

Désintégrations hadroniques des mésons lourds : Modèle Standard, QCD et interactions fortes dans l'état final

Benoît Loiseau

LPNHE, Biennale 2011

en collaboration avec
J.-P. DEDONDER



Plan

- 1 Introduction
- 2 $B \rightarrow K\pi^+\pi^-$: résonances K^* et violation de CP
- 3 Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_s^0 - \bar{B}_s^0$
 - Motivations
 - Amplitudes $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$, $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$
 - Résultats
- 4 $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$
 - Amplitudes de désintégration
 - Facteur de forme scalaire du pion $\Gamma_1^{\eta^*}(q^2)$
 - Facteur de forme vectoriel du pion $F_1^{\pi\pi}(q^2)$
 - Distributions en masse invariantes $\pi^+\pi^- < 2 \text{ GeV}$
- 5 Épilogue
- 6 Appendice
 - amplitudes $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$

Désintégrations hadroniques des mésons lourds :

- **Différence** entre les phases faibles et fortes
- Violation de **CP** : test du Modèle Standard et de QCD
- **Nouvelle physique ?**
- Échange du boson W et masse des quark b et c grandes
 ⇒ **approche systématique** : développement perturbatif en **QCD** en terme de α_S et Λ_{QCD}/m_b + ansatz de **factorisation**
- Difficulté : **maîtriser** au mieux les **interactions fortes** avant et après hadronisation
- **Physique hadronique** : contraintes sur les interactions fortes dans l'état final
- Analyses complètes des diagrammes de Dalitz ⇒ analyse des **amplitudes** de désintégrations en **ondes partielles**

$B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$: résonances K^* et violation de CP

Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_s^0 - \bar{B}_s^0$

$B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$

Épilogue

Appendice

Développement en produits d'opérateurs et factorisation en QCD

À partir de l'Hamiltonian faible effectif, H_{eff} ,

$$\langle M_1 M_2 | H_{\text{eff}} | B \rangle = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{CKM} \sum_i C_i(\mu) \langle M_1 M_2 | O_i(\mu) | B \rangle$$

$G_F = 1.166 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$ constante de couplage de Fermi; V_{CKM} = facteur Cabbibo-Kobayashi-Maskawa; $C_i(\mu)$: coefficients de Wilson (amplitude à courte distance, échange du W); μ = échelle de renormalisation, $\mu \sim m_b$ et $\sqrt{m_b \Lambda_{QCD}}$

Factorisation : $\langle M_1 M_2 | O_i(\mu) | B \rangle = \langle M_2 | J_1 | 0 \rangle \langle M_1 | J_2 | B \rangle [r_n \alpha_s^n + O(\Lambda_{QCD}/m_b)]$

→ Dans amplitude à longue distance - **QCD non-perturbative** - :

$\langle M_2 | J_1 | 0 \rangle$: constante de désintégration du méson M_2

$\langle M_1 | J_2 | B \rangle$: facteur de forme de transition du B en M_1

→ Dans amplitude à courte distance - **QCD perturbative** - **corrections radiatives** :

Au vertex faible →



Échange d'un gluon dur avec le quark spectateur →



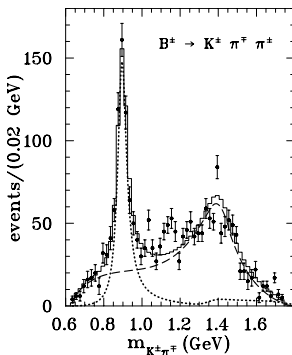
$B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$: résonances K^* et violation de CP
Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_S^0 - \bar{B}_S^0$
 $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$

Épilogue

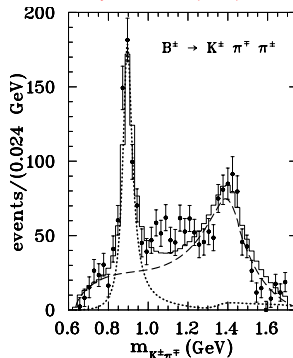
Appendice

Distributions $m_{K\pi}$ pour $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$

- Complément du calcul de B. El-Bennich *et al.* [PRD **79**, 094005 (2009)] en ajoutant la **diffusion dure + annihilation** $\rightarrow$ **réduction** du nombre paramètres libres de 8 à 4, tout en reproduisant aussi bien les données: O. Leitner, J.-P. Dedonder, B. Loiseau, R. Kamiński, Phys.Rev. D **81** (2010) 094033.

