



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

LPHE - EPF Lausanne

Séminaire au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire,
Orsay, 7 avril 2006

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du
continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

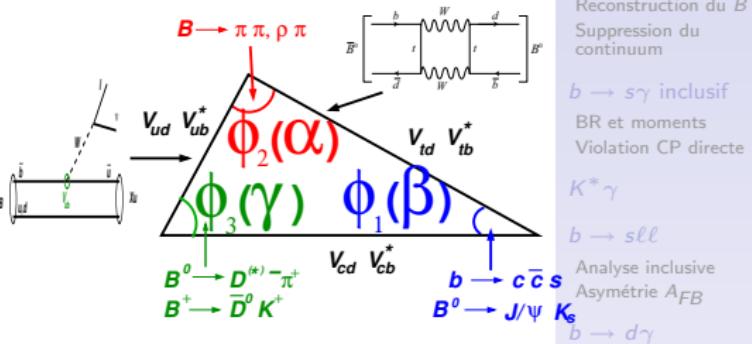
Matrice CKM

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

- Dans le modèle standard :

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

- Phase complexe dans la matrice
⇒ violation de CP
- Matrice unitaire :
 $V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$
- définie un triangle ...



Violation(s) de CP ...

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

3 types de violation de CP : 2 violations de CP **indirecte** (relatives au mixing des mésons **neutres**) et 1 violation de CP **directe**.

- ▶ Type 1 : Violation de CP dans le mixing.
- ▶ Type 2 : Violation de CP dans l'interférence entre une désintégration avec mixing ($M^0 \rightarrow \overline{M}^0 \rightarrow f$) et une désintégration sans mixing ($M^0 \rightarrow f$).
- ▶ Type 3 : Violation de CP dans la désintégration (directe).

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

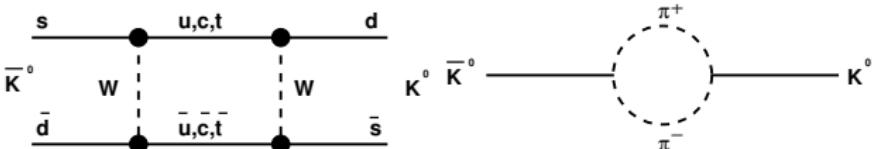
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

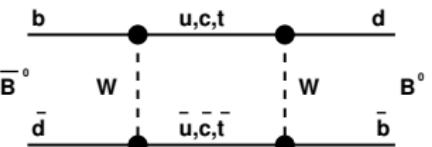
... indirecte

► Type 1 :

- Système $K^0 - \bar{K}^0$: état physique K_S et K_L avec $\tau_{K_S} \ll \tau_{K_L}$



- Système $B^0 - \bar{B}^0$: état physique B_L et B_H avec $\tau_{B_L} \simeq \tau_{B_H} \Rightarrow$ on ne peut pas étudier directement B_L et $B_H \Rightarrow$ violation de CP difficile à observer



- Observation avec les désintégrations semi-leptoniques $M, \bar{M} \rightarrow \ell^\pm X$ via l'asymétrie "wrong-sign" (seule source de violation de CP qui intervient) :

$$\mathcal{A}(t) = \frac{\frac{d}{dt}\Gamma(\bar{M}_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow \ell^+ X) - \frac{d}{dt}\Gamma(M_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow \ell^- X)}{\frac{d}{dt}\Gamma(\bar{M}_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow \ell^+ X) + \frac{d}{dt}\Gamma(M_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow \ell^- X)}$$

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

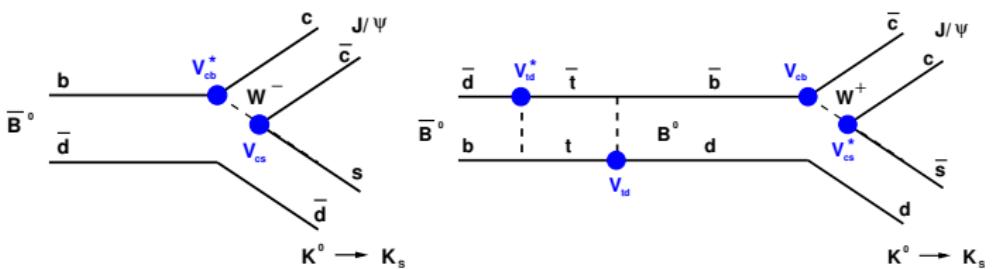
Conclusion

► Type 2 :

- Observation en utilisant l'asymétrie des mésons neutres avec un état final qui est un état propre de CP :

$$\mathcal{A}_{f_{CP}} = \frac{\frac{d}{dt} \Gamma(\bar{M}_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow f_{CP}) - \frac{d}{dt} \Gamma(M_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow f_{CP})}{\frac{d}{dt} \Gamma(\bar{M}_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow f_{CP}) + \frac{d}{dt} \Gamma(M_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow f_{CP})}$$

- Système $B^0 - \bar{B}^0$: transition $b \rightarrow c\bar{c}s$



⇒ Interférence dépendante du temps avec un terme proportionnel à

$$\frac{V_{tb}^* V_{td}}{V_{tb} V_{td}^*} = e^{2i\phi_1} \quad (\phi_1 \equiv \beta)$$

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

... directe

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

► Type 3 :

- Mixing dans les mésons neutres \Rightarrow complique l'observation
 \Rightarrow devrait être aisément mesurable dans les mésons chargés :

$$\mathcal{A}_{f^\pm} = \mathcal{A}_{CP} = \frac{\Gamma(M^- \rightarrow f^-) - \Gamma(M^+ \rightarrow f^+)}{\Gamma(M^- \rightarrow f^-) + \Gamma(M^+ \rightarrow f^+)} \neq 0$$

→ mais pas encore trouvée !

- Paradoxalement, la violation directe de CP a été mesurée dans les désintégrations de mésons neutres :
 $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ et $K^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$
- Dans le système $B^0 - \bar{B}^0$: $B^0 \rightarrow K^+\pi^-$

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

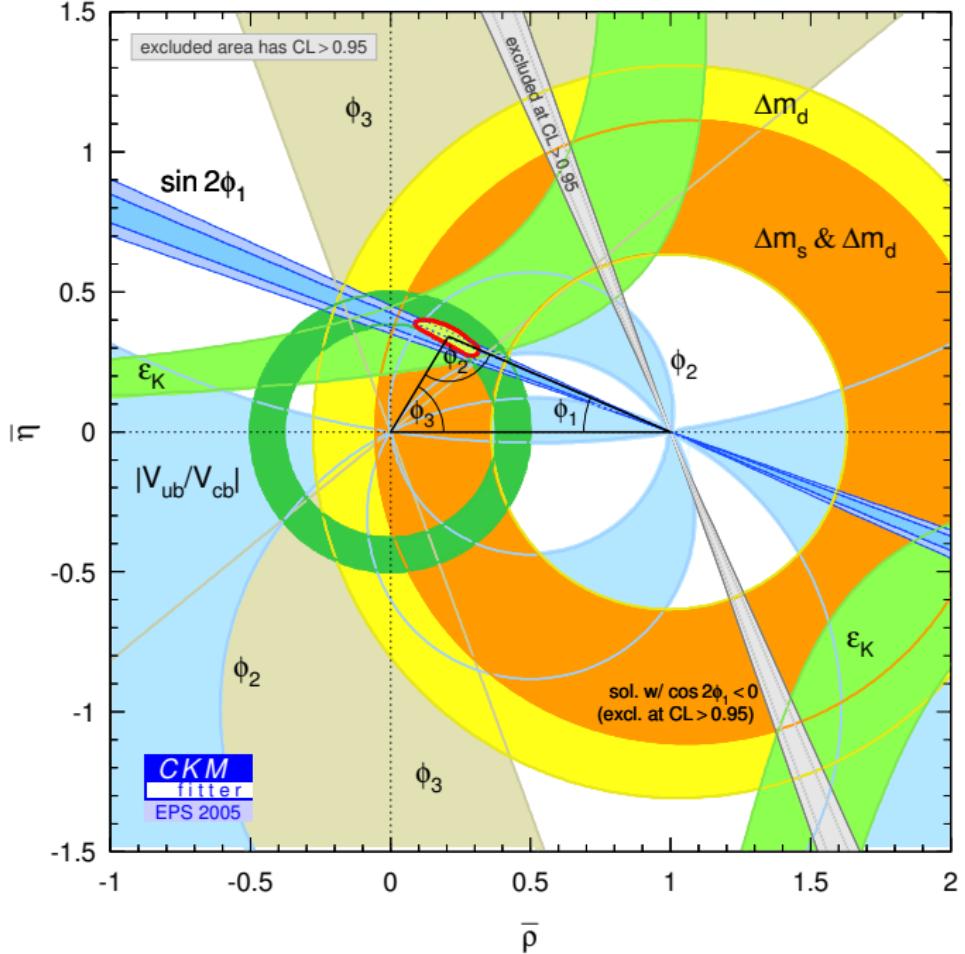
$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Introduction aux désintégrations radiatives

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

► Désintégrations radiatives des B :

- $b \rightarrow s\gamma$
- $b \rightarrow d\gamma$
- $b \rightarrow sll$

► Dans le Modèle Standard, changement de saveur

⇒ boson W

► Ex : **b** (charge $-2/3$) en **c** (charge $+1/3$) avec un **W^-**



⇒ Changement de saveur avec un courant chargé !

► Comment réaliser une désintégration $\mathbf{b} \rightarrow \mathbf{s}$?

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

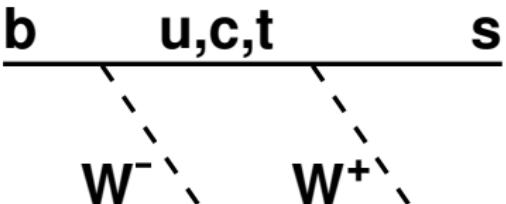
Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- ▶ Il faut échanger 2 bosons W



- ▶ 2 bosons $W \Leftrightarrow$ un changement de saveur par courant neutre : **FCNC**
(Flavor Changing Neutral Current en VO)

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- Il y a 2 façons de représenter ce diagramme $b \rightarrow s$:

En connectant les W

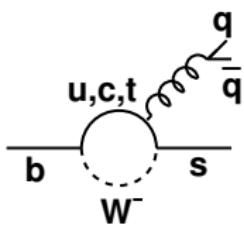


diagramme en **boucle**

“désintégration pingouin”

En assignant un quark compagnon (mesons B)

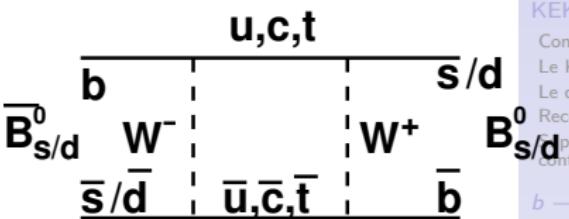


diagramme en **boîte**

oscillation des $B_{s/d}^0$

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
/épreuve du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif
BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- A priori simple de mesurer ces désintégrations ...

