

Désintégrations radiatives des mésons B dans l'expérience Belle

Luc Hinz

LPHE - EPF Lausanne

Séminaire au Centre de Physique des Particules de
Marseille, 20 mars 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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Matrice CKM

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

- Dans le modèle standard :

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

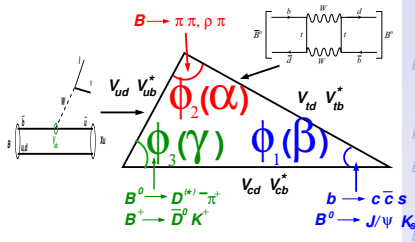
- Phase complexe dans
la matrice

$\Rightarrow$ violation de CP

- Matrice unitaire :

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

- définit un triangle ...



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

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}

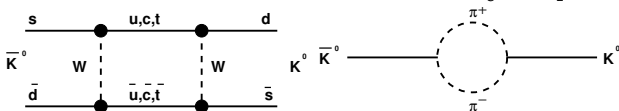
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

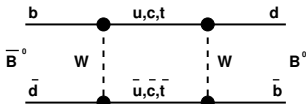
... indirecte

► 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) :

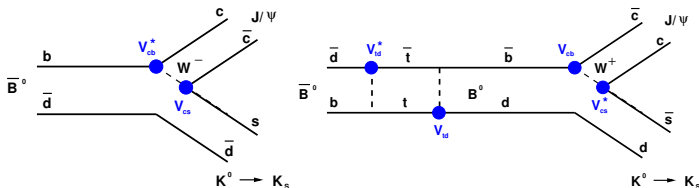
$$\mathcal{A}(t) = \frac{\frac{d}{dt}\Gamma(\bar{M}_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow \ell^+ X) - \frac{d}{dt}\Gamma(M_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow \ell^- X)}{\frac{d}{dt}\Gamma(\bar{M}_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow \ell^+ X) + \frac{d}{dt}\Gamma(M_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow \ell^- X)}$$

► 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 $b \rightarrow c\bar{c}s$



$\Rightarrow$ Interference 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

 $K^* \gamma$
 $b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive

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

Conclusion

► Type 3 :

- Mixing dans les mésons neutres $\Rightarrow$ complique l'observation

$\Rightarrow$ devrait être aisément mesurable dans les mésons chargés :

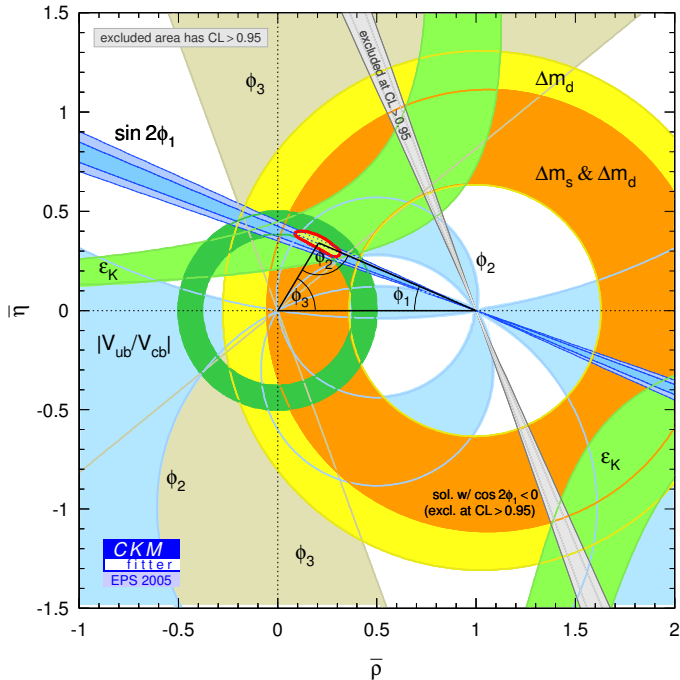
$$\mathcal{A}_{f^\pm} = \mathcal{A}_{CP} = \frac{\Gamma(M^- \rightarrow f^-) - \Gamma(M^+ \rightarrow f^+)}{\Gamma(M^- \rightarrow f^-) + \Gamma(M^+ \rightarrow f^+)} \neq 0$$

$\longrightarrow$ mais pas encore trouvée !

- Paradoxalement, la violation directe de CP a été mesurée dans les désintégrations de mésons neutres :

$$K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \text{ et } K^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$$

- Dans le système $B^0 - \bar{B}^0$: $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$



Introduction aux désintégrations radiatives

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

► Désintégrations radiatives des B :

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

► 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 $b \rightarrow s$?

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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

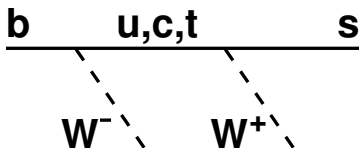
Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- Il faut échanger 2 bosons W



- 2 bosons W $\Rightarrow$ 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

$K^* \gamma$

$b \rightarrow s \ell \ell$

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

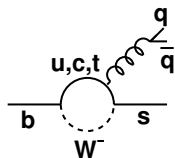


diagramme en **boucle**
“**désintégration pingouin**”

En assignant un quark
compagnon (mesons B)

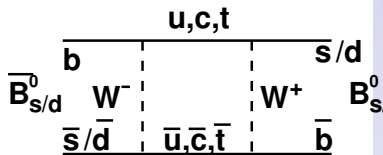


diagramme en **boîte**
oscillation des $B_{s/d}^0$

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 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

¹Lire rapport d'embranchement (Branching Fraction)

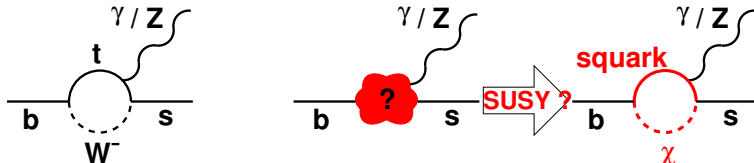
Motivations

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

Flavor Changing Neutral Current

Diagrammes en boucles

Nouvelle Physique possible !