Données Belle PRL**96**:251803, 2006

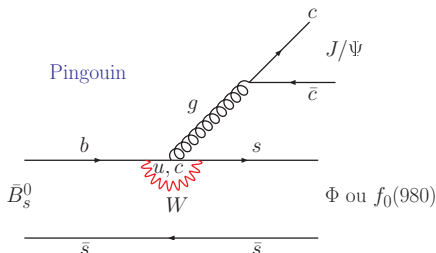
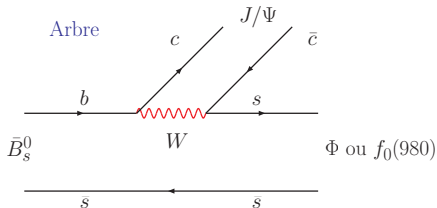
— Onde S; Onde P ———— Histogramme somme des ondes S et P

Données BABAR PRD**78**:012004, 2008

$\Rightarrow$ **Dominance** des $K^*(892)$, $K^*(1430)$ - $\kappa(800)$ visible

Nouvelle physique ?

- **Asymétrie** matière-antimatière devrait être insignifiante dans les désintégrations faibles des mésons B_s^0
- Si **déviatio**n : physique au delà du Modèle Standard
- Dans $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$, CDF [PRL **100**, 161802 (2008)], DØ [PRL **101**, 241801 (2008)] Collaborations, phase, $-2\beta_s$, du **mélange** $B_s - \bar{B}_s$ plus grande que les prédictions du Modèle Standard
- Rapport des largeurs des désintégration $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ et $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi \Rightarrow$ **effet onde S**, $\pi^+\pi^-$, sur la valeur de β_s
- ⇒ Étude dans cadre factorisation en QCD + corrections ordre dominants en α_s :
Scalar resonance effects on the $B_s - \bar{B}_s$ mixing angle,
 O. Leitner, J.-P. Dedonder, B. Loiseau, B. El-Bennich,
 [PRD **82**, 076006 (2010)]

$$M_1 \equiv \phi \text{ or } f_0(980), M_2 \equiv J/\psi$$


Processus $b \rightarrow c\bar{c}s$

Pour **arbre** et **pingouin** :

$$V_{CKM} = V_{cb}^* V_{cs} = A\lambda^2(1 - \lambda^2/2)$$

et en plus pour pingouin :

$$V_{CKM} = V_{ub}^* V_{us} = A\lambda^4(\rho + i\eta)$$

$$\lambda = 0.2257, A = 0.814, \rho = 0.1385, \\ \eta = 0.358$$

→ Amplitudes **4 paramètres** libres :
2 pour **régulariser divergences** des
 corrections de diffusion dures avec
 quark spectateur et **2** représentant
 corrections d'**ordre supérieur** et
 l'**annihilation** ⇒ paramètres déterminés
 par les 3 données de D0 + rapport
 d'embranchement $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$

$B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$: résonances K^* et violation de CP

Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_s^0 - \bar{B}_s^0$

$B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$

Épilogue

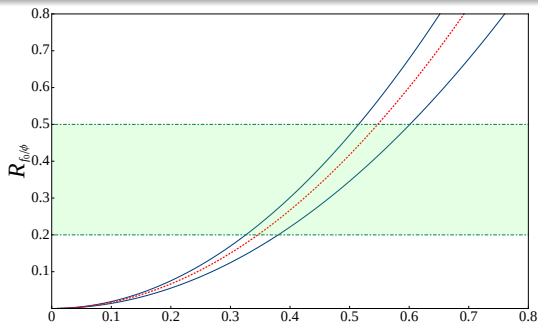
Appendice

Motivations

Amplitudes $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$, $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$