MAIS

- Canaux à faibles \mathcal{BF} ¹ ... ($10^{-4} - 10^{-6}$ inclusif)

⇒ désintégrations rares

- Implication :

- Etre patient (accumulation des données)
- Arriver à extraire le faible signal de la grande quantité de bruit

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

¹Lire rapport d'embranchement (Branching Fraction)

Motivations

- Désintégrations $b \rightarrow s/d \gamma$ et $b \rightarrow sll$ via les transitions **FCNC**

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

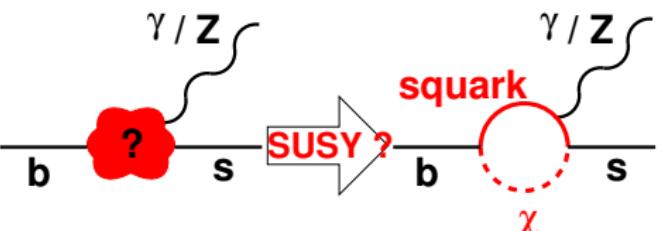
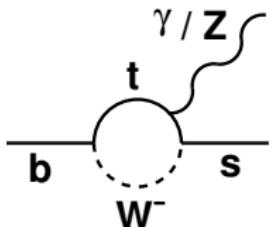
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Flavor Changing Neutral Current

Diagrammes en boucles

Nouvelle Physique possible !



Que peut-on mesurer ?

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

► Les rapports d'embranchement (\mathcal{BF})

- Présence de nouvelles particules dans la boucle augmente les rapports d'embranchement
- \mathcal{BF} théorique dans le Modèle Standard (MS) bien déterminé (canaux inclusifs)
- Canaux exclusifs plus difficiles à interpréter (larges incertitudes sur les facteurs de formes)

► Le spectre d'énergie du γ , moments ...

- indépendant de la nouvelle physique
- fourni les paramètres HQET
 $(\bar{\Lambda}(\mu) = m_B - m_b(\mu) \text{ and } \mu_\pi^2(\mu))$

⇒ utile pour la mesure de $|V_{ub}|$

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

► La violation de CP directe

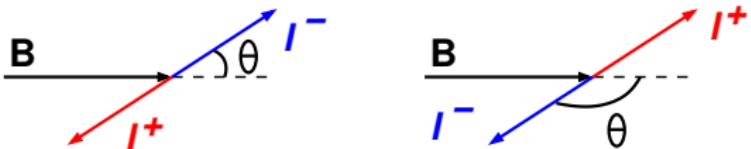
$$A_{CP} = \frac{\Gamma(b \rightarrow s(d)\gamma) - \Gamma(\bar{b} \rightarrow \bar{s}(\bar{d})\gamma)}{\Gamma(b \rightarrow s(d)\gamma) + \Gamma(\bar{b} \rightarrow \bar{s}(\bar{d})\gamma)}$$

- Petite pour $b \rightarrow s$ ($\sim 0.5\%$ PLB429,87(1998)) (MS)
- Large pour $b \rightarrow d$ ($\sim -13\%$ PLB429,87(1998)) (MS)

► L'asymétrie avant-arrière

- Canaux $B \rightarrow K^{(*)}\ell\ell$
- Dans le ref. $\ell^+\ell^-$:

$$A_{FB}(q^2) = \frac{\Gamma(q^2, \cos \theta_{B\ell^-} > 0) - \Gamma(q^2, \cos \theta_{B\ell^-} < 0)}{\Gamma(q^2, \cos \theta_{B\ell^-} > 0) + \Gamma(q^2, \cos \theta_{B\ell^-} < 0)}$$



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Luc Hinz

► **La détermination de $|V_{tb}/V_{ts}|$**

► **La polarisation du photon**

- Canaux $b \rightarrow s\gamma$

- Photon gauche (droit) pour $b \rightarrow s\gamma$ ($\bar{b} \rightarrow \bar{s}\gamma$)
dans le MS (structure chirale du W dans la boucle)

► **La phase CP**

- Analyse dépendante du temps de la violation de CP pour les $b \rightarrow s\gamma$

- Pas d'interférence si le γ est polarisé (MS)

$$\mathcal{A} \propto S \sin(\Delta m_d \Delta t) + C \cos(\Delta m_d \Delta t)$$

$$\Leftrightarrow S, C \sim 0$$

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

La collaboration Belle

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle



International Collaboration: Belle



13 countries, 57 institutes, ~400 collaborators

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

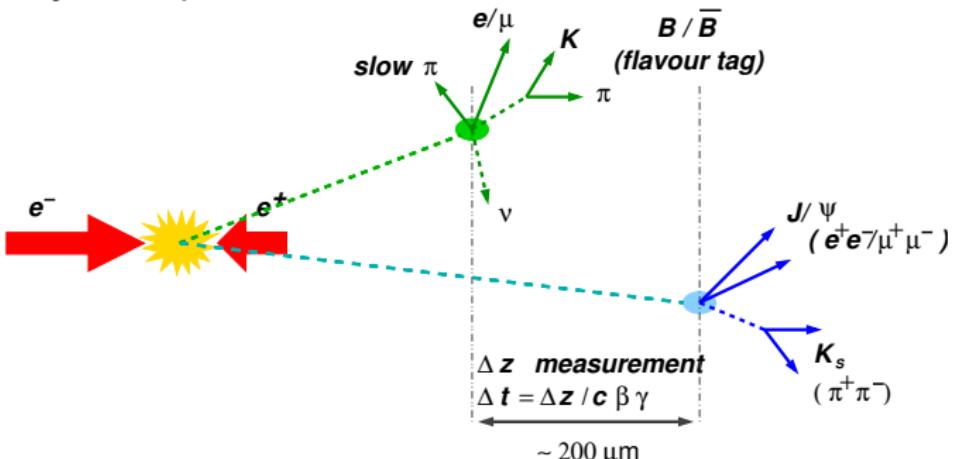
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Le concept des usines à B asymétriques

- ▶ Usines à B : $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B^0\bar{B}^0$ ou B^+B^-
- ▶ $B^0\bar{B}^0$: système cohérent
- ▶ Asymétrique \Leftrightarrow boost



- ▶ Si symétrique, alors $\Delta z \sim 30 \mu\text{m}$ \Leftrightarrow le boost permet d'avoir une meilleure résolution en temps et d'avoir une référence au temps " t_0 "

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

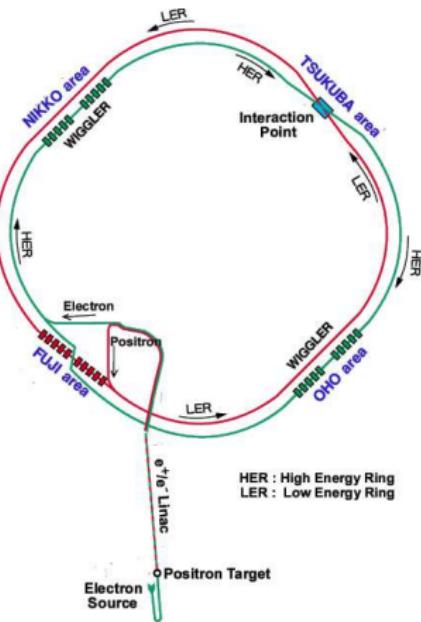
Conclusion

L'accélérateur KEK-B

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

- ▶ Collisionneur asymétrique $e^- - e^+$
(3 km de circonférence)
 e^- (HER) : 8 GeV
 e^+ (LER) : 3.5 GeV
- ▶ $E_{CM} = 10.58$ GeV à la résonance $\Upsilon(4S)$
 $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$
Boost $\beta\gamma = 0.425$
- ▶ Angle de crois^t des faisceaux : ± 11 mrad
- ▶ Courant :
 - HER : 1.20 A
 - LER : 1.70 A
- ▶ Bunches : 1289
- ▶ Injection continue
- ▶ Luminosité :
 - $L_{max} = 1.63 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - $\int L dt = \sim 560 \text{ fb}^{-1}$ (01/03/2006)
(500 on-res. + 60 off-res.)



Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

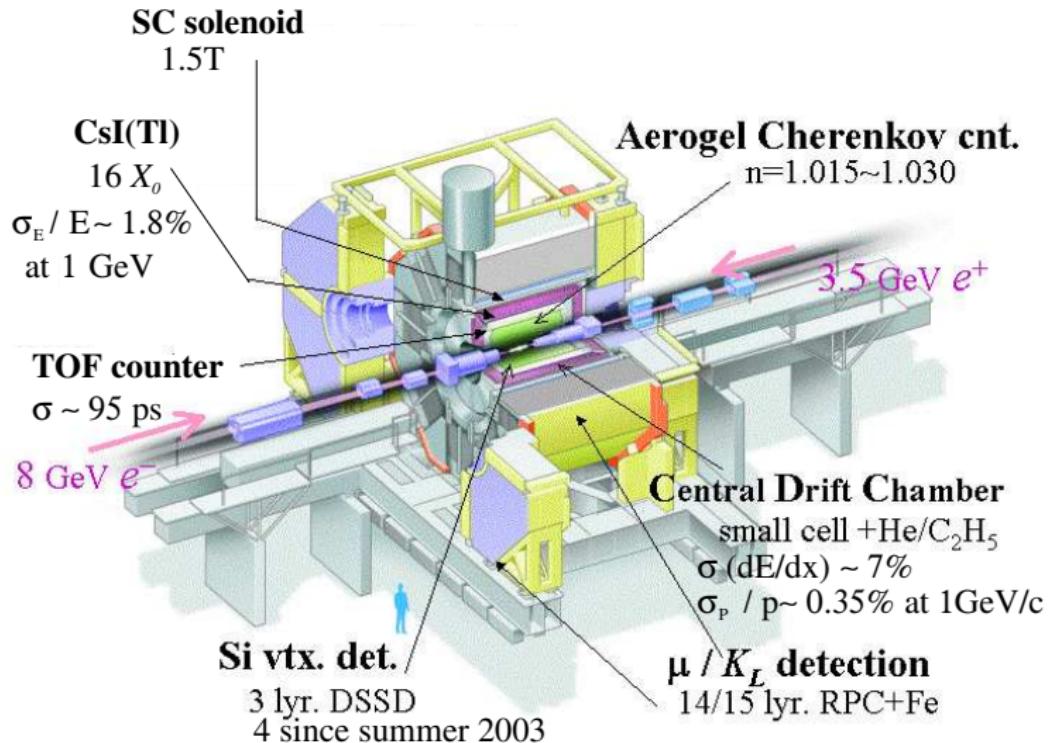
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Le détecteur Belle

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz



Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle
Concept
Le KEK-B

Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif
BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

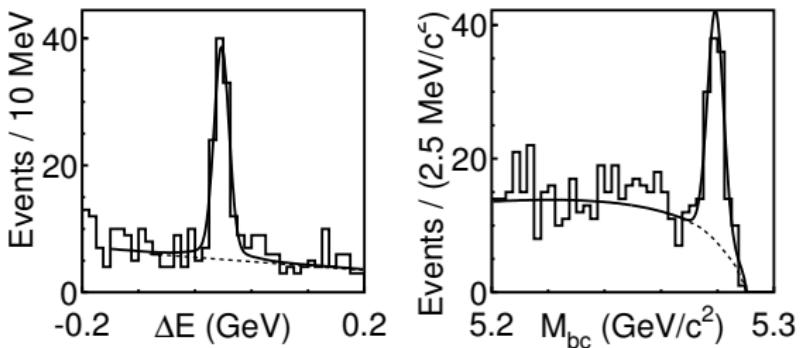
Reconstruction du B

- ▶ Cinématique dans le réf. du $\Upsilon(4S)$
- ▶ La différence en énergie :

$$\Delta E = \sum E_i - E_{CM}/2$$

- ▶ La masse contrainte au faisceau :

$$M_{bc} = \sqrt{(E_{CM}/2)^2 - (\sum \vec{p}_i)^2}$$



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

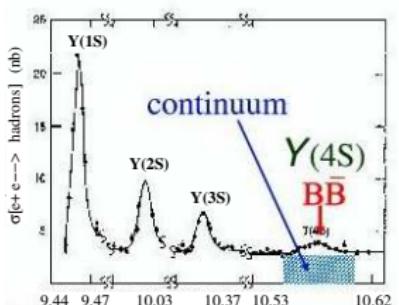
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