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

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
($\bar{\Lambda}(\mu) = m_B - m_b(\mu)$ 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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

► La violation de CP directe

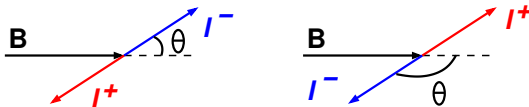
$$A_{CP} = \frac{\Gamma(b \rightarrow s(d)\gamma) - \Gamma(\bar{b} \rightarrow \bar{s}(\bar{d})\gamma)}{\Gamma(b \rightarrow s(d)\gamma) + \Gamma(\bar{b} \rightarrow \bar{s}(\bar{d})\gamma)}$$

- 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. $\ell^+\ell^-$:

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



► **La détermination de $|\mathbf{V}_{td}/\mathbf{V}_{ts}|$**

► **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)
 $\mathcal{A} \propto S \sin(\Delta m_d \Delta t) + C \cos(\Delta m_d \Delta t)$
 $\Rightarrow S, C \sim 0$

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

Aomori U.
BINP
Chiba U.
Chonnam Nat'l U.
U. of Cincinnati
Ewha Womans U.
Frankfurt U.
Gyeongsang Nat'l U.
U. of Hawaii
Hiroshima Tech.
IHEP, Beijing
IHEP, Moscow

IHEP, Vienna
ITEP
Kanagawa U.
KEK
Korea U.
Krakow Inst. of Nucl. Phys.
Kyoto U.
Kyungpook Nat'l U.
EPF Lausanne
Jozef Stefan Inst. / U. of Ljubljana / U. of Maribor
U. of Melbourne

Nagoya U.
Nara Women's U.
National Central U.
Nat'l Kaoshiung Normal U.
National Taiwan U.
National United U.
Nihon Dental College
Niigata U.
Osaka U.
Osaka City U.
Panjab U.
Peking U.
U. of Pittsburgh
Princeton U.
Riken
Saga U.
USTC

Seoul National U.
Shinshu U.
Sungkyunkwan U.
U. of Sydney
Tata Institute
Toho U.
Tohoku U.
Tohoku Gakuin U.
U. of Tokyo
Tokyo Inst. of Tech.
Tokyo Metropolitan U.
Tokyo U. of Agri. and Tech.
Toyama Nat'l College
U. of Tsukuba
Utkal U.
VPI
Yonsei U.



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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

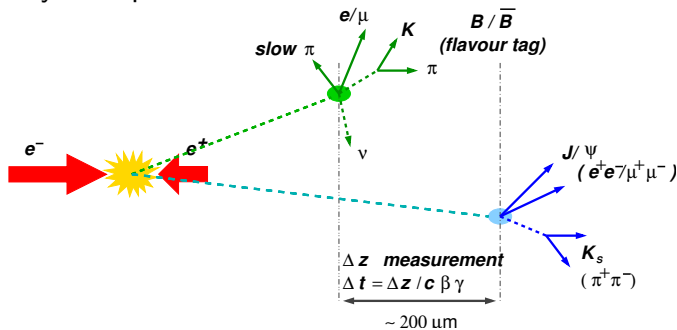
Conclusion

Le concept des usines à B asymétriques

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

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



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

$b \rightarrow d\gamma$

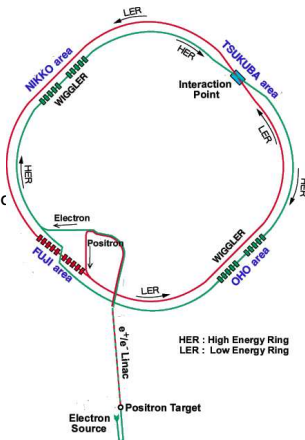
Conclusion

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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

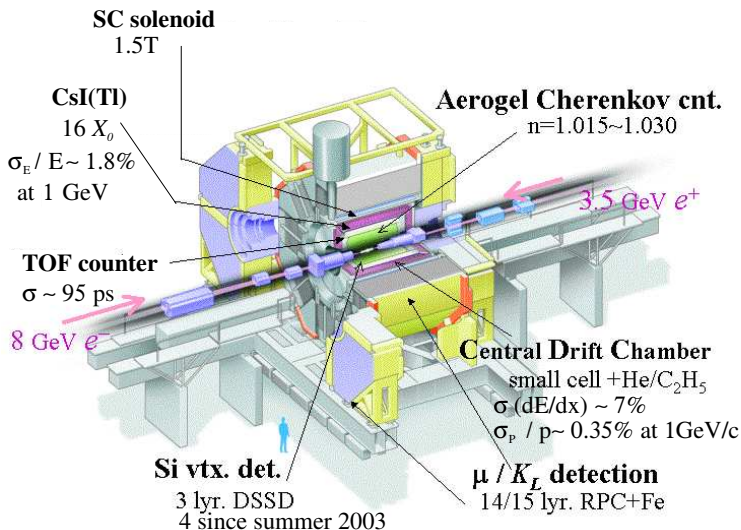
$b \rightarrow d\gamma$

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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