Résultats

$\mathcal{R}_{f_0/\phi}$ en fonction de $F_1^{B_s^0 f_0^s}(m_{J/\psi}^2)$



→ K. M. Ecklund *et al.* [CLEO Collaboration]
PRD **80**, 052009 (2009)
à partir désintégration semi-leptonique D_s^+

→ S. Stone and L. Zhang, [PRD**79**, 074024 (2009),
désintégrations D_s^+]

$$\mathcal{R}_{f_0/\phi} = \frac{\Gamma(B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980), f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^-)}{\Gamma(B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi, \phi \rightarrow K^+ K^-)}$$

- **Ligne pointillée** : avec corrections vertex et pingouin → pas de paramètres - rapport indépendant de $f_{B_s^0}$ et de $\bar{f}_{f_0}$ - données pas reproduites.

- **lignes continues** : avec incertitudes de $\mathcal{B}(f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^-) = 0.50^{+0.07}_{-0.09}$ et de $\mathcal{B}(\phi \rightarrow K^+ K^-) = 0.489 \pm 0.005$

$B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$: résonances K^* et violation de CP

Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_s^0 - \bar{B}_s^0$

$B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$

Épilogue

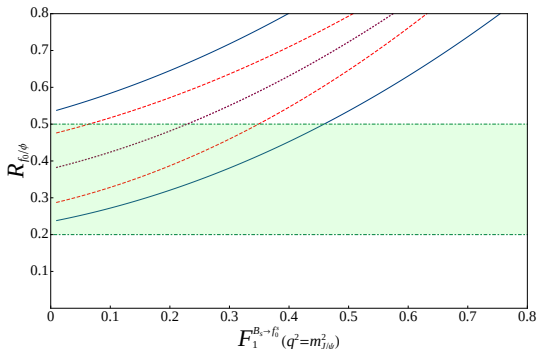
Appendice

Motivations

Amplitudes $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$, $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$

Résultats

Avec diffusion dure, ordres supérieurs et annihilation



Observations récentes:

→ $\mathcal{R}_{f_0/\phi} = 0.257 \pm 0.020 \pm 0.014$
CDF Collaboration, T. Aaltonen *et al.*,
arXiv:1106.3682 [hep-ex]

→ Observation of $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$
and Evidence for $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(1370)$

Belle Collaboration, J. Li *et al.*,
Phys.Rev.Lett. 106 (2011) 121802

→ First observation of
 $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ decays
LHCb Collaboration, R. Aaij *et al.*

Phys.Lett. B698 (2011) 115 →

$$\mathcal{R}_{f_0/\phi} = 0.252^{+0.046+0.027}_{-0.032-0.033}$$

- **Lignes pointillées** : avec incertitudes de $f_{B_s^0} = 260 \pm 30$ MeV et de $\bar{f}_{f_0} = 380 \pm 40$ MeV - données reproduites par la courbe centrale
 - **lignes continues** : avec incertitudes de $\mathcal{B}(f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^-)$ et de $\mathcal{B}(\phi \rightarrow K^+ K^-)$
- ⇒ Extraction de $-2\beta_s$ pourrait être **erronée** due à la présence du $f_0(980)$

Quasi deux corps $B^\pm \rightarrow \pi^\pm [\pi^+ \pi^-]_{S,P,D}$

$$\langle \pi^\pm [\pi^+ \pi^-]_{S,P,D} | H_{\text{eff}} | B^\pm \rangle = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{CKM} \sum_i C_i(\mu) \langle \pi^\pm [\pi^+ \pi^-]_{S,P,D} | O_i(\mu) | B^\pm \rangle$$

$$H_{\text{eff}} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \left[V_{ub} V_{ud}^* (C_1(\mu) O_1 + C_2(\mu) O_2) + \left(V_{cb} V_{cd}^* \sum_{i=3}^{10} C_i(\mu) O_i^c + c \leftrightarrow u \right) + h.c. \right].$$

(a) O_1 and O_2 opérateurs **main gauche**
courant-courant, exemple :

