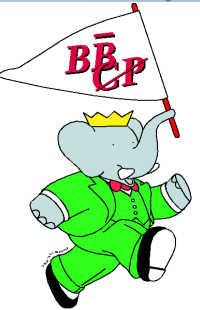




LLR École polytechnique

Violation de CP
Mesure de γ avec les $B^\pm$
Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Perspectives sur la mesure de γ



BaBar

Kobayashi-Maskawa matrix

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

Mesure de l'angle γ du triangle d'unitarité de la matrice CKM auprès de l'expérience BaBar

Emmanuel LATOUR

Unitarity triangle

Séminaire CPPM
25 Mars 2008

- Violation de CP
 - *Description dans Modèle Standard – Formalisme CKM*
 - *Triangle d'unitarité et mesure de ses paramètres*
- Mesure directe de l'angle γ : $B^\pm \rightarrow D^{(*)}K^{(*)\pm}$
- Mesure indirecte: $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
- Perspectives
 - Usines à B
 - LHC
 - Au-delà

C = opérateur de conjugaison de charge P = opérateur de parité

$$X(m, \vec{J}, Q) \rightarrow \bar{X}(m, \vec{J}, -Q)$$

→ Nombres quantiques

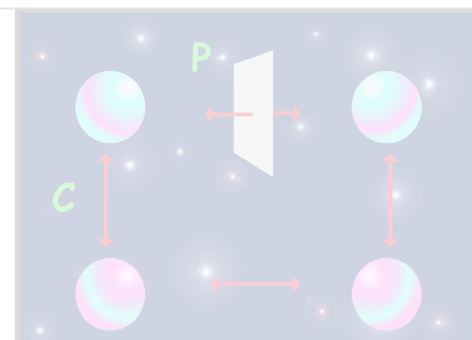
agit sur état interne de la particule

$$(\vec{x}, t) \rightarrow (-\vec{x}, t)$$

$$\vec{p} \rightarrow -\vec{p}$$

$$\vec{l} \rightarrow \vec{l}$$

agit sur observables liées à l'espace



- 1964: Mise en évidence expérimentale (Observation de $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-$)
- 1999: Violation de CP directe dans le système des mésons K
- 2001: Violation de CP dans le système des mésons B

Fermions	Quarks		
	 haut/up	 charme/charm	 sommet/top
	 bas/down	 étrange/strange	 beau/beauty
Leptons	Leptons chargés		
	 électron	 muon	 taupon
	Leptons neutres		
	 neutrino électron	 neutrino muon	 neutrino taupon

⇒ Dans le **secteur des quarks**

Modèle Standard, secteur électrofaible
secteur QCD (strong CP problem)

Cadre de ce séminaire

⇒ Dans le **secteur des leptons**

Oscillations de ν

Au-delà du Modèle Standard

Origine de la violation de CP dans le Modèle Standard

Lagrangien électrofaible du MS:

$$\mathcal{L}_{EW} = \mathcal{L}_{Fermions} + \mathcal{L}_{Yukawa} + \mathcal{L}_{Jauge} + \mathcal{L}_{Higgs}$$

Génération de la masse des fermions
 Mécanisme de Higgs $\Rightarrow$ termes de masses dans $\mathcal{L}_{Yukawa}$

$$M_{jk}^F \equiv -\frac{\langle 0|\phi_{Higgs}|0\rangle}{\sqrt{2}} Y_{jk}^F$$

$F \in \{u, c, t, d, s, b, e, \mu, \tau\}$

Couplage de Yukawa



$\mathcal{L}_{Yukawa}$ en fonction des états propres de masse

$\Rightarrow$ Diagonalisation des matrices de masse

$$M_{diag}^F = V_L^F M^F V_R^{F\dagger}$$

$\mathcal{L}_{Fermions}$ en fonction des états propres de masse

➤ Courants neutres invariants

➤ Courants chargés:

$$J_\mu^+ = \overline{U}_L^m \gamma_\mu V_L^U V_L^{D\dagger} D_L^m + \dots$$

$\downarrow$ u_L, c_L, t_L $\downarrow$ d_L, s_L, b_L **Termes leptoniques**

Matrice CKM : V_{CKM}

Seule source de violation de CP
 dans le secteur des quarks

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

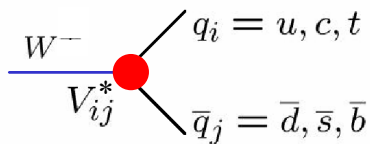
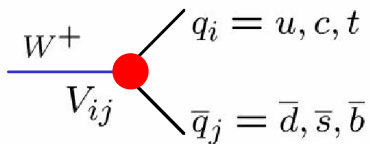
Violation de CP dans le Modèle Standard
 Enjeux de la violation de CP
 Accès expérimental au triangle d'unitarité
 Connaissances actuelles du triangle d'unitarité

Matrice CKM

Formalisme CKM

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

$$\begin{pmatrix} \boxed{d} & \boxed{s} & \boxed{b} \\ \begin{bmatrix} \text{large} & \text{small} & \text{tiny} \\ \text{small} & \text{large} & \text{small} \\ \text{tiny} & \text{small} & \text{large} \end{bmatrix} & + \mathcal{O}(\lambda^4) & \begin{bmatrix} u \\ c \\ t \end{bmatrix} \end{pmatrix}$$



Matrice **CKM** : V_{CKM}

Seule source de violation de CP
 dans le secteur des quarks

$\mathcal{L}_{\text{Fermions}}$ en fonction des états propres de masse

- Courants neutres invariants
- Courants chargés:

$$J_\mu^+ = \bar{U}_L^m \gamma_\mu \boxed{V_L^U V_L^{\dagger D}} D_L^m + \dots$$

$\downarrow$ u_L, c_L, t_L $\downarrow$ d_L, s_L, b_L $\underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{Termes leptoniques}}$

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Violation de CP dans le Modèle Standard
 Enjeux de la violation de CP
 Accès expérimental au triangle d'unitarité
 Connaissances actuelles du triangle d'unitarité

Triangle d'unitarité

Formalisme CKM

$$V = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d & s & b \\ 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + \mathcal{O}(\lambda^4)$$

u

c

t

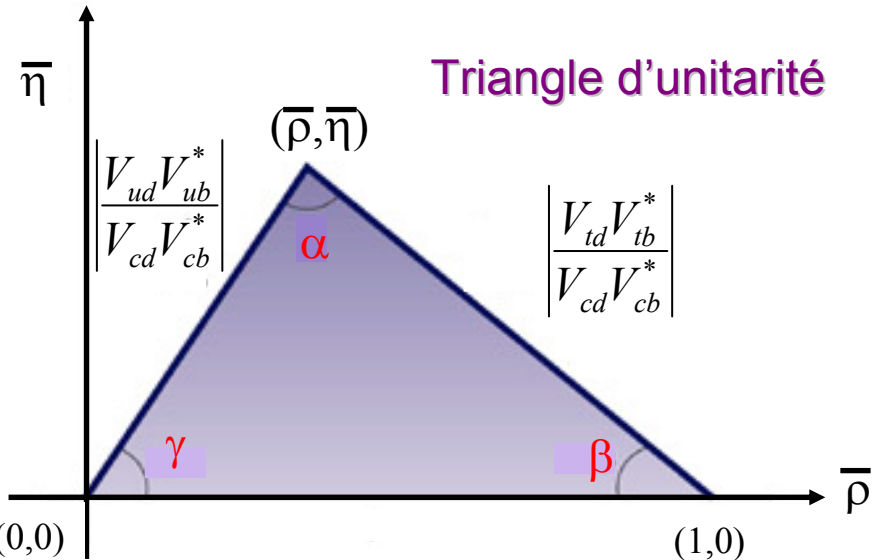
Unitarité

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

$\mathcal{O}(\lambda^3) \quad \mathcal{O}(\lambda^3) \quad \mathcal{O}(\lambda^3)$

$$\bar{\rho} = \left(1 - \frac{\lambda^2}{2}\right) \rho$$

$$\bar{\eta} = \left(1 - \frac{\lambda^2}{2}\right) \eta$$



Violation de CP
Mesure de γ avec les $B^\pm$
Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
Perspectives sur la mesure de γ

Violation de CP dans le Modèle Standard
Enjeux de la violation de CP
Accès expérimental au triangle d'unitarité
Connaissances actuelles du triangle d'unitarité

Enjeux de la violation de CP

COSMOLOGIE: *baryogénèse*

- Une des 3 conditions de Sakharov
- Amplitude insuffisante

$$\frac{\Delta n_{\text{baryon}}}{n_\gamma} = \mathcal{O}(10^{-20}) \ll (4-6) \times 10^{-11}$$

- ⇒ D'autres sources de violation de CP
- ⇒ Première compréhension avec le secteur électrofaible

METROLOGIE

- Paramètres ***CKM*** non calculables théoriquement
- Validation du formalisme ***CKM***,
recherche de déviations

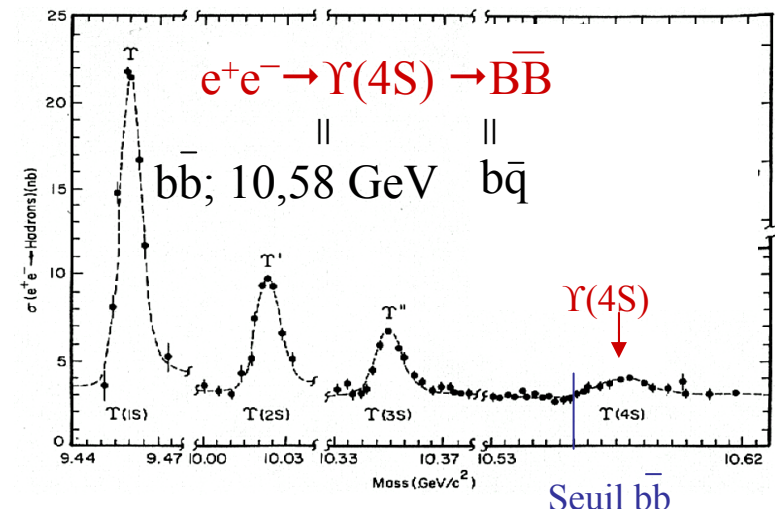
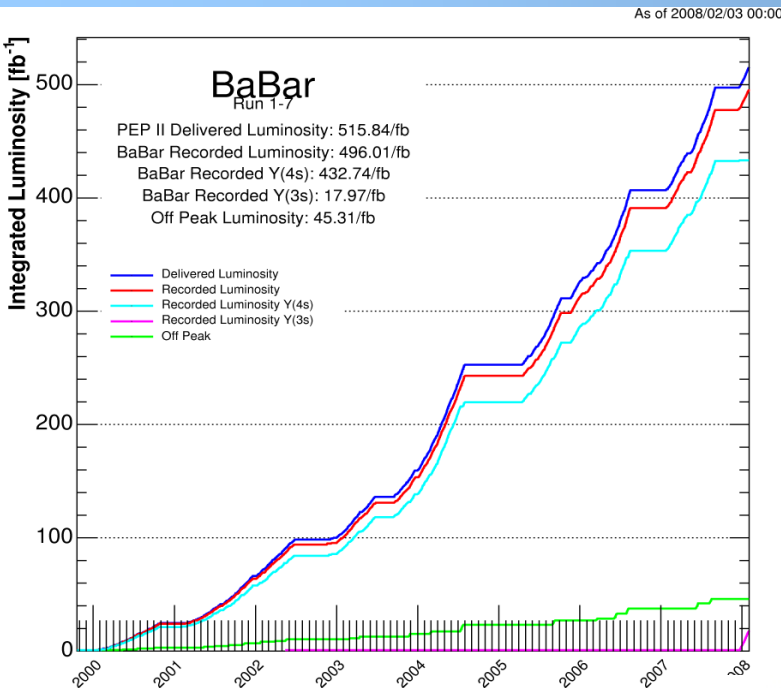
Nouvelle Physique

- Extension du secteur de la saveur
(Exemple: SUSY, 41 phases CPV suppl.)
- Contraintes des scénarios

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

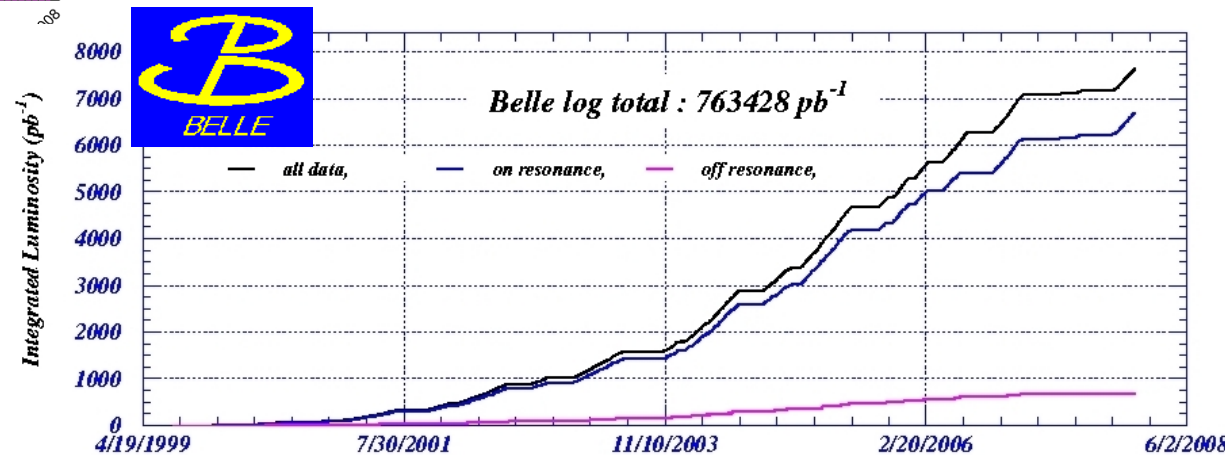
Violation de CP dans le Modèle Standard
 Enjeux de la violation de CP
 Accès expérimental au triangle d'unitarité
 Connaissances actuelles du triangle d'unitarité

Les usines à B



PEP-II + BaBar
 KEK-B + Belle
 Haute luminosité ($>10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

Principe
 identique

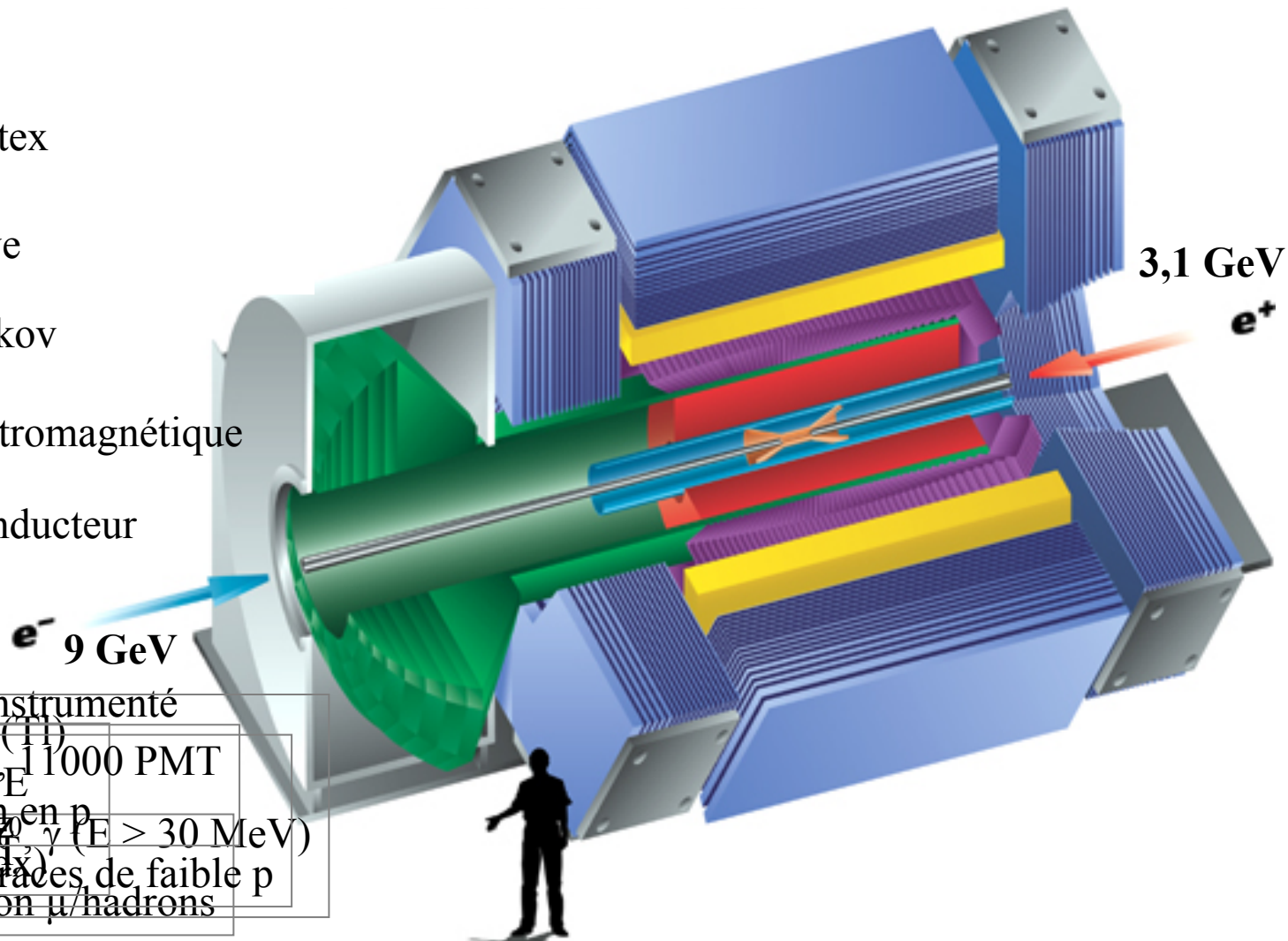


Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Violation de CP dans le Modèle Standard
 Enjeux de la violation de CP
 Accès expérimental au triangle d'unitarité
 Connaissances actuelles du triangle d'unitarité

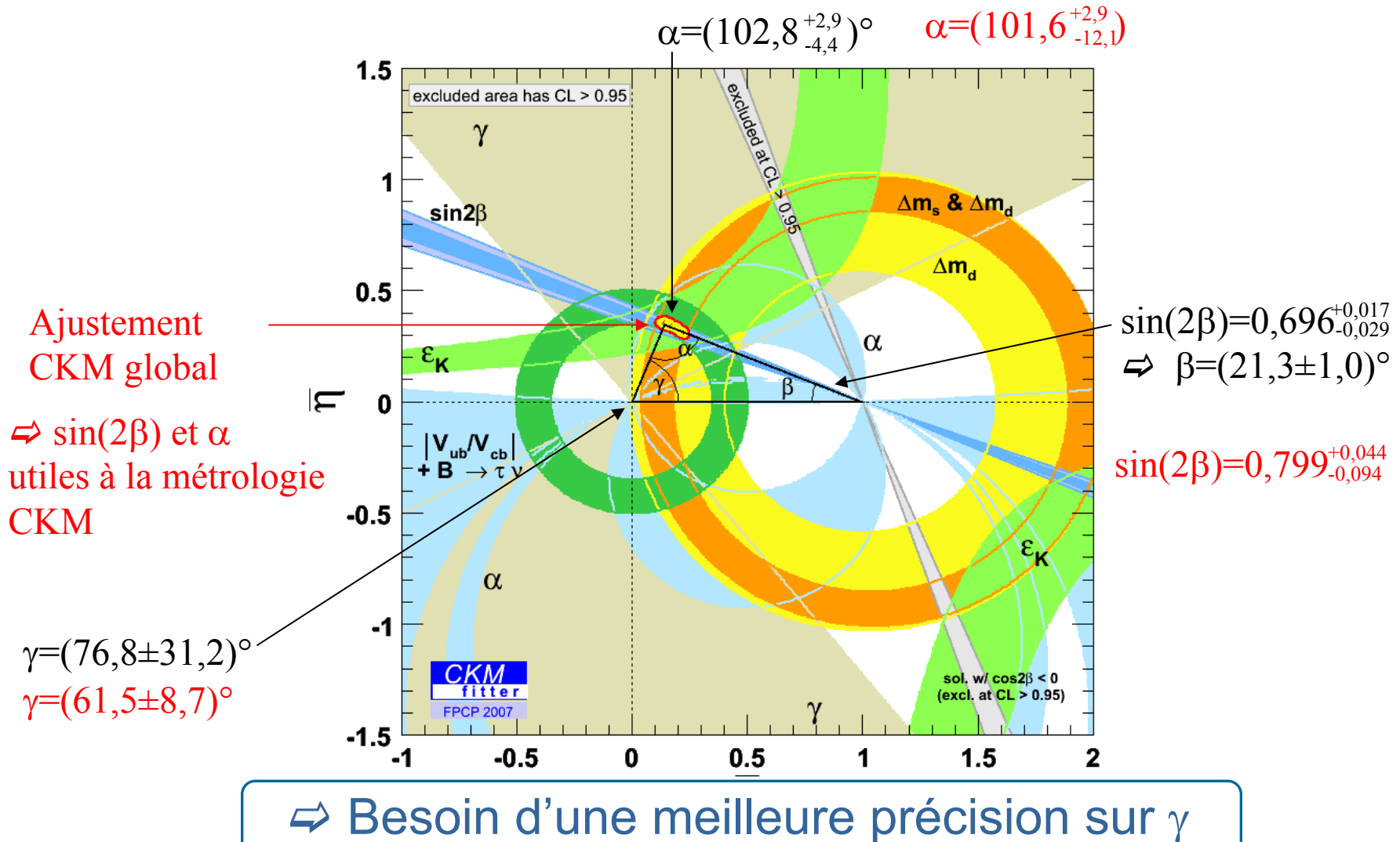
Le détecteur BaBar

-  Tube à vide
-  Détecteur de vertex
-  Chambre à dérive
-  Détecteur Cerenkov
-  Calorimètre électromagnétique
-  Aimant supraconducteur



