

# BABAR Etude de la symétrie dans le système $B\bar{B}$



**Expérimentateurs :** B. Aubert, R. Barate, M. Bona, Y. Karyotakis, **J-P. Lees**, V. Poireau, V. Tisserand, A. Zghiche  
**Equipe Technique :** J-M. Dubois  
**Doctorants :** F. Couderc, S. Grancagnolo, X. Prudent

**Abstract :** The BaBar experiment takes place at the PEP-II asymmetric-energy  $e^+e^-$  storage ring at SLAC (Stanford, California). The main goal of BaBar is to study the CP violation effects predicted by the Standard Model in the B meson sector, to study the possible deviations, and to improve our knowledge of the CKM matrix elements. The study of Beauty and Charm decays, and their spectroscopy, is also an important field to which our group is contributing. The experiment 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 avant 2001 n'avait été observé 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  $\bar{B}^0$  et 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 (octobre 2005), la luminosité intégrée enregistrée par l'expérience (Figure 1) s'élève à plus de  $299 \text{ fb}^{-1}$  dont  $272 \text{ fb}^{-1}$  au pic du  $Y(4S)$ , correspondant à environ 300 millions de désintégrations  $e^+e^- \rightarrow Y(4S) \rightarrow B\bar{B}$ . La violation de CP dans les désintégrations des  $B^0$  vers des états finaux charmonium  $K_S^0$  a été clairement établie, avec une mesure de  $\sin(2\beta) = 0.722 \pm 0.040(\text{stat}) \pm 0.023(\text{syst})$ . 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, depuis le démarrage de l'expérience, participe activement à la prise de données et à la vie de la collaboration, avec plusieurs séjours de longue durée à SLAC. L'analyse des données est une part importante de l'activité du groupe, avec une activité centrée sur la reconstruction exclusive de désintégrations hadroniques des mésons B.

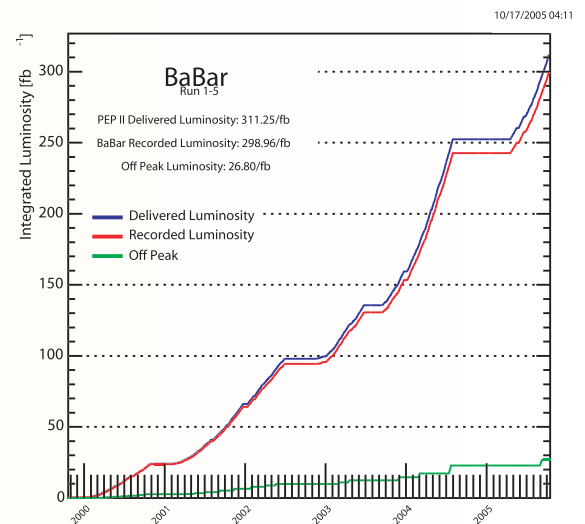


Figure 1 : La luminosité intégrée enregistrée par BaBar en fonction du temps, depuis le démarrage en 1999

## Collaboration

80 Instituts provenant de 11 pays (Allemagne, Canada, Chine, Espagne, Etats-Unis, France, Hollande, Italie, Norvège, Royaume Uni, Russie) dont 5 laboratoires français : LAPP Anney, LAL Orsay, LLR Ecole Polytechnique Palaiseau, LPNHE Université Paris 6 et 7, CEA-DAPNIA Saclay.

**Production inclusive de charme dans les désintégrations du B :** dans les événements  $e^+e^- \rightarrow Y(4S) \rightarrow B\bar{B}$ , 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 charme de bon et de mauvais signe  $B \rightarrow c X, B \rightarrow \bar{c} X$  et leurs spectres en impulsion pour chaque type de particule charmée. Grâce au nombre exceptionnel de paires  $B\bar{B}$  produites, l'expérience BABAR est la première où une telle méthode a pu être appliquée avec succès. Ce travail, publié dans PRD, a constitué la thèse de F. Couderc et a permis de compléter une précédente étude des transitions  $b \rightarrow c \bar{c} s$  à partir des désintégrations exclusive  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)} D^{(*)} K$ .

**Recherche de désintégrations  $B \rightarrow D_{sJ} D^{(*)}$  :** deux résonances  $D_{sJ}(2317)$  et  $D_{sJ}(2460)$  ont été découvertes en 2003 par BaBar (Cleo et Belle) dans les canaux  $D_{sJ}(2317) \rightarrow D_s \pi^0$  et  $D_{sJ}(2460) \rightarrow D_s^* \pi^0, D_s \gamma$ . 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 l'existence de quatre excitations d'onde P de nombres quantiques  $(J^P, j_q) = (0^+, \frac{1}{2}), (1^+, \frac{1}{2}), (1^+, 3/2)$  et  $(2^+, 3/2)$ , où J est le spin du méson et  $j_q$  le moment angulaire total du quark léger. Dans le cadre de ce modèle, les deux nouvelles résonances  $D_{sJ}(2317)$  et  $D_{sJ}(2460)$  pourraient être les deux états inobservés  $(0^+, \frac{1}{2})$  et  $(1^+, \frac{1}{2})$  du système  $(c \bar{s})$ . Afin de confirmer cette hypothèse, le groupe a étudié leur production dans les désintégrations  $B \rightarrow D_{sJ} D^{(*)}$  (Thèse de S. Grancagnolo et publication dans PRL) (Figure 2).