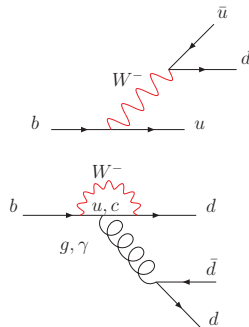
$$O_1 = \bar{u}_\alpha \gamma^\mu (1 - \gamma^5) d_\alpha \otimes \bar{u}_\beta \gamma_\mu (1 - \gamma^5) b_\beta$$

$\rightarrow \alpha, \beta$ indices de couleur

$\rightarrow j_1 \otimes j_2$ à calculer sous forme factorisé

(b) $O_3 \dots O_{10}$ **opérateurs pingouins** QCD et
electrofaibles, exemple :

$$O_4^c = \bar{d}_\alpha \gamma^\mu (1 - \gamma^5) b_\beta \otimes \bar{d}_\beta \gamma_\mu (1 - \gamma^5) d_\alpha$$



Facteurs de forme de longue portée

- La **Factorisation** de l'élément de matrice

$$\langle \pi^\pm(p_1) [\pi^+(p_2) \pi^-(p_3)]_{S,P,D} | j_1 \otimes j_2 | B^\pm(p_B) \rangle$$

donne 2 termes.

- Le premier correspond à la fonction de **longue distance** :

$$\langle \pi^\pm(p_1) | j_1 | B^\pm(p_B) \rangle \langle [\pi^+(p_2) \pi^-(p_3)]_{S,P} | j_2 | 0 \rangle \propto F_{0,1}^{B\pi}(q^2) F_{0,1}^{\pi\pi}(q^2)$$

avec $q = p_B - p_1 = p_2 + p_3$.

→ $F_{0,1}^{B\pi}(q^2)$: facteurs de forme (FF) scalaire ou vectoriel de transition de B en π → règles de somme sur le cône de lumière [P. Ball, R. Zwicky, PRD **71**, 014015 (2005)],

→ $F_{0,1}^{\pi\pi}(q^2)$: FF scalaire ou vectoriel du pion (voir plus tard).

Modèle pour la fonction de vertex

- Le deuxième terme donne la fonction de **longue distance** :

$$\begin{aligned} & \langle [\pi^+(p_2)\pi^-(p_3)]_{S,P,D} | j_1 | B^\pm \rangle \langle \pi^\pm(p_1) | j_2 | 0 \rangle \\ & \propto G_{R_{S,P,D}\pi^+\pi^-}^n(q^2) \langle R_{S,P,D} | j_1 | B^\pm \rangle \langle \pi^\pm | j_2 | 0 \rangle. \end{aligned}$$

- La fonction de vertex $G_{R_{S,P,D}\pi^+\pi^-}^n(q^2)$: résonances $R_{S,P,D}$ se désintégrant en paires $\pi^+\pi^-$.
- $\langle R_{S,P,D} | j_1 | B^\pm \rangle$: FF de transition de $B^\pm$ en $R_{S,P,D}$,
 $R_S \equiv f_0(980)$, $R_P \equiv \rho(770)^0$, $R_D \equiv f_2(1270)$.
- $\langle \pi^\pm | j_2 | 0 \rangle$: $f_\pi = 0.1304 \text{ MeV}$ (désintégration du pion).
- Modèle**:

$$G_{R_{S,P}\pi^+\pi^-}^n(q^2) \propto \text{FF scalaire ou vectoriel du pion } F_{0,1}(q^2)$$

$$G_{R_D\pi^+\pi^-}^n(q^2) \propto \text{Breit-Wigner relativiste pour } f_2(1270)$$

$$\Gamma_1^{*\pi}(q^2) \propto F_0(q^2) = \langle [\pi^+ \pi^-]_S | u\bar{u} + d\bar{d} | 0 \rangle$$