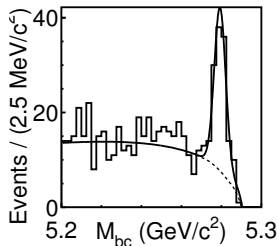
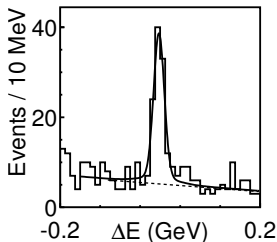
Reconstruction du B

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

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

- ▶ La masse contrainte au faisceau :

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

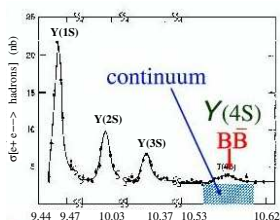


Suppression du continuum

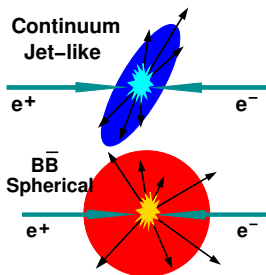
Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

- ▶ 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

$K^*\gamma$

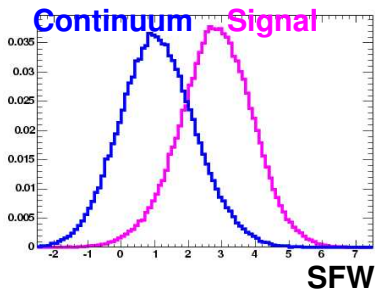
$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

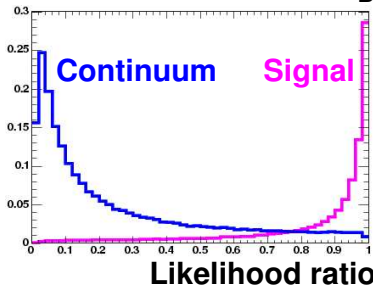
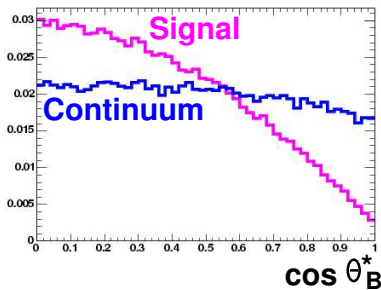
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

“Topologie” de l'evt (SFW)



Direction du B



⇒ forme un likelihood ratio

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

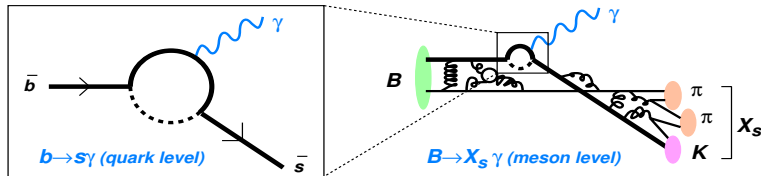
$K^* \gamma$

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

$b \rightarrow d \gamma$

Conclusion

Mesures inclusives de $b \rightarrow s\gamma$



Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

- 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} : $C_i = C_i^{MS} + C_i^{NP}$
- Rapport d'embranchement $\propto |C_7|^2$ (@ 1^{er} ordre)
corrections NLO : ok ... NNLO en cours $\Rightarrow C_7^{\text{eff}}$
- Spectre $E_\gamma \Rightarrow$ paramètres HQET

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

Rapport d'embranchement et moments

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

- ▶ 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.” : $140 \text{ fb}^{-1} \rightarrow 152$ millions de $B\bar{B}$
- ▶ Données “off-res.” : 15 fb^{-1}

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

$K^*\gamma$

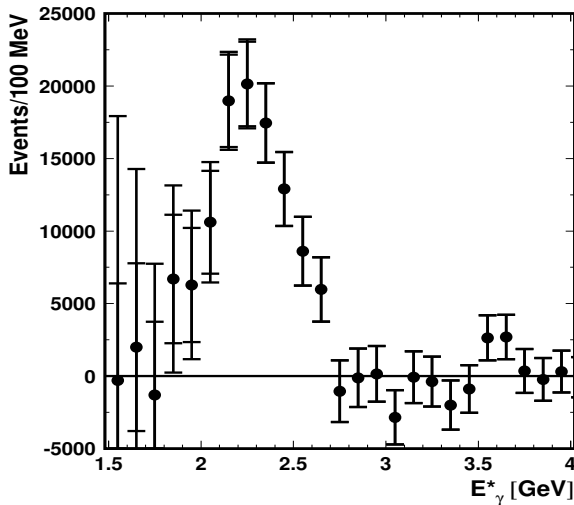
$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

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



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

► 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 :

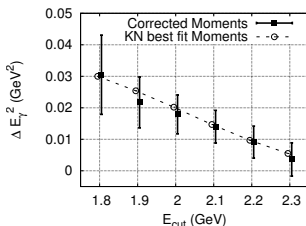
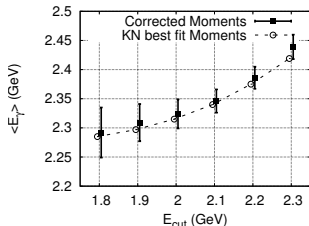
$$\mathcal{B}(b \rightarrow s\gamma) = (3.39^{+0.30}_{-0.27}) \times 10^{-4}$$