Retour de flux instrumenté
 6580 cristaux de CsI(Tl)
 404 couches de quartz, 11000 PMT
 Bonne résolution en E
 Excellente résolution en p
 Reconstitution des B^0 , γ ($E > 30$ MeV)
 Séparation K_S^0 (0.5 GeV)
 Identification des traces de faible p
 Séparation μ /hadrons

Connaissance actuelle du triangle d'unitarité

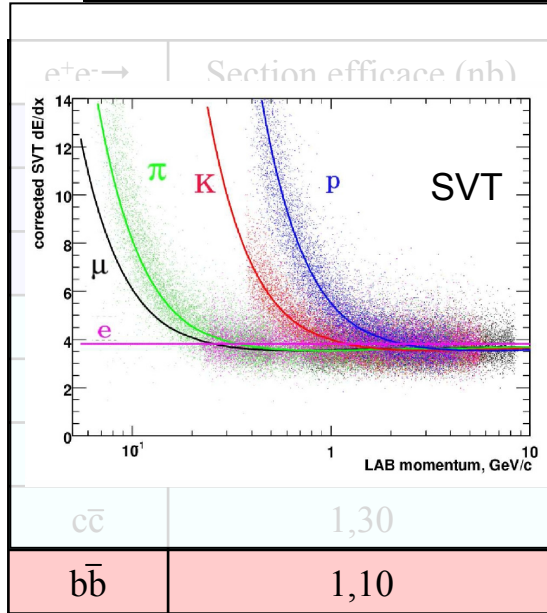


Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

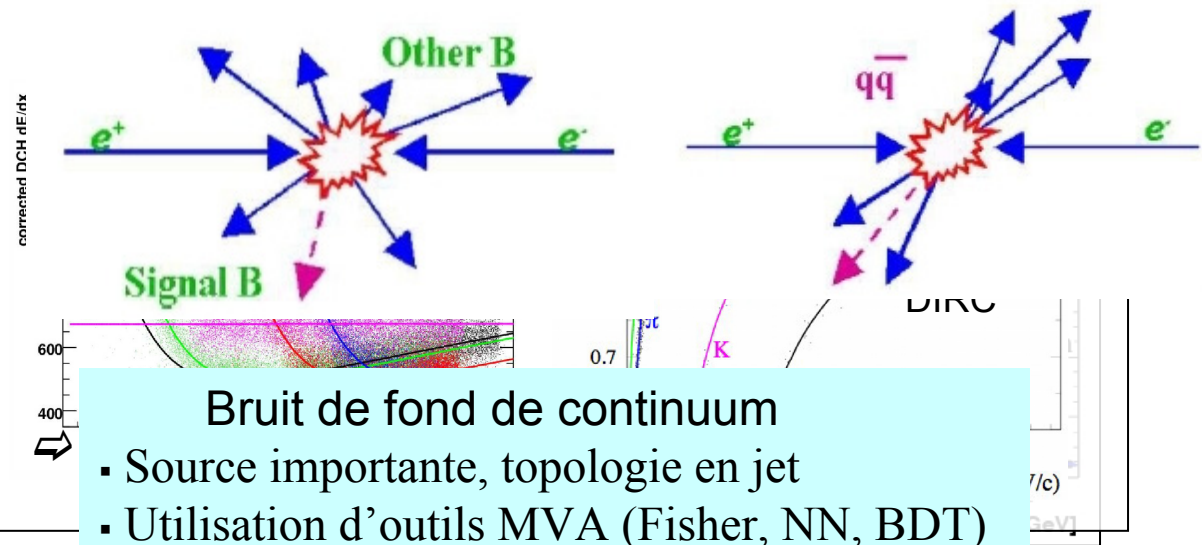
Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Principe d'analyse

Sources de bruit de fond



Identification du B



Bruit de fond de continuum

- Source importante, topologie en jet
- Utilisation d'outils MVA (Fisher, NN, BDT)

(Signal+) Bruit de fond de générique (B^+B^- , B^0B^0)

Le plus difficile, même topologie

- Sélection (masses invariantes, m_{ES} , ΔE)
- Identification de particules
- Ajustement

Sources de bruit de fond

Ajustement: maximum de vraisemblance étendu

$$L = \frac{\exp(-\sum_j n_j)}{N!} \prod_{i=1}^N \left(\sum_j n_i P_j^i \right)$$

Terme de Poisson

$$P_j^i = \prod_{k=1}^{N_{\text{var}}} P_j(\theta_k^i)$$

Variable : $m_{\text{ES}}, \Delta E, \mathcal{F}, \dots$

$$\Rightarrow BR = \frac{n_{\text{meas.}} - n_{\text{biais}}}{n_B \mathcal{E}}$$

$$\mathcal{A}_{CP} = \frac{BR(B \rightarrow X) - BR(\bar{B} \rightarrow \bar{X})}{BR(B \rightarrow X) + BR(\bar{B} \rightarrow \bar{X})}$$

$e^+e^- \rightarrow$	Section efficace (nb)
$\tau^+\tau^-$	0,94
$\bar{u}u$	1,39
$\bar{d}d$	0,35
$\bar{s}s$	0,35
$\bar{c}c$	1,30
$\bar{b}b$	1,10

- $\Rightarrow$ (Signal+) Bruit de fond de générique (B^+B^- , B^0B^0)
 Le plus difficile, même topologie
- Sélection (masses invariantes, $m_{\text{ES}}, \Delta E$)
 - Identification de particules
 - Ajustement

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

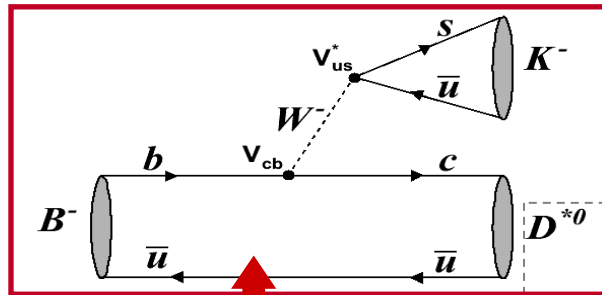
Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Mesures directes avec $B^\pm \rightarrow D^{(*)} K^{(*)\pm}$

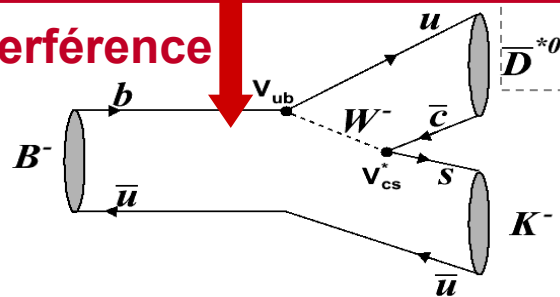
Principe commun: $D^{(*)} = \text{mélange } D^{(*)0} + \bar{D}^{(*)0}$

État final commun $\Rightarrow$ interférence $\Rightarrow$ accès à γ
 (mélange $D^0 - \bar{D}^0$ négligé)

$$A(B^- \rightarrow D^{(*)0} K^-) \propto V_{cb} V_{us}^* \propto \lambda^3$$



Interférence



$$A(B^- \rightarrow \bar{D}^{(*)0} K^-) \propto V_{ub} V_{cs}^* \propto \lambda^3 \sqrt{\rho^2 + \eta^2} e^{i(\delta_B - \gamma)}$$

3 méthodes

<i>GLW</i>	<i>ADS</i>	<i>GGSZ</i>
<i>Modes CP</i>	<i>Modes D.S. Cabibbo</i>	<i>3 corps: Dalitz</i>
$CP^+ : K^+ K^-, \pi^+ \pi^-$	$D^{(*)0} \rightarrow K^+ \pi^-$ Suppr.	$K_S \pi^+ \pi^-$
$CP^- : K_S \phi, K_S \omega, K_S \pi^0$	$D^{(*)0} \rightarrow K^- \pi^+$ Fav.	$K_S K^+ K^-$ $\pi^+ \pi^- \pi^0$

- Théoriquement propre (pas de pollution pingouin)
- 3 inconnues communes (1 jeu pour chaque mode)

- γ , différence de **phase faible**
- δ_B , différence de **phase forte**

$$\gamma \Rightarrow r_B^{(*)} \equiv \left| \frac{A(B^- \rightarrow \bar{D}^{(*)0} K^-)}{A(B^- \rightarrow D^{(*)0} K^-)} \right| \sim 0,1 - 0,2$$

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Gari-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Principe de la méthode glw

Phys.Lett.B253:483-488,1991
 Phys.Lett.B265:172-176,1991

Pseudo-asymétries CP

$$A_{CP^\pm} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^-) - \Gamma(B^+ \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D^{(*)0} K^-)}$$

$$= \pm 2r_B^{(*)} \sin \delta_B \sin \gamma$$

Rapports de BR CP/non CP

$$R_{CP^\pm} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D^{(*)0} K^-)}$$

$$= 1 + r_B^{(*)2} \pm 2r_B^{(*)} \cos \delta_B \cos \gamma$$

4 observables $A_{CP^\pm}, R_{CP^\pm}$

3 inconnues: $r_B^{(*)}, \delta_B, \gamma$

1 relation: $\mathcal{A}_{CP^\pm} = A_{CP^\pm} / R_{CP^\pm}$

⇒ système soluble en principe

$$\mathcal{A}_{CP^\pm} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^-) - \Gamma(B^+ \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^+)}$$

(Vraie asymétrie CP)

$$\frac{R_{CP^+} + R_{CP^-}}{2} = 1 + r_B^{(*)2} \Rightarrow \text{Mesure de } r_B^{(*)}$$

$$R_{CP^\pm} = 1 + r_B^{(*)2} \pm \sqrt{4r_B^{(*)2} \cos^2 \gamma - \mathcal{A}_{CP^\pm}^2 \cot^2 \gamma} \Rightarrow \text{Mesure de } \gamma$$

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Inconvénients de la méthode glw

Phys.Lett.B253:483-488,1991
 Phys.Lett.B265:172-176,1991

Pseudo-asymétries CP

$$A_{CP\pm} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D_{CP\pm}^{(*)0} K^-) - \Gamma(B^+ \rightarrow D_{CP\pm}^{(*)0} K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D^{(*)0} K^-)}$$

$$= \pm 2r_B^{(*)} \sin \delta_B \sin \gamma$$

Rapports de BR CP/non CP

$$R_{CP\pm} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D_{CP\pm}^{(*)0} K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D_{CP\pm}^{(*)0} K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D^{(*)0} K^-)}$$

$$= 1 + r_B^{(*)2} \pm 2r_B^{(*)} \cos \delta_B \cos \gamma$$

Ambiguïté d'ordre 8

Limitation statistique

$$\text{BR}(B \rightarrow D^0 K) \times \text{BR}(D^0 \rightarrow \{\text{CP}\}) \sim 10^{-6}$$

$$\Sigma \text{BR}(D^0 \rightarrow \{\text{CP}\}) = 5\% \Sigma \text{BR}(D^0 \rightarrow X)$$

Faible sensibilité à $r_B^{(*)}$

$$r_B \approx \frac{|V_{ub} V_{cs}^*|}{|V_{cb} V_{us}^*|} \left| \frac{a_2}{a_1} \right| \approx 0,1$$

Caractérise la suppression de couleur.

Pour les effets non perturbatifs après factorisation

Déterminé sur $B^0 \rightarrow D^- \pi^+$ + modèles F.F.

Equation quadratique en $r_B^{(*)}$

$$\frac{R_{CP+} + R_{CP-}}{2} = 1 + r_B^{(*)2}$$

Rq: Exp. favorise valeurs + grandes

Gronau, Phys. Lett. B557,198 (2003)

Inconvénients de la méthode glw

Phys.Lett.B253:483-488,1991
 Phys.Lett.B265:172-176,1991

Pseudo-asymétries CP

$$A_{CP^\pm} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^-) - \Gamma(B^+ \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D^{(*)0} K^-)}$$

$$= \pm 2r_B^{(*)} \sin \delta_B \sin \gamma$$

Rapports de BR CP/non CP

$$R_{CP^\pm} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D_{CP^\pm}^{(*)0} K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D^{(*)0} K^-)}$$

$$= 1 + r_B^{(*)2} \pm 2r_B^{(*)} \cos \delta_B \cos \gamma$$

Ambiguïté d'ordre 8

Limitation statistique

$$\text{BR}(B \rightarrow D^0 K) \times \text{BR}(D^0 \rightarrow \{\text{CP}\}) \sim 10^{-6}$$

$$\Sigma \text{BR}(D^0 \rightarrow \{\text{CP}\}) = 5\% \Sigma \text{BR}(D^0 \rightarrow X)$$

Faible sensibilité à $r_B^{(*)}$

- Conséquences sur γ
 - Précision sur γ augmente quand $r_B^{(*)}$ augmente (interférences plus larges)
 - Mesure précise de $R_{CP^\pm}$ requise pour mesurer $r_B^{(*)}$ et contraindre γ
- Conséquences pour l'analyse: *besoin de nombreux modes pour augmenter la statistique*

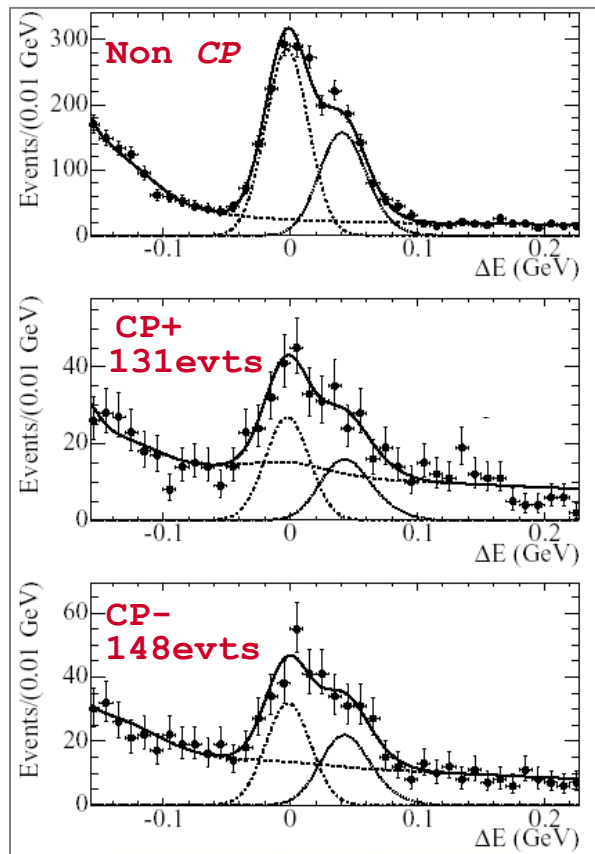
Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Résultats glw

$B^\pm \rightarrow D^0 K^\pm$ ($232 \times 10^6 B\bar{B}$)

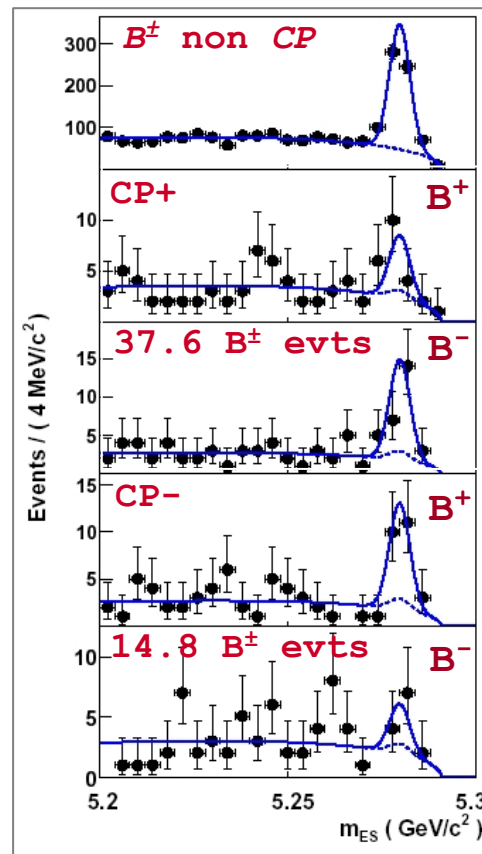


Non CP: $K\pi$

CP+: $KK, \pi\pi$

CP-: $K_s \pi^0, K_s \omega, K_s \phi$

$B^\pm \rightarrow D^0 K^{*\pm}$ ($232 \times 10^6 B\bar{B}$)

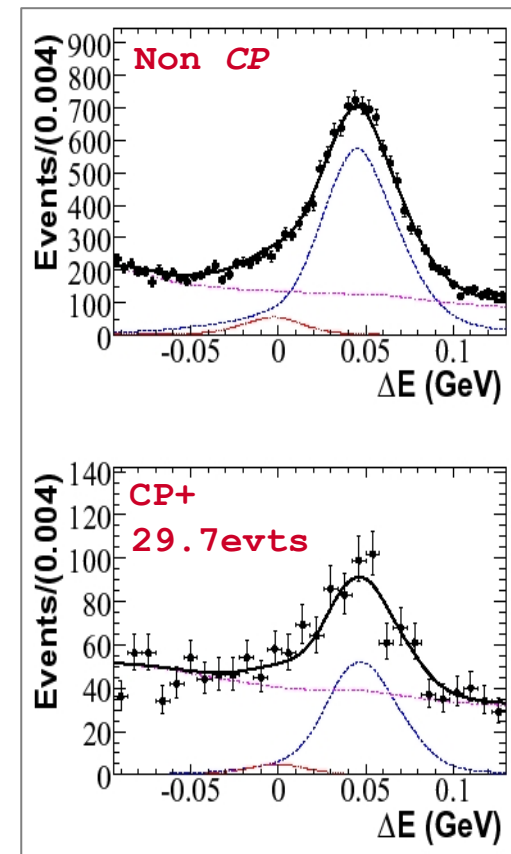


$K^{*-} \rightarrow K_s \pi^-$

Non CP: *idem* à $D^* K$

CP: *idem* à DK

$B^\pm \rightarrow D^{*0} K^\pm$ ($124 \times 10^6 B\bar{B}$)



$D^{*0} \rightarrow D^0 \pi^0$

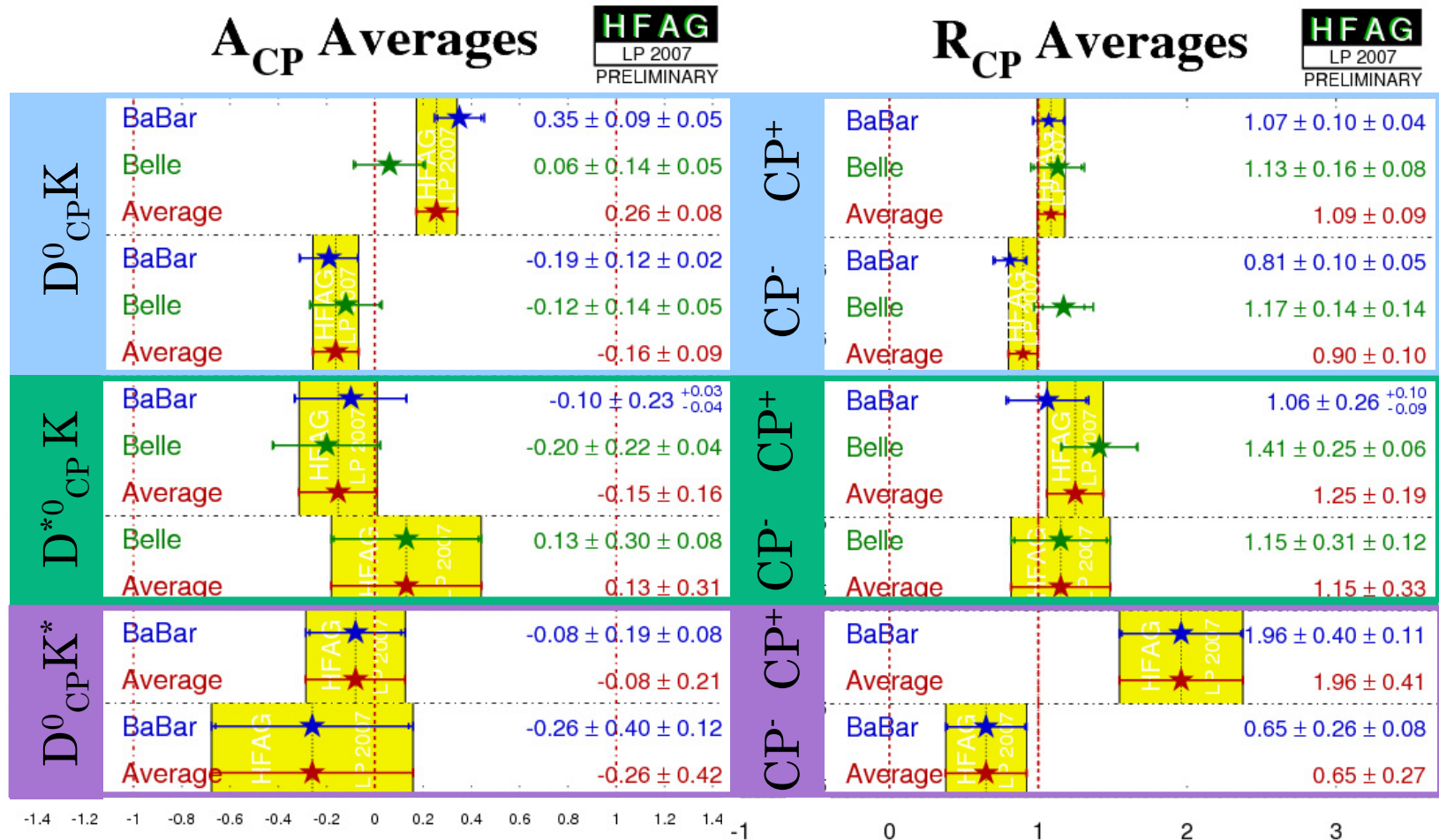
Non CP: $K\pi, K\pi\pi^0, K\pi\pi\pi$

CP+: $KK, \pi\pi$ (No CP -)