- **Modèle**: équation relativiste à 3 voies couplées

$$\Gamma_i^{*\pi}(s) = R_i^\pi(E) + \sum_{j=1}^3 R_j^\pi(E) H_{ij}(E), \quad i = 1, 2, 3,$$

$$H_{ij}(E) = \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} T_{ij}(E, k_i, p) \frac{1}{E - 2\sqrt{p^2 + m_j^2} + i\epsilon} \frac{k_j^2 + \kappa^2}{p^2 + \kappa^2}.$$

- $E = \sqrt{s}$; p moment hors-couche; $i, j = 1, 2, 3$: voies $\pi\pi$, $K\bar{K}$, effective $(2\pi)(2\pi)$;
SCM $k_j = \sqrt{s/4 - m_j^2}$, $m_1 = m_\pi$, $m_2 = m_K$, $m_3 = m_{(2\pi)} = 700 \text{ MeV}$.
→ Pour matrice $T \pi\pi$: solution A de R. Kamiński, L. Leśniak, B. Loiseau, Eur. Phys. J. C9, 141 (1999).
- → $R_j^\pi(E) = (\alpha_j^\pi + \tau_j^\pi E + \omega_j^\pi E^2)/(1 + cE^4)$, $i = 1, 2, 3$, fonctions de production.
→ Le paramètre c , déterminé pour reproduire les données, contrôle le comportement à haute énergie.
→ Les paramètres α_j^π , τ_j^π , ω_j^π sont calculés de façon à ce que $\Gamma_j^\pi(s)$ satisfasse le comportement à basse énergie prédit par le calcul à une boucle de la théorie de perturbation chirale au deuxième ordre (NLO).
→ La fonction $(k_j^2 + \kappa^2)/(p^2 + \kappa^2)$, qui se réduit à 1 sur couche, assure la convergence, ici $\kappa = 2 \text{ GeV}$.

$B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$: résonances K^* et violation de CP
Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_s^0 - \bar{B}_s^0$
 $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$

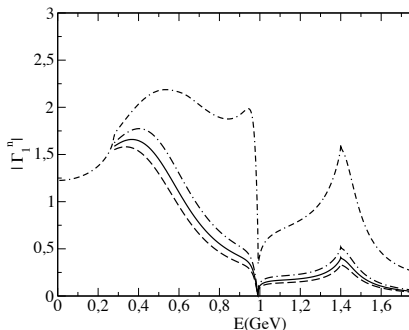
Épilogue

Appendice

Amplitudes de désintégration

Facteur de forme scalaire du pion $\Gamma_1^{n*}(q^2)$ Facteur de forme vectoriel du pion $F_1^{\pi\pi}(q^2)$ Distributions en masse invariantes $\pi^+ \pi^- < 2 \text{ GeV}$

Module de $\Gamma_i^{n*}(E)$, $\kappa = 2 \text{ GeV}$



- Résultat de la **reproduction** des données, $c = 19.5 \pm 4.2 \text{ GeV}^{-1}$
 - . - . $c = 15.3$ (limite **inférieure** de la bande d'erreur)
 - - - $c = 23.7$ (limite **supérieure** de la bande d'erreur)
 - . - . - **FF** de B. Moussallam [Eur. Phys. J C 14]
- (à partir des équations de **Muskhelishvili-Omnès**)

$B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$: résonances K^* et violation de CP

Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_S^0 - \bar{B}_S^0$

$B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$

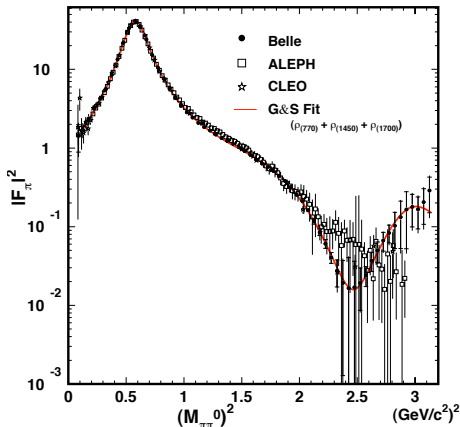
Épilogue

Appendice

Amplitudes de désintégration

Facteur de forme scalaire du pion $\Gamma_1^{\pi^*}(q^2)$ Facteur de forme vectoriel du pion $F_1^{\pi\pi}(q^2)$ Distributions en masse invariantes $\pi^+ \pi^- < 2 \text{ GeV}$

$$\langle [\pi^+(p_2) \pi^-(p_3)]_P | \bar{u} \gamma_\mu (1 - \gamma^5) u | 0 \rangle = - (p_2 - p_3)_\mu F_1^{\pi\pi}(q^2)$$