**Etude des désintégrations  $B \rightarrow D^{(*)0} h^0$  :** depuis 2001, le groupe a travaillé sur l'étude des désintégrations des mésons  $\bar{B}^0$  dans les modes supprimés de couleur  $D^{(*)0} X^0$  (avec  $X^0 = \pi^0, \rho^0$  et  $\pi^+ \pi^-, \omega, \eta, \eta'$ ). A partir d'un échantillon de 89 millions de  $\bar{B}^0$ , il a publié en 2004 dans PRD les taux de branchement de ces modes. Ces mesures laissent apparaître une différence significative (un facteur 3 à 10 environ) par rapport aux prédictions théoriques basées sur les modèles dits de « factorisation naïve », ce qui suggère une contribution importante liée aux effets de l'interaction forte. Une meilleure compréhension de ces effets permettrait par exemple de mieux prédire la valeur du rapport  $r_B$  des amplitudes  $b \rightarrow u/b \rightarrow c$  dans les désintégrations  $B \rightarrow DK$ , un paramètre crucial afin de déterminer l'angle  $\gamma$  du triangle d'unitarité à partir de l'étude des modes  $B \rightarrow DK$ . Le groupe prévoit de refaire la mesure des branchements  $B \rightarrow D^{(*)0} h^0$  pour un échantillon de 500 millions de  $\bar{B}^0$  et également d'étudier la violation de CP (mesure de l'angle  $\beta$  à partir de désintégrations  $B^0 \rightarrow D^{(*)0} h^0$  où le  $D^0$  se désintègre vers un état final commun aux  $D^0$  et aux anti- $D^0$ , tel que  $K^+ K^-$  ou  $K^0 \pi^+ \pi^-$ ). Il envisage également d'étudier la reconstruction des désintégrations  $B^0 \rightarrow D^{(*)0} K_S^0$  et la mesure éventuelle de  $\sin(2\beta + \gamma)$  à l'aide de ces modes. Ce travail constituera le sujet de thèse de X. Prudent.

**Autres analyses :** le LAPP travaille également sur la reconstruction des désintégrations  $B \rightarrow D\pi, D^* \pi$  et  $D^{**} \pi$  par une méthode de masse manquante, afin de mesurer leurs taux de branchement par une méthode indépendante des modèles, ainsi que sur la recherche de résonances dans les désintégrations  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)} D^{(*)} K$ .

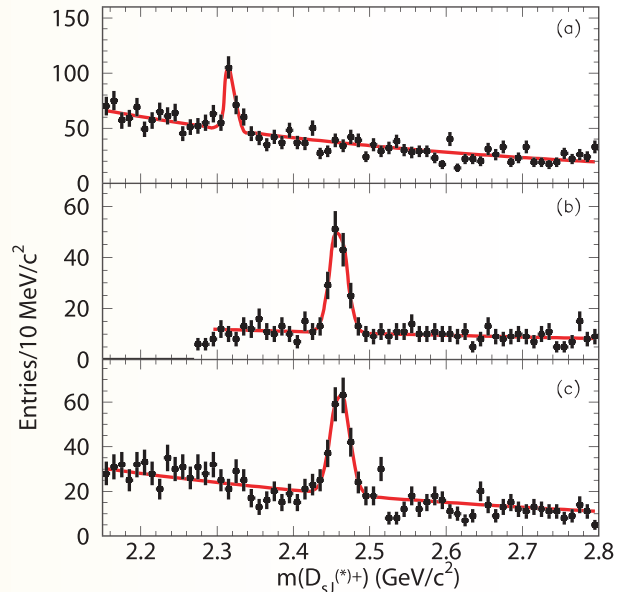


Fig 2 : les mésons  $D_{sJ}$  observés dans les désintégrations  $B \rightarrow D_{sJ} D^{(*)}$  (a)  $D_s^0(2317) \rightarrow D_s \pi^0$  (b)  $D_{s1}(2460) \rightarrow D_s^* \pi^0$  (c)  $D_{s1}(2460) \rightarrow D_s \gamma$

## Faits marquants - Perspectives

L'expérience est actuellement en prise de données et prévoit de doubler la statistique disponible d'ici à l'été 2006, pour atteindre un échantillon de 500 millions de paires  $B\bar{B}$ . Après un arrêt technique pour remplacer les détecteurs de muons et améliorer les performances de l'accélérateur, il est prévu de doubler à nouveau la statistique entre la fin 2006 et l'été 2008, date de la fin probable des prises de données. La collaboration disposera alors d'un échantillon jamais atteint au monde de 1 milliard de paires  $B\bar{B}$ . Une telle statistique permettra une précision accrue sur les mesures des angles  $\alpha$  et  $\gamma$  du triangle d'unitarité, la recherche de violation directe de CP dans de nombreux canaux, la mesure de l'angle  $\beta$  dans différents types de désintégrations des B, et plus généralement des tests de précision approfondis sur les prédictions du modèle standard et la recherche des manifestations de nouvelle physique.

## Pour en savoir plus

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

<http://www-public.slac.stanford.edu/babar/>