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Résultats glw: résumé



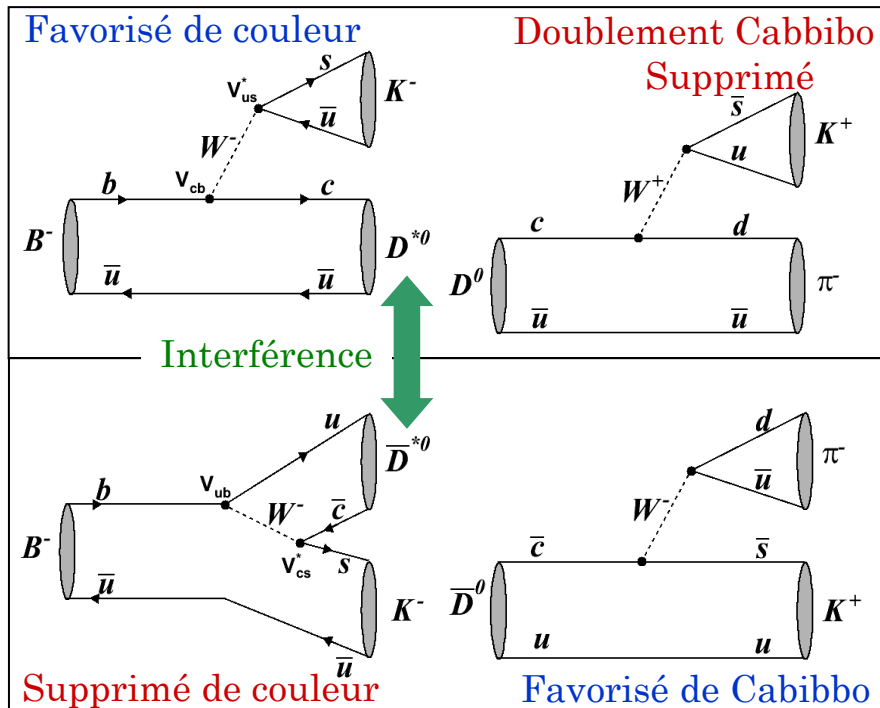
GLW seule ne contraint pas γ : - *besoin de plus de statistique*
 - *besoin de combiner avec d'autres méthodes* 18

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Méthode ADS



2 observables mesurées...

(4 avec D^*K , [PRD70,091503\(2004\)](#))

Rapports de BR

$$R_{ADS} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D[K^+\pi^-]K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D[K^-\pi^+]K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D[K^-\pi^+]K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D[K^+\pi^-]K^+)} = r_B^2 + r_D^2 + 2r_B r_D \cos(\delta_B + \delta_D) \cos\gamma$$

Asymétries CP

$$A_{ADS} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D[K^+\pi^-]K^-) - \Gamma(B^+ \rightarrow D[K^-\pi^+]K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D[K^+\pi^-]K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D[K^-\pi^+]K^+)} = 2r_B r_D \sin(\delta_B + \delta_D) \sin\gamma / R_{ADS}$$

...et 5 inconnues: r_B , r_D , δ_B , δ_D , γ

- Amplitudes comparables
 $\Rightarrow$ violation de CP plus importante
- Bonne sensibilité à r_B^2 avec R_{ADS}
- Limitation principale: petits BF $\sim 10^{-7}$

$$r_D^2 \equiv \left| \frac{A(D \rightarrow K^+\pi^-)}{A(D \rightarrow K^-\pi^+)} \right|^2 = (0.365 \pm 0.021)\% \quad \text{PLB 592,1 (PDG 2004)}$$

Phase forte du D

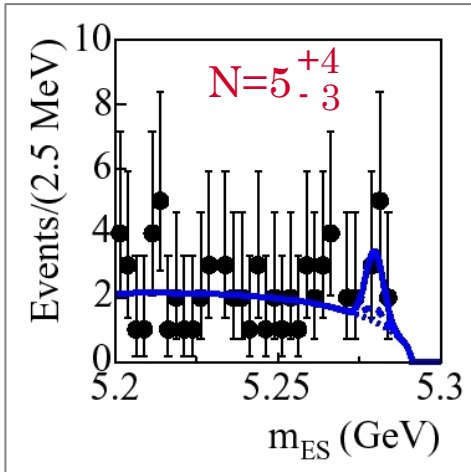
Balayage de toutes les valeurs

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

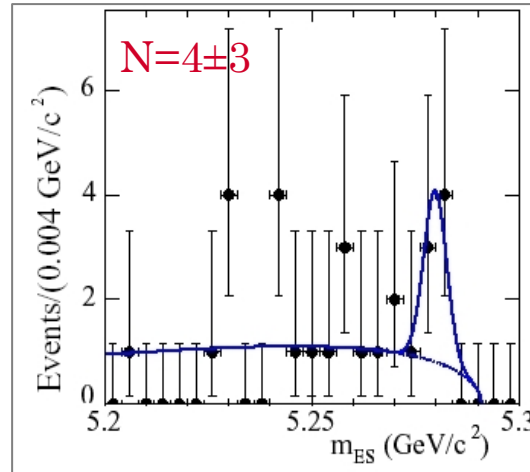
Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Résultats ADS

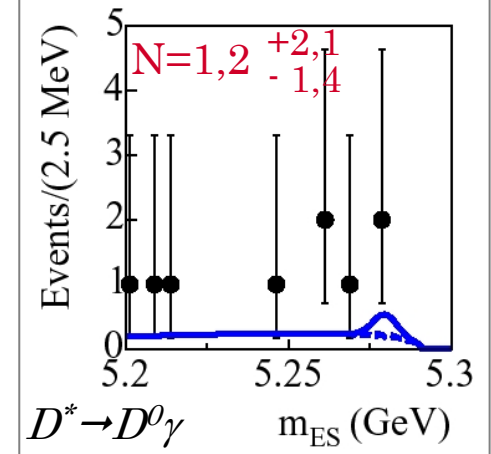
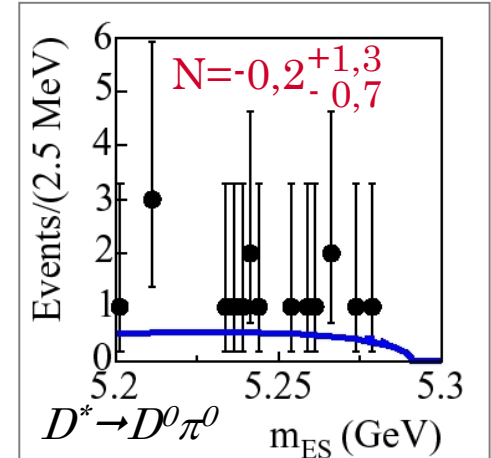
$B^\pm \rightarrow D^0 K^\pm$



$B^\pm \rightarrow D^0 K^{*\pm}$



$B^\pm \rightarrow D^{*0} K^\pm$



Pas de signal!

PRD 72, 032004 (2005)
 PRD 73, 071104 (2006)

$232 \times 10^6 B\bar{B}$

	R_{ADS}	r_B
$D^0 K$	$0,013^{+0,011}_{-0,009}$	$r_B < 0,23$
$D^{*0} K$	$-0,002^{+0,010}_{-0,006}$ ($D^0 \pi^0$) $0,011^{+0,013}_{-0,013}$ ($D^0 \gamma$)	$(r_B^*)^2 < (0,16)^2$
$D^0 K^*$	$0,046 \pm 0,032$	$r_{sB} = 0,20 \pm 0,14$

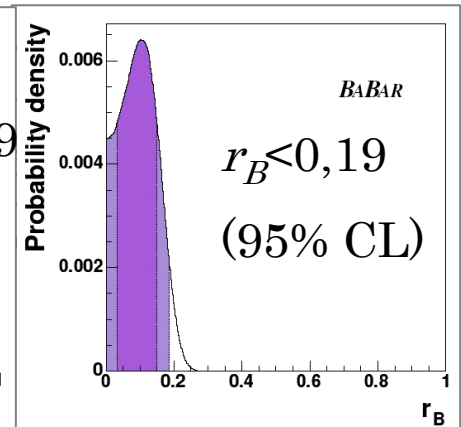
(90% CL)

Préliminaire

- $$A_{ADS} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D[K^+\pi^-]K^-) - \Gamma(B^+ \rightarrow D[K^-\pi^+]K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D[K^+\pi^-]K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D[K^-\pi^+]K^+)} = 2r_B r_{D^{\sim}} \sin \gamma / R_{ADS}$$

$$r_C \stackrel{A_D(\vec{s}) = (0.214 \pm 0.011) \cos(\delta_D(\vec{s}) + \delta(\vec{s}))}{\text{petit}} \Leftrightarrow_S \stackrel{A_D(\vec{s}) = (0.214 \pm 0.011) \sin(\delta_D(\vec{s}) + \delta(\vec{s}))}{\text{meilleure sensibilité à } r_B} \\ C \text{ inconnu: } \sqrt{\int |A_D(\vec{s})|^2 d\vec{s}} \sqrt{\int |\overline{A}_D(\vec{s})|^2 d\vec{s}} \quad \sqrt{\int |A_D(\vec{s})|^2 d\vec{s}} \sqrt{\int |\overline{A}_D(\vec{s})|^2 d\vec{s}}$$

- hep-ex/0607065
 $226 \times 10^6 \bar{B}B$

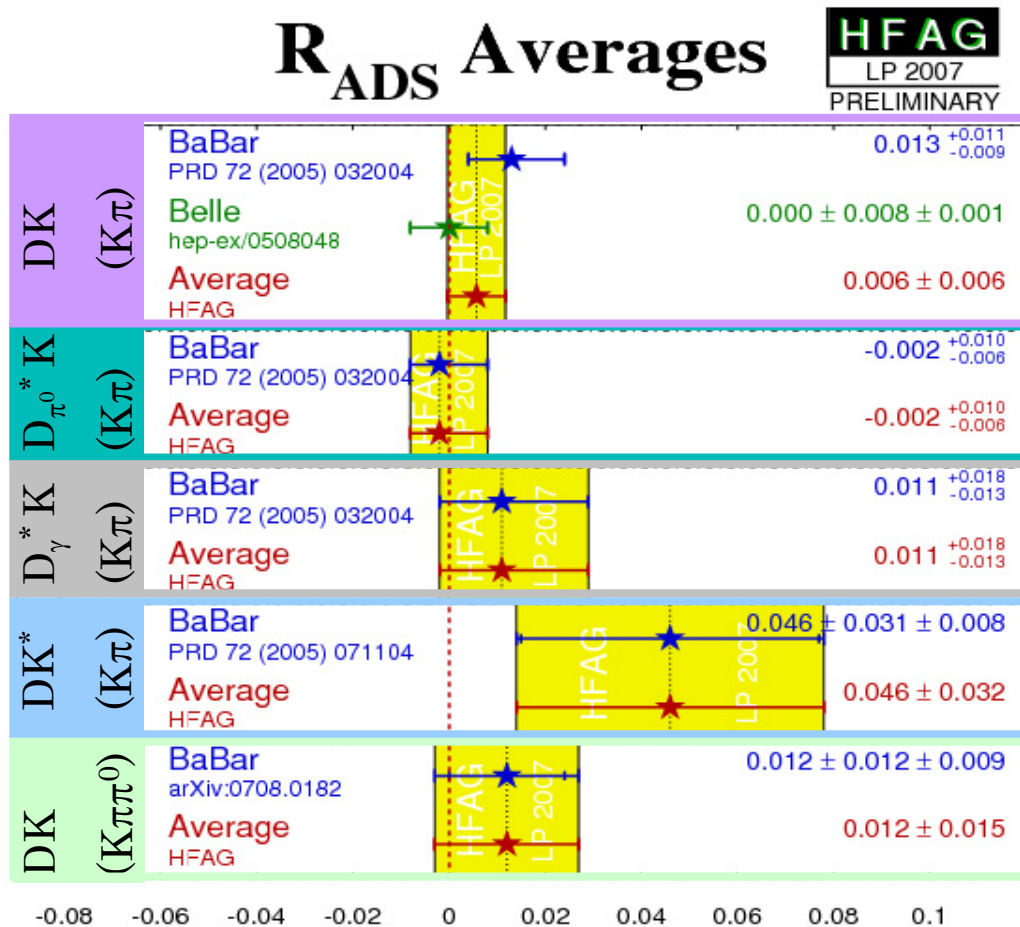


LH bayésien

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Résultats ADS: résumé



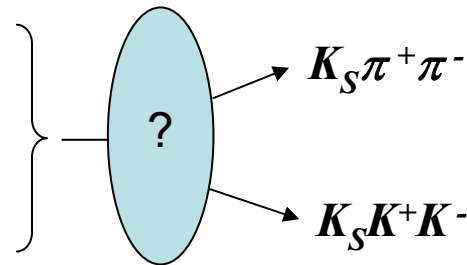
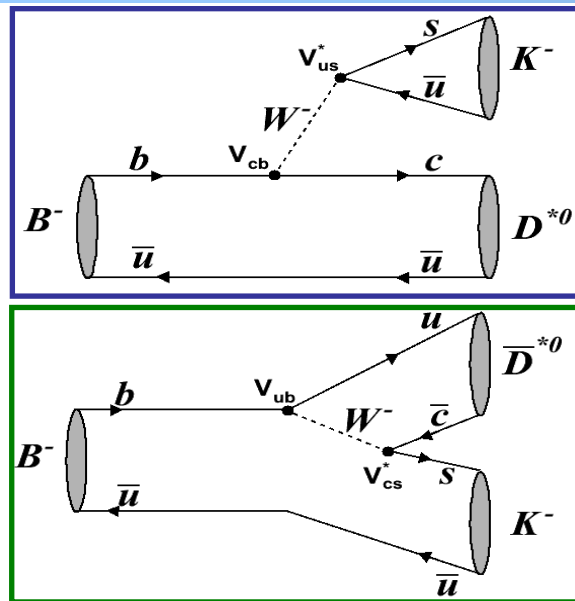
- Pas de mesure de $A_{ADS}^{(*)}$
- Pas de contrainte de $r_{(s)B}^{(*)}$ avec $R_{ADS}^{(*)}$ seul
- $r_{(s)B}^{(*)}$ plus petit qu'attendu

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Principe de la méthode GGSZ



Etat final à 3 corps :

- *accessible par plusieurs voies*
- *analyse de Dalitz*

$$\mathcal{A}_{B^\mp}(m_\pm^2, m_\pm^2) = \mathcal{A}(B^\mp \rightarrow DK) \left[\mathcal{A}_D(m_\pm^2, m_\pm^2) + \kappa r_{(s)B}^{(*)} e^{i(\delta_{(s)B}^{(*)} \mp \gamma)} \mathcal{A}_D(m_\pm^2, m_\pm^2) \right]$$

$$m_\pm^2 = m_{K_S h^\pm}^2$$

$\kappa = +1$ pour $DK, D^{*0} (D^0 \pi^0)$
 $\kappa = -1$ pour $D^{*0} (D^0 \gamma)$
 $0 \leq \kappa \leq 1$ pour DK^*

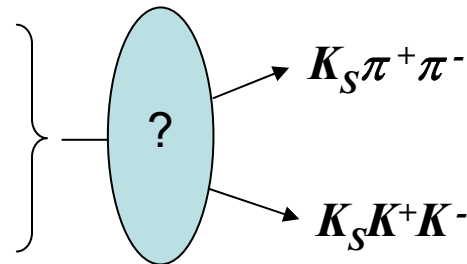
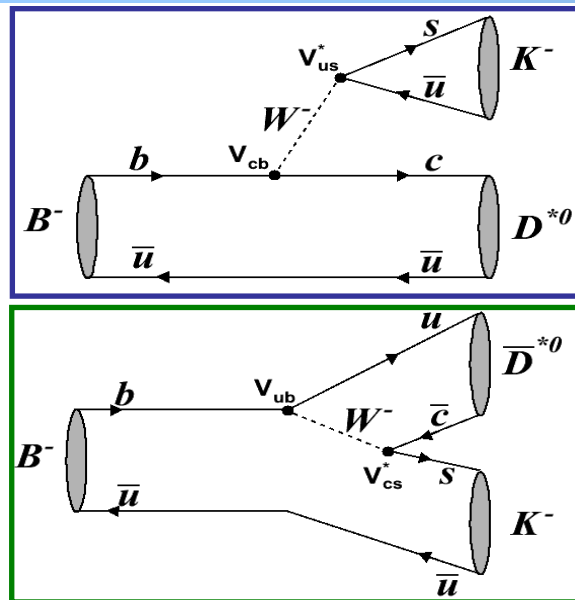
Si interférence avec $B^\pm \rightarrow D(K_S \pi^\pm)_{\text{non-}K^*} \rightarrow$
 $\kappa \rightarrow 1 \quad r_{sB} \rightarrow r_B \quad \delta_{sB} \rightarrow \delta$
 B

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Gari-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Principe de la méthode GGSZ



Etat final à 3 corps :

- *accessible par plusieurs voies*
- *analyse de Dalitz*

$$\mathcal{A}_{B^\mp}(m_\mp^2, m_\pm^2) = \mathcal{A}(B^\mp \rightarrow DK) \left[\mathcal{A}_D(m_\mp^2, m_\pm^2) + \kappa r_{(s)B}^{(*)} e^{i(\delta_{(s)B}^{(*)} \mp \gamma)} \mathcal{A}_D(m_\pm^2, m_\mp^2) \right]$$

Coordonnées cartésiennes:

$$\begin{cases} x_{(s)\pm}^{(*)} = \text{Re} \left(r_{(s)B}^{(*)} e^{i(\delta_{(s)B}^{(*)} \pm \gamma)} \right) \\ y_{(s)\pm}^{(*)} = \text{Im} \left(r_{(s)B}^{(*)} e^{i(\delta_{(s)B}^{(*)} \pm \gamma)} \right) \end{cases}$$

Basse stat. et r_B petit:

- Non biaisées
- Gaussiennes

$$\Gamma_{\mp}^{(*)}(m_-^2, m_+^2) \propto |\mathcal{A}_{D\mp}|^2 + r_B^{(*)2} |\mathcal{A}_{D\pm}|^2 + 2\kappa \left(x_{\mp}^{(*)} \text{Re}[\mathcal{A}_{D\mp} \mathcal{A}_{D\pm}^*] + y_{\mp}^{(*)} \text{Im}[\mathcal{A}_{D\mp} \mathcal{A}_{D\pm}^*] \right)$$

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Perspectives sur la mesure de γ

Principes

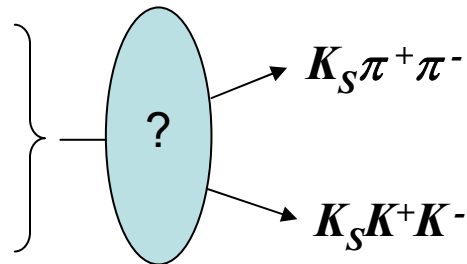
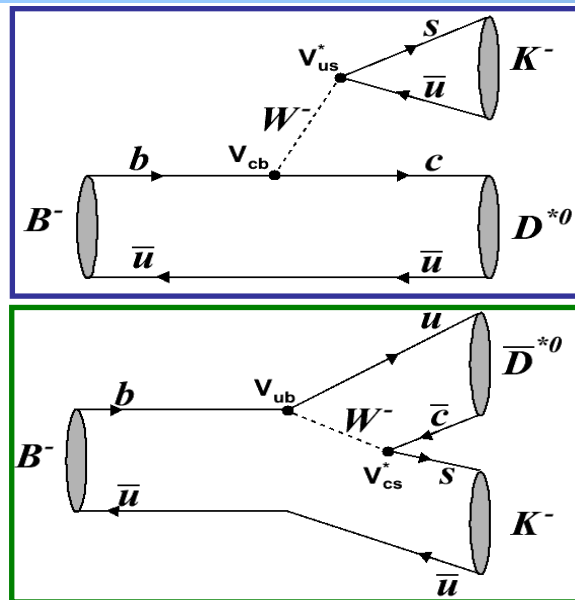
Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)

Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)

Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan

(GGSZ)

Principe de la méthode GGSZ



Etat final à 3 corps :

- *accessible par plusieurs voies*
- *analyse de Dalitz*

$$\Gamma_{\mp}^{(*)}(m_{-}^2, m_{+}^2) \propto |\mathcal{A}_{D\mp}|^2 + r_B^{(*)2} |\mathcal{A}_{D\pm}|^2 + 2\kappa \left(x_{\mp}^{(*)} \text{Re}[\mathcal{A}_{D\mp} \mathcal{A}_{D\pm}^*] + y_{\mp}^{(*)} \text{Im}[\mathcal{A}_{D\mp} \mathcal{A}_{D\pm}^*] \right)$$