Reproduction des données de $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau$ par la Collaboration Belle avec un modèle Gounaris-Sakurai incluant $\rho(770) + \rho(1450) + \rho(1700)$ [Phys. Rev. D **78** 072006 (2008)]

$B \rightarrow K\pi^+\pi^-$: résonances K^* et violation de CP
Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_s^0 - \bar{B}_s^0$
 $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$

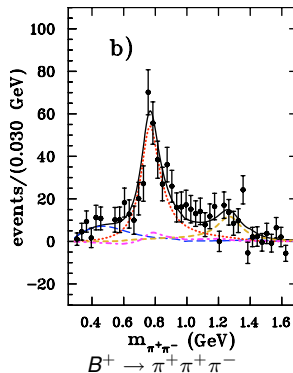
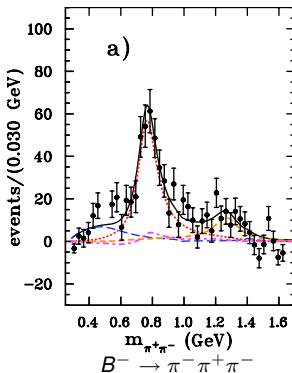
Épilogue

Appendice

Amplitudes de désintégration

Facteur de forme scalaire du pion $F_1^{\pi^*}(q^2)$ Facteur de forme vectoriel du pion $F_1^{\pi\pi}(q^2)$ Distributions en masse invariantes $\pi^+\pi^- < 2 \text{ GeV}$

Reproduction des données de BABAR : PRD 79, 072006 (2009)



— — — onde S : 3 paramètres, $f_0(600)$ visible, $f_0(980)$ minimum dans FF scalaire;

... onde P : 1 paramètre, $\rho(770)^0$ dominant ; - - - onde D : 1 paramètre,

$F^{Bf_2}(m_\pi^2) = 0.098 \pm 0.007$; - - - terme d'interférence, petit; ——— somme.

$A_{CP}[B^\pm \rightarrow \rho(770)^0 \pi^\pm, \rho(770)^0 \rightarrow \pi^+\pi^-] = (3.6 \pm 0.2)\%$

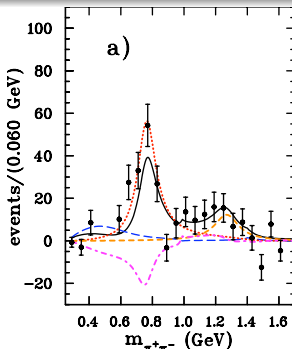
BABAR isobar model: $(18 \pm 7 \pm 5_{-14}^{+2})\% \Rightarrow$ **Nouvelles données** bienvenues : Belle, bientôt LHCb et ...usines **super B**

$B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$: résonances K^* et violation de CP
Effets du $f_0(980)$ dans Mélange $B_s^0 - \bar{B}_s^0$
 $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm$: violation de CP et interaction $\pi\pi$

Épilogue

Appendice

Amplitudes de désintégration

Facteur de forme scalaire du pion $\Gamma_1^{\pi^*}(q^2)$ Facteur de forme vectoriel du pion $F_1^{\pi\pi}(q^2)$ Distributions en masse invariantes $\pi^+ \pi^- < 2 \text{ GeV}$ Distribution B^- avec $\cos \theta < 0$ et > 0 
 $B^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^-$, $\cos \theta < 0$

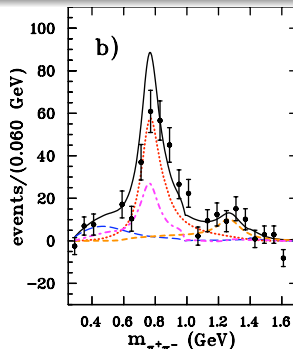
— — — onde S; ···· onde P; - - - - onde D;

· · · · Terme interference : grand sous le $\rho(770)^0$, principalement S-P; ——— somme

Courbes similaires pour B^+ , $\Rightarrow$ Publication : J.-P. Dedonder, A. Furman, R. Kamiński, L. Leśniak, B. Loiseau, *Acta Physica Polonica B42* (2011) 2013-2043.

