

Étude de la violation de CP dans les désintégrations $B^0 \rightarrow D^{*\mp} \pi^\pm$ partiellement reconstruites

Marie Legendre



Le formalisme CKM de la violation de CP

$$V_{CKM} = \begin{bmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{bmatrix}$$

Paramétrisation de Wolfenstein :

$$V_{CKM} \approx \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

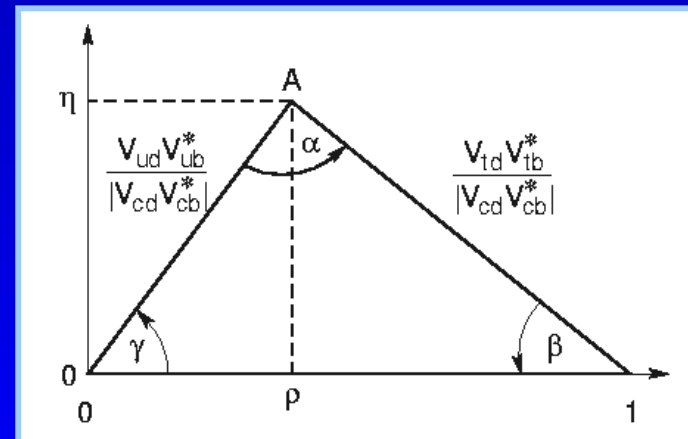
CP

(Phase complexe non triviale)

Matrice complexe unitaire :

$$V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* = 0$$

⇒ Se traduit par un triangle d'unitarité dans le plan ρ, η



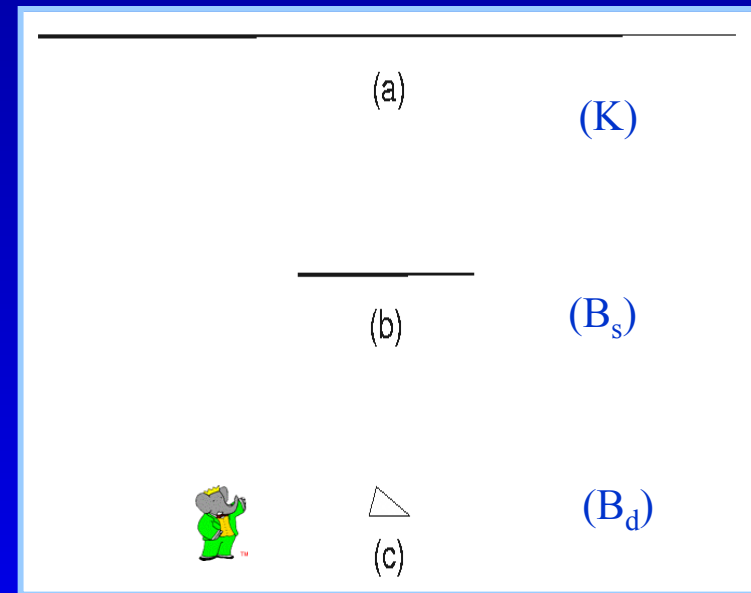
Observations de la violation de CP

- 1964 : observation dans les systèmes de mésons K
- 2001 : observation dans les systèmes de mésons B_d (BaBar et Belle) par la mesure de $\sin(2\beta)$



BaBar : Étudier la violation de CP dans les systèmes de mésons B

- vérifier que la violation de CP est bien une propriété des quarks
- vérifier la cohérence du MS de l'interaction faible
- contraindre les paramètres de CKM (angles α , β , γ)
 - β maintenant bien mesuré :
 $\sin(2\beta) = 0.741 \pm 0.067 \pm 0.033$
 - 2^o étape : surcontraindre le triangle par la mesure de α et γ et la mesure des côtés
 - recherche de nouvelle physique