Etapes de l'analyse

1- Mesure de $\mathcal{A}_D$ sur échantillons de contrôle

2- Ajustement du plan de Dalitz

$$B^- \rightarrow [K_S \pi^+ \pi^-]_{D^{(*)}} K^{(*)-}$$

$$B^- \rightarrow [K_S K^+ K^-]_{D^{(*)}} K^{(*)-}$$

3- Niveau de confiance sur $r_{(s)B}^{(*)}$, $\delta_{(s)B}^{(*)}$, γ

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Mesure des amplitudes A_D

Description théorique

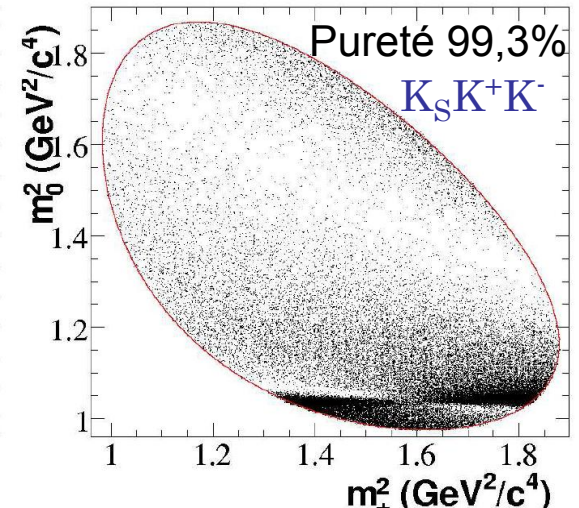
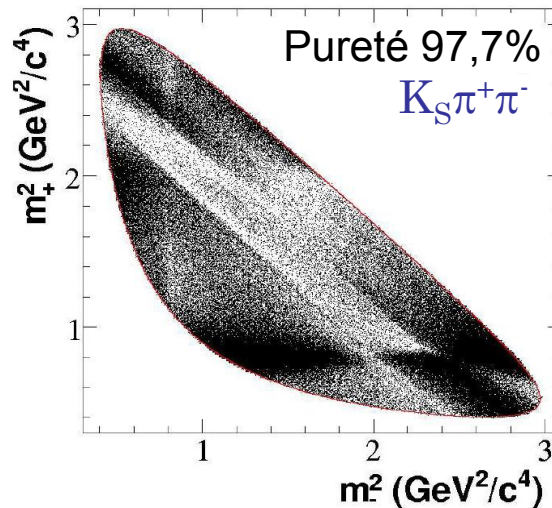
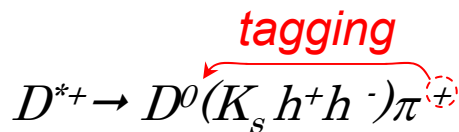
$$\mathcal{A}_D(m_-^2, m_+^2) = \underbrace{\sum_{r \neq \pi\pi} a_r e^{i\phi_r} \mathcal{A}_r(m_-^2, m_+^2)}_{\text{Modèle de Breit-Wigner}} + a_{NR} e^{i\phi_{NR}} + \underbrace{F_1(s)}_{\text{Contribution de } \pi\pi \text{ S-wave}}$$

Résonances $D \rightarrow R+c \rightarrow a+b$ Non résonant

- Spécifique à $K_S \pi^+ \pi^-$
- Formalisme *K-matrix*

Description expérimentale

Echantillons hte stat.



Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Plan de Dalitz $D^0 \rightarrow K_s \pi^+ \pi^-$

$K\pi$ P, D waves

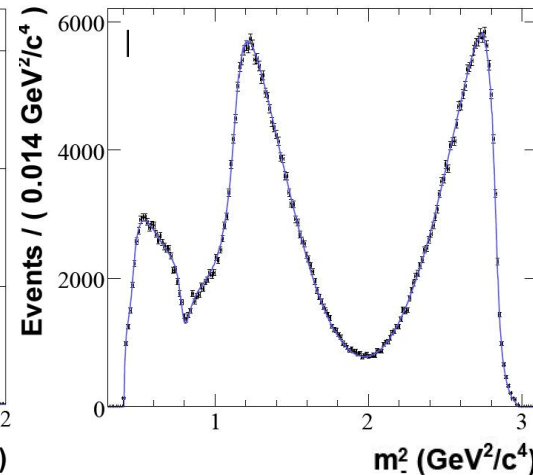
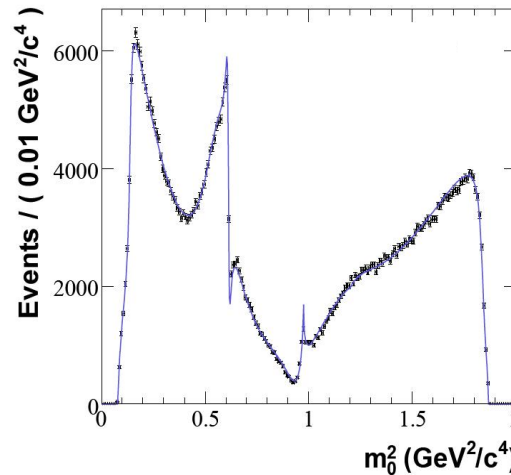
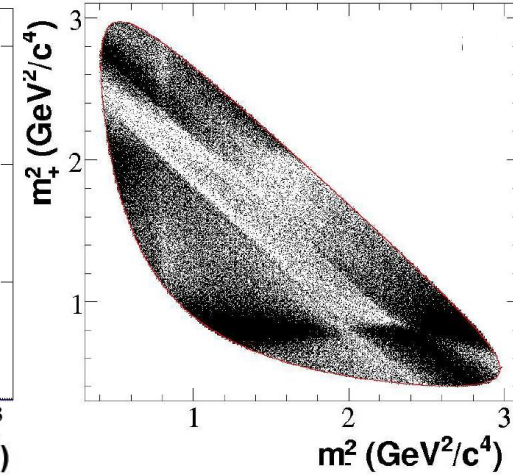
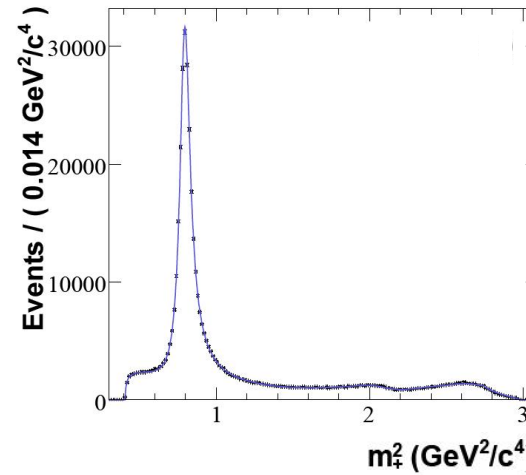
Component	$Re\{a_r e^{i\phi_r}\}$	$Im\{a_r e^{i\phi_r}\}$	Fraction (%)
$K^*(892)^-$	-1.314 ± 0.010	1.141 ± 0.009	55.7 ± 2.8
$K_0^*(1430)^-$	-7.3 ± 0.4	3.7 ± 1.2	10.2 ± 1.5
$K_2^*(1430)^-$	-1.054 ± 0.019	0.936 ± 0.025	2.2 ± 1.6
$K^*(1680)^-$	-1.45 ± 0.10	-0.16 ± 0.10	0.7 ± 1.9
$K^*(892)^+$	0.116 ± 0.004	-0.107 ± 0.003	0.46 ± 0.23
$K_0^*(1430)^+$	-0.26 ± 0.05	0.19 ± 0.07	< 0.05
$K_2^*(1430)^+$	0.008 ± 0.017	0.091 ± 0.016	< 0.12
$\rho(770)$	1	0	21.0 ± 1.6
$\omega(782)$	-0.031 ± 0.001	0.042 ± 0.001	0.9 ± 1.0
$f_2(1270)$	-0.559 ± 0.026	0.232 ± 0.023	0.6 ± 0.7

$\pi\pi$ S-wave

β_1	1.82 ± 0.25	-9.1 ± 0.4	
β_2	-10.18 ± 0.19	-3.9 ± 0.5	
β_3	-23.7 ± 2.0	5.0 ± 1.6	
β_4	-0.1 ± 0.4	9.16 ± 0.24	
f_{11}^{prod}	2.19 ± 0.15	7.6 ± 0.3	
f_{12}^{prod}	1.9 ± 0.3	-0.6 ± 0.3	
f_{13}^{prod}	4.3 ± 0.3	2.8 ± 0.3	
f_{14}^{prod}	3.22 ± 0.18	0.27 ± 0.14	
s_0^{prod}	-0.07 ± 0.03		
$\pi\pi$ S-wave			11.9 ± 2.6

$K\pi$ S-wave

a	1.07 ± 0.11	
r	-1.8 ± 0.3	
B	0.80 ± 0.09	
R	1	
ϕ_B	2.33 ± 0.13	
ϕ_R	-5.31 ± 0.04	
M (GeV/c ²)	1.463 ± 0.002	
Γ (GeV/c ²)	0.233 ± 0.005	

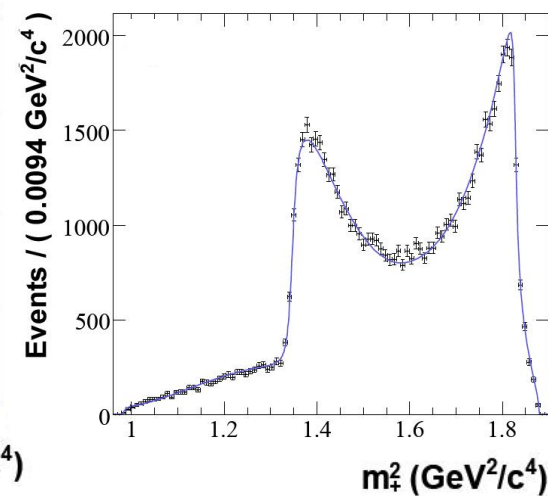
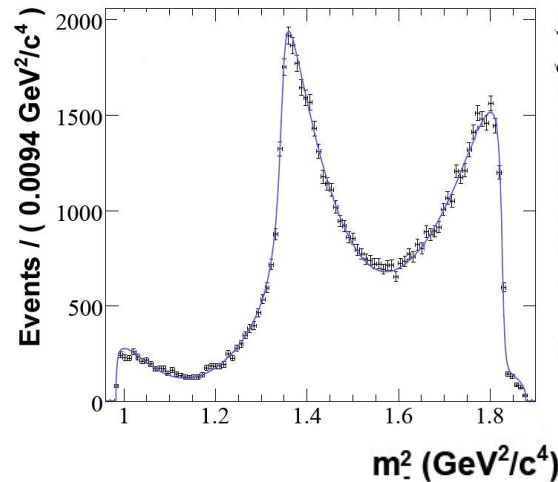
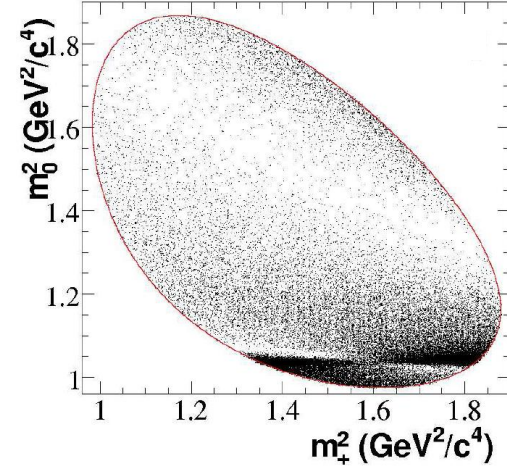
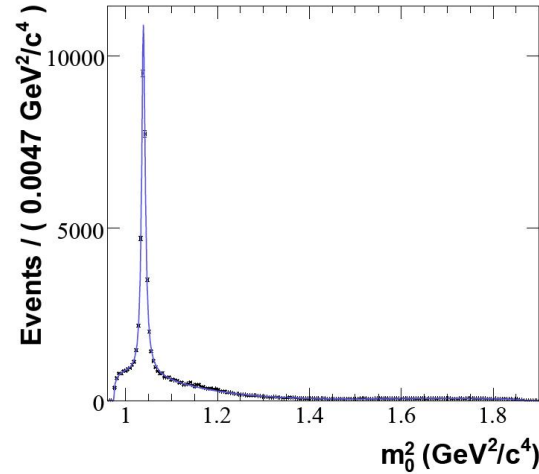


Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Modèle de Dalitz $D^0 \rightarrow K_s K^+ K^-$

Component	$Re\{a_r e^{i\phi_r}\}$	$Im\{a_r e^{i\phi_r}\}$	Fraction (%)
$K_S a_0(980)^0$	1	0	55.8
$K_S \phi(1020)$	-0.126 ± 0.003	0.189 ± 0.005	44.9
$K_S f_0(1370)$	-0.04 ± 0.06	-0.00 ± 0.05	0.1
$K_S f_2(1270)$	0.257 ± 0.019	-0.041 ± 0.026	0.3
$K_S a_0(1450)^0$	0.06 ± 0.12	-0.65 ± 0.09	12.6
$K^- a_0(980)^+$	-0.561 ± 0.015	0.01 ± 0.03	16.0
$K^- a_0(1450)^+$	-0.11 ± 0.06	0.81 ± 0.03	21.8
$K^+ a_0(980)^-$	-0.087 ± 0.016	0.079 ± 0.014	0.7



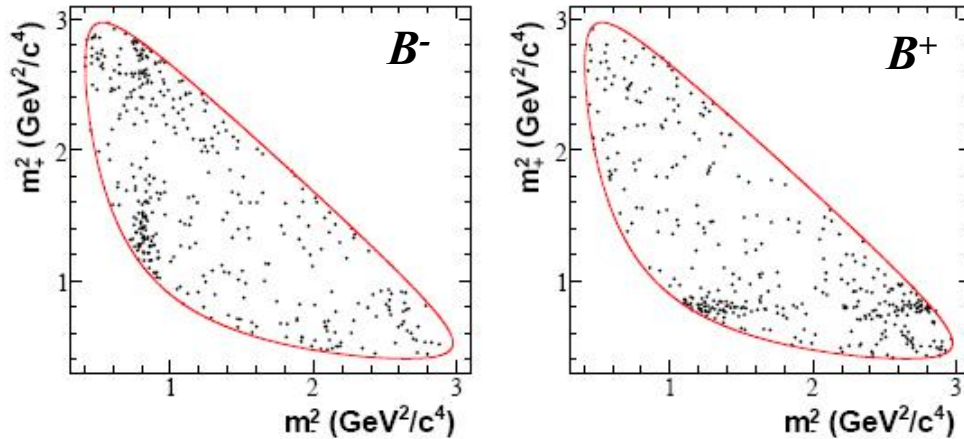
Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

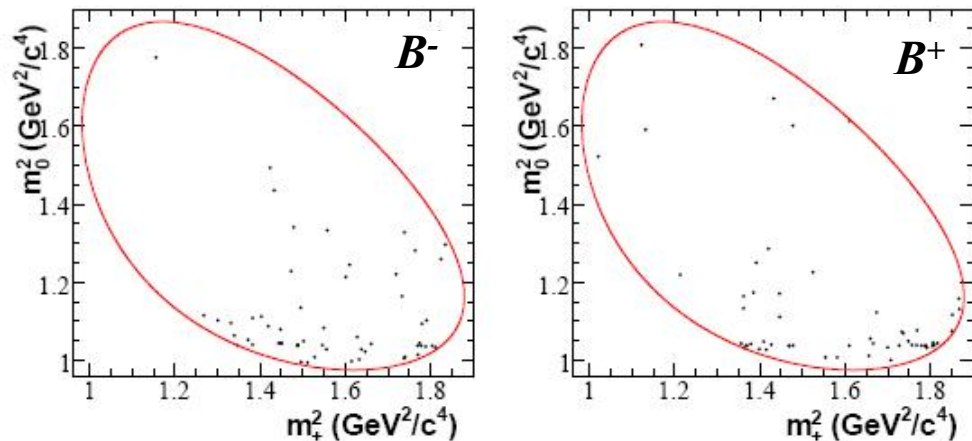
Ajustement des plans de Dalitz



$B \rightarrow D^0 [K_s \pi^+ \pi^-] K$



$B \rightarrow D^0 [K_s K^+ K^-] K$



Nombre d'événements ajustés

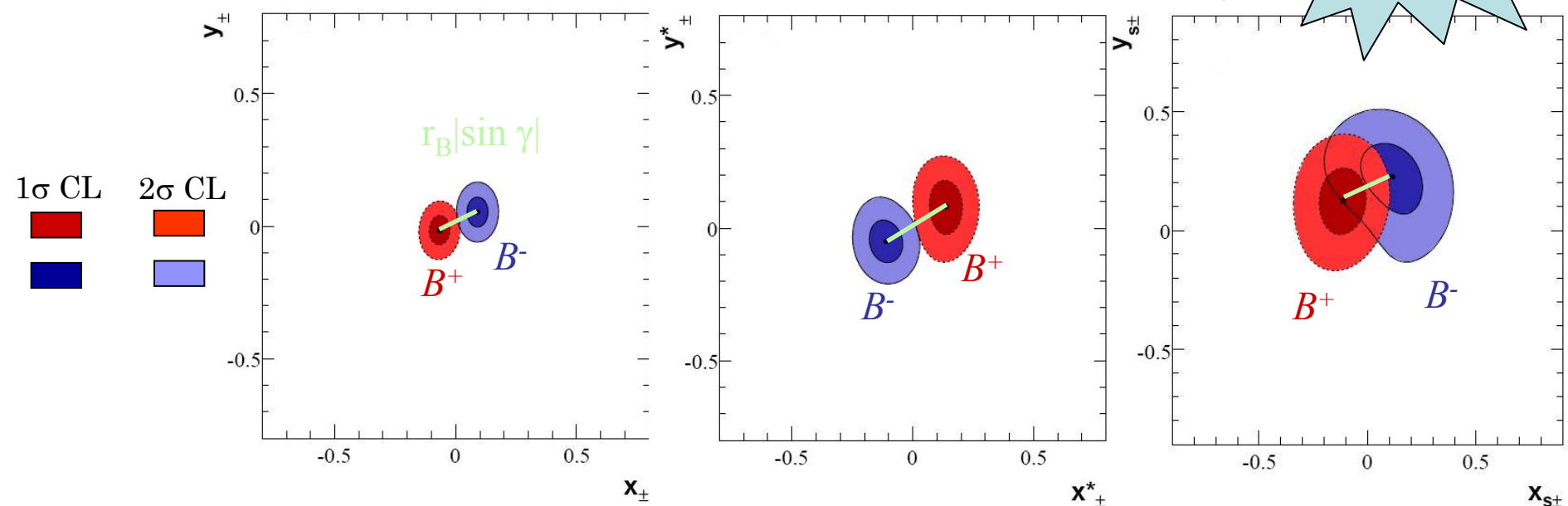
	$K_s \pi^+ \pi^-$	$K_s K^+ K^-$
DK	600 ± 31	112 ± 12
$D^*(D^0 \pi^0)K$	133 ± 15	31 ± 7
$D^*(D^0 \gamma)K$	129 ± 15	20 ± 6
DK^*	117 ± 17	-

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

Mesure des coordonnées cartésiennes

$K_S\pi^+\pi^-$ et $K_SK^+K^-$ combinés

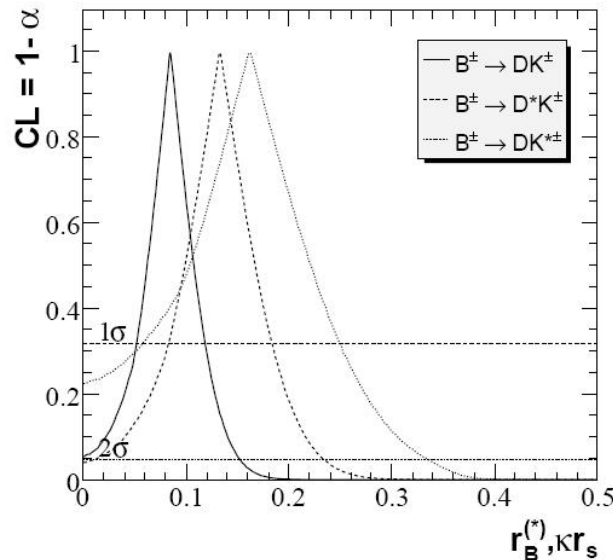


Parameters	$B^- \rightarrow \tilde{D}^0 K^-$	$B^- \rightarrow \tilde{D}^{*0} K^-$	$B^- \rightarrow \tilde{D}^0 K^{*-}$
x_- , x_-^* , x_{s-}	$0.090 \pm 0.043 \pm 0.014 \pm 0.011$	$-0.111 \pm 0.069 \pm 0.014 \pm 0.004$	$0.115 \pm 0.138 \pm 0.039 \pm 0.014$
y_- , y_-^* , y_{s-}	$0.053 \pm 0.056 \pm 0.007 \pm 0.015$	$-0.051 \pm 0.080 \pm 0.009 \pm 0.009$	$0.226 \pm 0.142 \pm 0.058 \pm 0.011$
x_+ , x_+^* , x_{s+}	$-0.067 \pm 0.043 \pm 0.014 \pm 0.011$	$0.137 \pm 0.068 \pm 0.014 \pm 0.005$	$-0.113 \pm 0.107 \pm 0.028 \pm 0.018$
y_+ , y_+^* , y_{s+}	$-0.015 \pm 0.055 \pm 0.006 \pm 0.008$	$0.080 \pm 0.102 \pm 0.010 \pm 0.012$	$0.125 \pm 0.139 \pm 0.051 \pm 0.010$