► 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

- ▶ 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 :
 - $\langle E_\gamma \rangle = 2.292 \pm 0.026 \pm 0.034 \text{ GeV}$
 - $\langle E_\gamma^2 \rangle - \langle E_\gamma \rangle^2 = 0.0305 \pm 0.0074 \pm 0.0063 \text{ GeV}^2$



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 :

$$A_{CP}^{SM} = (4.2_{-1.2}^{+1.7}) \times 10^{-3} \text{ (T.Hurth et al., hep-ph/0312260)}$$

- Pour $B \rightarrow K^*\gamma$:

$$A_{CP}^{SM}(K^*\gamma) = (6.2 \pm 1.3) \times 10^{-3} \text{ in pQCD}$$

- $\leq 1\%$ (5 – 10%) dans SUSY avec (sans) les contraintes EDM (A.Bartl et al., PRD64,076009)

- Large violation de CP $\Rightarrow$ 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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

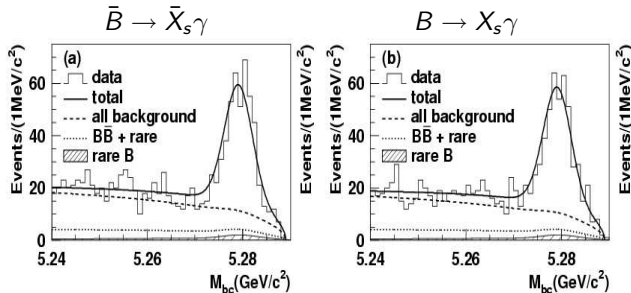
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

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 $\pi \Rightarrow M_{X_s} < 2.1 \text{ GeV}/c^2$
- ▶ 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



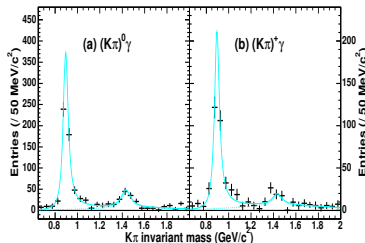
$$A_{CP} = (2 \pm 50 \pm 30) \times 10^{-3} @ 140 \text{ fb}^{-1} \quad (\text{PRL93:031803,2004})$$

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

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

- ▶ $K^* \rightarrow K^+ \pi^- / K_S^0 \pi^0 / K_S^0 \pi^+ / K^+ \pi^0$
- ▶ $1.8 \text{ GeV} < E_\gamma^* < 3.4 \text{ GeV} + \pi^0 / \eta \rightarrow \gamma \gamma \text{ veto}$
- ▶ Réjection du continuum : topologie et direction du B
- ▶ Données : $78 \text{ fb}^{-1} \Rightarrow 85 \times 10^6 B \bar{B}$ (PRD69,112001)



- ▶ Rapport d'embranchement (moyenne HFAG) :

$$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^{*+} \gamma) = (4.25 \pm 0.31 \pm 0.24) \times 10^{-5}$$

$$(4.03 \pm 0.26) \times 10^{-5}$$

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma) = (4.01 \pm 0.21 \pm 0.17) \times 10^{-5}$$

$$(4.01 \pm 0.20) \times 10^{-5}$$

- ▶ Préddictions 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 ...

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

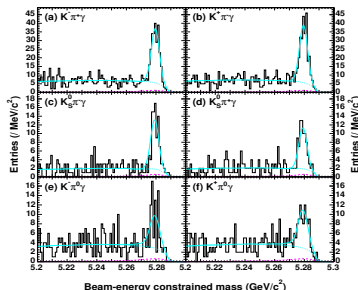
$K^* \gamma$

$b \rightarrow s \ell \ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d \gamma$

Conclusion



► 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 ± 1.3) $\times 10^{-3}$ dans pQCD

► Asymétrie d'isospin Δ_{0^+} :

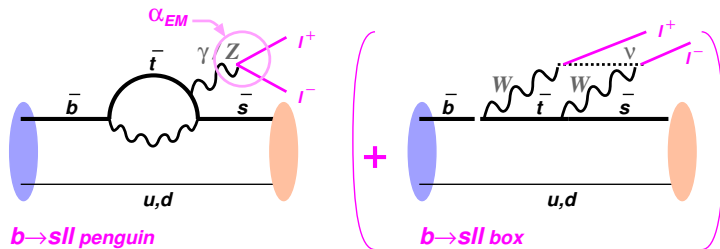
$$\Delta_{0^+} = \frac{(\tau_{B^+}/\tau_{B^0})\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma) - \mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma)}{(\tau_{B^+}/\tau_{B^0})\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0}\gamma) + \mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^{*+}\gamma)}$$

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

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

► MS : 0.05 – 0.10 (A.L.Kagan et al., PLB539,227)

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



► 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 $\hat{s} = (M_{\ell\ell}/m_b)^2 = (q^2/m_b)^2$

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

⇒ $b \rightarrow s\gamma$ 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 $b \rightarrow s\ell\ell$