Les 3 triangles d'unitarité dans une échelle commune

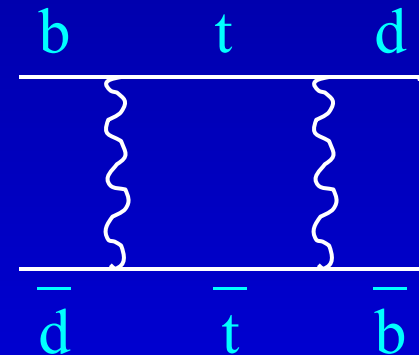
Les systèmes de mésons B neutres

B^0 : états propres (e.p.) de saveurs \neq états propres de masse

ep de saveur : $\bar{b}d, \bar{d}b$ ep physiques : B_H, B_L

\Rightarrow Oscillation B^0/\bar{B}^0 à la fréquence Δm_d

$$\Delta m_d \sim 0.47 \text{ ps}^{-1}$$

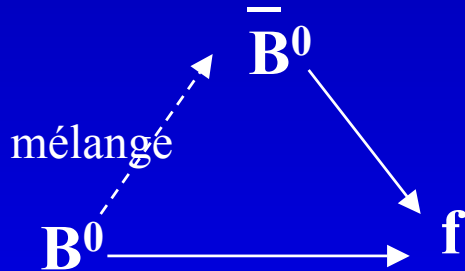


Violation de CP :

e.p. de CP \neq e.p. physiques

Différents types de violation de CP

- Violation de CP dans les désintégrations (directe)
- Violation de CP dans le mélange (indirecte)
- **Violation de CP dans les interférences entre les désintégrations avec et sans mélange :**



B^0 se désintègre directement en un état final f ou après mélange avec le \bar{B}^0

\Rightarrow **Asymétries**
dépendant du temps

On doit mesurer Δt , la différence de temps entre les désintégrations des 2 B

L'accélérateur au SLAC (Californie)

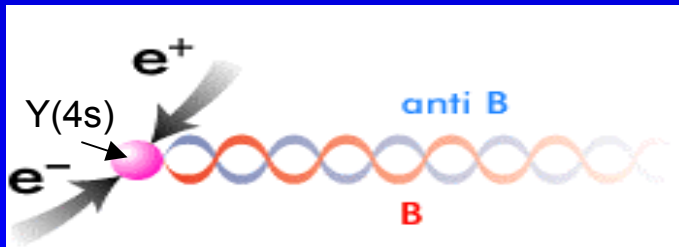
C'est une usine à B

SLAC/LBL/LLNL
SLAC-Based B Factory:
PEP-II and BABAR



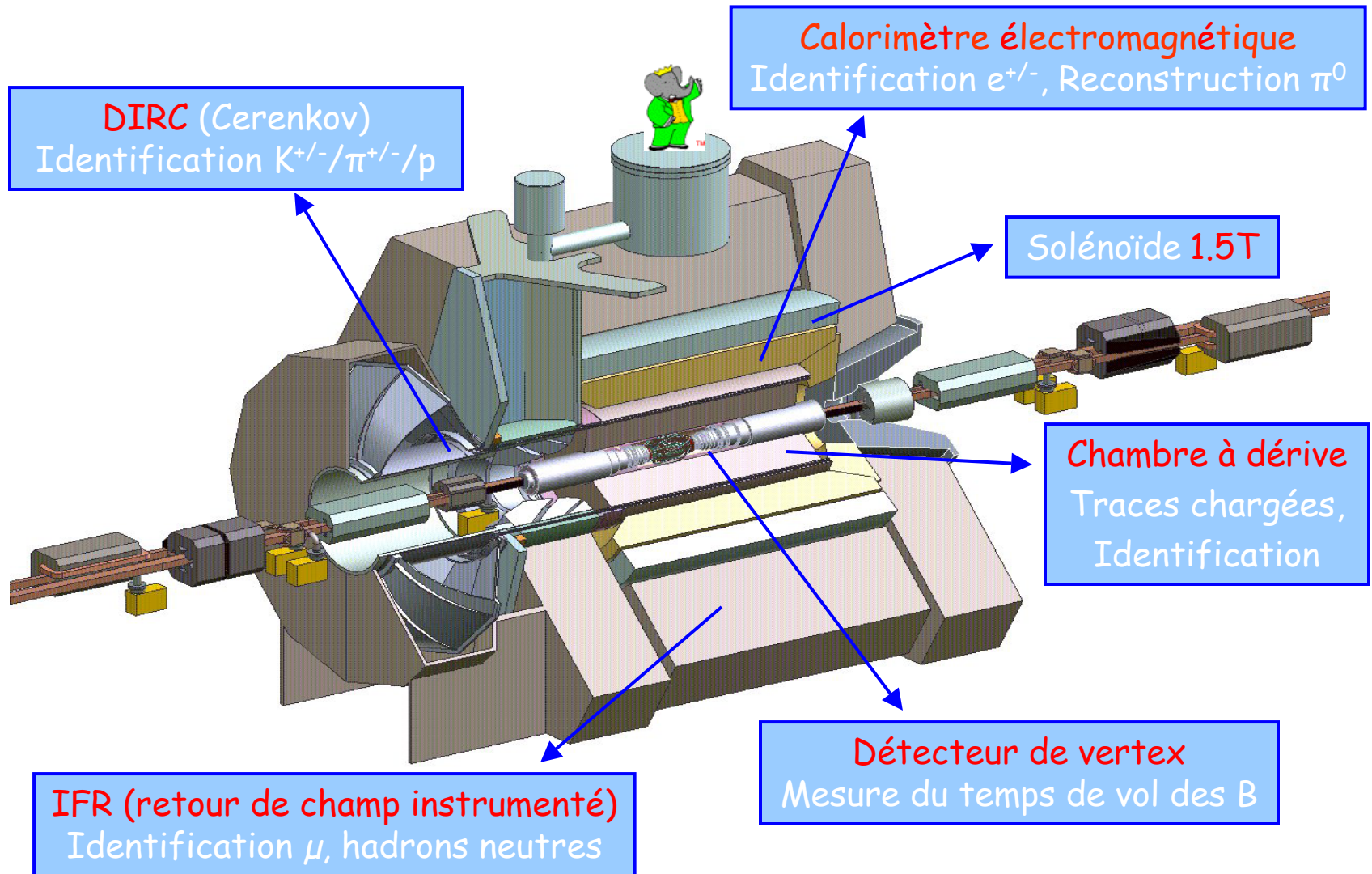
Faisceaux asymétriques
en énergie :
 $E(e^+) = 3.1 \text{ GeV}$
 $E(e^-) = 9.0 \text{ GeV}$