● Phases interactions fortes contraintes par unitarité et données $\pi\pi$

$\Rightarrow$ aide extraction phases faibles γ ou $\phi_3 = \arg(-V_{ub}^* V_{ud} / V_{cb}^* V_{cd})$


 $B^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^-$, $\cos \theta > 0$

Travail en cours et devenir du groupe

- **Factorisation en QCD** $\Rightarrow$ corrèle données désintégrations hadroniques mésons lourds avec autres données interactions méson-méson $\Rightarrow$ contraintes entre la physique interactions **faibles** $\leftrightarrow$ **fortes**
- Mesure directe **mélange** $D^0 - \bar{D}^0$: P. del Amo Sanchez *et al.* ([BABAR Collaboration](#)), Phys. Rev. Lett. **105**, 081803 (2010) et arXiv : hep-ex 1004.5053v3, *Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ Mixing Parameters Using $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$ and $D^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$ Decays*; L.M. Zhang, *et al.* ([Belle Collaboration](#)), Phys. Rev. Lett. **99**, 131803 (2007), *Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ Mixing Parameters in $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ Decays*.
- $\Rightarrow$ Factorisation en QCD : **analyse en cours** des données présentes $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$, processus **auto conjugué** de CP
 - $\rightarrow$ Pour les interaction méson-méson : **facteurs de forme** scalaire et vectoriel $K\pi$ et $\pi\pi$ théoriquement contraints et utilisés dans $B \rightarrow K\pi\pi$ et $B \rightarrow \pi\pi\pi$
- Depuis le 1er septembre 2011 **De Profundis** le Groupe Théorie ! Vive le Groupe Théorie ! Jean-Pierre Dedonder est maintenant Professeur émérite à l'université Paris-Diderot.
- $\rightarrow$ Notre collègue Michael Joyce nous prend sous son aile protectrice pour nous permettre de poursuivre, avec sérénité, notre activité principale sur **la physique des saveurs lourdes**.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Travail en cours et devenir du groupe

- **Factorisation en QCD** $\Rightarrow$ corrèle données désintégrations hadroniques mésons lourds avec autres données interactions méson-méson $\Rightarrow$ contraintes entre la physique interactions **faibles** $\leftrightarrow$ **fortes**
- Mesure directe **mélange** $D^0 - \bar{D}^0$: P. del Amo Sanchez *et al.* ([BABAR Collaboration](#)), Phys. Rev. Lett. **105**, 081803 (2010) et arXiv : hep-ex 1004.5053v3, *Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ Mixing Parameters Using $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$ and $D^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$ Decays*; L.M. Zhang, *et al.* ([Belle Collaboration](#)), Phys. Rev. Lett. **99**, 131803 (2007), *Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ Mixing Parameters in $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ Decays*.
- $\Rightarrow$ Factorisation en QCD : **analyse en cours** des données présentes $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$, processus **auto conjugué** de CP
 - $\rightarrow$ Pour les interaction méson-méson : **facteurs de forme** scalaire et vectoriel $K\pi$ et $\pi\pi$ théoriquement contraints et utilisés dans $B \rightarrow K\pi\pi$ et $B \rightarrow \pi\pi\pi$
- Depuis le 1er septembre 2011 **De Profundis** le Groupe Théorie ! Vive le Groupe Théorie ! Jean-Pierre Dedonder est maintenant Professeur émérite à l'université Paris-Diderot.
- $\rightarrow$ Notre collègue Michael Joyce nous prend sous son aile protectrice pour nous permettre de poursuivre, avec sérénité, notre activité principale sur **la physique des saveurs lourdes**.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Travail en cours et devenir du groupe