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}

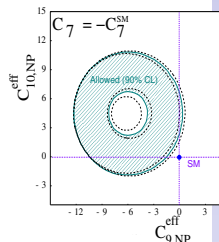
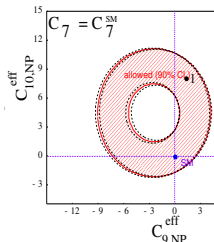
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- Comme $\mathcal{B}(b \rightarrow s\gamma)$ compatible avec le MS

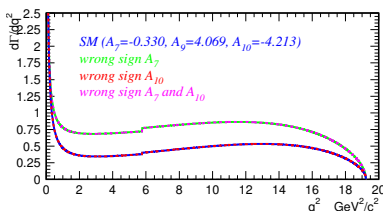
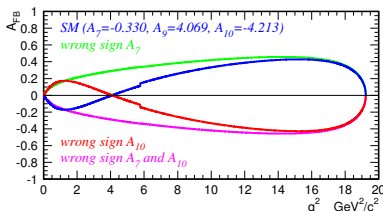
$$\Rightarrow C_7^{\text{eff}} = \pm C_7^{\text{SM}}$$

- Asymétrie avant-arrière (A_{FB}) de $B \rightarrow K^* \ell \ell$ dépend aussi de $C_7^{\text{eff}}, C_9^{\text{eff}}, C_{10}^{\text{eff}}$



$$\frac{d}{d\hat{s}}(\Gamma_F - \Gamma_B) = f(\hat{s}, \cos \theta_{B\ell}) \times C_{10} \left[\text{Re}(C_9^{\text{eff}}) V A_1 + \frac{\hat{m}_b}{\hat{s}} C_7^{\text{eff}} (V T_2(1 - \hat{m}_{K^*}) + A_1 T_1(1 + \hat{m}_{K^*})) \right]$$

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



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

Analyse (pseudo)inclusive

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

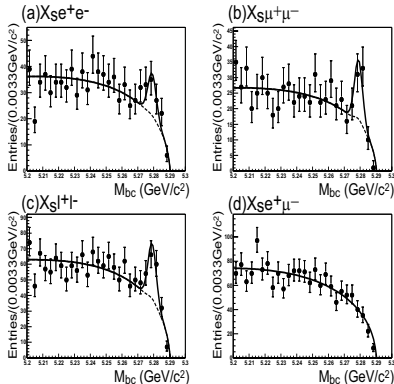
► X_s avec $1 K^\pm/K_S + 0-4 \pi$ (dont $0-1 \pi^0$) $\Rightarrow \sim 53\%$ des X_s

► $M_{X_s} < 2 \text{ GeV}/c^2$

► Topologie et direction du B pour rejeter le continuum

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

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



Rapport d'embranchement (moyenne HFAG) :

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

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

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

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

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}

$b \rightarrow d \gamma$

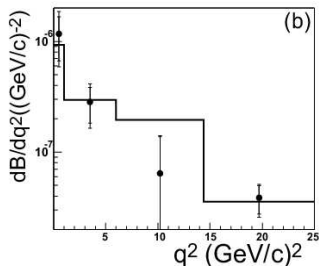
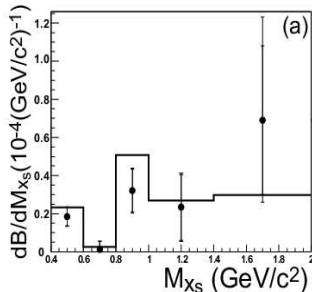
Conclusion

► $\mathcal{BF}$ 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



► $\mathcal{BF}$ différentiel en fonction de q^2

⇒ pour trouver un effet non standard

► 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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

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

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

hep-ex/0508009

Luc Hinz

► Moyenne HFAG :

$$\mathcal{B}(B \rightarrow K \ell^+ \ell^-) = (4.46 \pm 0.53) \times 10^{-7}$$

$$\mathcal{B}(B \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-) = (11.8 \pm 1.7) \times 10^{-7}$$

► Principales sélections du signal :

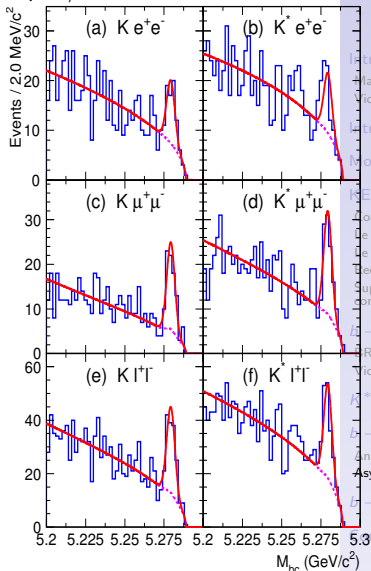
- veto à charmonium ($J/\psi, \psi'$)
- $K^* : K^+ \pi^-, K_s^0 \pi^+, K^+ \pi^0$
- $|M_{K\pi} - M_{K^*}| < 75 \text{ MeV}$
- Continuum : topologie, dir. B

► Signal calculé dans :

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



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

R et moments

Violation CP directe

$K^* \gamma$

$B \rightarrow s \ell \ell$

Analyse inclusive

Asymétrie A_{FB}

$B \rightarrow d \gamma$

Inclusion

- ▶ 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

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

► A_7 négatif (MS) :

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

MS : $A_9/A_7 = -12.3$

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

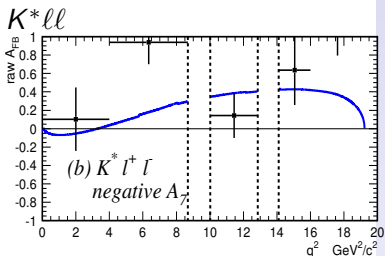
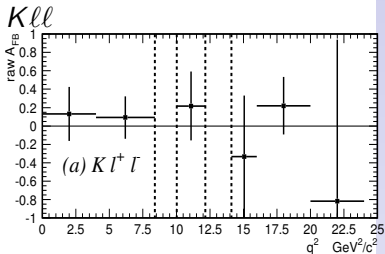
MS : $A_{10}/A_7 = 12.8$

► 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 :



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

Intervalle de confiance

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

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

► $A_9 A_{10}$ est négatif !