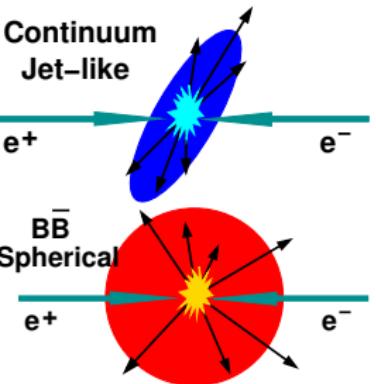
Suppression du continuum

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

- ▶ Bruit de fond :
 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$
“continuum”
($q = u, d, s, c$)
- ▶ $\sim 3 \times B\bar{B}$



- ▶ Basée sur la topologie des événements



- ▶ Variables :
 - ▶ Moments de Fox Wolfram
 - ▶ Angle de poussée

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

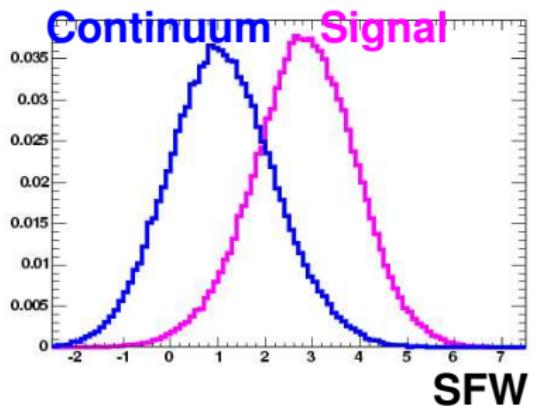
Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

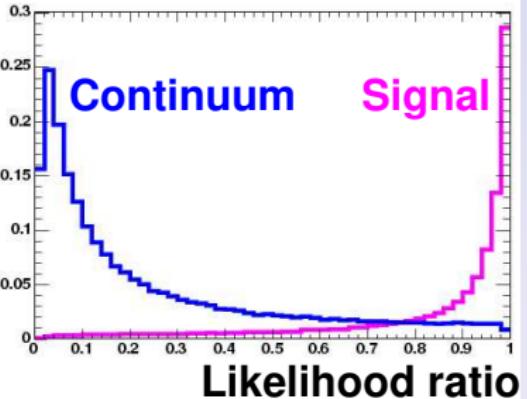
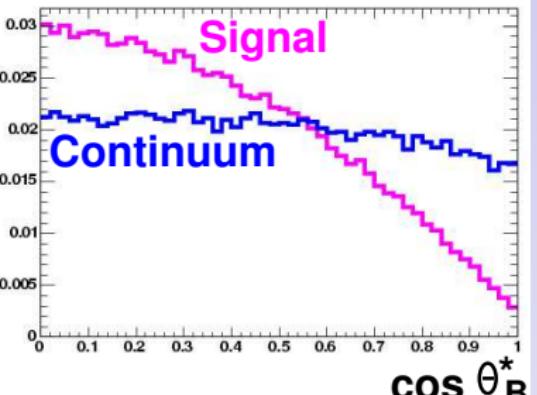
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

"Topologie" de l'evt (SFW)



Direction du B



⇒ forme un likelihood ratio

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif
BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

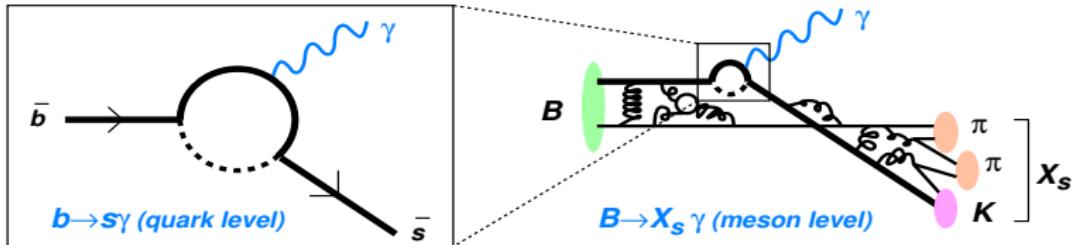
$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Mesures inclusives de $b \rightarrow s\gamma$



► Hamiltonien effectif :

$$H_{\text{eff}} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{tb} V_{ts}^* \left(\sum_{i=1}^{10} C_i(\mu) \cdot O_i(\mu) \right)$$

où les C_i sont les coefficients de Wilson

- Nouvelle physique (NP) : deviation / MS des coefficients C_7 , C_9 et C_{10} : $C_i = C_i^{\text{MS}} + C_i^{\text{NP}}$
- Rapport d'embranchement $\propto |C_7|^2$ (@ 1^{er} ordre)
corrections NLO : ok ... NNLO en cours $\Rightarrow C_7^{\text{eff}}$
- Spectre E_γ \Rightarrow paramètres HQET

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Rapport d'embranchement et moments

- ▶ Mesure inclusive “complète” (sans recon. explicite du X_S)
- ▶ $E_\gamma^* > 1.5 \text{ GeV}$
- ▶ Veto $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ et $\eta \rightarrow \gamma\gamma$
- ▶ Coupures sur le continuum (topologie et flux de l'énergie de l'evt)
- ▶ Optimisation de la sel. du signal : max. de la sensibilité dans $1.8 < E_\gamma^* < 1.9 \text{ GeV}$
- ▶ Le continuum (bruit $B\bar{B}$) restant soustrait du spectre E_γ^* en utilisant les données “off-resonance” (MC)
- ▶ Données “on-res.” : $140 \text{ fb}^{-1} \Leftrightarrow 152 \text{ millions de } B\bar{B}$
- ▶ Données “off-res.” : 15 fb^{-1}

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

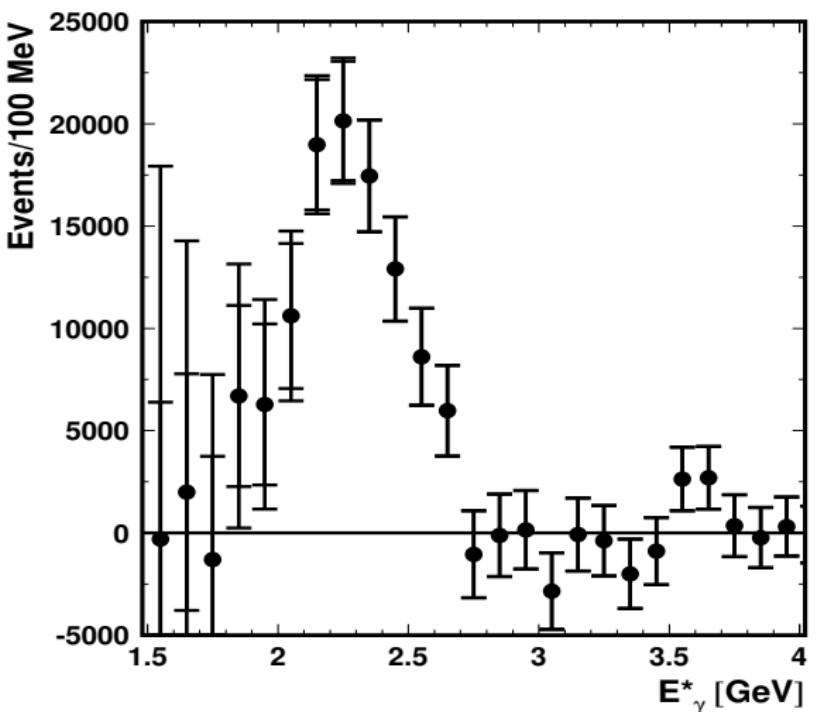
Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

► Distribution de l'énergie du γ dans le réf. du CM :



Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du
continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

► Rapport d'embranchement :

$$\mathcal{B}(b \rightarrow s\gamma) = (3.55 \pm 0.32^{+0.30}_{-0.31} {}^{+0.11}_{-0.07}) \times 10^{-4} \quad (\text{PRL93:061802(2004)})$$

► Moyenne HFAG 2005 :

$$\mathcal{B}(b \rightarrow s\gamma) = (3.39^{+0.30}_{-0.27}) \times 10^{-4}$$

► Modèle Standard :

$\mathcal{B}(b \rightarrow s\gamma) (\times 10^{-4})$	Références
$3.61^{+0.37}_{-0.49}$	NPB704:56,2005
3.45 ± 0.3	PLB585:263,2004
3.73 ± 0.30	NPB631:219,2002
3.29 ± 0.33	EPJC7:5,1999
3.35 ± 0.30	PLB425:414,1998

► Bon accord entre les données et le Modèle Standard

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

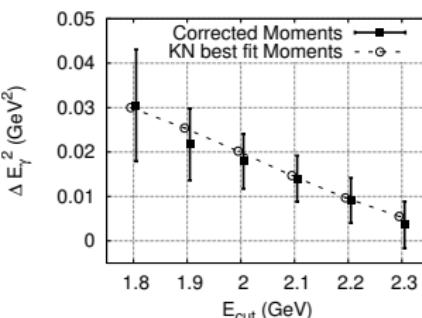
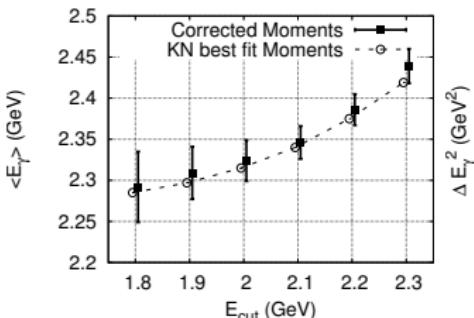
Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- ▶ Détermination des paramètres HQET m_b et μ_π^2 :
- ▶ Génération MC du spectre E_γ en faisant varier m_b et μ_π^2 dans la fonction de structure
- ▶ Valeur des paramètres de la fonction de structure selon Kagan et Neubert (EPJC7:5,1999)
- ▶ Calcul du χ^2 entre le spectre des données et le MC pour chaque set (m_b , μ_π^2)
- ▷ $m_b = 4.62 \text{ GeV}/c^2$ et $\mu_\pi^2 = 0.40 \text{ GeV}^2/c^2$ (hep-ex/0508005)
- ▶ 1^{er} et 2^{ème} moments :
 - $\langle E_\gamma \rangle = 2.292 \pm 0.026 \pm 0.034 \text{ GeV}$
 - $\langle E_\gamma^2 \rangle - \langle E_\gamma \rangle^2 = 0.0305 \pm 0.0074 \pm 0.0063 \text{ GeV}^2$



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Violation de CP directe

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

$$A_{CP} = \frac{\Gamma(b \rightarrow s\gamma) - \Gamma(\bar{b} \rightarrow \bar{s}\gamma)}{\Gamma(b \rightarrow s\gamma) + \Gamma(\bar{b} \rightarrow \bar{s}\gamma)}$$

- ▶ Faible dans le Modèle Standard :
 $A_{CP}^{SM} = (4.2^{+1.7}_{-1.2}) \times 10^{-3}$ (T.Hurth et al., hep-ph/0312260)
- ▶ Pour $B \rightarrow K^*\gamma$:
 $A_{CP}^{SM}(K^*\gamma) = (6.2 \pm 1.3) \times 10^{-3}$ in pQCD
- ▶ $\leq 1\%$ ($5 - 10\%$) dans SUSY avec (sans) les contraintes EDM (A.Bartl et al., PRD64,076009)
 - ▶ Large violation de CP \Leftrightarrow nouvelle physique exotique