Faisceau réglé à la résonance $Y(4s)$:
se désintègre $\sim 100\%$ en une paire $B\bar{B}$ corrélée

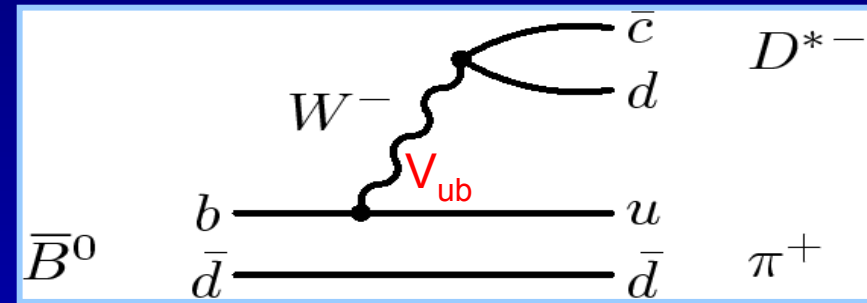
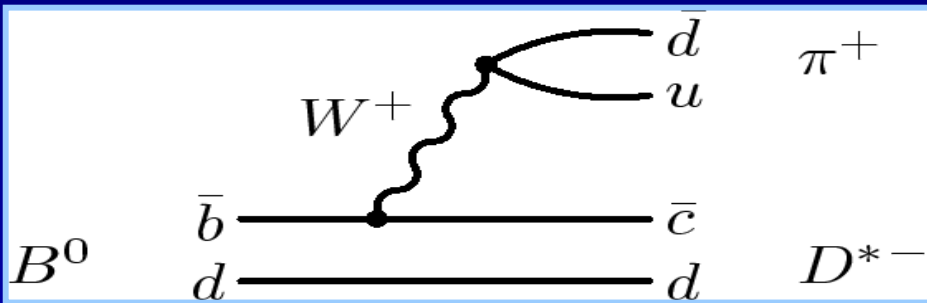


Faisceaux asymétriques :
La paire BB est boostée
($\gamma\beta = 0.56$)
 \Rightarrow Permet la mesure de Δt

Le détecteur BABAR



Violation de CP dans $B^0 \rightarrow D^{*-}\pi^+$



B^0 et \bar{B}^0 peuvent se désintégrer dans le même état final $D^{*-}\pi^+$

\Rightarrow violation de CP dans les interférences entre le mélange et la désintégration

$$r = \left| \frac{A(\bar{B}^0 \rightarrow D^{*-}\pi^+)}{A(B^0 \rightarrow D^{*-}\pi^+)} \right| \approx 0.02 \quad \Rightarrow \text{On s'attend à de petites asymétries}$$