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
 Perspectives sur la mesure de γ

Principes
 Méthode Gronau-London-Wyler (GLW)
 Méthode Atwood-Dunietz-Soni (ADS)
 Méthode Giri-Grossman-Soffer-Zupan (GGSZ)

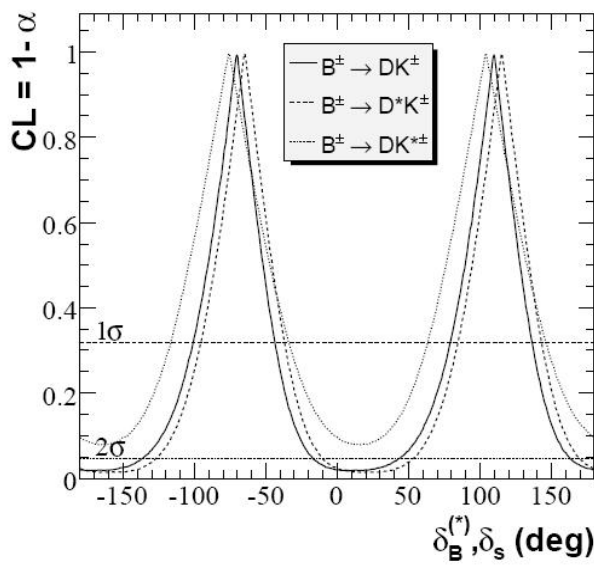
Mesure des observables CP



$$r_B = 0,084^{+0,034}_{-0,033}$$

$$r_B^* = 0,133^{+0,051}_{-0,050}$$

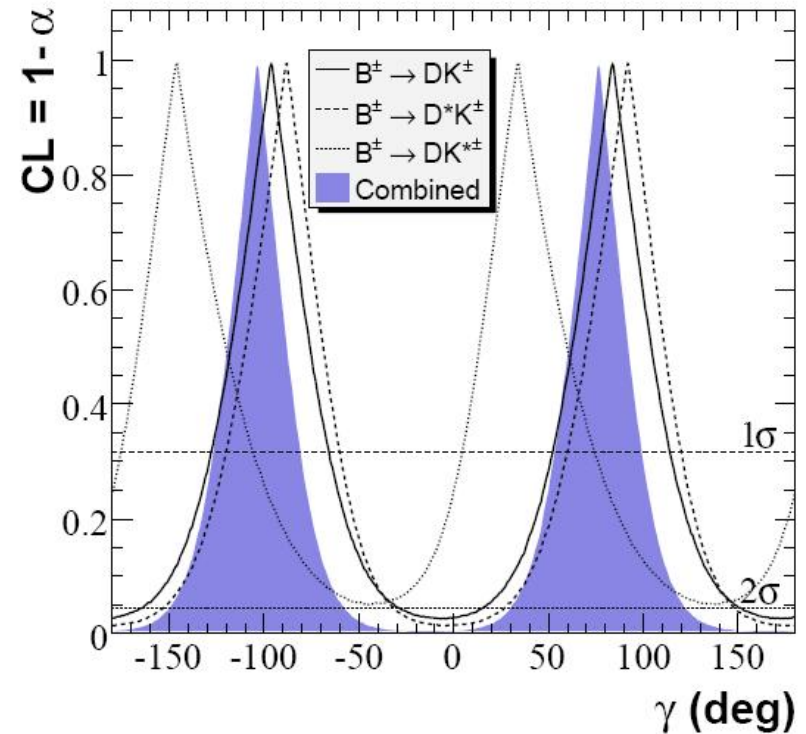
$$r_{sB} = 0,163^{+0,087}_{-0,105}$$



$$\delta_B = 110^{+27}_{-31}$$

$$\delta_B^* = -65^{+28}_{-31}$$

$$\delta_{sB} = 104^{+42}_{-41}$$

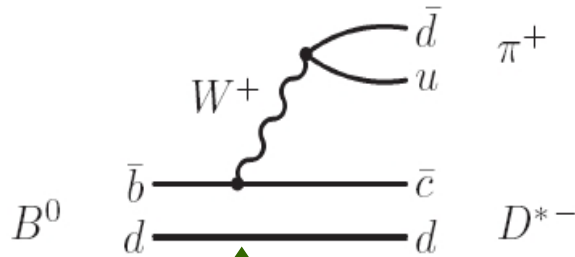


$$\gamma = (76 \pm 22 \pm 5 \pm 2)^\circ \text{ modulo } \pi$$

Mesures indirectes: $B^0 \rightarrow D^{(*)-} X^+$

Favorisé de Cabibbo

$$A_{CF}(B^0 \rightarrow D^{(*)-} X^+) \propto V_{cb} V_{ud}^*$$



État final commun $\Leftrightarrow$ interférence $\Leftrightarrow$ accès à $\sin(2\beta+\gamma)$

Taux de désintégrations dépendants du temps

$$P(B^0 \rightarrow D^{(*)\mp} \pi^\pm, \Delta t) \propto 1 \pm C^{(*)} \cos(\Delta m_d \Delta t) + S^{(*)\mp} \sin(\Delta m_d \Delta t)$$

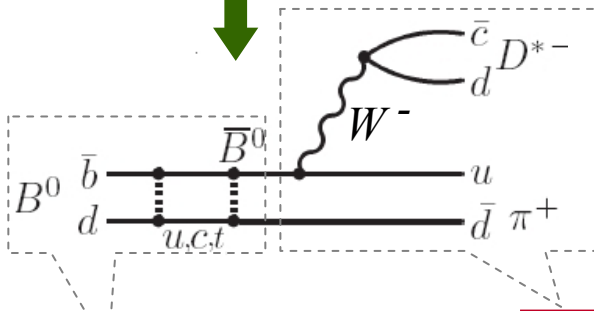
$$P(\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)\mp} \pi^\pm, \Delta t) \propto 1 \mp C^{(*)} \cos(\Delta m_d \Delta t) - S^{(*)\pm} \sin(\Delta m_d \Delta t)$$

$$C^{(*)} = \frac{1 - r^{(*)2}}{1 + r^{(*)2}} \approx 1 \quad S^{(*)\pm} = \frac{2r^{(*)2}}{1 + r^{(*)2}} \sin(2\beta + \gamma \pm \delta^{(*)})$$

$$r^{(*)} = \frac{|A_{DCS}|}{|A_{CF}|} \sim 2\%$$

$$A_{DCS}(\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)-} X^+) \propto V_{ub} V_{cd}^* \propto A_{CF} r^{(*)} e^{i(\delta^{(*)} - \gamma)}$$

Interférence



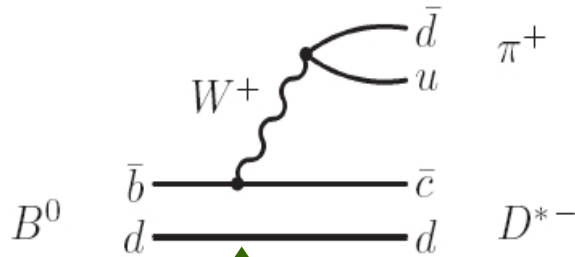
Mélange B^0 - $\bar{B}^0$:
 phase supplémentaire 2β

Doublement Cabibbo Supprimé

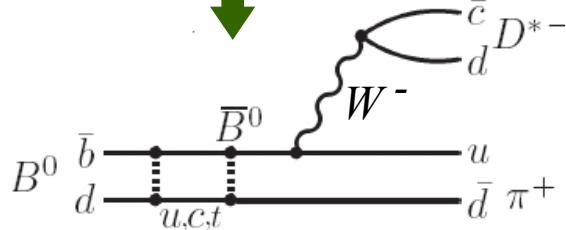
Mesures indirectes: $B^0 \rightarrow D^{(*)-} X^+$

Favorisé de Cabibbo

$$A_{CF}(B^0 \rightarrow D^{(*)-} X^+) \propto V_{cb} V_{ud}^*$$



Interférence



Principe similaire à $B^\pm \rightarrow D^{(*)0} K^{(*)\pm}$

État final commun $\Leftrightarrow$ interférence $\Leftrightarrow$ accès à $\sin(2\beta+\gamma)$

Taux de désintégrations dépendants du temps

$$P(B^0 \rightarrow D^{(*)\mp} \pi^\pm, \Delta t) \propto 1 \pm C^{(*)} \cos(\Delta m_d \Delta t) + S^{(*)\mp} \sin(\Delta m_d \Delta t)$$

$$P(\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)\mp} \pi^\pm, \Delta t) \propto 1 \mp C^{(*)} \cos(\Delta m_d \Delta t) - S^{(*)\pm} \sin(\Delta m_d \Delta t)$$

- Théoriquement propres
- Grands BR pour CF ($\sim 10^{-3}$)
- Petits BR pour modes supprimés

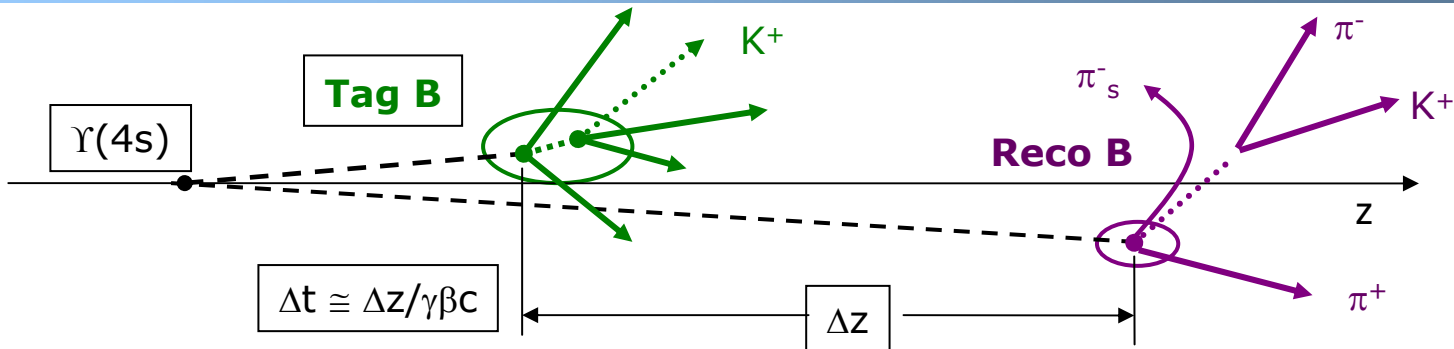
$\Rightarrow$ Asymétries CP faibles

$\Rightarrow r^{(*)}$ non mesurable avec stat. actuelle

$\Rightarrow$ Mesures de S^+ et S^- déterminent

$(2\beta+\gamma)$ et δ si $r^{(*)}$ est un input externe

Doublément Cabibbo Supprimé



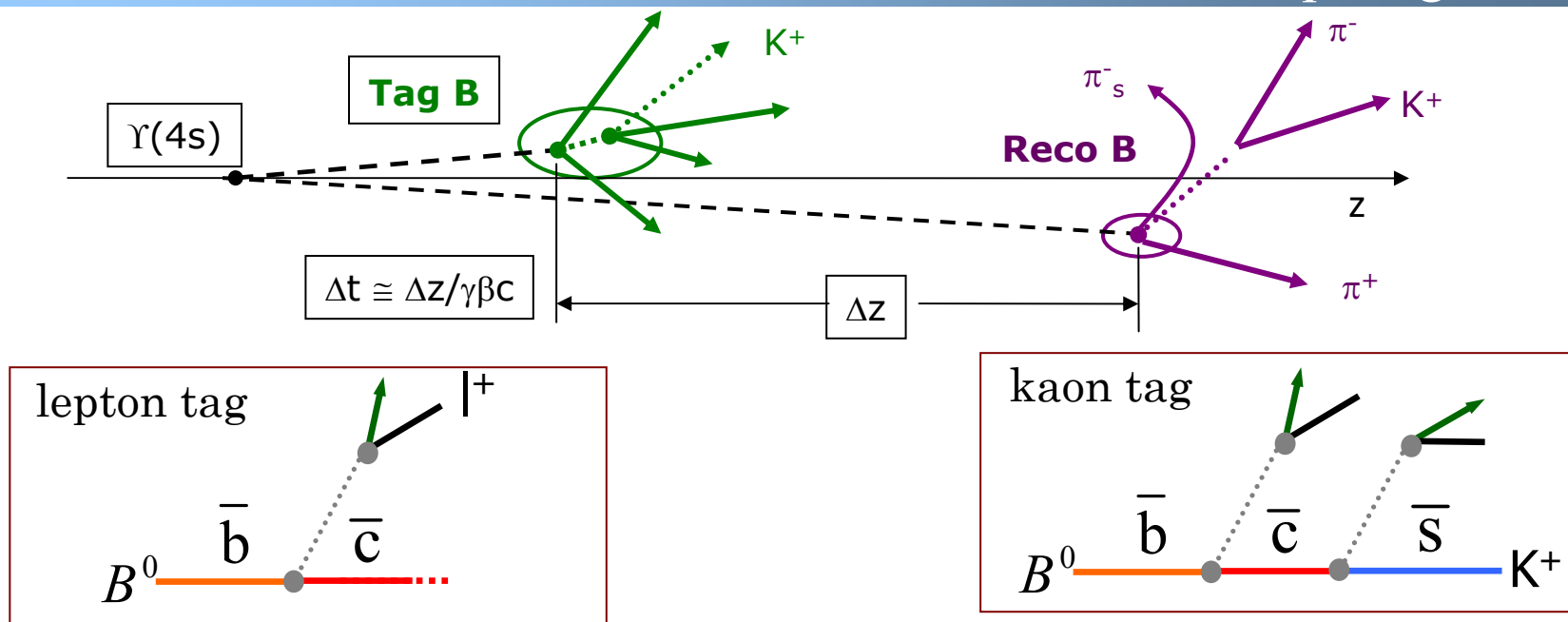
- Boost du $\Upsilon(4S)$
- Mesure de la séparation spatiale $\Delta z \approx 260 \mu m$
- Pas besoin de connaître vertex de production
- Résolution=1,1ps

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Principe
 Spécificités de l'analyse des B^0
 Résultats

Perspectives sur la mesure de γ

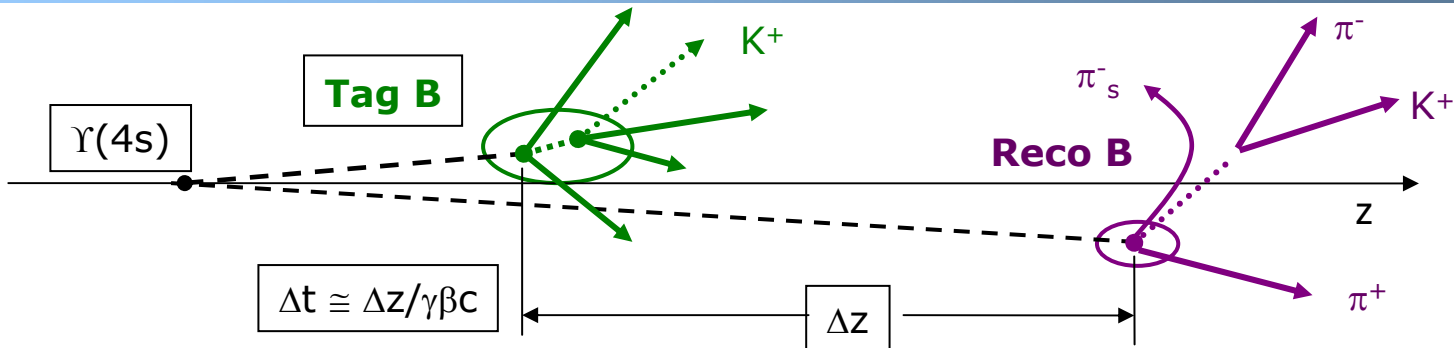
Etiquetage du B^0



Mistagging

- « wrong-sign » lepton ou K provenant de l'autre B
- PID incorrect

Etiquetage du B^0

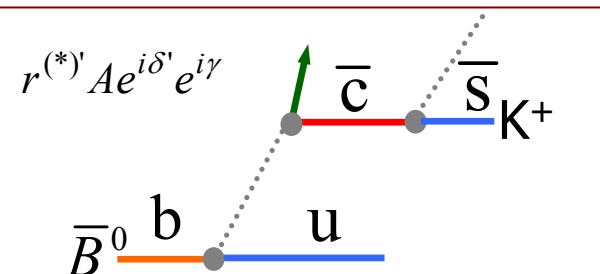
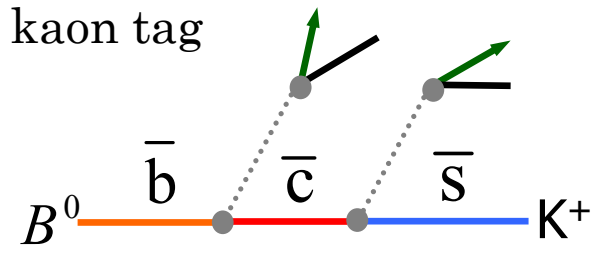


Kaon tag:

- Effets potentiels violant CP dans modes B_{tag}
 $\Rightarrow r'$ et δ' supplémentaires
- Comparable au signal
 $\Rightarrow$ Distributions en temps modifiées

hep-ex/0504035

kaon tag



$\Rightarrow$ Paramétrisation alternative:

$$a^{(*)} = 2r^{(*)} \sin(2\beta + \gamma) \cos \delta^{(*)}$$

$$b = 2r' \sin(2\beta + \gamma) \cos \delta^{(*)}$$

$$c^{(*)} = 2 \cos(2\beta + \gamma) (r^{(*)} \sin \delta^{(*)} - r' \sin \delta')$$

0 pour lepton tag

$$S^{(*)\pm} = (a^{(*)} \pm c^{(*)}) + b$$

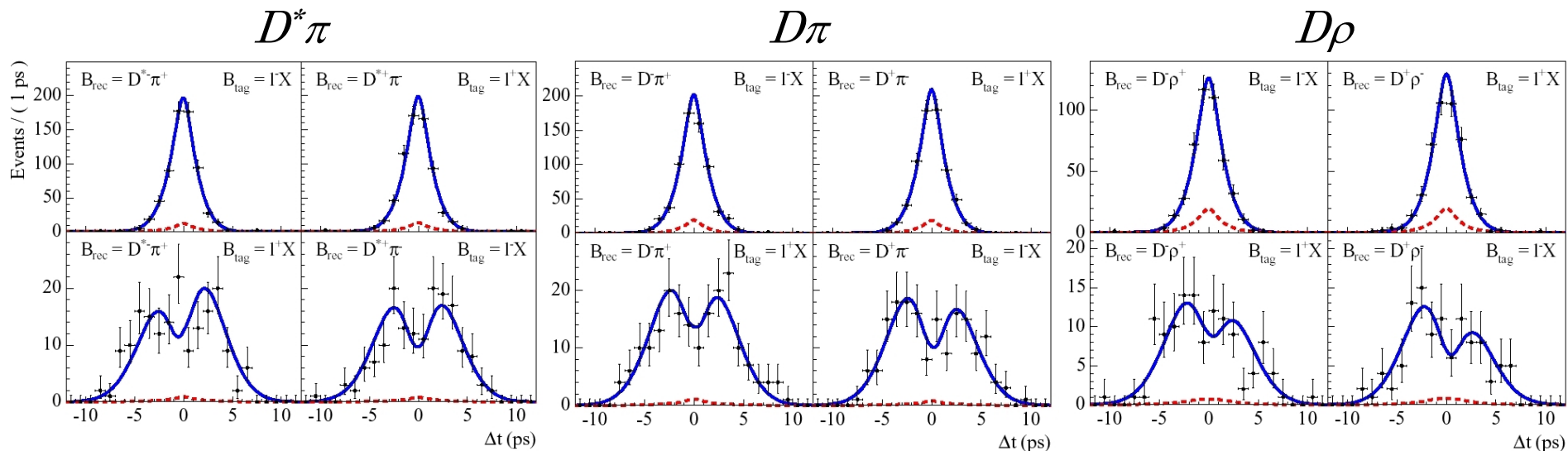
Reconstruction complète

Phys.Rev.D73:111101, 2006

$232 \times 10^6 B\bar{B}$

- Excellente pureté (80-90%)
- Efficacité de tagging limitée (30%)
- Statistique limitée

(lepton tag: bruit et mistag faibles)



$$a^{D^*\pi} = -0.040 \pm 0.023 \pm 0.010$$

$$c_{\text{lep}}^{D^*\pi} = -0.049 \pm 0.042 \pm 0.015$$

$$a^{D\pi} = -0.010 \pm 0.023 \pm 0.007$$

$$c_{\text{lep}}^{D\pi} = -0.033 \pm 0.042 \pm 0.012$$

$$a^{D\rho} = -0.024 \pm 0.031 \pm 0.009$$

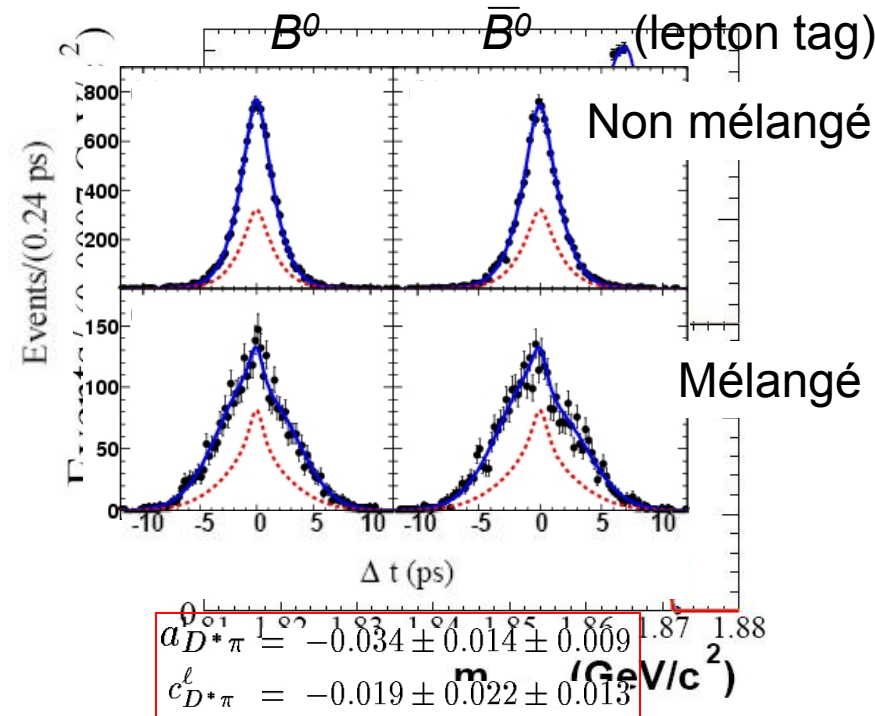
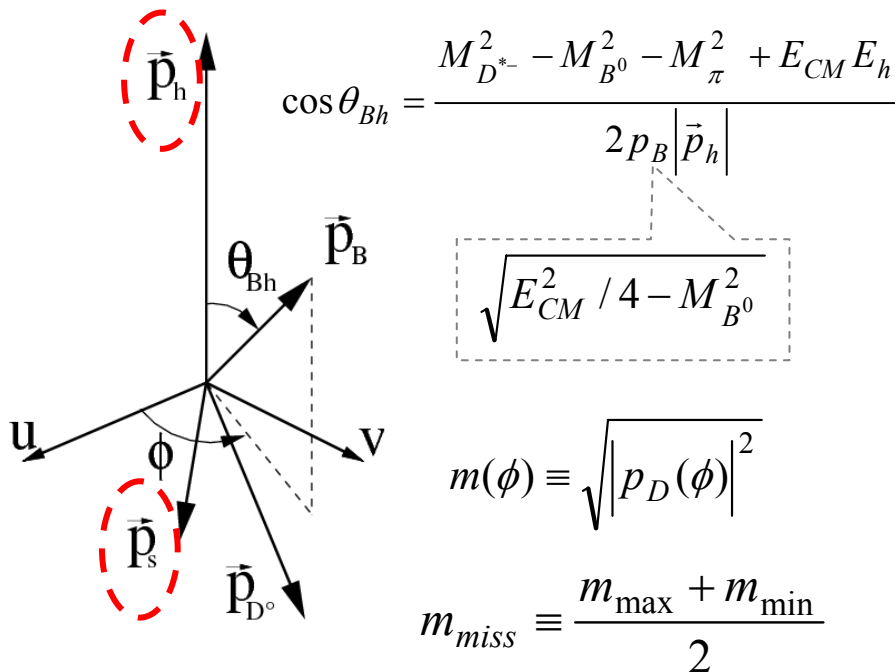
$$c_{\text{lep}}^{D\rho} = -0.098 \pm 0.055 \pm 0.018$$

Reconstruction partielle

Phys.Rev.D71:112003, 2005

$232 \times 10^6 B\bar{B}$

- Statistique $\nearrow$ (5-6× reconstruction complète)
- Pureté $\searrow$
- Uniquement utilisable pour $D^{*-}\pi^+$

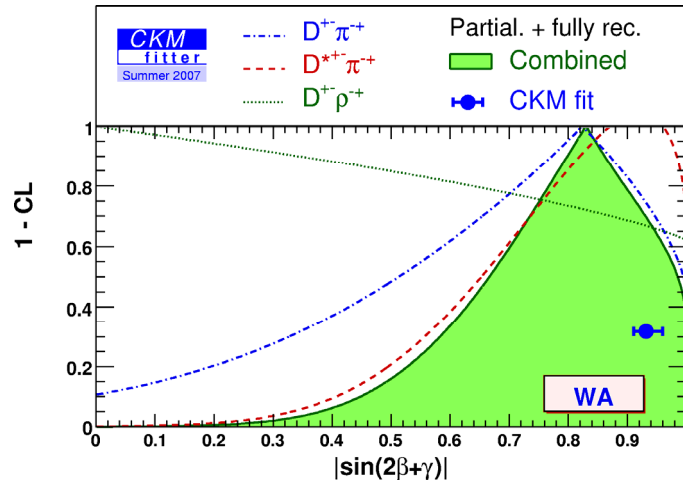


Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Principe
 Spécificités de l'analyse des B^0
 Résultats

Perspectives sur la mesure de γ

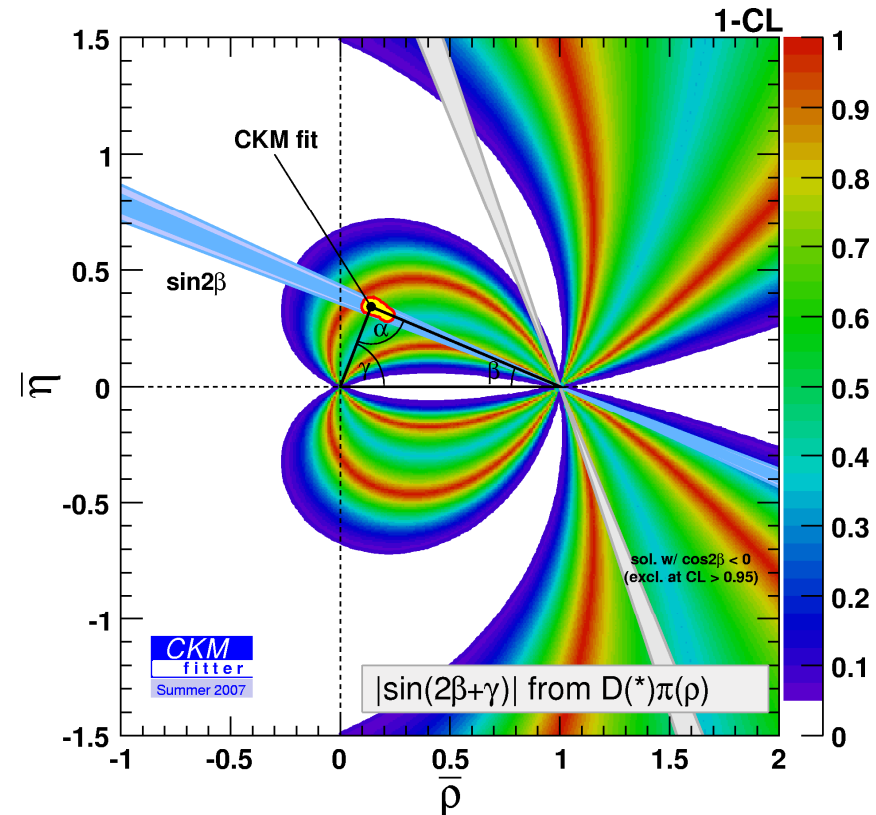
Sensibilité à $\sin(2\beta+\gamma)$

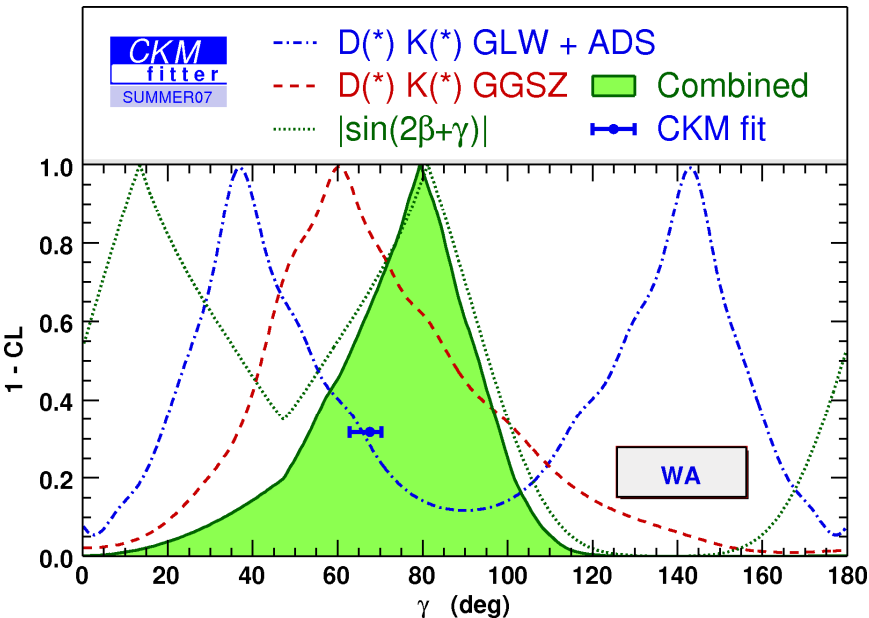


$|\sin(2\beta+\gamma)| > 0,64$ (68%CL)

$> 0,40$ (90%CL)

→ Sensibilité faible car $r^{(*)} = \frac{|A_{DCS}|}{|A_{CF}|}$ petit





- Besoin de combiner toutes les mesures
 - Tous les modes $D^{(*)}K^{(*)}$
 - Toutes les méthodes: GLW , ADS , $GGSZ$
 - Mesures indirectes: $\sin(2\beta+\gamma)$
 - $BaBar+BELLE$

Combinaison: $\gamma = \left(80^{+19}_{-26}\right)^\circ$
 CKM fit: $\gamma = \left(67,6^{+2,8}_{-4,5}\right)^\circ$



N'inclut pas les résultats GGSZ les plus récents présentés dans ce séminaire

$\gamma = (76 \pm 22 \pm 5 \pm 2)^\circ \text{ modulo } \pi$

- BaBar: arrêt en Avril 2008
 - Mise à jour des modes étudiés avec Runs 1 à 7
 - Etudes d'autres modes:
 - GGSZ: $B^- \rightarrow [\pi^+\pi^-\pi^0]_D K^-$
 - GGSZ dépendant du temps $B^0 \rightarrow [K_S \pi^+\pi^-]_{D^0} K^{*0}$, $B^0 \rightarrow D^- K_S \pi^+$
 - $B^0 \rightarrow D^0 K_S$
- BELLE: continue la prise de données

⇒ Pas d'amélioration majeure à venir

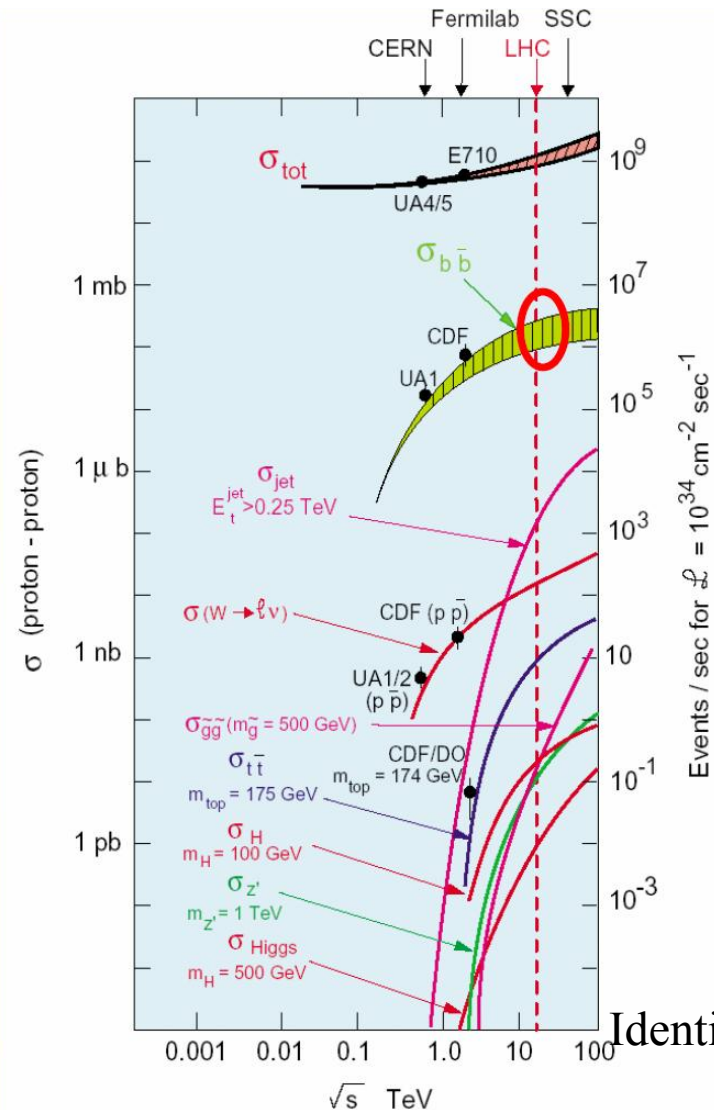
Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

Après des usines à B ...
 ...au LHC...
 ...et au-delà

Perspectives sur la mesure de γ

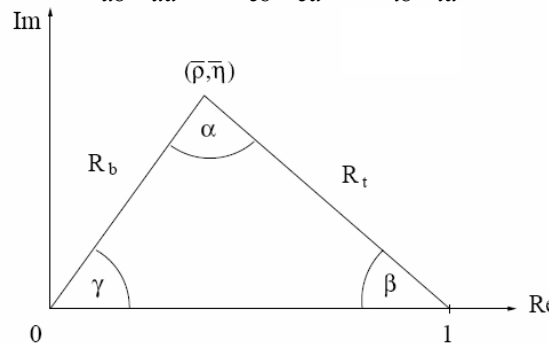
Physique du B au LHC

- $\sigma(pp \rightarrow b\bar{b}) = 500 \mu\text{b}$ (1,1 nb à 10,58 GeV en e^+e^-)
- *ATLAS, CMS:*
 - période basse luminosité
 - Canaux rares + modes avec contributions NP
- *LHCb:*
 - Dédiée à la physique du B
 - **Mesure de γ centrale**

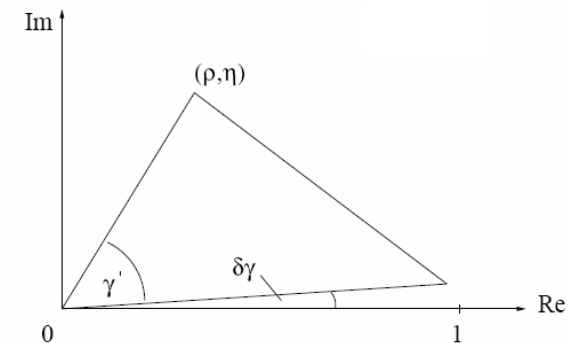


Events / sec for $\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$

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



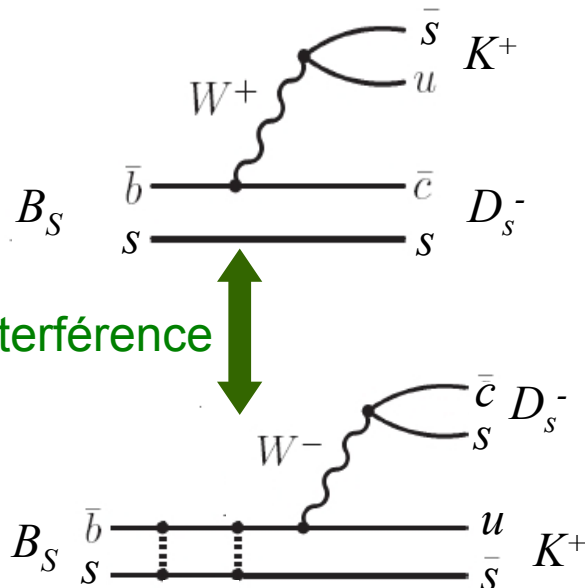
$$V_{ud}^* V_{td} + V_{us}^* V_{ts} + V_{ub}^* V_{tb} = 0$$



Identiques à λ^3 , mais à $\mathcal{L}_{\text{LHC}}$, précision requiert d'aller au-delà de λ^3

↳ Seuls V_{td} et V_{ub} ont une phase complexe

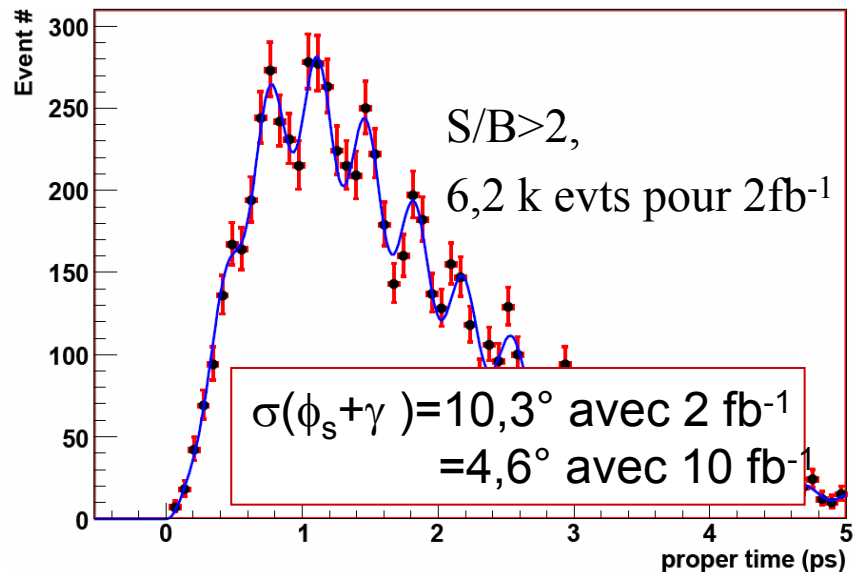
$\phi_s + \gamma$ avec $B_s \rightarrow D_s^+ K^-$
 $= -2\chi: B_s \rightarrow J/\psi \phi$



$$r = \frac{A(b \rightarrow u)}{A(b \rightarrow c)} \sim 0,41$$

⇒ Interférences importantes

- Equivalent de $\sin(2\beta+\gamma)$
 - Théoriquement propre
 - ϕ_s mesuré avec précision
- Importance du PID ($B_s \rightarrow D_s^+ \pi^-$)



- Extension possible vers $B_s \rightarrow D^{(*)} \phi$, $D^{(*)-} K^{(*)+}$

Violation de CP
 Mesure de γ avec les $B^\pm$
 Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les
 B^0

Après des usines à B...
...au LHC...
...et au-delà

Perspectives sur la mesure de γ

Méthodes avec $B_{u,d}$

Mode	Méthode	$N_{\text{evts}}/(2\text{fb}^{-1})$	S/B	$\sigma(\gamma)$ (2fb^{-1})	BaBar+Belle
$B^- \rightarrow D^0[K\pi, K3\pi]K^-$	GLW+ADS	112 k	0,6	$\sim 5\text{-}15^\circ$	Aucune contrainte
$B^- \rightarrow D^0[K\pi, K3\pi]K^-$		1,4 k	3		
$B^- \rightarrow D^0_{CP}[KK, \pi\pi]K^-$		7,6 k	2		
$B^- \rightarrow (K_S \pi^+ \pi^-)_{\bar{D}} K^-$	GGSZ	5k	$\sim 1\text{-}5$	$\sim 8^\circ$	$\sim 22^\circ$
$B^0 \rightarrow D^0[K^+ \pi^-]K^{*0}$		3,4 k	0.3	$\sim 7\text{-}10^\circ$	Non mesuré
$B^0 \rightarrow D^0[K^- \pi^+]K^{*0}$		0,5 k	1.7		
$B^0 \rightarrow D^0_{CP}[KK, \pi\pi]K^{*0}$		0,6 k	0.4		
$B^0 \rightarrow D^{*-} \pi^+ \text{ excl.}$	$\sin(2\beta+\gamma)$	84 k	12	$\sim 10^\circ$	Aucune contrainte
$B^0 \rightarrow D^{*-} \pi^+ \text{ incl.}$		260 k	3		
$B^0 \rightarrow D^{*-} a_1^+ \text{ incl.}$		360 k	4		

• D'autres méthodes envisagées:

- GGSZ 4 corps
- $B \rightarrow \pi K$
- $B \rightarrow \pi\pi$, $B_s \rightarrow KK$
- $B_{s,d} \rightarrow J/\psi K_S$

*LHCb: précision de 5° avec 2fb^{-1}
 $2,5^\circ$ avec 10fb^{-1}*

Violation de CP
Mesure de γ avec les $B^\pm$
Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0

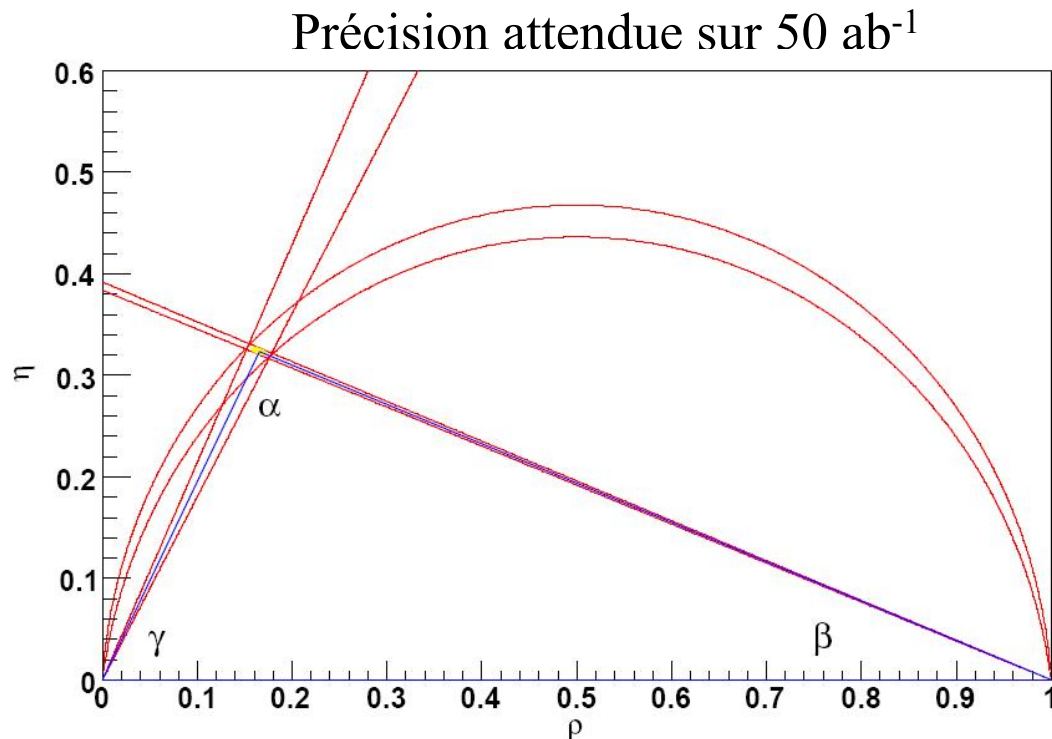
Auprès des usines à $B...$
...au LHC...
...et au-delà

Perspectives sur la mesure de γ

Super B



- $\Upsilon(nS)$, $n=1\dots 5$
- Usine à $B_{u,d,s}$, D , τ
- Luminosité $\mathcal{O}(10^{36}) \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



$\sigma(\alpha) \sim 2^\circ$
 $\sigma(\beta) \sim 0,2^\circ$
 $\sigma(\gamma) \sim 2^\circ$

- Mesurer γ avec précision est **fondamental**

- Améliorerait significativement la connaissance actuelle du triangle d'unitarité
- Test pour la Nouvelle Physique

- Mesurer γ avec précision est **difficile**

- Interférences faibles: besoin d'une grande statistique
- Meilleure contrainte obtenue avec la méthode de Dalitz
- Combiner les méthodes améliore un peu

- Bientôt l'ère de précision

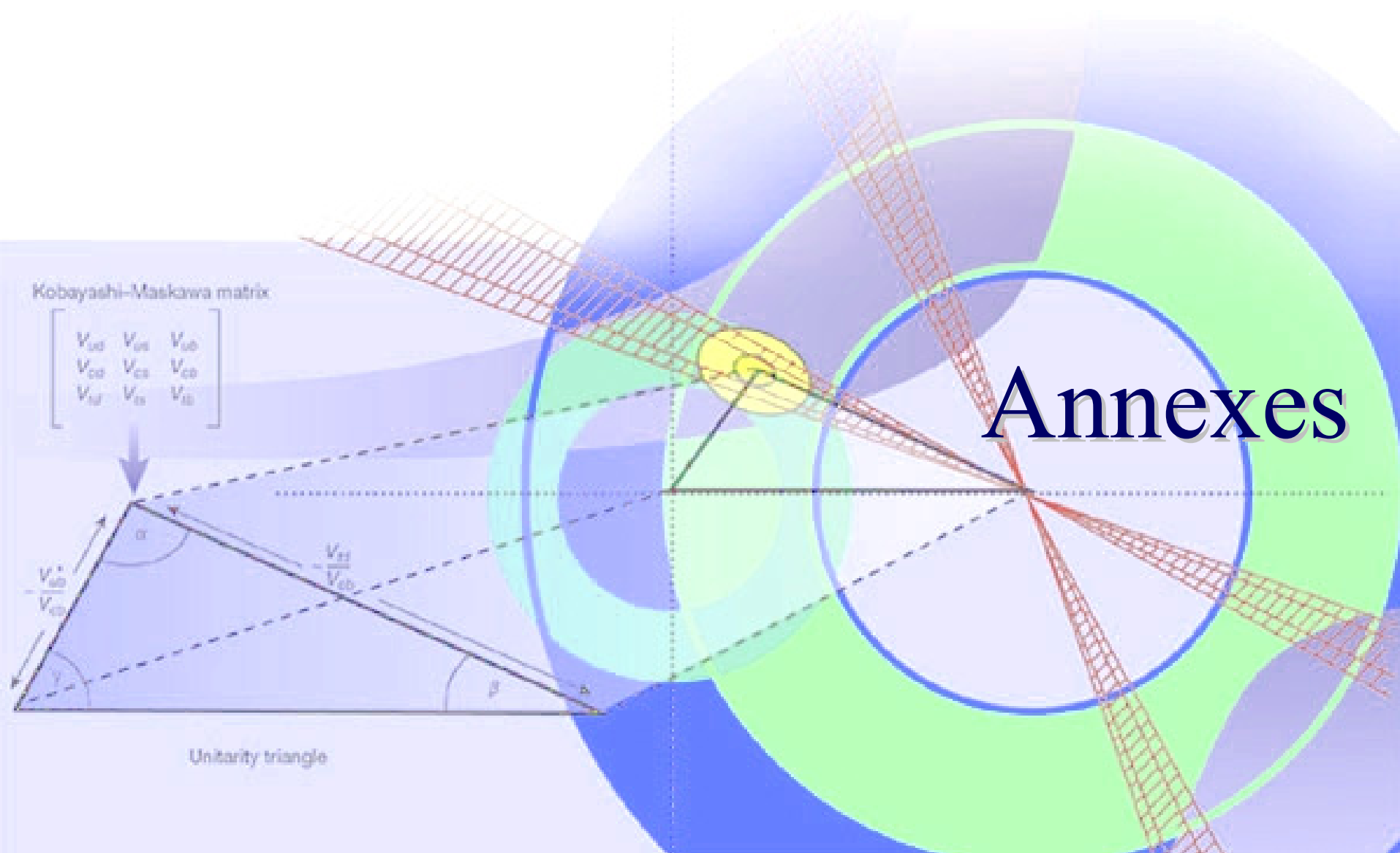
- LHCb
- SuperB?

Kobayashi-Maskawa matrix

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

Unitarity triangle

Violation de CP
Mesure de γ avec les $B^\pm$
Mesure de $\sin(2\beta+\gamma)$ avec les B^0
Perspectives sur la mesure de γ



Mélange D^0 - $\bar{D}^0$

Evolution/désintégration

(Etats propres du H)

$$|D_1\rangle = p|D^0\rangle + q|\bar{D}^0\rangle$$

$$|D_2\rangle = p|D^0\rangle - q|\bar{D}^0\rangle$$

Production

(Etats propres de saveur)

$$\left. \begin{aligned} A_f &= A(D^0 \rightarrow f) \\ \bar{A}_f &= A(\bar{D}^0 \rightarrow f) \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} A(D^0(t) \rightarrow f) &= g_+(t, x, y)A_f + g_-(t, x, y)\bar{A}_f \\ A(\bar{D}^0(t) \rightarrow f) &= g_+(t, x, y)\bar{A}_f + g_-(t, x, y)A_f \end{aligned}$$

Paramètres de mélange

$$x = \frac{\Delta m_D}{\Gamma_D} \quad y \equiv \frac{\Delta \Gamma_D}{2\Gamma_D}$$

$$\theta \equiv \arg\left(\frac{q}{p}\right)$$

- Problème potentiel: états finaux pourraient provenir de
 - Supprimé de Cabibbo ($D^0 \rightarrow K^+\pi^-$)
 - mélange + Cabibbo Favorisé ($D^0 \rightarrow D^0 \rightarrow K^+\pi^-$)
 ⇒ Evolution temporelle dilue l'amplitude des termes d'interférence
- Mélange conserve CP : prédit par MS, et observé (BaBar, Belle, CDF)
 - 1^{er} cas: paramètres de mélange connus ⇒ corrections calculables
 - 2nd cas: paramètres de mélange inconnus ⇒ effet < 1% ⇒ impact ~ 1° sur γ
 - ⇒ pour l'ère de précision

Modèle de Breit-Wigner

$$\mathcal{A}_r = F_D \times F_r \times T_r \times W_r$$

Barrière de Blatt-Weisskopf
du vertex de désintégrations du D

Barrière de Blatt-Weisskopf
du vertex de désintégrations
de la résonance

Distribution angulaire
de la désintégration
(Tenseurs de Zemach ou
formalisme d'hélicité)

Propagateur de la résonance
Breit-wigner relativiste:

- Avec largeur dépendant en masse
- Modèle de Gouranis-Sakurai pour $\rho(770)$ et $\rho(1450)$

$$\mathcal{A}_D(m_-^2, m_+^2) = F_1(s) + \sum_{r \neq \pi\pi} a_r e^{i\phi_r} \mathcal{A}_r(m_-^2, m_+^2) + a_{NR} e^{i\phi_{NR}}$$

$$F_1(s) = \sum_i [I - iK(s)\rho(s)]_{1j}^{-1} P_j(s)$$

$s \equiv m_0^2 \equiv m_{\pi\pi}^2$

Matrice identité

Vecteur initial de production

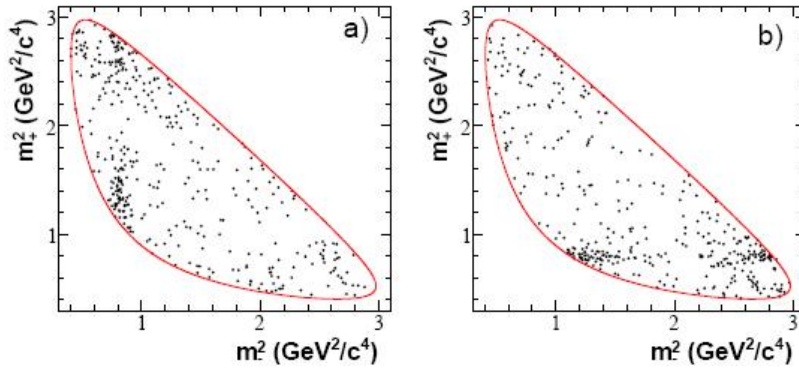
Matrice d'espace de phase

Matrice K: décrit le processus de diffusion

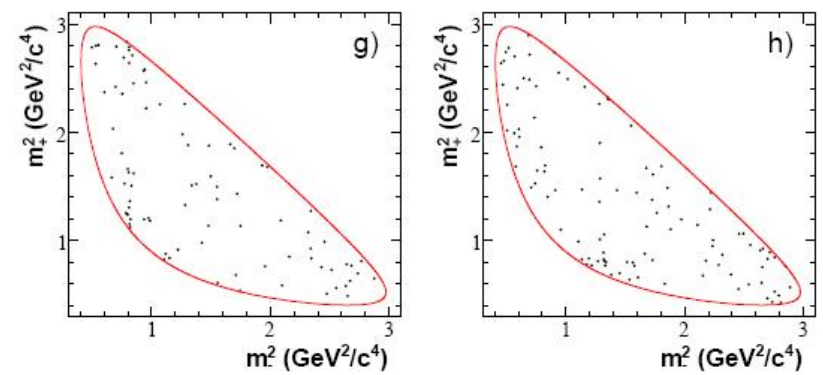
$$K_{ij}(s) = \left[\sum_{\alpha} \frac{g_i^{(\alpha)} g_j^{(\alpha)}}{m_{\alpha}^2 - s} + f_{ij}^{sc} \frac{1 - s_0^{sc}}{s - s_0^{sc}} \right] \left[\frac{(s - s_A m_{\pi}^2 / 2)(1 - s_{A0})}{s - s_{A0}} \right]$$

Plans de Dalitz $K_s\pi^+\pi^-$

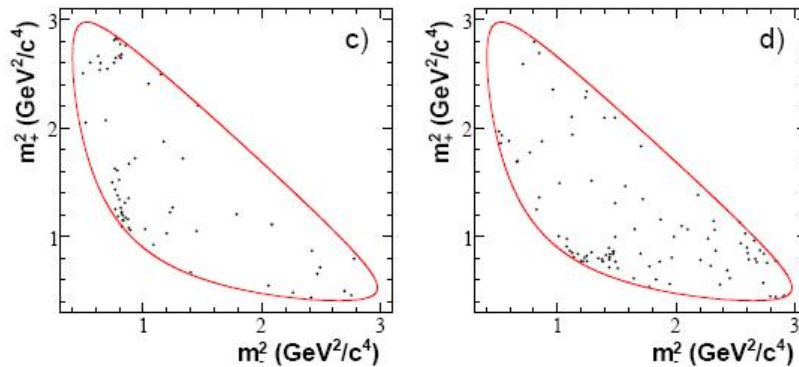
$B \rightarrow D^0 K$



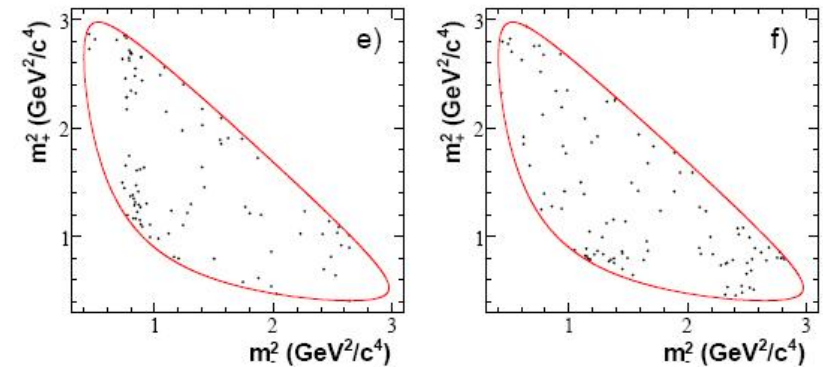
$B \rightarrow D^{*0}(D^0 \gamma) K$



$B \rightarrow D^{*0}(D^0 \pi^0) K$

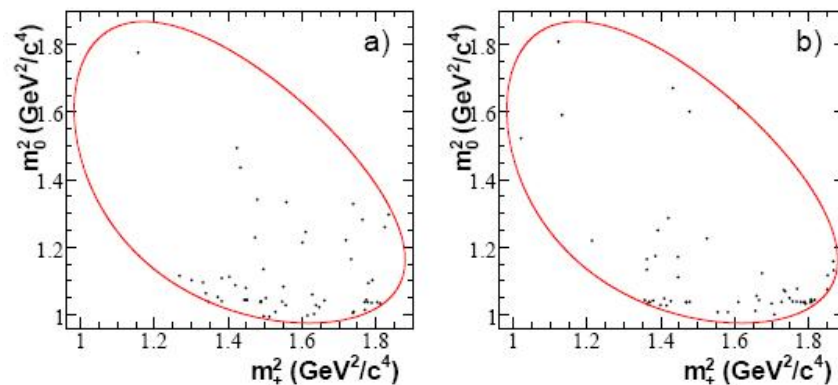


$B \rightarrow D^0 K^*$

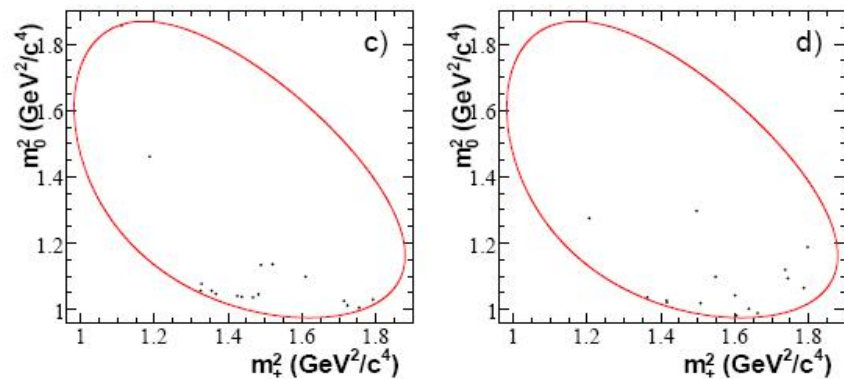


Plans de Dalitz $K_s K^+ K^-$

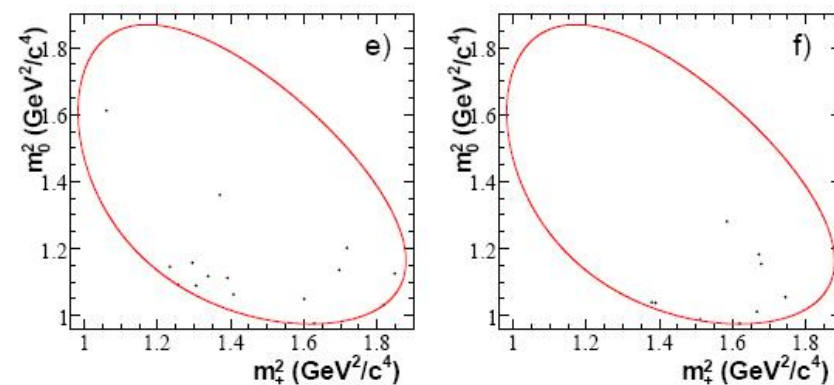
$B \rightarrow D^0 K$



$B \rightarrow D^{*0}(D^0 \pi^0) K$



$B \rightarrow D^{*0}(D^0 \gamma) K$



Systématiques des modes GGSZ

Systématiques du modèle Dalitz

Source	x_-	y_-	x_+	y_+	x_-^*	y_-^*	x_+^*	y_+^*	x_{s-}	y_{s-}	x_{s+}	y_{s+}
Mass and width of Breit-Wigner's	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002
$\pi\pi$ S-wave K-matrix solutions	0.003	0.012	0.003	0.001	0.003	0.007	0.002	0.009	0.001	0.001	0.013	0.003
$K\pi$ S-wave parameterization	0.001	0.001	0.002	0.004	0.001	0.003	0.001	0.003	0.005	0.001	0.004	0.002
Angular dependence	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003	0.001	0.003	0.001
Blatt-Weisskopf radius	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003
Add/remove resonances	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
Dalitz efficiency	0.006	0.004	0.008	0.001	0.002	0.004	0.002	0.003	0.008	0.001	0.008	0.004
Background Dalitz shape	0.003	0.002	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001	0.004	0.002
Normalization and binning	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.003	0.001
Mistag rate	0.008	0.006	0.006	0.005	0.002	0.001	0.002	0.003	0.008	0.010	0.004	0.007
Dalitz amplitudes and phases	0.002	0.002	0.003	0.004	0.001	0.001	0.002	0.006	0.003	0.003	0.004	0.002
Total Dalitz model	0.011	0.015	0.011	0.008	0.004	0.009	0.005	0.012	0.014	0.011	0.018	0.010

Systématiques expérimentales

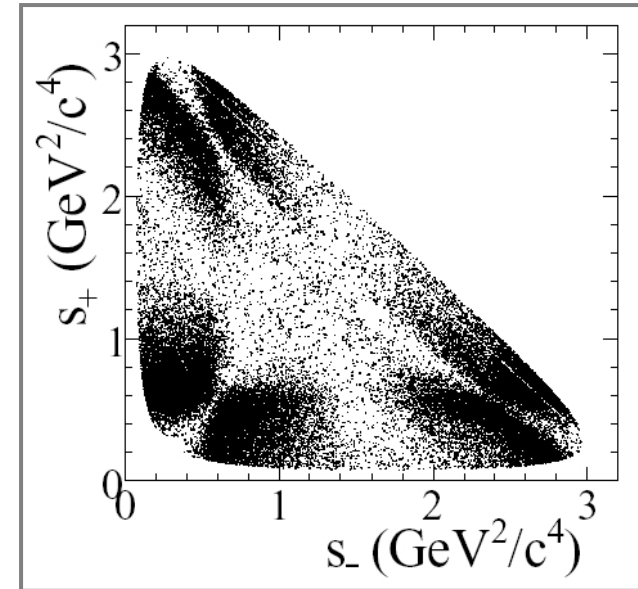
Source	x_-	y_-	x_+	y_+	x_-^*	y_-^*	x_+^*	y_+^*	x_{s-}	y_{s-}	x_{s+}	y_{s+}
m_{ES} , ΔE , $\mathcal{F}$ shapes	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	0.004	0.005	0.003	0.002	0.001	0.004
Real D^0 fractions	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001	0.002	0.004	0.001	0.001
Charge-flavor correlation	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
Efficiency in the Dalitz plot	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.001	0.005
Background Dalitz shape	0.012	0.007	0.013	0.003	0.010	0.007	0.007	0.007	0.014	0.006	0.012	0.005
$B^- \rightarrow D^{*0} K^-$ cross-feed	—	—	—	—	0.003	0.002	0.007	0.001	—	—	—	—
CP violation in $D\pi$ and $B\bar{B}$ bkg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.001	0.004	0.006	0.002	0.003	0.001
Non- K^* $B^- \rightarrow \bar{D}^0 K_S^0 \pi^-$ decays	—	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.058	0.025	0.045
Total experimental	0.014	0.007	0.014	0.006	0.014	0.009	0.014	0.010	0.039	0.058	0.028	0.051