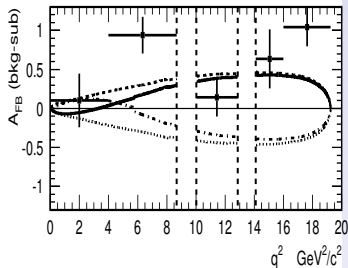
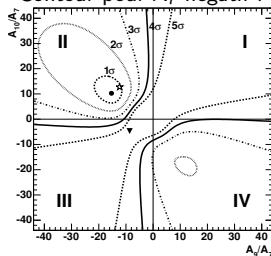
⇒ régions I et III sont exclues à 95% CL

⇒ régions II et IV permises

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

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

Contour pour A_7 négatif :



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}

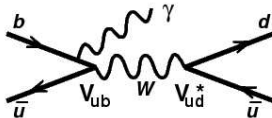
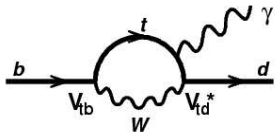
$b \rightarrow d \gamma$

Conclusion

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

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz



- ▶ 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

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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

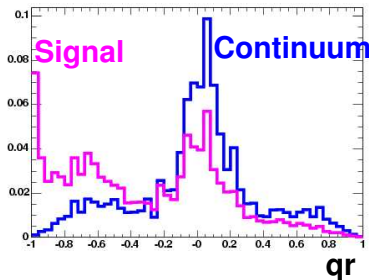
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

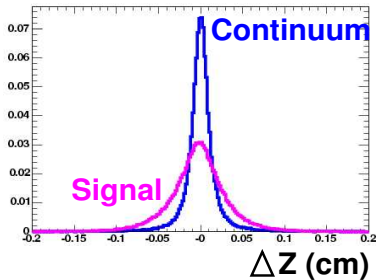
Conclusion

$B \rightarrow \rho(\omega)\gamma$: 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 $\mathcal{LR}$

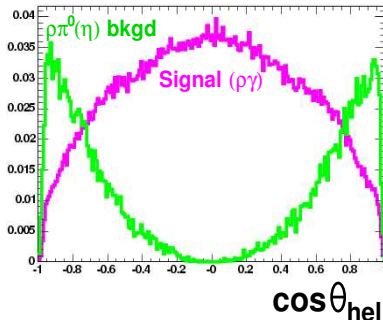
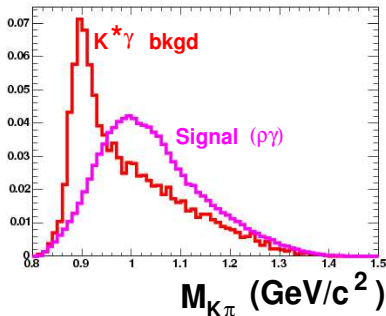


⇒ coupure $\mathcal{LR}$ en fct de $q \cdot r$



► 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
hélicité : $|\cos\theta_{hel}| < 0.70/0.75/0.80$ 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 : $386 \times 10^6 B\bar{B}$

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}

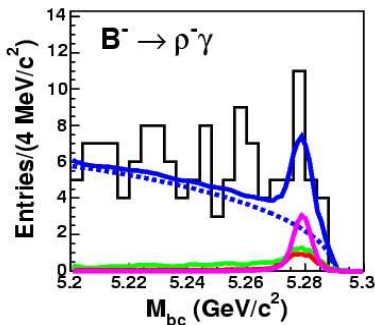
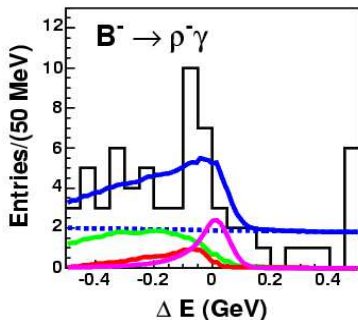
$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

Fit et rapport d'embranchement

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz



$$\blacktriangleright N_{sig} = 8.1^{+6.4}_{-5.5} {}^{+1.8}_{-1.6} (1.5\sigma)$$

$$\blacktriangleright \mathcal{B}(B^- \rightarrow \rho^- \gamma) = (0.55^{+0.43}_{-0.37} {}^{+0.12}_{-0.11}) \times 10^{-6}$$

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

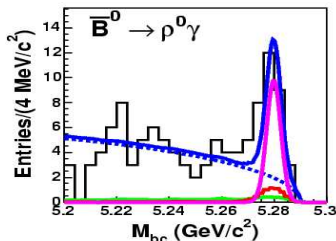
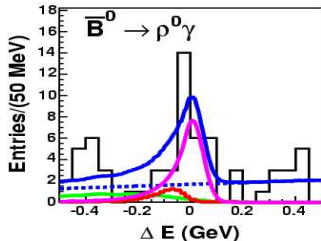
$K^* \gamma$