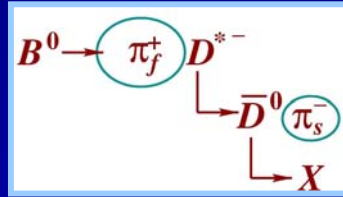
Remarque : états finals pas états propres de CP

- interférences entre les 2 amplitudes : phase faible relative ($2\beta+\gamma$)
 - phase forte relative δ entre les 2 amplitudes
- \rightarrow Mesure $\sin(2\beta+\gamma\pm\delta)$

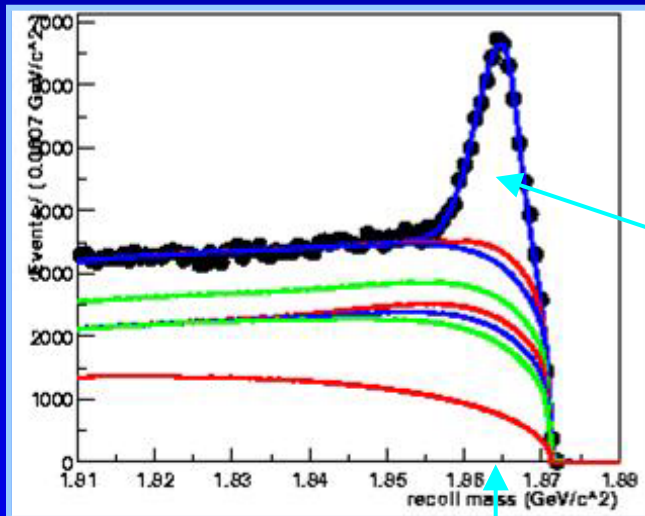
Méthode de reconstruction partielle

Petite valeur de $r \Rightarrow$ besoin de beaucoup de statistique

Reconstruction de

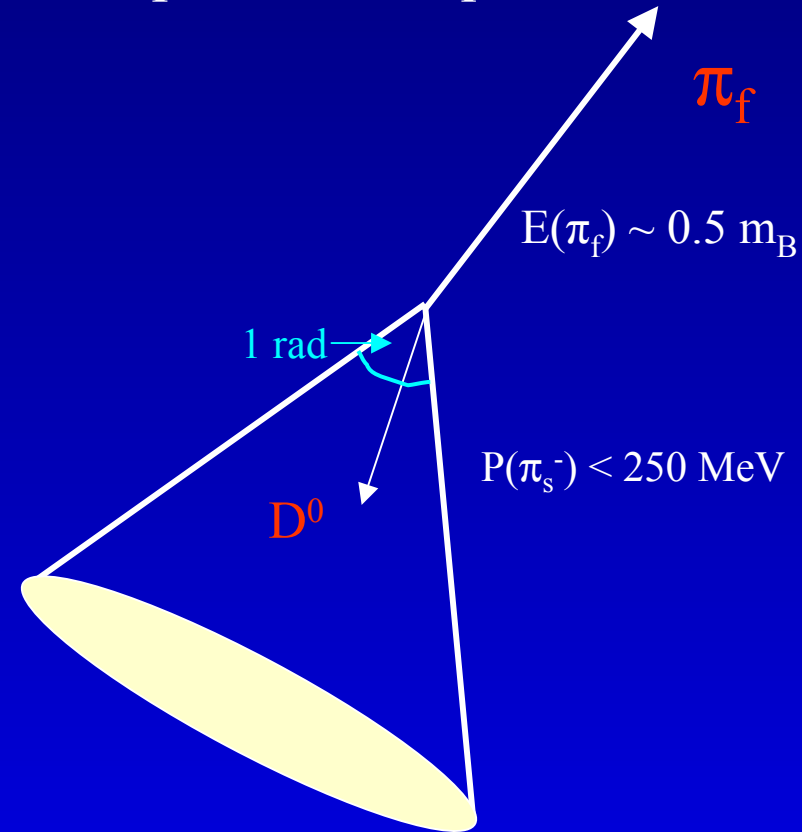