Méthode de Dalitz (GGSZ): mode $B^- \rightarrow [\pi^+ \pi^- \pi^0]_D K^-$

- Comparé à $B^\pm \rightarrow [K_S \pi^+ \pi^-]_D K^\pm$:
 - *Structure de Dalitz différente (15 résonances)*
 - *Plus de bruit de fond*
- Corrélations non linéaires avec (r_B, δ_B, γ) et les coordonnées cartésiennes

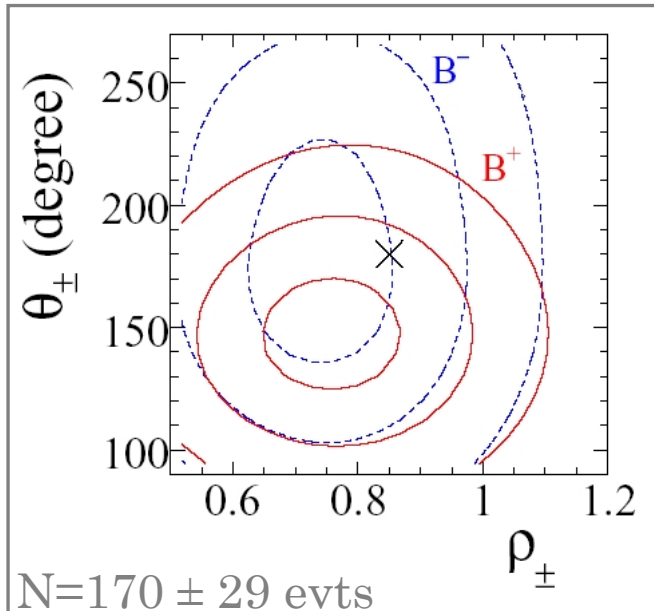
⇒ coordonnées polaires

$$\rho_\pm \equiv \sqrt{(x_\pm - x^0)^2 + y_\pm^2} \quad \theta_\pm \equiv \arctan\left(\frac{y_\pm}{x_\pm - x^0}\right)$$
$$x^0 \equiv \int A_D(m_-, m_+) \bar{A}_D(m_-, m_+) dm^- dm^+ = 0.85$$



Méthode de Dalitz (GGSZ): mode $B^- \rightarrow [\pi^+ \pi^- \pi^0]_D K^-$

Contours de L constant: 1σ , 2σ , 3σ



$$\rho_+ = 0.75 \pm 0.11 \pm 0.06$$

$$\rho_- = 0.72 \pm 0.11 \pm 0.06$$

$$\theta_+ = (147 \pm 23 \pm 13)^\circ$$

$$\theta_- = (173 \pm 42 \pm 19)^\circ$$

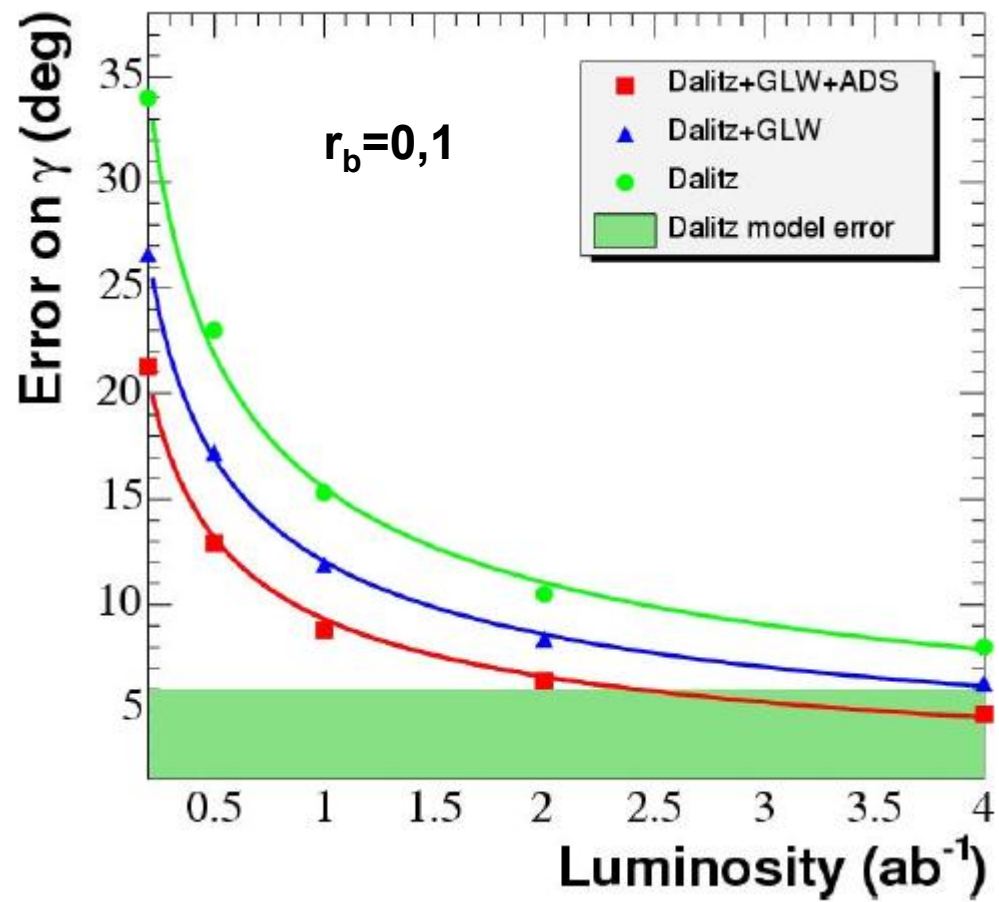
$$\rho_+/\rho_- \text{ corr.} = 14\%$$

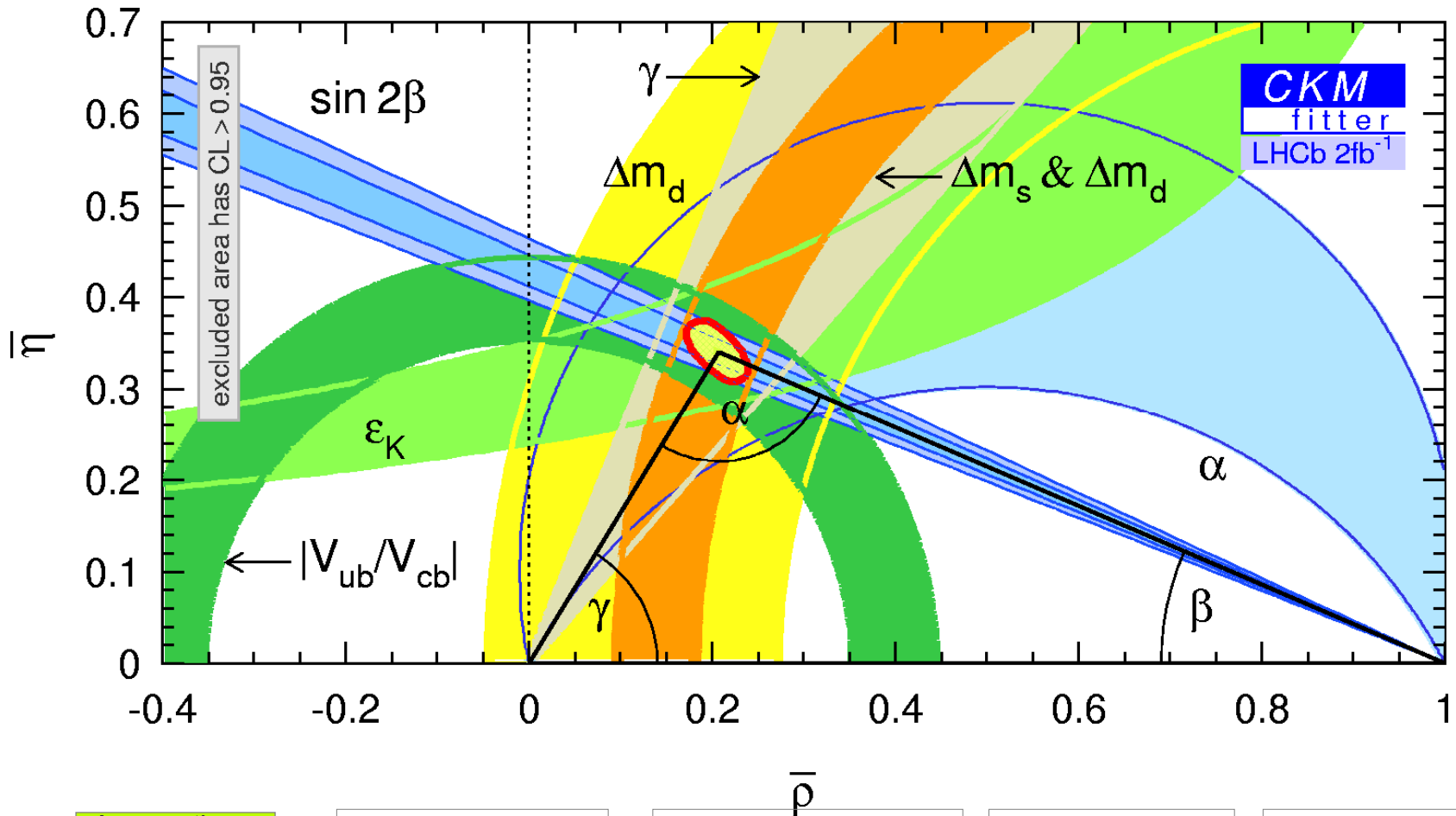
$$\text{Autres corrélations} < 1\%$$

Systématiques principalement du modèle Dalitz

Erreurs sur:

- $\theta_\pm$: trop grande de pour déterminer γ
- $\rho_\pm$: assez petite pour être utile





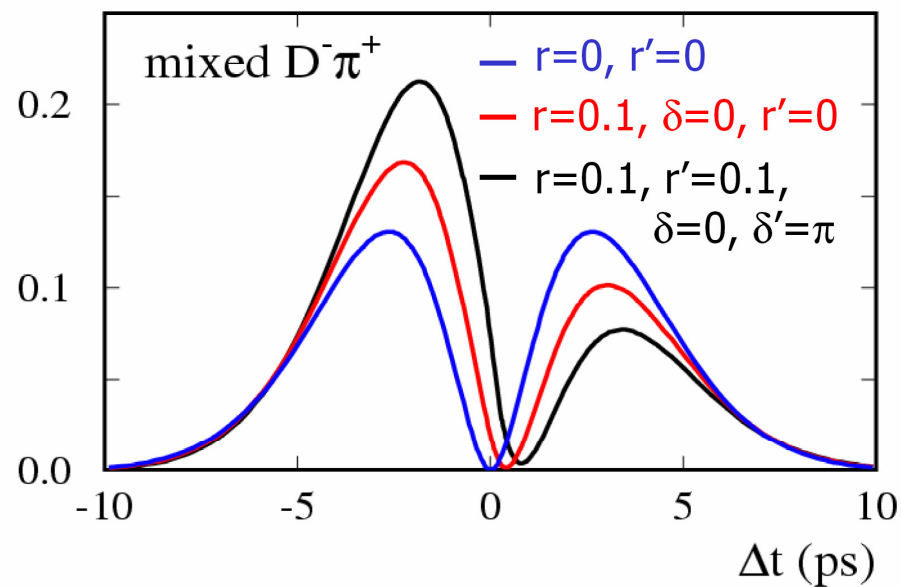
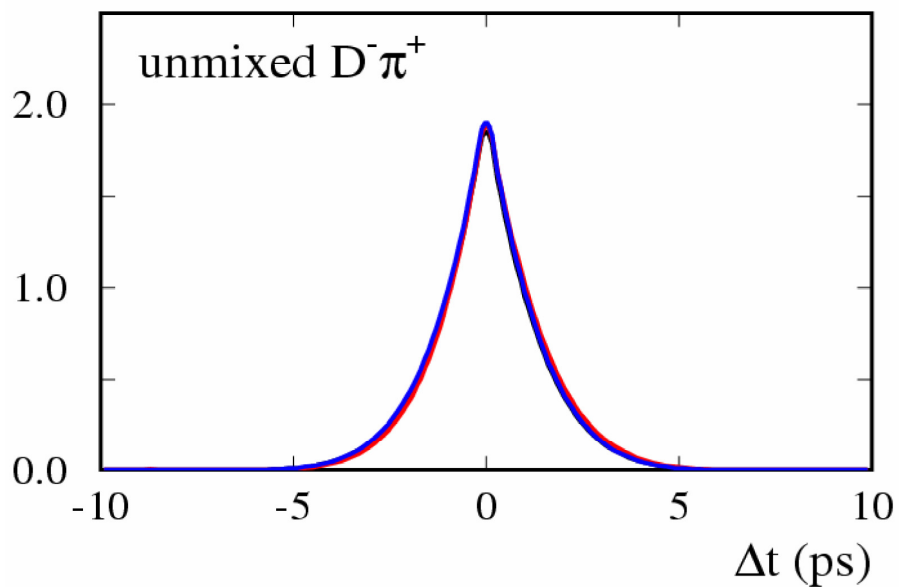
Assumptions:
LHCb TDR

$$\sigma(\Delta m_s)=0.01$$

$$\sigma(\sin 2\beta)=0.02$$

$$\sigma(\alpha) = 10^\circ$$

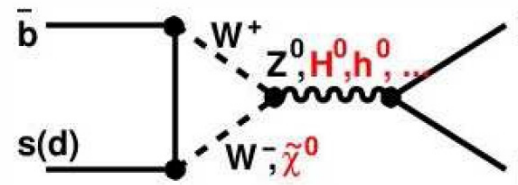
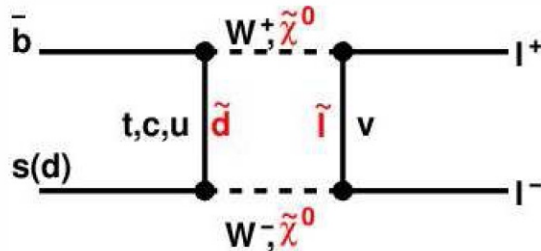
$$\sigma(\gamma) = 5^\circ$$



Physique du B au LHC: ATLAS et CMS

- Intérêts physique: recherches de déviations au Modèle Standard

- **Mesure de $\phi_s = -2\lambda\eta = -2\chi$:** $B_s \rightarrow J/\psi \phi(\eta)$
- **Désintégrations rares:** $B_d \rightarrow K^* \gamma, K^* \mu\mu, \mu\mu, B_s \rightarrow \phi \gamma, \phi \mu\mu, \gamma \mu\mu$
- + mesure de Δm_s , physique du B_c

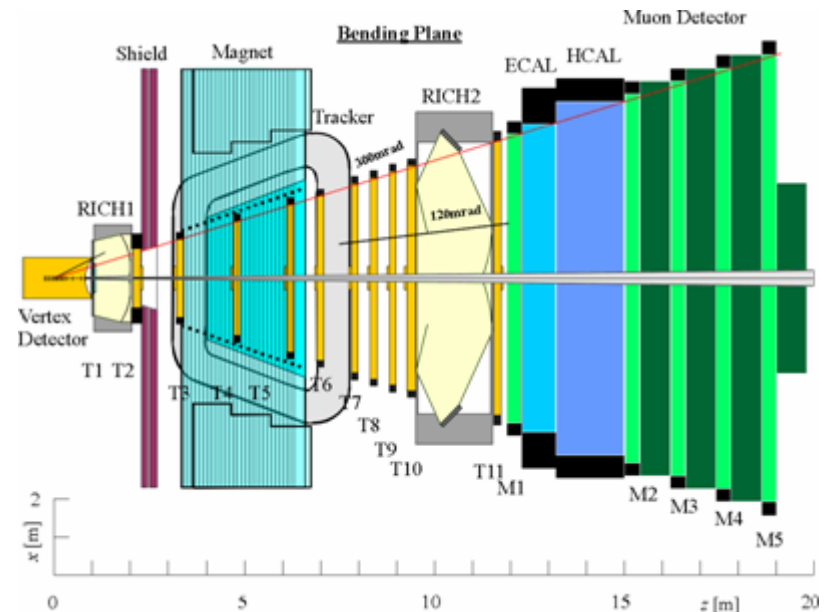


- Moyens:

- A $\sqrt{s}=14$ TeV, $\sigma(bb)=500\mu b$
- 1 période basse lumi (essentiel du programme de B), 1 Hte lumi (désintégrations rares)
- **Importance du trigger**
 - Ressources $\sim 10\%$
 - Evts c et b contiennent essentiellement des particules de p_T faible $\Rightarrow$ difficile
 - Basé du des evts à muon simple et di-muons

Physique du B au LHC: LHCb

- Dedicée à la physique du B
- Fonctionne même à $\mathcal{L}_{\text{nominale}}$ du LHC (limiteur de luminosité): $2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Bonne acceptance
- Excellente résolution temporelle (Δm_S)
- Identification de particules par RICH
- Trigger dédié au B





- b, c, τ factory ($\Upsilon(5S)$ pas certain)
- Lumi attendue: $10^{36}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Défis techniques:
 - Courants $>10\text{A}$, bunch spacing $<1\text{ns}$ $\Rightarrow$ boucles de réaction très rapides
 - Contraintes thermiques et vide, puissance RF
 - Taille verticale des faisceaux ($1\mu\text{m}$): paquets très courts, croisement à angle
 - Garder un bruit de fond raisonnable $\Rightarrow$ dose intégrée
- Arguments physiques: complémentarité avec LHC
 - Scénario 1: LHC découvre NP $\Rightarrow$ métrologie du secteur de la saveur
 - Scénario 2: LHC ne trouve rien $\Rightarrow$ exploration indirecte des échelles de masse + élevées

Super Flavor Factory

Observables sensibles
à la NP

Δm_K ϵ_K ϵ'/ϵ_K $B(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$ $B(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$ $B(K^+ \rightarrow l^+ \nu)$
 Δm_d $A_{SL}(B_d)$ $S(B_d \rightarrow J/\psi K_S)$ $S(B_d \rightarrow \phi K_S)$
 $\alpha(B \rightarrow \pi\pi, \rho\pi, \rho\rho)$ $\gamma(B \rightarrow DK)$ CKM fits
 Δm_s $A_{SL}(B_s)$ $S(B_s \rightarrow J/\psi \phi)$ $S(B_s \rightarrow \phi\phi)$
 $B(b \rightarrow s\gamma)$ $A_{CP}(b \rightarrow s\gamma)$ $S(B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \gamma)$ $S(B_s \rightarrow \phi\gamma)$
 $B(b \rightarrow d\gamma)$ $A_{CP}(b \rightarrow d\gamma)$ $A_{CP}(b \rightarrow (d+s)\gamma)$
 $B(b \rightarrow s l^+ l^-)$ $B(b \rightarrow d l^+ l^-)$ $A_{FB}(b \rightarrow s l^+ l^-)$ $B(b \rightarrow s \nu \bar{\nu})$
 $B(B_s \rightarrow l^+ l^-)$ $B(B_d \rightarrow l^+ l^-)$ $B(B^+ \rightarrow l^+ \nu)$
 $B(\mu \rightarrow e\gamma)$ $B(\mu \rightarrow e^+ e^- e^+)$ $(g-2)_\mu$ μ EDM
 $B(\tau \rightarrow \mu\gamma)$ $B(\tau \rightarrow e\gamma)$ $B(\tau^+ \rightarrow l^+ l^- l^+)$ τ CPV τ EDM
 $B(D_{(s)}^+ \rightarrow l^+ \nu)$ x_D y_D charm CPV

LHCb

SFF

n_K ϵ_K ϵ'/ϵ_K $B(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$ $B(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$ $B(K^+ \rightarrow l^+ \nu)$
 Δm_d $A_{SL}(B_d)$ $S(B_d \rightarrow J/\psi K_S)$ $S(B_d \rightarrow \phi K_S)$
 $\alpha(B \rightarrow \pi\pi, \rho\pi, \rho\rho)$ $\gamma(B \rightarrow DK)$ CKM fits
 Δm_s $A_{SL}(B_s)$ $S(B_s \rightarrow J/\psi \phi)$ $S(B_s \rightarrow \phi\phi)$
 $B(b \rightarrow s\gamma)$ $A_{CP}(b \rightarrow s\gamma)$ $S(B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \gamma)$ $S(B_s \rightarrow \phi\gamma)$
 $B(b \rightarrow d\gamma)$ $A_{CP}(b \rightarrow d\gamma)$ $A_{CP}(b \rightarrow (d+s)\gamma)$ $S(B^0 \rightarrow \rho^0 \gamma)$
 $B(b \rightarrow s l^+ l^-)$ $B(b \rightarrow d l^+ l^-)$ $A_{FB}(b \rightarrow s l^+ l^-)$ $B(b \rightarrow s \nu \bar{\nu})$
 $B(B_s \rightarrow l^+ l^-)$ $B(B_d \rightarrow l^+ l^-)$ $B(B^+ \rightarrow l^+ \nu)$
 $B(\mu \rightarrow e\gamma)$ $B(\mu \rightarrow e^+ e^- e^+)$ $(g-2)_\mu$ μ EDM
 $B(\tau \rightarrow \mu\gamma)$ $B(\tau \rightarrow e\gamma)$ $B(\tau^+ \rightarrow l^+ l^- l^+)$ τ CPV τ EDM
 $B(D_{(s)}^+ \rightarrow l^+ \nu)$ x_D y_D charm CPV

LHCb/Super Flavor Factory