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

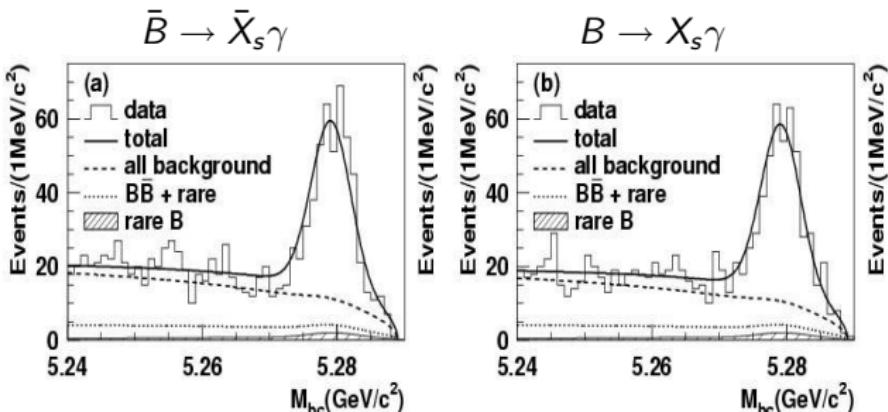
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Mesure de l'asymétrie A_{CP}

- ▶ Pseudo-reconstruction du X_s : 1 kaon + 1-4 π (0-1 π^0) ou 3 kaons + 0-1 $\pi \Leftrightarrow M_{X_s} < 2.1 \text{ GeV}/c^2$
- ▶ 1 photon (de + haute E) dans $1.8 < E_\gamma^* < 3.4 \text{ GeV}$
- ▶ 1 lepton (l'autre B) : $p_{e/\mu} > 0.8^{cms}/1.0^{lab} \text{ GeV}/c$ et $|\cos \theta_{\ell\gamma}^*| < 0.8$
- ▶ Veto $\pi^0/\eta \rightarrow \gamma\gamma$
- ▶ Topologie de l'evt + direction du B



$$A_{CP} = (2 \pm 50 \pm 30) \times 10^{-3} @ 140 \text{ fb}^{-1} \quad (\text{PRL93:031803, 2004})$$

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

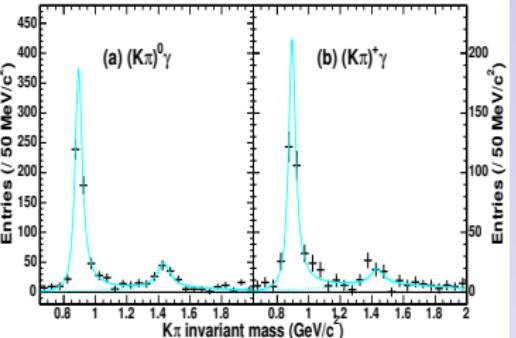
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Mesure de $B \rightarrow K^*\gamma$

- ▶ $K^* \rightarrow K^+ \pi^- / K_S \pi^0 / K_S \pi^+ / K^+ \pi^0$
- ▶ $1.8 \text{ GeV} < E_\gamma^* < 3.4 \text{ GeV} + \pi^0/\eta \rightarrow \gamma\gamma \text{ veto}$
- ▶ Réjection du continuum : topologie et direction du B
- ▶ Données : $78 \text{ fb}^{-1} \Leftrightarrow 85 \times 10^6 B\bar{B}$ (PRD69,112001)
- ▶ Rapport d'embranchement (moyenne HFAG) :
 $\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma) = (4.25 \pm 0.31 \pm 0.24) \times 10^{-5}$
 $(4.03 \pm 0.26) \times 10^{-5}$
 $\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma) = (4.01 \pm 0.21 \pm 0.17) \times 10^{-5}$
 $(4.01 \pm 0.20) \times 10^{-5}$
- ▶ Prédictions th. : QCD fact. : $(7.0 \pm 2.5) \times 10^{-5}$
LEET : $(6.8 \pm 2.6) \times 10^{-5}$
pQCD : $(3.5^{+1.1}_{-0.8}) \times 10^{-5}$
Lattice : $(3.5 \pm 1.6) \times 10^{-5}$
- ▶ Les erreurs théoriques sont larges ...



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif
BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

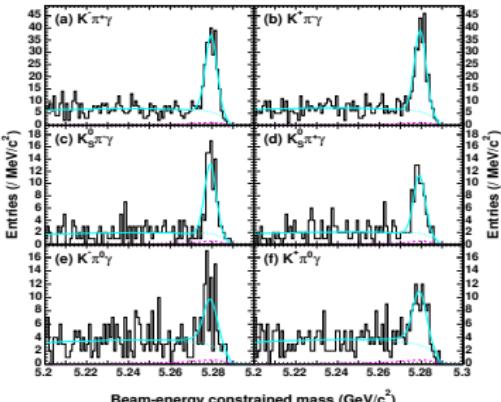
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- ▶ Asymétrie CP directe
(moyenne HFAG):

$$A_{CP} = -0.015 \pm 0.044 \pm 0.012 \\ -0.010 \pm 0.028$$

- ▷ compatible avec le MS
 $(6.2 \pm 1.3) \times 10^{-3}$ dans pQCD



- ▶ Asymétrie d'isospin Δ_{0^+} :

$$\Delta_{0^+} = \frac{(\tau_{B^+}/\tau_{B^0})\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma) - \mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma)}{(\tau_{B^+}/\tau_{B^0})\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma) + \mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma)}$$

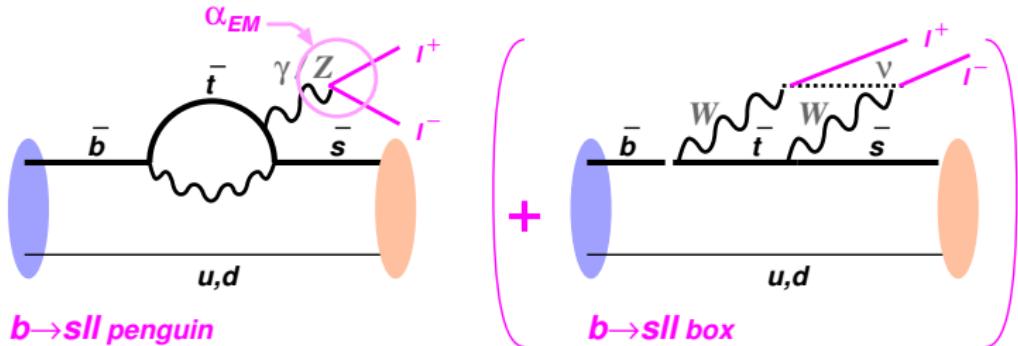
- ▷ $\Delta_{0^+} = +0.025 \pm 0.044 \pm 0.026 \pm 0.016$

correction $f_+/f_0 = \frac{\mathcal{B}(\Upsilon(4S) \rightarrow B^+ B^-)}{\mathcal{B}(\Upsilon(4S) \rightarrow B^0 \bar{B}^0)} = 1.026 \pm 0.032$

- ▷ MS : $0.05 - 0.10$ (A.L.Kagan et al., PLB539,227)

Mesure de $b \rightarrow s\ell\ell$

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle



$b \rightarrow s\ell\ell$ penguin

$b \rightarrow s\ell\ell$ box

- Taux de désintégration :

$$\frac{d\Gamma(b \rightarrow s\ell\ell)}{d\hat{s}} \propto (1 - \hat{s})^2 \cdot \left[(1 + 2\hat{s}) \left(|C_9^{\text{eff}}|^2 + |C_{10}^{\text{eff}}|^2 \right) + 4(1 + 2/\hat{s}) |C_7^{\text{eff}}|^2 + 12 \text{Re} \left(C_7^{\text{eff}} C_9^{\text{eff}*} \right) \right]$$

+ corr. où $\hat{s} = (M_{\ell\ell}/m_b)^2 = (q^2/m_b)^2$

$$\blacktriangleright \mathcal{B}(b \rightarrow s\gamma) \propto |C_7^{\text{eff}}(q^2 = 0)|$$

- ⇒ $b \rightarrow s\gamma$ donne accès à l'amplitude de C_7^{eff} mais pas au signe
- ⇒ ambiguïté sur le signe de C_7^{eff} peut être levée grâce aux études des $b \rightarrow s\ell\ell$

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^* \gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Luc Hinz

introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

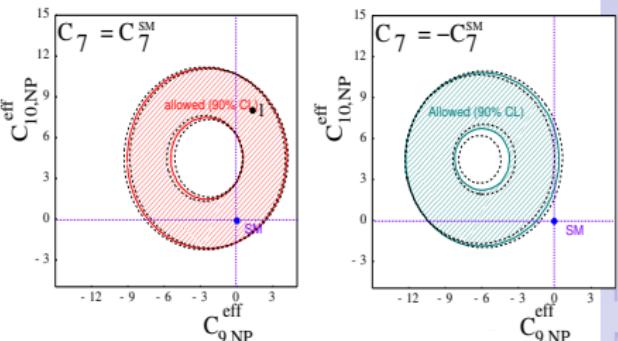
Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

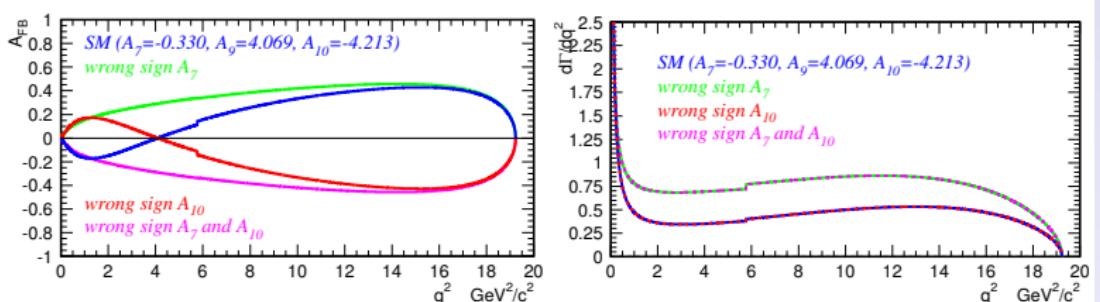
Conclusion

- ▶ Comme $\mathcal{B}(b \rightarrow s\gamma)$ compatible avec le MS
⇒ $C_7^{eff} = \pm C_7^{SM}$
- ▶ Asymétrie avant-arrière (A_{FB}) de $B \rightarrow K^*\ell\ell$ dépend aussi de $C_7^{eff}, C_9^{eff}, C_{10}^{eff}$



$$\frac{d}{d\hat{s}}(\Gamma_F - \Gamma_B) = f(\hat{s}, \cos \theta_{B\ell}) \times C_{10} \left[\text{Re}(C_9^{eff}) VA_1 + \frac{\hat{m}_b}{\hat{s}} C_7^{eff} (VT_2(1 - \hat{m}_{K^*}) + A_1 T_1(1 + \hat{m}_{K^*})) \right]$$

Au 1^{er} ordre : $C_7^{eff} = A_7, C_9^{eff} = A_9, C_{10}^{eff} = A_{10}$



Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}^6

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Analyse (pseudo)inclusive

► $\mu^+\mu^-$ et e^+e^- avec $M_{\ell\ell} > 0.2$ GeV/c² \oplus veto $J/\psi, \psi(2S)$