- on ne reconstruit pas le D^0
- on calcule la masse manquante dans l'évènement



signal largeur
3 MeV

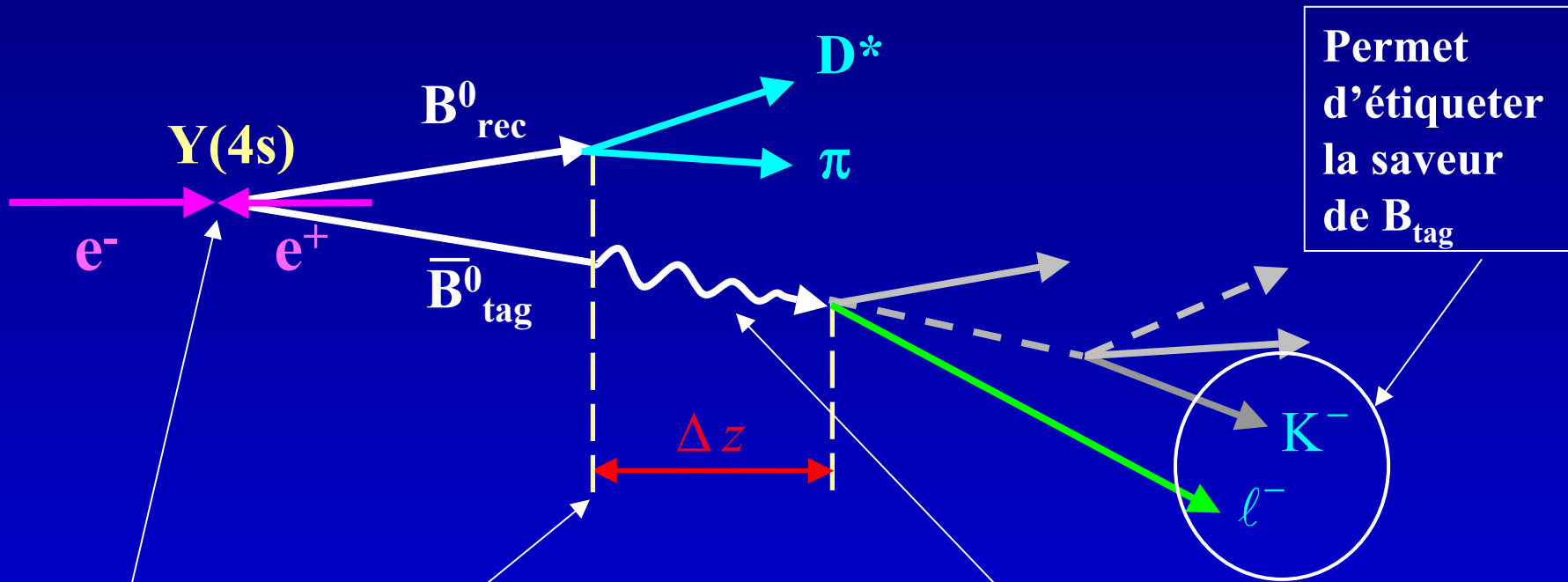
pike à la masse
nominale du D^0



Reconstruction partielle :

- permet de gagner un facteur 10 sur la stat
- mais plus de bruit de fond

Technique expérimentale : étiquetage



Production d'une paire cohérente $B\bar{B}$

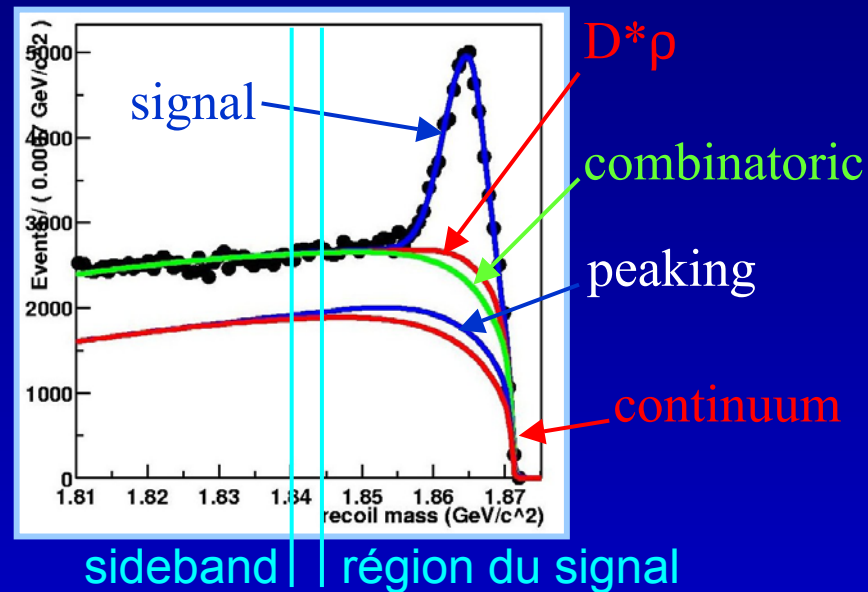
À l'instant de la désintégration du 1° B, les 2 B sont dans des états de saveur opposées