$b \rightarrow s \ell \ell$

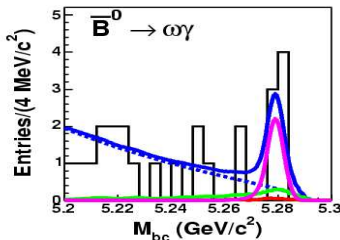
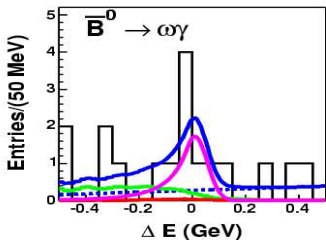
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d \gamma$

Conclusion



- ▶ $N_{sig} = 20.8^{+6.2}_{-5.5} {}^{+1.2}_{-1.4} (5.1\sigma)$
- ▶ $\mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \rho^0 \gamma) = (1.17^{+0.35}_{-0.31} {}^{+0.09}_{-0.08}) \times 10^{-6}$



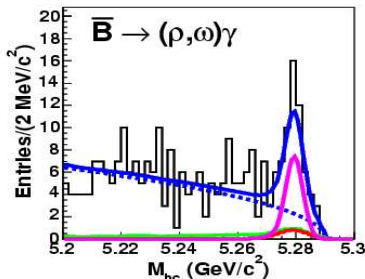
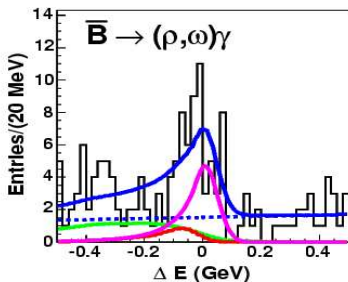
- ▶ $N_{sig} = 8.9^{+3.5}_{-2.7} {}^{+0.7}_{-0.8} (2.6\sigma)$
- ▶ $\mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \omega \gamma) = (0.58^{+0.35}_{-0.27} {}^{+0.07}_{-0.08}) \times 10^{-6}$

► Fit combiné :

- $\mathcal{B}(B^- \rightarrow \rho^- \gamma) = 2 \times \frac{\tau_{B^+}}{\tau_{B^0}} \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow \rho^0 / \omega \gamma)$

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

- $\frac{\tau_{B^+}}{\tau_{B^0}} = 1.076 \pm 0.08$



► $\mathcal{B}(B \rightarrow \rho(\omega)\gamma) = (1.34^{+0.34}_{-0.31} {}^{+0.14}_{-0.10}) \times 10^{-6}$
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)

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

- ▶ 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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

- ▶ Les désintégrations radiatives des B sont bien établies
- ▶ Un large panel d'analyses possible avec ces canaux
- ▶ $b \rightarrow s\gamma$ et $b \rightarrow s\ell\ell$ 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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

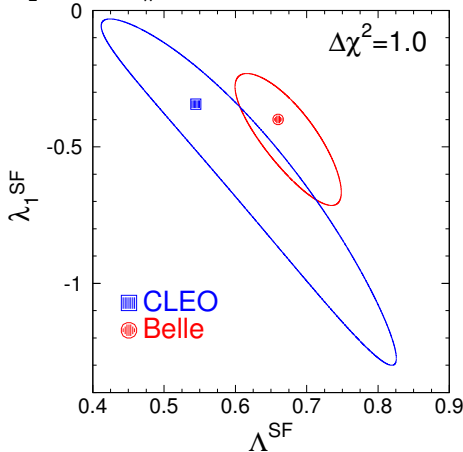
$\Delta\chi^2 = 1$ contours of (m_b, μ_π^2) parameters

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

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

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



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

Main corrections applied on the moments

- 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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

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

$K^* \gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

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)	$-0.015 \pm 0.044 \pm 0.012$

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 $b \rightarrow s\gamma$ inclusifBR et moments
Violation CP directe $K^*\gamma$ $b \rightarrow s\ell\ell$ Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB} $b \rightarrow d\gamma$

Conclusion

OPE and the Wilson coefficients

Désintégrations
radiatives des
mésons B dans
l'expérience Belle

Luc Hinz

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

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

- $O_{1,2}$: 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 $b \rightarrow s\ell\ell$, only O_7 , O_9 and O_{10} appear in the hamiltonian

➡ **New Physics changes the Wilson coefficients**

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

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}

$b \rightarrow d\gamma$

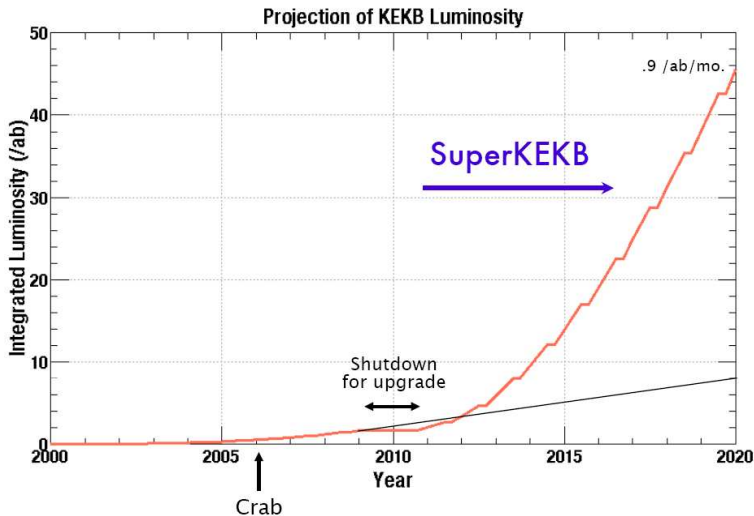
Conclusion

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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

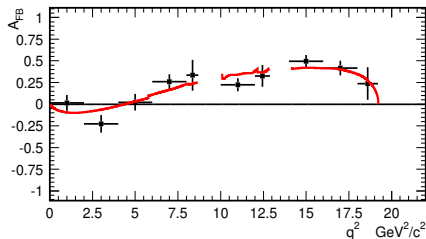
Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

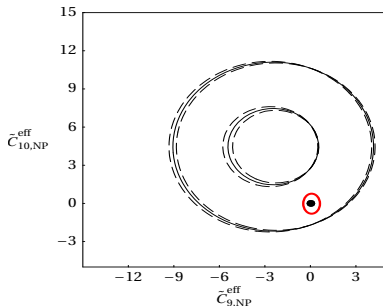
Conclusion

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

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

$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

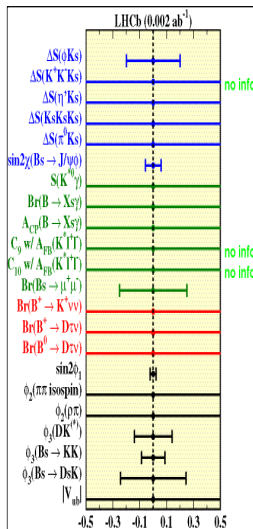
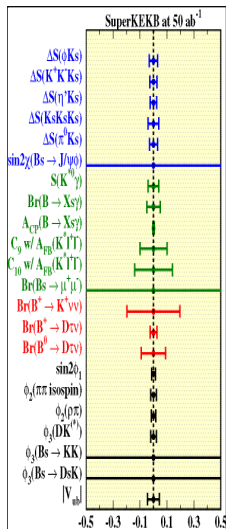
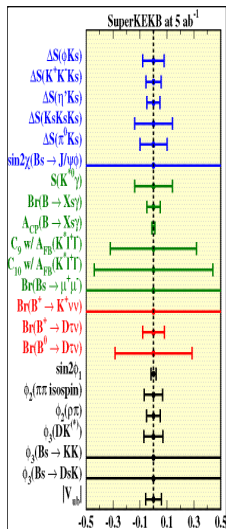
$b \rightarrow d\gamma$

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

$K^* \gamma$

$b \rightarrow s \ell \ell$

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

Luc Hinz

From Ali et al.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

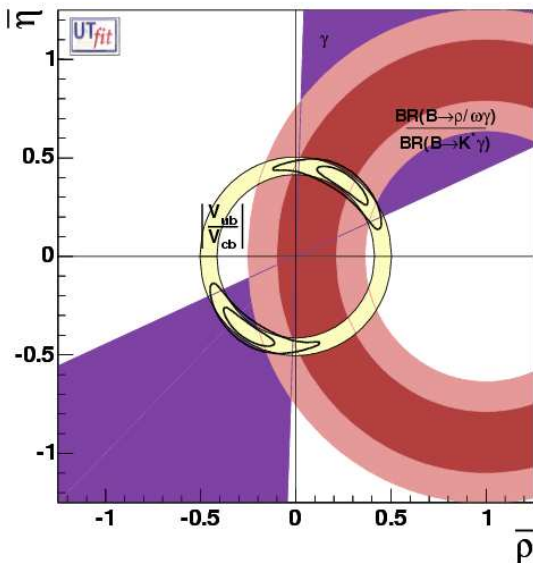
$K^*\gamma$

$b \rightarrow s\ell\ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d\gamma$

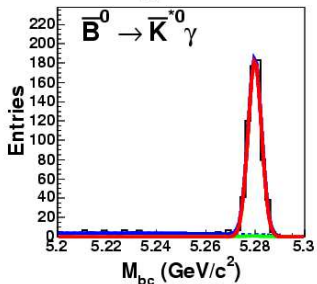
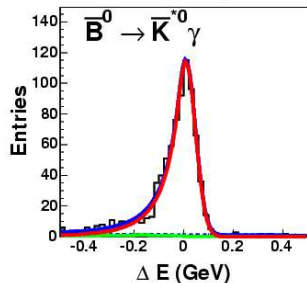
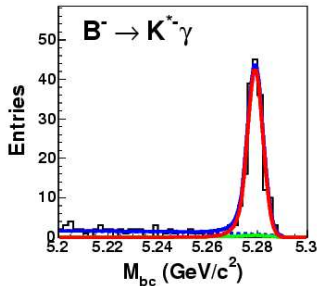
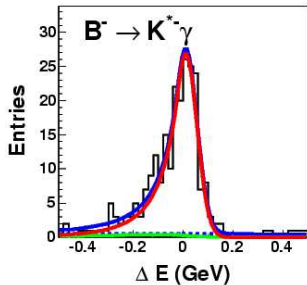
Conclusion



$B \rightarrow K^* \gamma$: 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

$K^* \gamma$

$b \rightarrow s \ell \ell$

Analyse inclusive
Asymétrie A_{FB}

$b \rightarrow d \gamma$

Conclusion