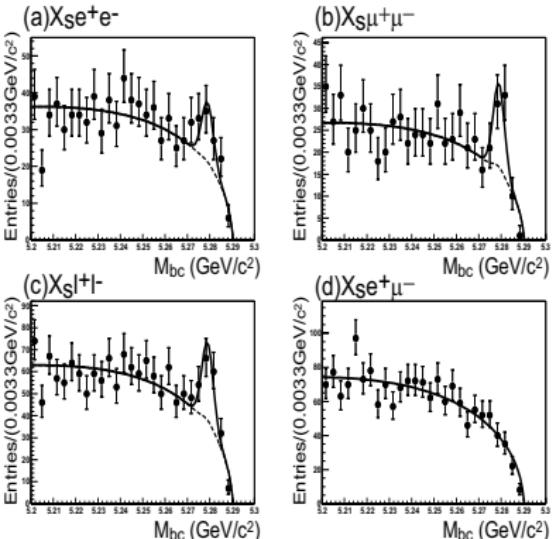
► X_s avec 1 $K^\pm/K_S + 0\text{-}4 \pi$ (dont 0-1 π^0) $\Rightarrow \sim 53\%$ des X_s

► $M_{X_s} < 2$ GeV/c²

► Topologie et direction du B pour rejeter le continuum

► Masse manquante et énergie visible utilisées pour rejeter les dés. semi-lept. du B

► Data : 140 fb⁻¹ $\Rightarrow 152 \times 10^6 B\bar{B}$



Rapport d'embranchement (moyenne HFAG) :

$$\mathcal{B}(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-) = (4.11 \pm 0.83^{+0.85}_{-0.81}) \times 10^{-6} \quad (\text{hep-ex/0503044})$$

$$(4.46^{+0.98}_{-0.96}) \times 10^{-6}$$

$$\text{SM} : \mathcal{B} = (4.2 \pm 0.7) \times 10^{-6} \quad (\text{A.Ali et al., summary in hep-ph/0412128})$$

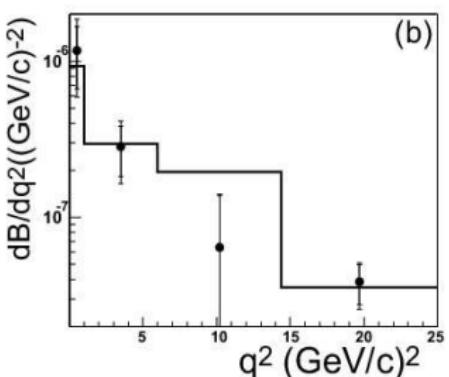
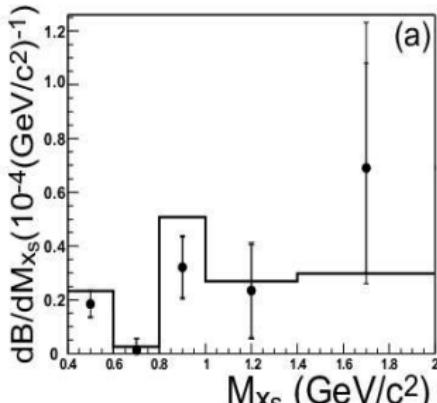
$$(4.6 \pm 0.8) \times 10^{-6} \quad (\text{A.Ghinculov et al., NPB685:351(2004)})$$

► \mathcal{BF} différentiel en fonction de la masse X_s

⇒ pour tester le modèle (fragmentation)

► Données : points et barres d'erreur

► MC normalisé sur la stat. des données : histogramme



⇒ Données et MC (MS) sont compatibles

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Asymétrie avant-arrière : $B \rightarrow K^{(*)}\ell\ell$

► Moyenne HFAG :

$$\begin{aligned} \mathcal{B}(B \rightarrow K\ell^+\ell^-) &= (4.46 \pm 0.53) \times 10^{-7} \\ \mathcal{B}(B \rightarrow K^*\ell^+\ell^-) &= (11.8 \pm 1.7) \times 10^{-7} \end{aligned}$$

► Principales sélections du signal :

- veto à charmonium ($J/\psi, \psi'$)
- K^* : $K^+\pi^-, K_s\pi^+, K^+\pi^0$
- $|M_{K\pi} - M_{K^*}| < 75$ MeV
- Continuum : topologie, dir. B

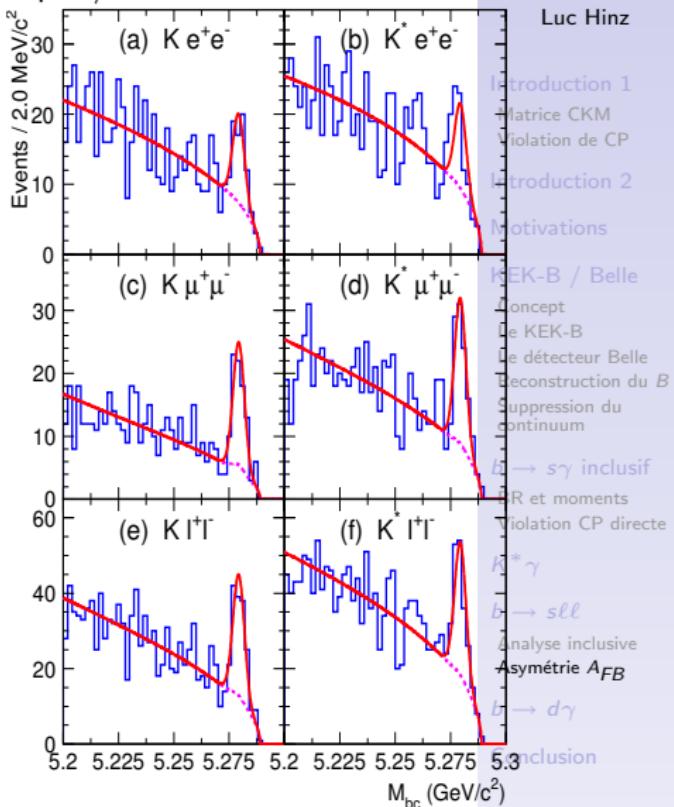
► Signal calculé dans :

- $|M_{bc} - M_B| < 8$ MeV
- $|\Delta E| < 35$ MeV (muons)
- $55 < \Delta E < 35$ MeV (électrons)

► Données : 386×10^6 paires $B\bar{B}$

- ◊ $K\ell\ell$: 96 ± 12 (pureté 57%)
Pas d'asymétrie : canal de contrôle
- ◊ $K^*\ell\ell$: 114 ± 14 (pureté 44%)

hep-ex/0508009



Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

HEK-B / Belle

concept

le KEK-B

le détecteur Belle

reconstruction du B

suppression du continuum

$B \rightarrow s\gamma$ inclusif

R et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$B \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$B \rightarrow d\gamma$

Inclusion

Procédure

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

- ▶ Fit de $\frac{1}{\Gamma} \frac{d\Gamma}{dq^2 d \cos \theta}$
- ▶ Fixe : $A_7 = \pm 0.33$ (MS : -0.33)
- ▶ Variable : A_9/A_7 et A_{10}/A_7
- ▶ Facteur de forme : Ali et al. (PRD66:034002,2002)
- ▶ Asymétrie A_{FB} brute (bruit de fond soustrait) :
 - $A_{FB}(K\ell\ell) = 0.09 \pm 0.14$ (stat.)
⇒ compatible avec 0
 - $A_{FB}(K^*\ell\ell) = 0.56 \pm 0.13$ (stat.)

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Résultats du fit

► A_7 négatif (MS) :

- $A_9/A_7 = -15.3^{+3.4}_{-4.8} \pm 1.1$

MS : $A_9/A_7 = -12.3$

- $A_{10}/A_7 = 10.4^{+5.2}_{-3.5} \pm 1.8$

MS : $A_{10}/A_7 = 12.8$

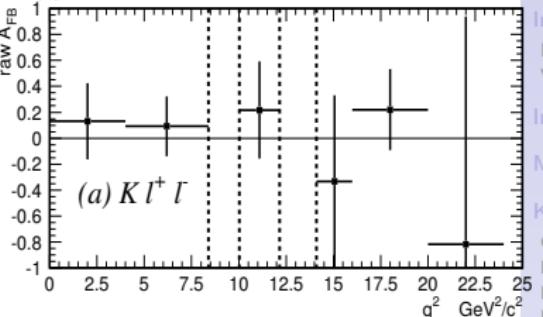
► A_7 positif :

- $A_9/A_7 = -16.3^{+3.7}_{-5.7} \pm 1.4$

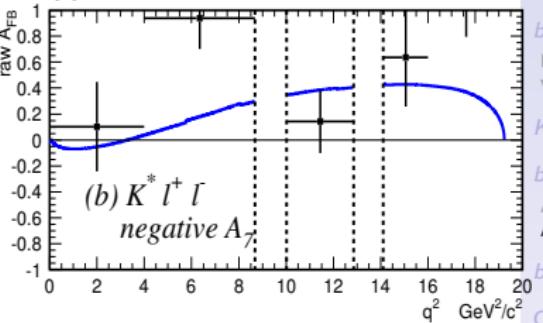
- $A_{10}/A_7 = 11.1^{+6.0}_{-3.9} \pm 2.4$

Projections :

$K l \bar{l}$



$K^* l \bar{l}$



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif
BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s l \bar{l}$
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Intervalle de confiance

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

► $-1401 < A_9 A_{10} / A_7^2 < -26.4$ (95% CL)

MS : $A_9 A_{10} / A_7^2 = -157$

► $A_9 A_{10}$ est négatif !

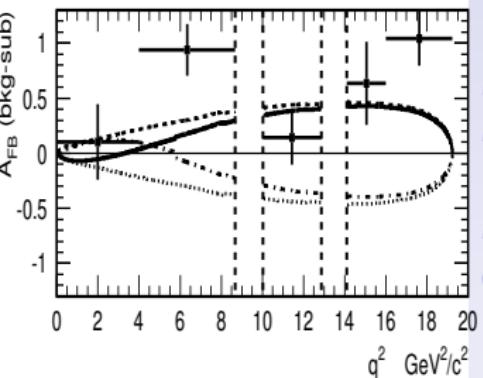
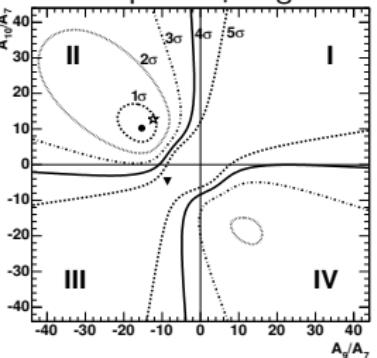
◊ régions I et III sont exclues à 95% CL

◊ régions II et IV permises

◊ indétermination du signe de $A_7 A_{10}$

- résultat du fit $A_7 < 0$
(région II)
- $A_7 A_{10}$ signe inv. (/SM)
(région IV)
- $A_7 A_{10}$ et $A_9 A_{10}$ signe inv.
(région III)
- $A_9 A_{10}$ signe inv.
(région I)

Contour pour A_7 négatif :



Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

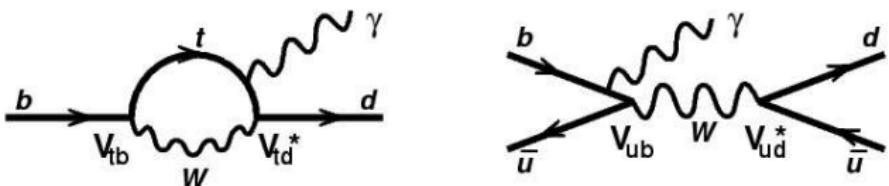
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Mesures des canaux $B \rightarrow \rho(\omega)\gamma$

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle



- ▶ Supprimé par $|V_{td}/V_{ts}|^2$ par rapport à $b \rightarrow s\gamma$
- ⇒ longtemps cherché, récemment trouvé
(Collaboration Belle, hep-ex/0506079)
- ▶ Large violation de CP directe dans le MS
 - ⇒ mais pas encore assez de stat. pour mesurer l'asymétrie CP
- ▶ $\mathcal{B}(B \rightarrow \rho(\omega)\gamma)$: OK
- ▶ $|V_{td}/V_{ts}|$: OK