Le 2° B oscille entre B^0 et \bar{B}^0 à la fréquence Δm_d avant de se désintégrer

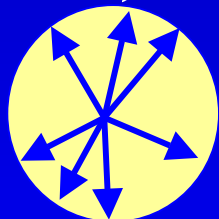
Connaissant la saveur de B_{tag} à l'instant de sa désintégration t_{tag} et sa loi d'évolution temporelle entre t_{rec} et t_{tag} , on détermine la saveur de B_{rec} à l'instant t_{rec} de sa désintégration

Bruits de fond

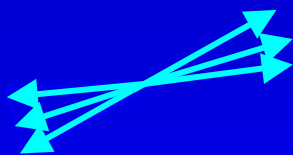
- $B \rightarrow D^* \bar{\nu} \rho^\pm$
- Bruit de fond $B\bar{B}$ qui "pique" ($D^* \pi$, $D^* \pi \pi \dots$)
- Combinatoire
- Continuum $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ ($q = u, d, s, c$)



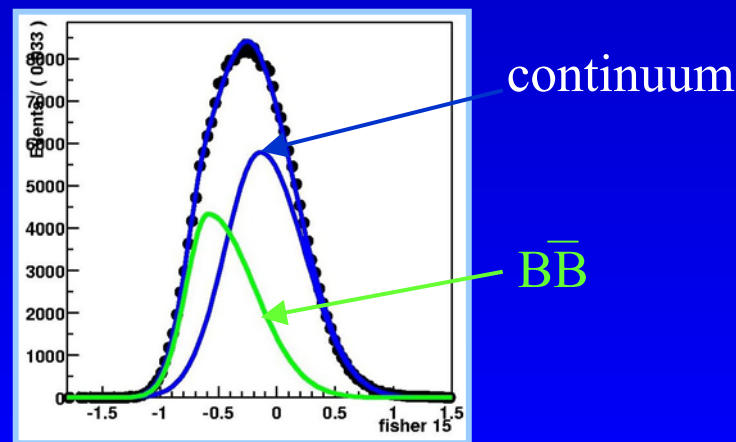
Variable discriminante de forme d'événement (Fisher)



B sphérique



Continuum



Détermination de $\sin(2\beta+\gamma)$ grâce à l'évolution temporelle

Probabilités des désintégrations B^0/\bar{B}^0 en $D^{*\mp}\pi^\pm$

$$P(B^0 \rightarrow D^{*\mp}\pi^\pm)(t) = \frac{1}{8\tau} e^{-|t|/\tau} [1 \mp A \cos(\Delta m_d t) + S^\pm \sin(\Delta m_d t)]$$

$$P(\bar{B}^0 \rightarrow D^{*\mp}\pi^\pm)(t) = \frac{1}{8\tau} e^{-|t|/\tau} [1 \pm A \cos(\Delta m_d t) - S^\pm \sin(\Delta m_d t)]$$

avec

$$\begin{cases} A = \frac{1-r^2}{1+r^2}, \\ S^\pm = \frac{2r}{1+r^2} \sin(2\beta + \gamma \pm \delta) \end{cases}$$

$$\underline{r} \ll 1 \Rightarrow$$

$$\begin{cases} A \sim 1 \\ S^\pm \sim 2r \sin(2\beta + \gamma \pm \delta) \end{cases}$$

↑
Paramètres de CP mesurés

Procédure de l'analyse et résultats

2 analyses en parallèle pour les événements étiquetés par des kaons ou des leptons

Analyse en 3 étapes :

- **fit cinématique**

déterminer les formes des PDFs masse manquante et fisher
ajuster le nombre d'événement signal

- **modélisation des bruits de fond dans la sideband**

- **fit en Δt dans la région du signal**

fit des paramètres Δm , τ etc...

fit des paramètres de CP

Combinaison des résultats :

$$2 r \sin(2\beta+\gamma) \cos(\delta) = -0.063 \pm 0.024_{\text{stat}} \pm 0.014_{\text{syst}}$$