- **Factorisation en QCD** $\Rightarrow$ corrèle données désintégrations hadroniques mésons lourds avec autres données interactions méson-méson $\Rightarrow$ contraintes entre la physique interactions **faibles** $\leftrightarrow$ **fortes**
- Mesure directe **mélange** $D^0 - \bar{D}^0$: P. del Amo Sanchez *et al.* ([BABAR Collaboration](#)), Phys. Rev. Lett. **105**, 081803 (2010) et arXiv : hep-ex 1004.5053v3, *Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ Mixing Parameters Using $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$ and $D^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$ Decays*; L.M. Zhang, *et al.* ([Belle Collaboration](#)), Phys. Rev. Lett. **99**, 131803 (2007), *Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ Mixing Parameters in $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ Decays*.
- $\Rightarrow$ Factorisation en QCD : **analyse en cours** des données présentes $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$, processus **auto conjugué** de CP
 - $\rightarrow$ Pour les interaction méson-méson : **facteurs de forme** scalaire et vectoriel $K\pi$ et $\pi\pi$ théoriquement contraints et utilisés dans $B \rightarrow K\pi\pi$ et $B \rightarrow \pi\pi\pi$
- Depuis le 1er septembre 2011 **De Profundis** le Groupe Théorie ! Vive le Groupe Théorie ! Jean-Pierre Dedonder est maintenant Professeur émérite à l'université Paris-Diderot.
- $\rightarrow$ Notre collègue Michael Joyce nous prend sous son aile protectrice pour nous permettre de poursuivre, avec sérénité, notre activité principale sur **la physique des saveurs lourdes**.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Amplitude totale symétrisée

→ Désintégrations $B^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^-$, $s_{i,j} = (p_i + p_j)^2$, $i, j = 1, 2, 3$, $i < j$:

$$\mathcal{M}_{sym}^-(s_{12}, s_{23}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\mathcal{M}_S^-(s_{12}) + \mathcal{M}_S^-(s_{23}) + \mathcal{M}_P^-(s_{12})(s_{13} - s_{23}) \right. \\ \left. + \mathcal{M}_P^-(s_{23})(s_{13} - s_{12}) + \mathcal{M}_D^-(s_{12})D(s_{23}, s_{12}) + \mathcal{M}_D^-(s_{23})D(s_{12}, s_{23}) \right],$$

$$\mathcal{M}_S^-(s_{ij}) = \frac{G_F}{\sqrt{3}} \left[-\chi_S f_\pi (M_B^2 - s_{ij}) F_0^{BR_S}(m_\pi^2) u(R_S \pi^-) \right. \\ \left. + B_0 \frac{M_B^2 - m_\pi^2}{m_b - m_d} F_0^{B\pi}(s_{ij}) v(\pi^- R_S) \right] \Gamma_1^{n*}(s_{ij}),$$

$$\mathcal{M}_P^-(s_{ij}) = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \left[N_P \frac{f_\pi}{f_{R_P}} A_0^{BR_P}(m_\pi^2) u(R_P \pi^-) + F_1^{B\pi}(s_{ij}) w(\pi^- R_P) \right] F_1^{\pi\pi}(s_{ij}),$$

$$\mathcal{M}_D^-(s_{ij}) = -\frac{G_F}{\sqrt{6}} u(R_D \pi^-) f_\pi F^{BR_D}(m_\pi^2) \frac{G_{f_2}}{m_{R_D}^2 - s_{ij} - im_{R_D} \Gamma(s_{ij})}.$$

• Termes de courte portée $u(R_S \pi^-)$, $v(\pi^- R_S)$, $w(\pi^- R_P)$, $u(R_D \pi^-)$: combinaison linéaire de $V_{ub} V_{ud}^*$, $V_{cb} V_{cd}^*$ et LO +NLO coefficients de Wilson effectifs $a_i(M_1 M_2)$.

→ Expressions similaires pour les amplitudes $B^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^+$. En rouge: les quantités déterminées dans la reproduction des données.