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

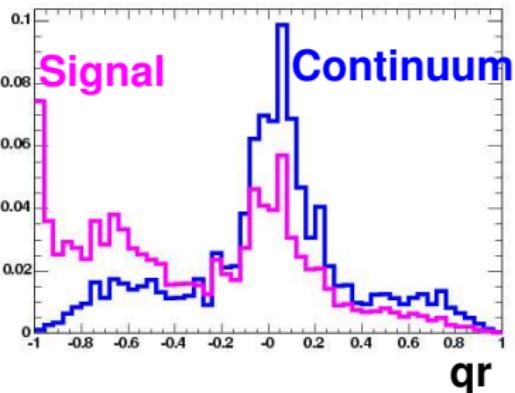
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

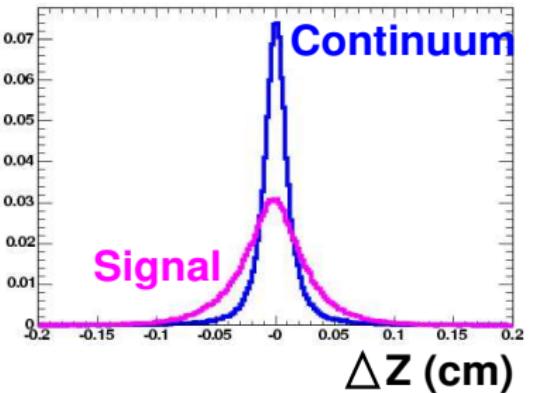
Conclusion

$B \rightarrow \rho(\omega)\gamma$: sélections

- ▶ Canaux : $B^- \rightarrow \rho^-\gamma$, $\bar{B}^0 \rightarrow \rho^0\gamma$, $\bar{B}^0 \rightarrow \omega\gamma$
avec $\rho^- \rightarrow \pi^-\pi^0$, $\rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$, $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
- ▶ $1.8 < E_\gamma^* < 3.4$ GeV
- ▶ Veto π^0 , η
- ▶ Canaux de contrôle : $B^- \rightarrow K^{*-}\gamma$ et $\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0}\gamma$
avec $K^{*-} \rightarrow K^-\pi^0$ et $\bar{K}^{*0} \rightarrow K^-\pi^+$
- ▶ Rejection du continuum : topologie, dir. du B + 2 autres variables :
 - Etiquetage du 2^{ème} B (paires $B\bar{B}$)
 - ▷ saveur (q) + qualité d'étiquetage (r) : $q \cdot r$
 - Séparation des vertex en Z des 2 B : ΔZ
 - ▷ rajouter dans le \mathcal{LR}



▷ coupure \mathcal{LR} en fonction de $q \cdot r$



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

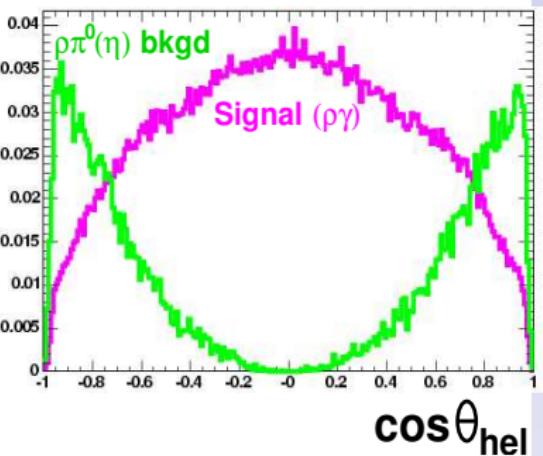
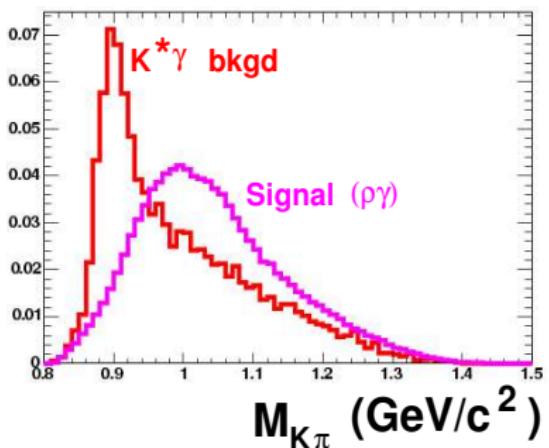
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

► Principaux bruits $B\bar{B}$:

- $B \rightarrow K^*\gamma$: mauvaise id. K/π
- $\pi \rightarrow K$ et $M_{K\pi} > 0.92(0.95)$ GeV/c² pour ρ^- (ρ^0)
- $B \rightarrow \rho(\omega)\pi^0$ et $B \rightarrow \rho(\omega)\eta$ avec 1 γ mou non mesuré
héllicité : $|\cos \theta_{hel}| < 0.70/0.75/0.80$ pour $B \rightarrow \rho^0/\rho^-/\omega\gamma$



► Fit : Unbinned Maximum Likelihood Fit

- pdf : ΔE et M_{bc}
- Composant : signal, continuum(pointillé), $B \rightarrow K^*\gamma$ et autres bruits B
- Données : $386 \times 10^6 B\bar{B}$

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle
Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

b → sγ inclusif
BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

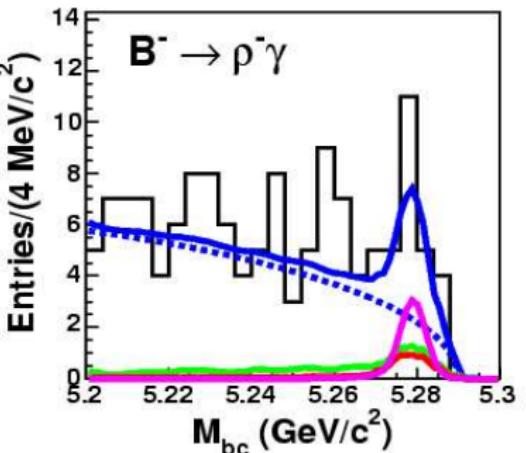
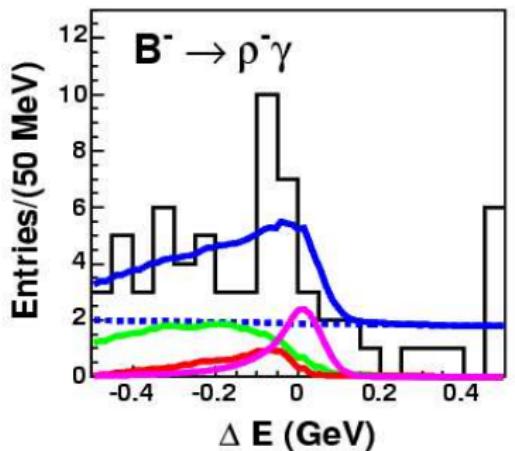
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Fit et rapport d'embranchement

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz



- $N_{sig} = 8.1^{+6.4 +1.8}_{-5.5 -1.6}$ (1.5σ)
- $\mathcal{B}(B^- \rightarrow \rho^- \gamma) = (0.55^{+0.43 +0.12}_{-0.37 -0.11}) \times 10^{-6}$

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

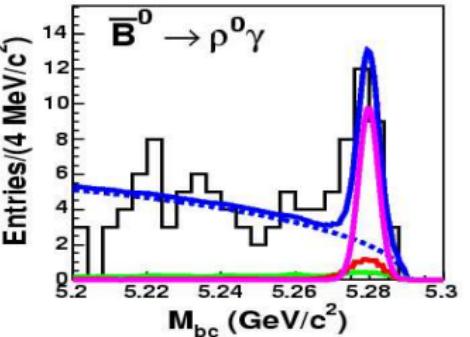
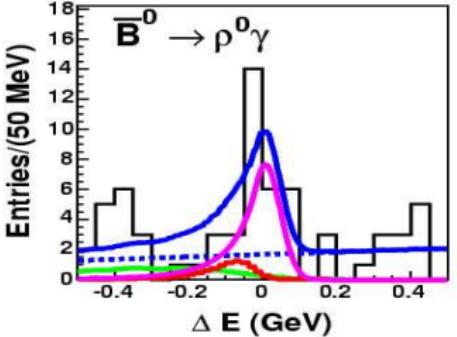
$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

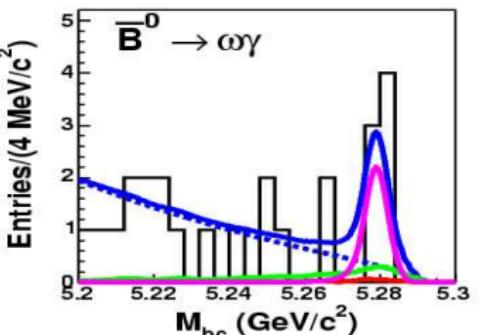
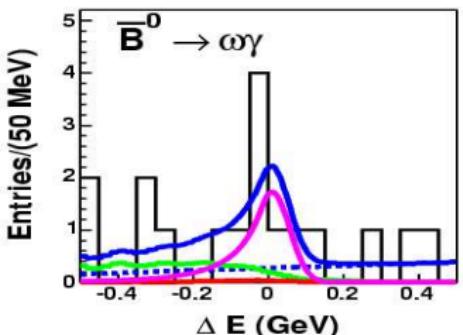
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion



$$\blacktriangleright N_{sig} = 20.8^{+6.2 +1.2}_{-5.5 -1.4} (5.1\sigma)$$

$$\blacktriangleright \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \rho^0 \gamma) = (1.17^{+0.35 +0.09}_{-0.31 -0.08}) \times 10^{-6}$$

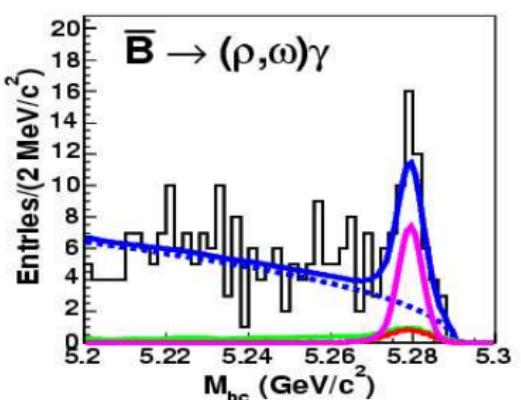
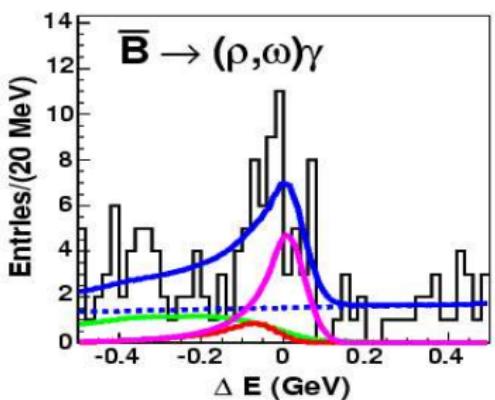


$$\blacktriangleright N_{sig} = 8.9^{+3.5 +0.7}_{-2.7 -0.8} (2.6\sigma)$$

$$\blacktriangleright \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \omega \gamma) = (0.58^{+0.35 +0.07}_{-0.27 -0.08}) \times 10^{-6}$$

► Fit combiné :