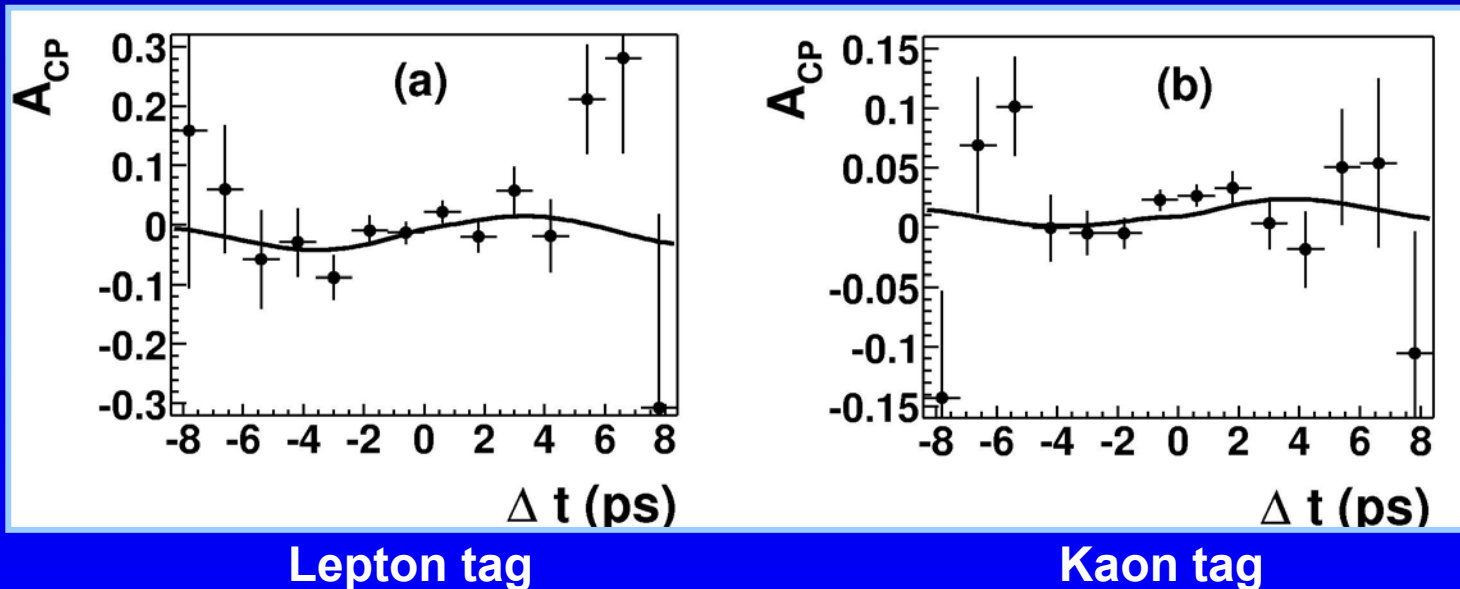
Dévie de 0 par plus de 2.3 σ (2.6 stat)

Asymétries de CP dépendantes du temps

$$\mathcal{A}_{CP}^{rec} = \frac{N(B_{tag}^0, B^0 \rightarrow D^{*\pm} \pi^\mp)(t) - N(\bar{B}_{tag}^0, B^0 \rightarrow D^{*\pm} \pi^\mp)(t)}{N(B_{tag}^0, B^0 \rightarrow D^{*\pm} \pi^\mp)(t) + N(\bar{B}_{tag}^0, B^0 \rightarrow D^{*\pm} \pi^\mp)(t)}$$

En l'absence de bruit de fond et d'effets expérimentaux :

$$\mathcal{A}_{CP}^{rec} = 2 r \sin(2\beta+\gamma) \cos(\delta) \sin(\Delta m \cdot \Delta t)$$



Conclusion

On mesure une asymétrie de CP indépendante de toute hypothèse théorique :

$$2 r \sin(2\beta+\gamma) \cos(\delta) = -0.063 \pm 0.024_{\text{stat}} \pm 0.014_{\text{syst}}$$

l'asymétrie dévie de 0 à 2.3σ

En utilisant Feldman Cousins,
limites sur $|\sin(2\beta+\gamma)|$:

$$|\sin(2\beta+\gamma)| > 0.87 \text{ @ } 68\% \text{ CL}$$
$$|\sin(2\beta+\gamma)| > 0.58 \text{ @ } 95\% \text{ CL}$$

Documentation :

Papier de conférence : hep-ex/0307036

PRL (soumise) : hep-ex/0310037

Contraintes dans le plan ρ, η :

