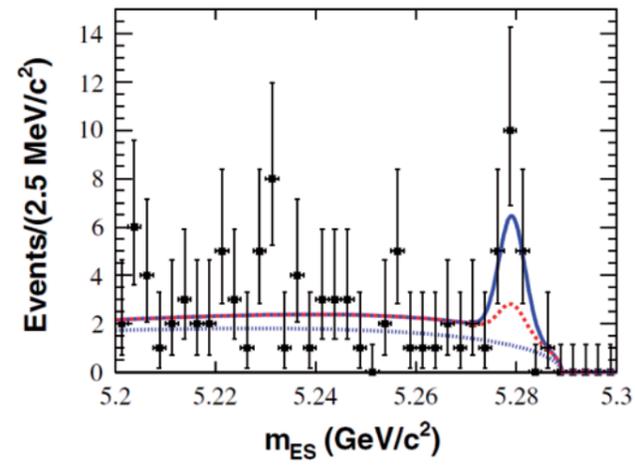
### Etude des désintégrations $B \rightarrow \bar{D}^{(*)} D^{(*)} K$

Le groupe s'est également concentré sur l'étude des canaux  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)} D^{(*)} K$  qui se sont révélés extrêmement riches, et qui offrent un large éventail de physique à étudier. Tout d'abord, la mesure des rapports de branchement de ces 22 états finals permet de mieux comprendre la transition  $b \rightarrow \bar{c}cs$  (qui donne les désintégrations  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)} D^{(*)} K$ ) ainsi que le nombre de hadrons charmés produits. Ces canaux sont également intéressants pour une variété d'études, comme par exemple pour extraire le rapport de production de  $B^+$  et de  $B^0$  venant de la résonance  $Y(4S)$ , ou la mesure de  $\sin 2\beta$  et  $\cos 2\beta$  (angle du triangle d'Unitarité lié à la violation CP) via les désintégrations du type  $B^0 \rightarrow D^{(*)} D^{(*)} K_s^0$ . Finalement, ces canaux de désintégration permettent d'étudier les

résonances possibles dans l'état final, comme les mésons  $D_{s1}^+(2536)$ ,  $\psi(3770)$  et  $X(3872)$  (tous trois ayant fait l'objet d'une publication par le groupe en 2008), ainsi que le méson  $D_{s1}(2700)$ .

Le groupe s'est en particulier consacré à la mesure des rapports d'embranchement des 22 états finals  $B \rightarrow D^{(*)} D^{(*)} K$ . La plupart des modes ont été observés avec une signification statistique importante, constituant pour certains la première observation de ces modes. En sommant les modes entre eux, on obtient que les états finals  $D^{(*)} D^{(*)} K$  représentent  $(3.68 \pm 0.10 \pm 0.24) \%$  et  $(4.05 \pm 0.11 \pm 0.28) \%$  des désintégrations des mésons B neutres et chargés respectivement. Ce résultat a été publié en 2011 dans Physical Review D [3]. La figure 1, extraite de la publication [3], montre par exemple le spectre en masse des candidats  $B \rightarrow D^* D^* K_s^0$ .

La mesure précise des rapports d'embranchement des canaux  $B \rightarrow D^{(*)} D^{(*)} K$  permet de vérifier les propriétés très particulières en termes d'isospin de ces modes. Un travail sur ce sujet a été effectué dans le groupe. Les buts de cette étude étaient de vérifier les relations d'isospin entre les différents états finals, d'éclairer le mécanisme de désintégration de B en  $D^{(*)} D^{(*)} K$  via les amplitudes d'isospin, et de discuter les implications sur la mesure de  $\sin 2\beta$  et  $\cos 2\beta$ . Cette étude montre que la prédiction basée sur les relations d'isospin permet de retrouver les rapports de branchement expérimentaux. Nous avons également extrait



FIGURES 2A, 2B

Spectre en masse des modes supprimés (ADS)  $B^+$  en  $D^0 K^+$  ( $D^0 \rightarrow K \pi^+$ ) et  $B^-$  en  $D^0 K^-$  ( $D^0 \rightarrow K \pi^-$ ). L'asymétrie entre le nombre de candidats  $B^+$  et  $B^-$  est clairement visible.

le rapport  $B(Y(4S) \rightarrow B^+ B^-) / B(Y(4S) \rightarrow B^0 B^0)$  donnant une valeur de  $1.100 \pm 0.056$ , en accord avec la moyenne mondiale, rapport très important dans la physique du B. Cet article a été publié en 2011 dans Physics Letters B [4].

Le groupe se consacre actuellement à l'étude d'une résonance, le méson  $D_{s1}(2700)$ , en l'étudiant dans le plan de Dalitz, de façon à extraire ses propriétés en prenant en compte les interférences possibles. Cette résonance se désintègre en  $DK$  ou  $D^*K$ , et peut donc être vue comme état final  $D^{(*)} D^{(*)} K$  via le mode  $B \rightarrow D^{(*)} D_{s1}(2700)$ . Les deux canaux les plus prometteurs ont été étudiés via une analyse complète de Dalitz :  $B^0 \rightarrow D^0 D^0 K^+$  et  $B^+ \rightarrow D^0 D^0 K^+$ . Une publication sur ce sujet est en préparation.

### Etude des désintégrations $B^\pm \rightarrow \bar{D}^{(*)0} K^{(*)\pm}$ et mesure de l'angle $\gamma$

Un des membres du groupe a participé, avec le groupe de l'Université d'Ohio, à l'analyse sur l'angle CKM  $\gamma$  à l'aide des deux méthodes ADS et GLW pour le canal de désintégration  $B^-$  en  $D^0 K^+$ , publiée dans Physical Review D fin 2009 [1].

Une analyse importante conduite par le groupe a été la mesure des taux de désintégration doublement supprimés de Cabibbo des mésons  $B^+$  en  $D^0$  ou anti- $D^0 K^+$ , où les  $D^0$  ou anti- $D^0$  se désintègrent en  $K \pi^+$  (méthode ADS). Ces désintégrations se caractérisent par la présence de deux kaons de charge opposée dans l'état final, et la comparaison de leur taux de bran-

chement à celui des modes favorisés (deux kaons de même signe) permet d'extraire le rapport  $r_B$  des amplitudes supprimées des  $B^+$  en  $D^0 K^+$  ( $\propto V_{ub}$ ) aux amplitudes dominantes des  $B^+$  en anti- $D^0 K^+$  ( $\propto V_{cb}$ ). En prenant en compte les taux de branchement des  $D^0$  ou anti- $D^0$  en  $K \pi^+$ , on peut calculer que les deux amplitudes intervenant dans la transition  $B^+ \rightarrow [K \pi^+] K^+$  sont du même ordre de grandeur, donnant lieu à des interférences et donc à des effets de violation de CP importants pour cet état final. Le rapport des désintégrations  $B^+ \rightarrow D^{(*)0} K^+$  ( $D^0 \rightarrow K \pi^+$ ) aux désintégrations  $B^+ \rightarrow D^{(*)0} K^+$  ( $D^0 \rightarrow K \pi^+$ ) est ainsi sensible au rapport  $r_B$  des amplitudes supprimées  $V_{ub}$  aux amplitudes dominantes  $V_{cb}$ , à l'angle  $\gamma$  du Triangle d'Unitarité et à la différence  $\delta$  des phases fortes entre les deux amplitudes. L'analyse a permis de mettre en évidence pour la première fois la présence d'un signal dans les canaux  $D^0 K$  (figures 2a et 2b) et  $D^0 K$ , ainsi que l'existence d'importantes asymétries entre  $B^+$  et  $B^-$  (effet à un peu plus de 2 déviations standard). Début 2010, nous avons travaillé sur l'extraction des contraintes sur les paramètres physiques  $r_B$ ,  $\delta_D$  et  $\gamma$  à partir des observables, et notre travail a été publié dans Physical Review D cette même année [2]. Ces résultats ont depuis été confirmés avec davantage de statistiques par les expériences Belle et CDF et, plus récemment, par LHCb, qui de façon attendue observe un signal ADS à 10 écarts standards et une asymétrie directe de CP significative à 4 écarts standards.

Enfin, l'un des membres du groupe a contribué à l'équipe d'experts de la mesure de

l'angle CKM  $\gamma$  en charge de calculer la combinaison statistique des mesures de BaBar pour cet angle avec les désintégrations chargées  $B^-$  en  $D^{(*)}K^{(*)}$ . Une présentation de ces résultats a été faite en même temps que ceux des expériences LHCb et de Belle à la conférence CKM 2012 qui a eu lieu en septembre 2012. Ces résultats ont été publiés dans la revue Physical Review D début 2013 [6].

### Etude sur le vieillissement des cristaux du calorimètre électromagnétique

Une physicienne de BaBar ayant rejoint le groupe ATLAS du LAPP a poursuivi, lors de son arrivée au laboratoire, une étude sur l'influence des radiations sur la réponse de cristaux de CsI(Tl) du calorimètre électromagnétique de BaBar, à l'aide des données complètes de l'expérience. La conclusion de ces études a été que la résolution du calorimètre électromagnétique de BaBar n'était pas affectée par les effets de l'irradiation [7].

## PUBLICATIONS IMPORTANTES

- [1] *Measurement of CP violation observables and parameters for the decays  $B^{\pm} \rightarrow DK^{\pm}$* , Phys. Rev. D80, (2009) 092001
- [2] *Search for  $b \rightarrow u$  transitions in  $B^- \rightarrow DK$  and  $D^*K$  decays*, Phys. Rev. D82, (2010) 072006
- [3] *Measurement of the  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}D^{(*)}K$  branching fractions*, Phys. Rev. D83, (2011) 032004
- [4] *A precise isospin analysis of  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}D^{(*)}K$  decays*, Phys. Lett. B704, (2011) 559
- [5] *Branching fraction measurements of the color-suppressed decays  $\bar{B}^0$  to  $D^{(*)0}\pi^0$ ,  $D^{(*)0}\eta$ ,  $D^{(*)0}\omega$ , and  $D^{(*)0}\eta'$  and measurement of the polarization in the decay  $\bar{B}^0$  to  $D^{(*)0}\omega$* , Phys. Rev. D84 (2011) 112007
- [6] *Observation of direct CP violation in the measurement of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa angle  $\gamma$  with  $B^{\pm} \rightarrow D^{(*)}K^{(*)\pm}$  decays*, Phys. Rev. D87 (2013) 052015
- [7] *The BABAR detector: upgrades, operation and performance*, Nuclear Instruments and Methods A729 (2013) 615-701

## HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

**V. Tisserand**, *De BABAR à LHCb, en passant par CKMfitter. Physique du B et de CP dans les désintégrations charmonium et supprimées de couleur. Mesure des angles CKM beta et gamma*, HDR soutenue le 30 avril 2009

## PRÉSENTATIONS DANS DES CONFÉRENCES

- V. Poireau**, *BaBar review talk on exotics, X, Y, Z*, 4<sup>th</sup> High-Energy Physics Conference in Madagascar, HEP-MAD 09
- P. Del Amo Sanchez**, *New physics in B decays*, XXIX Physics in Collision, Kobe, Japan, 2009
- V. Poireau**, *BABAR results on exotic charmonium states*, Journey in Hadron Physics: International Mini-Workshop Montpellier, 2009
- V. Poireau**, *Measurement of the branching fractions of the Decays  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}D^{(*)}K$* , 35<sup>th</sup> International Conference on High Energy Physics: ICHEP 2010, Paris, France
- T. Hryn'Ova-Berger**, *Operating experience from the BaBar electromagnetic calorimeter*, Engineering of Scintillation Materials and Radiation Technologies, Kharkov, Ukraine, 2010
- V. Tisserand**, *Recents results from BaBar*, 25<sup>èmes</sup> Rencontres de Physique de la Vallée d'Aoste, La Thuile, Italie, 2011
- V. Poireau**, *Recent results from BABAR*, 47<sup>th</sup> Rencontres de Moriond : Electroweak Interactions and Unified Theories, La Thuile, Italie, 2011

### POUR EN SAVOIR PLUS

Site de l'expérience BaBar :  
<http://www-public.slac.stanford.edu/babar/>