- $\mathcal{B}(B^- \rightarrow \rho^-\gamma) = 2 \times \frac{\tau_{B+}}{\tau_{B0}} \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \rho^0/\omega\gamma)$
- $\mathcal{B}(B^- \rightarrow K^{*-}\gamma) = \frac{\tau_{B+}}{\tau_{B0}} \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0}\gamma)$
- $\frac{\tau_{B+}}{\tau_{B0}} = 1.076 \pm 0.08$



- $\mathcal{B}(B \rightarrow \rho(\omega)\gamma) = (1.34^{+0.34}_{-0.31} {}^{+0.14}_{-0.10}) \times 10^{-6}$
MS : $(1.38 \pm 0.42) \times 10^{-6}$
- $\mathcal{B}(B \rightarrow K^*\gamma) = (41.1^{+1.4}_{-1.3}) \times 10^{-6}$ (fig. voir backup)

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

$|V_{td}/V_{ts}|$

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

- ▶ En utilisant la relation (PLB:595,323) :
- ▶ $\frac{\mathcal{B}(B \rightarrow \rho(\omega)\gamma)}{\mathcal{B}(B \rightarrow K^*\gamma)} = \left| \frac{V_{td}}{V_{ts}} \right|^2 \frac{(1 - m_{(\rho,\omega)}^2/m_B^2)^3}{(1 - m_{K^*}^2/m_B^2)^3} \zeta^2 (1 + \Delta R)$
 - $\zeta = 0.85 \pm 0.10$ (rapport des facteurs de forme)
 - $\Delta R = 0.1 \pm 0.1$ (correction SU(3)-breaking)
 - $\frac{\mathcal{B}(B \rightarrow \rho(\omega)\gamma)}{\mathcal{B}(B \rightarrow K^*\gamma)} = 0.032 \pm 0.008^{+0.003}_{-0.002}$
- ▶ $|V_{td}/V_{ts}| = 0.20 \pm 0.03 (\text{exp})^{+0.04}_{-0.03} (\text{theo})$
- ▶ $0.14 < |V_{td}/V_{ts}| < 0.26$ (95% CL)
MS : $0.16 < |V_{td}/V_{ts}| < 0.29$ (68% CL)

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Conclusion

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

- ▶ Les désintégrations radiatives des B sont bien établies
- ▶ Un large panel d'analyses possible avec ces canaux
- ▶ $b \rightarrow s\gamma$ et $b \rightarrow sll$ ensemble peuvent prouver l'existence d'une nouvelle physique
 - ▷ contraintes sur les coefficients de Wilson
- ▶ Première observation de $b \rightarrow d\gamma$!
- ▶ **Pas d'évidence de nouvelle physique**

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Backup slides

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du
continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Inclusive $b \rightarrow s$ systematic errors

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Source of systematic error	$\times 10^{-4}$
Data/MC efficiency ratio fits	± 0.208
Choice of fitting functions	± 0.048
Number of $B\bar{B}$ events	$+0.139$ -0.160
ON-OFF data subtraction	± 0.026
Other $B\bar{B}$ photons	± 0.054
η veto efficiency on η	± 0.008
Signal MC	± 0.089
Photon detection efficiency	± 0.072
Energy leakage	$+0.035$ -0.000
Total error for partial $\mathcal{B}(b \rightarrow q\gamma)$	$+0.282$ -0.291

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle
Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif
BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

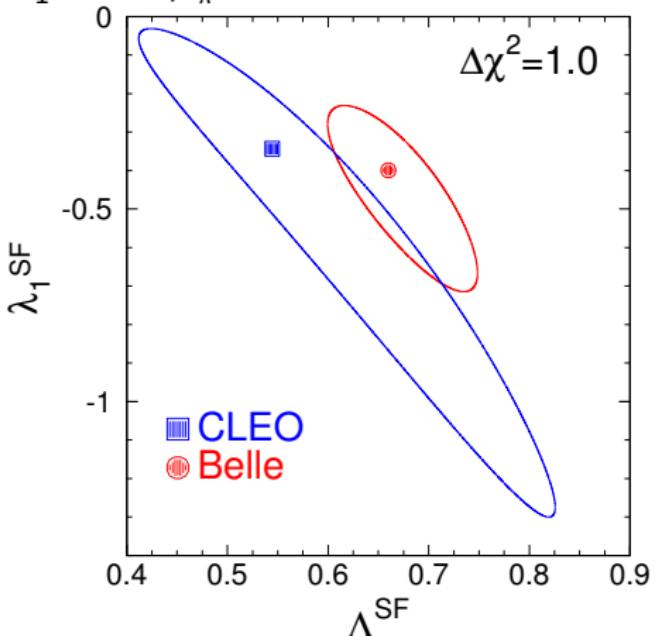
Conclusion

$\Delta\chi^2 = 1$ contours of (m_b, μ_π^2) parameters

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

$$\Lambda^{SF} = M_B - m_b$$

$$\lambda_1^{SF} = -\mu_\pi^2$$



Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- B-meson boost: $\langle E_\gamma \rangle (\sim 0.2\%)$ and $\langle E_\gamma^2 \rangle - \langle E_\gamma \rangle^2 (\sim 0.006 \text{ GeV}^2)$
- Binning: $\langle E_\gamma^2 \rangle - \langle E_\gamma \rangle^2 (\sim 0.0008 \text{ GeV}^2)$
- Energy resolution: $\langle E_\gamma^2 \rangle - \langle E_\gamma \rangle^2 (\sim 0.004 \text{ GeV}^2)$
- Bias correction: difference between the true moment and the moment measured from the signal MC.

depends on the energy cut:

E_{cut} (GeV)	$\delta \langle E_\gamma \rangle (\%)$	$\delta(\langle E_\gamma^2 \rangle - \langle E_\gamma \rangle^2)(\%)$
1.8	+2.0	0.0
2.0	+1.2	-7.1
2.3	-0.3	-57.9

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

 $b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

 $K^*\gamma$ $b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB} $b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Inclusive $b \rightarrow s\gamma$ A_{CP} calculation

$$A_{CP} = D \cdot A_{CP}^{raw}$$

where

D is the dilution factor :

$$D = (1 - w_2 - w_3) / [(1 - w_2)(1 - 2w_2 - w_3)]$$

$$A_{CP}^{raw} = \frac{N_- - N_+}{N_- + N_+ - [w_2/(1-w_2)]N_0}$$

N_- : nb of b tagged (self-tagged)

N_+ : nb of \bar{b} tagged (self-tagged)

N_0 : nb of ambiguous evt (e.g. $B^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^- \gamma$)

w_1 : prob. to classify an evt with the wrong flavor

w_2 : prob. to classify an ambiguous evt as a self-tagged
(e.g. $B^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^- \gamma$ tagged as $B^+ \rightarrow K_S \pi^+ \pi^0 \gamma$)

w_3 : prob. to classify a self-tagged as an ambiguous evt

The wrong tag fractions are estimated with the MC.

The contamination of $b \rightarrow d\gamma$ in A_{CP} is expected to be less than 0.001 (using MC).

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^* \gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

$K^*\gamma$

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

$$A_{CP}(B \rightarrow K^*\gamma) = \frac{\Gamma(\bar{B} \rightarrow \bar{K}^*\gamma) - \Gamma(B \rightarrow K^*\gamma)}{\Gamma(\bar{B} \rightarrow \bar{K}^*\gamma) + \Gamma(B \rightarrow K^*\gamma)}$$

$$= \frac{1}{1-2w} \times \frac{N(\bar{B} \rightarrow \bar{K}^*\gamma) - N(B \rightarrow K^*\gamma)}{N(\bar{B} \rightarrow \bar{K}^*\gamma) + N(B \rightarrow K^*\gamma)}$$

w : wrong tag fraction (obtained from MC)

negligible for K^{*+} , $\sim 0.9\%$ for K^{*0}

B : either B^0 or B^+

K^* : $K^{*0}(\rightarrow K^+\pi^-)$ or $K^{*+}(\rightarrow K_S\pi^+, K^+\pi^0)$

K^* mode	A_{CP}
$K^{*0} \rightarrow K^+\pi^-$	$-0.030 \pm 0.055 \pm 0.014$
$K^{*+} \rightarrow K_S\pi^+$	$+0.094 \pm 0.094 \pm 0.021$
$K^{*+} \rightarrow K^+\pi^0$	$-0.078 \pm 0.113 \pm 0.028$
Combined (K^{*+})	$+0.007 \pm 0.074 \pm 0.017$
Combined (all)	$-0.015 \pm 0.044 \pm 0.012$

OPE and the Wilson coefficients

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

- ▶ The effective Hamiltonian is expressed in term of the Operator Product Expansion :

$$H_{\text{eff}} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{tb} V_{ts}^* \left(\sum_{i=1}^{10} C_i(\mu) \cdot O_i(\mu) \right)$$

- $O_{1,2}$: current current operators
- $O_{3,6}$: QCD penguin operators
- $O_{7,8}$: electro- and chromo- magnetic operators
- $O_{9,10}$: semileptonic operators
- C_i : Wilson coefficients
- ▶ Each Wilson coefficient is the strength of the corresponding short distance operator
- ▶ For $b \rightarrow s\gamma$ and $b \rightarrow sll$, only O_7 , O_9 and O_{10} appear in the hamiltonian
- ▶ **New Physics changes the Wilson coefficients**

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Wilson coefficients : syst. error

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

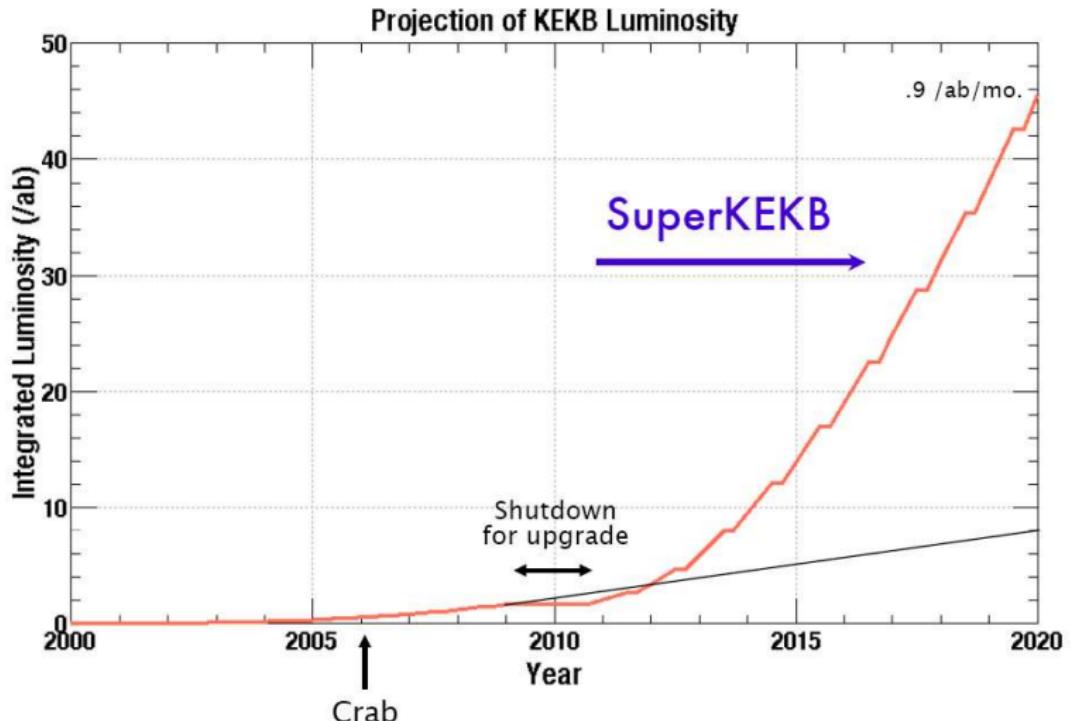
Conclusion

source	negative A_7 solution		positive A_7 solution	
	A_9/A_7	A_{10}/A_7	A_9/A_7	A_{10}/A_7
A_7	+0.29 – 0.03	+0.01 – 0.03	+0.13 – 0.27	+0.36 – 0.15
m_b	+0.69 – 0.68	+0.45 – 0.46	±0.63	±0.42
Form factor model	±0.66	±1.72	±1.04	±2.23
q^2 resolution	±0.28	±0.39	±0.28	±0.39
efficiency	±0.08	±0.03	±0.10	±0.06
signal fraction	+0.43 – 0.47	+0.22 – 0.33	+0.43 – 0.46	+0.37 0.40
total	+1.12 – 1.10	+0.22 – 0.33	+0.43 – 0.46	+0.37 – 0.40

Integrated luminosity Belle+SuperBelle

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz



Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

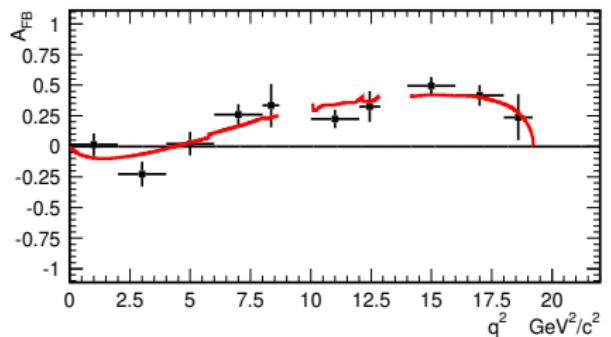
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

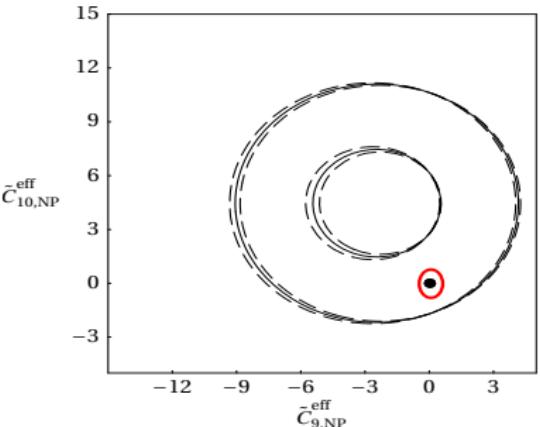
A_{FB} at Super Belle

Belle MC @ **5 ab⁻¹**



- $\Delta A_9/A_9 \sim 11\%$
- $\Delta A_{10}/A_{10} \sim 13\%$
- A_7 fixed to SM value

- 1 year at $5 \times 10^{35}/\text{cm}^2/\text{s}$
- 13× what we analyzed
($\sim 0.35\text{ab}^{-1}$)



Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B

Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

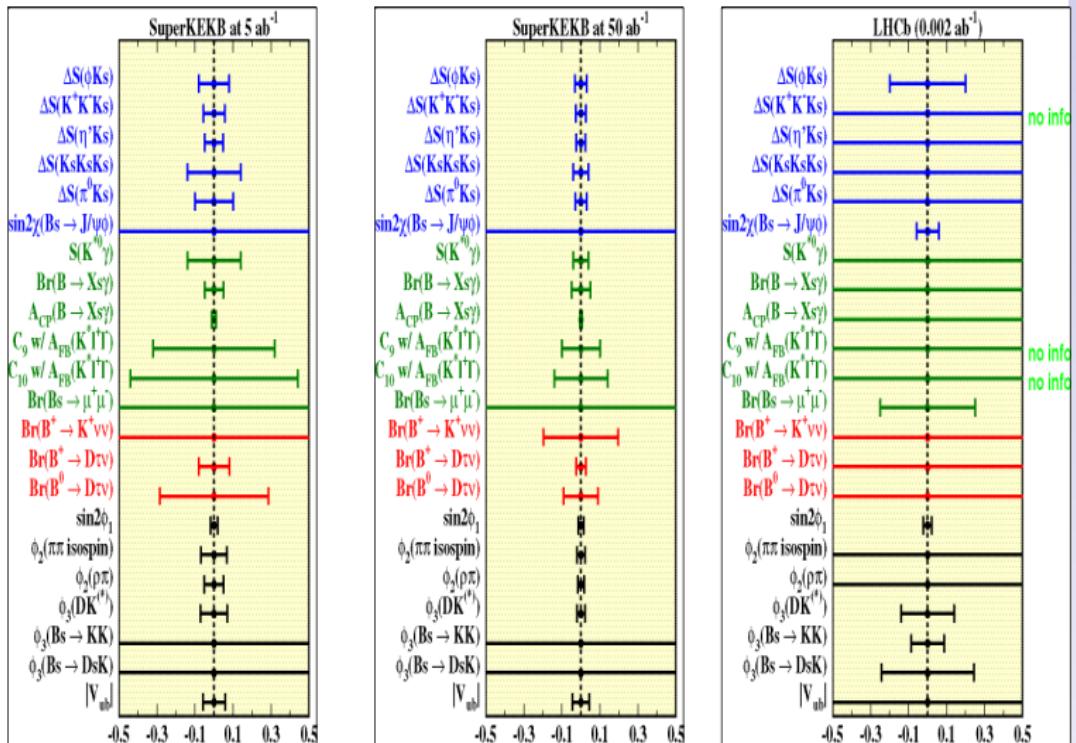
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

SuperBelle vs LHCb

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle



Luc Hinz

Introduction 1

Matrice CKM

Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept

Le KEK-B

Le détecteur Belle

Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments

Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

$b \rightarrow d\gamma$: SM predictions

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

From Ali et al.

Luc Hinz

$$\mathcal{B}(B \rightarrow (\rho, \omega)\gamma) = (1.38 \pm 0.42) \times 10^{-6}$$

$$\text{Exp} : (1.34^{+0.37}_{-0.33}) \times 10^{-6}$$

$$\mathcal{B}(B^- \rightarrow \rho^-\gamma) = (0.90 \pm 0.34) \times 10^{-6}$$

$$\text{Exp} : (0.55^{+0.45}_{-0.39}) \times 10^{-6}$$

$$\mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \rho^0\gamma) = (0.49 \pm 0.18) \times 10^{-6}$$

$$\text{Exp} : (1.17^{+0.36}_{-0.32}) \times 10^{-6}$$

$$\mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \omega\gamma) = (0.49 \pm 0.18) \times 10^{-6}$$

$$\text{Exp} : (0.58^{+0.36}_{-0.28}) \times 10^{-6}$$

$$0.16 < |V_{td}/V_{ts}| < 0.29 \text{ (68% CL)}$$

$$\text{Exp} : 0.14 < |V_{td}/V_{ts}| < 0.26 \text{ (95% CL)}$$

Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle
Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

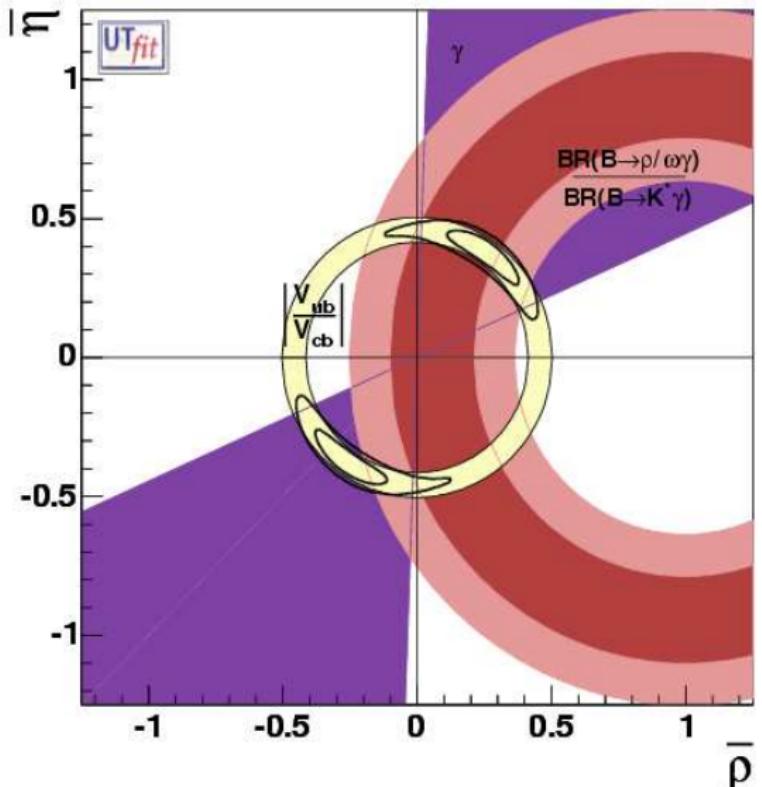
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

CKM triangle constraint ...

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz



Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

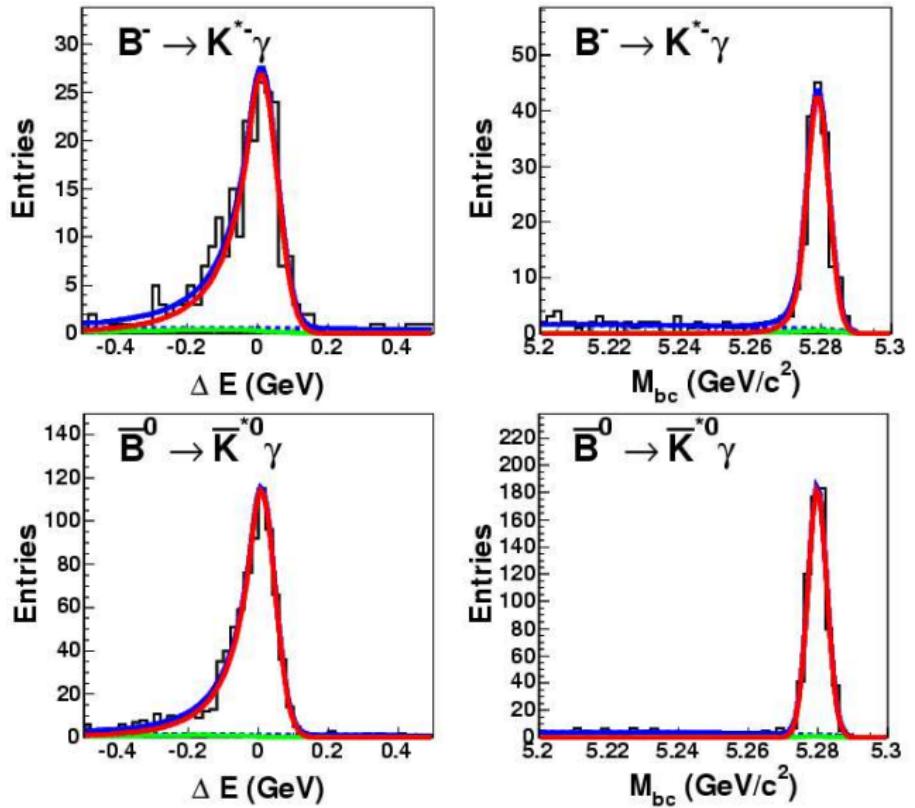
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

$B \rightarrow K^*\gamma$: plots from the $b \rightarrow d\gamma$ ana.

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz



Introduction 1

Matrice CKM
Violation de CP

Introduction 2

Motivations

KEK-B / Belle

Concept
Le KEK-B
Le détecteur Belle
Reconstruction du B
Suppression du continuum

$b \rightarrow s\gamma$ inclusif

BR et moments
Violation CP directe

$K^*\gamma$

$b \rightarrow sll$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion