

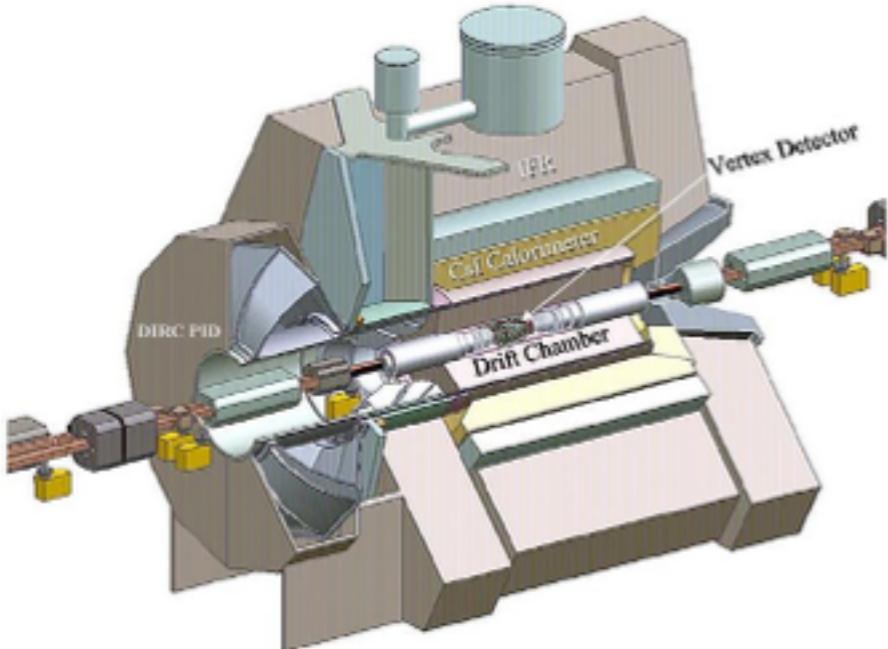
Bilan du groupe
"Asymétrie Matière-Antimatière
et Saveurs"

Merci à tous qui m'ont envoyé des transparents

Chemin

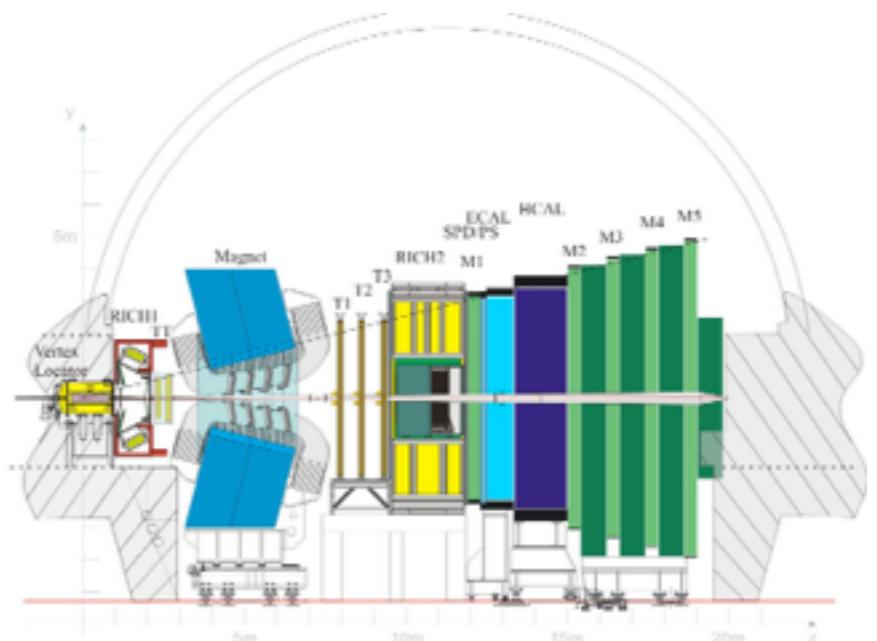
- Saveurs hadronique
 - Experimental: BABAR, LHCb
 - Phénoménologie et CKMFitter
- Neutrinos
 - NA61 et T2K
- Leptons chargées
 - Phénoménologie de g-2

I) La physique des saveurs hadronique



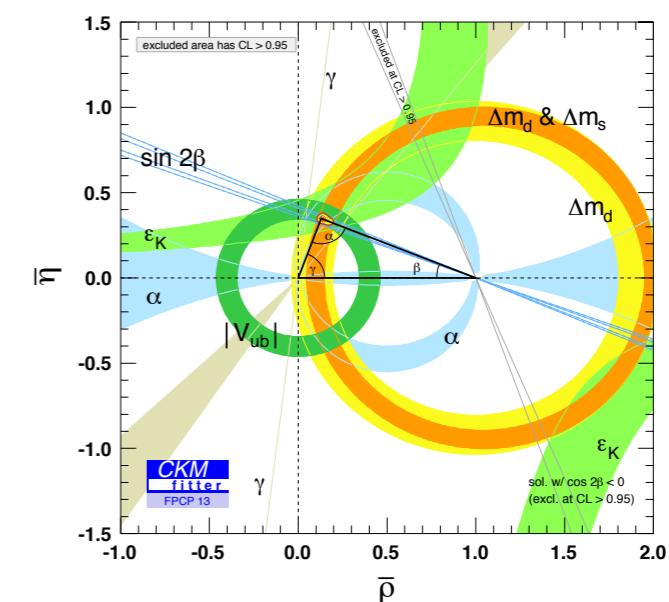
BABAR à PEP-II (e^+e^- , 10.58 GeV)

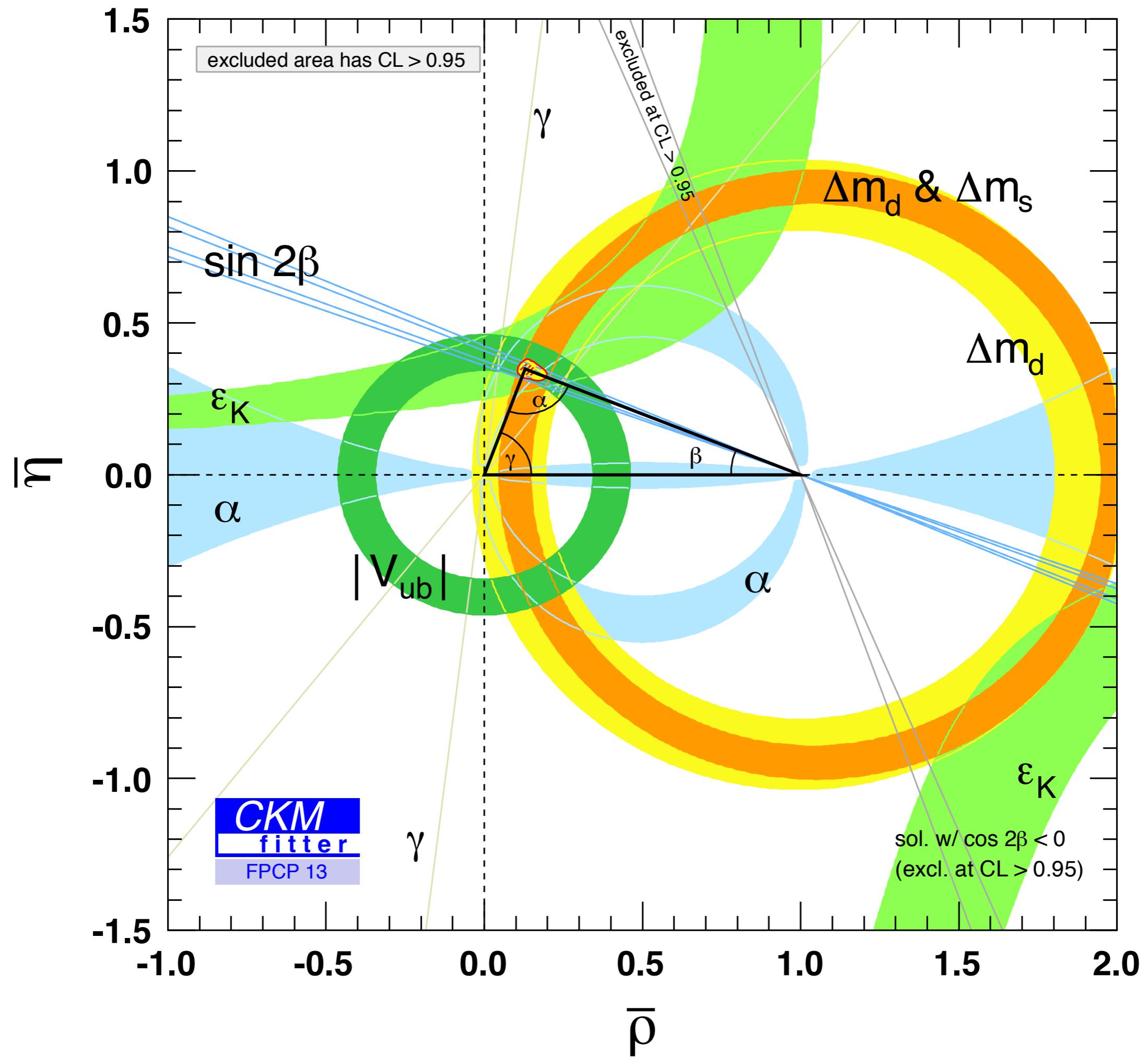
LHCb à l'LHC ($p\bar{p}$, 7-8 TeV)



$$\begin{aligned} & \int \langle \psi_i^{(n)} | \psi_j^{(n)} \rangle d\tau_A \Psi_n = \left| \psi_1^{(n)} \right\rangle \left\langle \psi_1^{(n)} \right| \dots \\ & \sum |\alpha_i|^2 = 1 \\ & \frac{1}{\sqrt{\Gamma_L}} \langle \psi_{i_L}^{(n)} | \psi_{i_L}^{(n)} \rangle = \frac{1}{\sqrt{\Gamma_L}} \sum_i |\alpha_i^{(n)}|^2 = 1 \\ & \langle \psi_{i_L}^{(n)} | \psi_{i_L}^{(n)} \rangle = \frac{1}{\sqrt{\Gamma_L}} \sum_i \frac{2\pi}{(\epsilon_i - E_i)^2 + \frac{1}{4}\Gamma_i^2} \\ & \sum_i \frac{1}{\Gamma_i} = 1 \\ & \langle \psi_{i_L}^{(n)} | \psi_{i_L}^{(n)} \rangle = \frac{\sqrt{\Gamma_L}}{\Gamma_L - (\epsilon_{i_L} + \frac{1}{2}\Gamma_L)} \times \phi_i^{(n)} \\ & = \left\langle \psi_{i_L}^{(n)} \left| \frac{\partial}{\partial \epsilon} \right| \psi_{i_L}^{(n)} \right\rangle + \left\langle \psi_{i_L}^{(n)} \left| \frac{\partial}{\partial \Gamma} \right| \psi_{i_L}^{(n)} \right\rangle = \\ & = \left\langle \psi_{i_L}^{(n)} \left| \frac{\partial}{\partial \epsilon} \right| \psi_{i_L}^{(n)} \right\rangle + \left\langle \psi_{i_L}^{(n)} \left| \frac{\partial}{\partial \Gamma} \right| \psi_{i_L}^{(n)} \right\rangle = \end{aligned}$$

Phénoménologie et CKMFitter





Les observables clefs du secteur quark:

► Future prospects

“Minimalistic” list of the key (low-energy) quark flavor-violating observables:

LPNHE est impliquée	
• γ from tree ($B \rightarrow D\bar{K}$, ...)	S-LHCb [et S-Bfactory]
• $|V_{ub}|$ from <u>exclusive</u> semi-leptonic B decays	S-Bfactory [SuperKEKB & SuperB]
• $B_{s,d} \rightarrow l^+l^-$	S-LHCb + ATLAS & CMS
• CPV in B_s mix. [ϕ_s]	S-LHCb + ATLAS & CMS
• $B \rightarrow K^{(*)} l^+l^-, \nu\nu$	S-LHCb / S-Bfactory
• $B \rightarrow \tau\nu, \mu\nu (+D)$	S-Bfactory
• $K \rightarrow \pi\nu\nu$	Kaon beams [NA62, KOTO, ORKA]
• CPV in charm	S-LHCb / S-Bfactory

... mais aussi

- Il y a d'autres mesures qui ne sont pas sensibles à la NP, mais qui valent la peine d'être faites en route.
- Articles de BABAR cités plus que 500 fois selon INSPIRES:
 - *The BaBar detector* (1743)
 - *Observation of CP violation in the B^0 meson system* (666)
 - *Observation of a narrow meson decaying to $D_s^+ \pi^0$ at a mass of 2.32 GeV/c²* (660)
 - *Measurement of the CP-violating asymmetry amplitude sin2β* (526)
 - *Observation of a broad structure in the $\pi^+\pi^-J/\Psi$ mass spectrum around 4.26 GeV/c²* (511)
- Deux mesures de la CPV
- Deux analyses de la spectroscopie

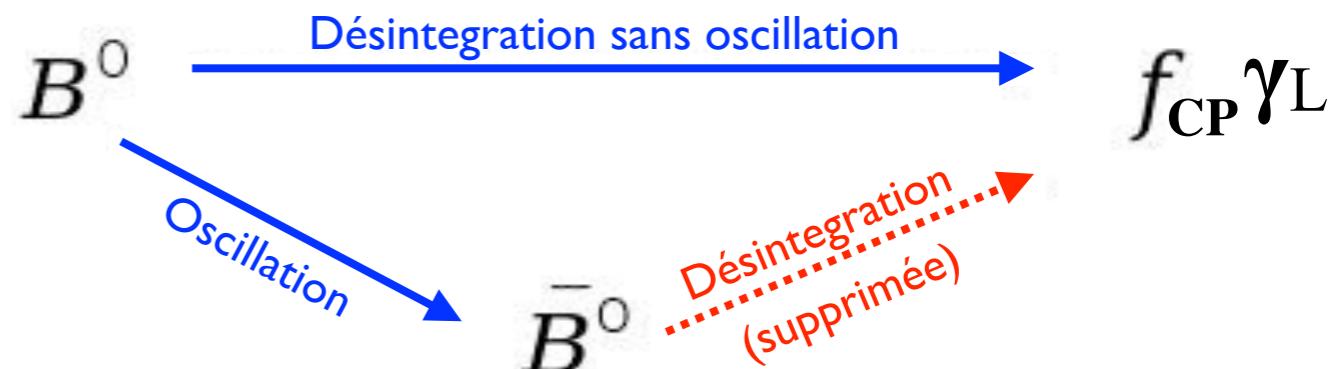
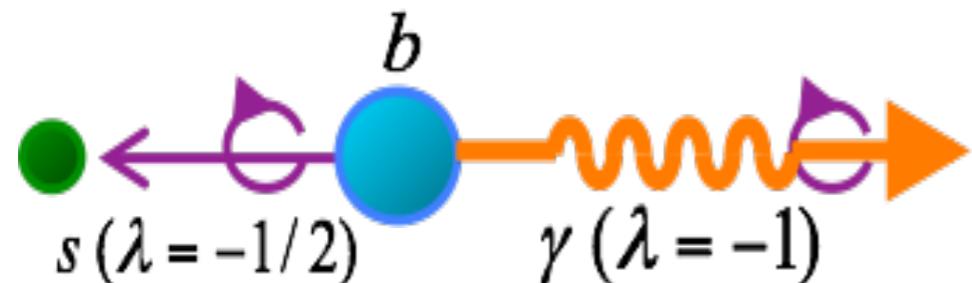


BABAR

- LPNHE travaillait sur BABAR depuis sa conception.
- Activités de 2012-2014 :
 - $B^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^- \gamma$: thèse de Simon, présenté par Eli à Moriond EW
 - $B^+ \rightarrow K_S \pi^+ \pi^0$: analyse à Stanford suite à la thèse de Jennifer Prendki
 - $B^+ \rightarrow K^+ K^+ K^-$: analyse comparative BaBar-LHCb (CONF-13/001)
 - Contributions à l'écriture du [papier NIM](#) [NIMA 729, 615-701 \(2013\)](#)
["The BaBar detector: Upgrades, operation and performance"](#)
 - ... et au [livre "Physics of the B Factories"](#)
 - Participation à la direction de l'expérience :
 - Eli : convenor du WG "Charmless B decays"
 - Gerard : membre du pub board; chair du speakers' bureau
 - Jacques : direction nationale; membre de l'exec board; membre du speakers' bureau
 - D'autres travaux de service
 - p. ex. production MC au CCIN2P3 (jusqu'à décembre 2012)

BABAR: $B^0 \rightarrow K_s \pi^+ \pi^- \gamma$ méthode

- Idée: $b \rightarrow s\gamma$ est fortement polarisé dans le SM:

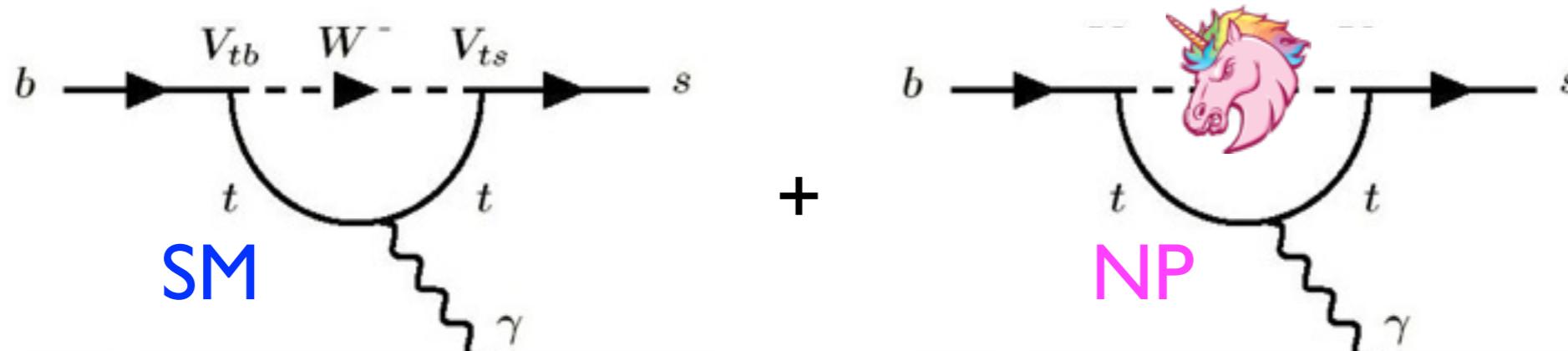


$$\begin{aligned}\mathcal{A}_{CP}(\Delta t) &= \frac{\Gamma(\bar{B}^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}\gamma) - \Gamma(B^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}\gamma)}{\Gamma(\bar{B}^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}\gamma) + \Gamma(B^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}\gamma)} \\ &= \mathcal{S}_{f_{CP}} \sin(\Delta m_d \Delta t) - \mathcal{C}_{f_{CP}} \cos(\Delta m_d \Delta t)\end{aligned}$$

Observable

$$\mathcal{S}_{f_{CP}}^{\text{SM}} \propto \frac{m_s}{m_b} \simeq 0.02$$

- Si NP, la suppression peut être enlevé



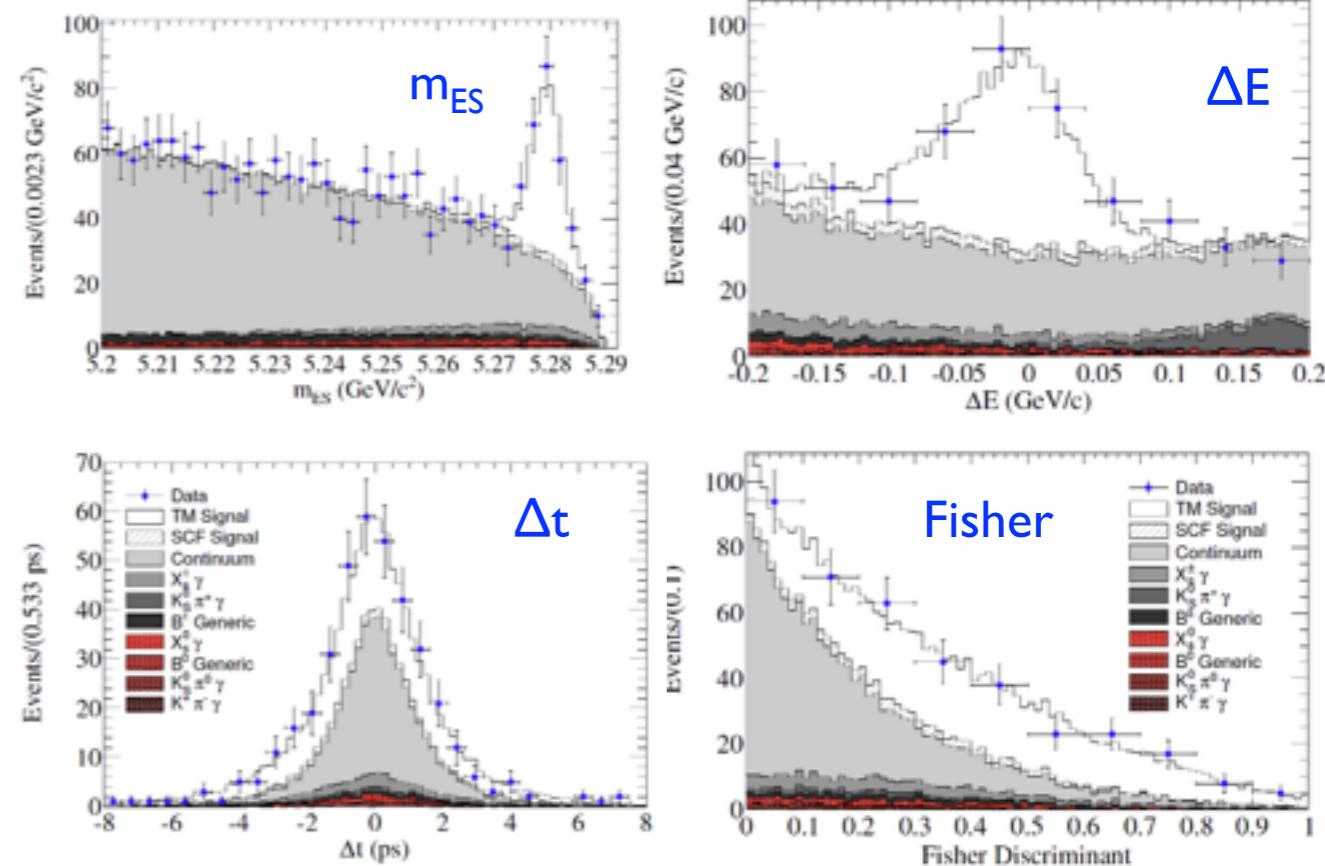
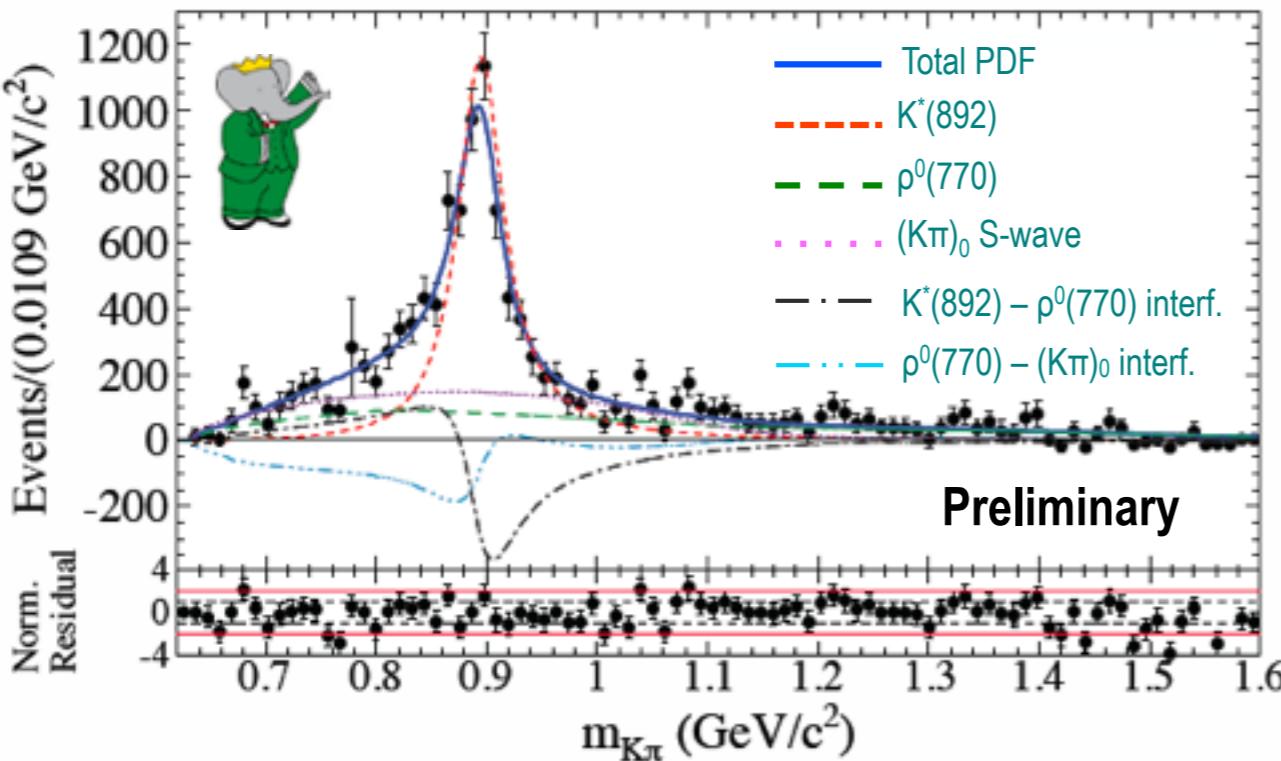
- Bruit de fond irréductible :** contributions non-CP-eigenstate de $K\pi\pi$. On fait une analyse d'amplitudes pour l'évaluer...

BABAR: $B^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^- \gamma$ résultats

- Analyse des amplitudes => facteur de dilution

$$\mathcal{D}_{K_S^0 \rho \gamma} = 0.549^{+0.096}_{-0.094}$$

- ... et aussi plusieurs BRs



- Analyse en fonction du temps => observable S:

$$S_{K_S^0 \rho \gamma} = \frac{\mathcal{S}_{K_S^0 \pi^+ \pi^- \gamma}}{\mathcal{D}_{K_S^0 \rho \gamma}} = 0.249 \pm 0.455^{+0.076}_{-0.060}$$

$$S_{K_S^0 \rho^0 \gamma}^{\text{SM}} \sim 0.02$$

- Trois volets d'activité: physique, travaux de service, upgrade
- Activités depuis biennale 2011 -- analyses de physique:
 - Désintégrations de mésons B sans particule charmée
 - $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$
 - Charme
- Activités dep. bien. 2011 -- travaux de service et responsabilités:
 - MC: implementation et tuning de PYTHIA 8 (article en préparation)
 - MC liaison et "Stripping" liaisons pour des WGs
 - Shifts ($\sim 100\%$ du quota)
 - WG convenor du group Charm (jusqu'à fin mars 2014)

2012	1 note de conf	1 présentation
2013	5 articles + 1 note de conf	6 présentations
2014		2 présentations

LHCb: Analyses

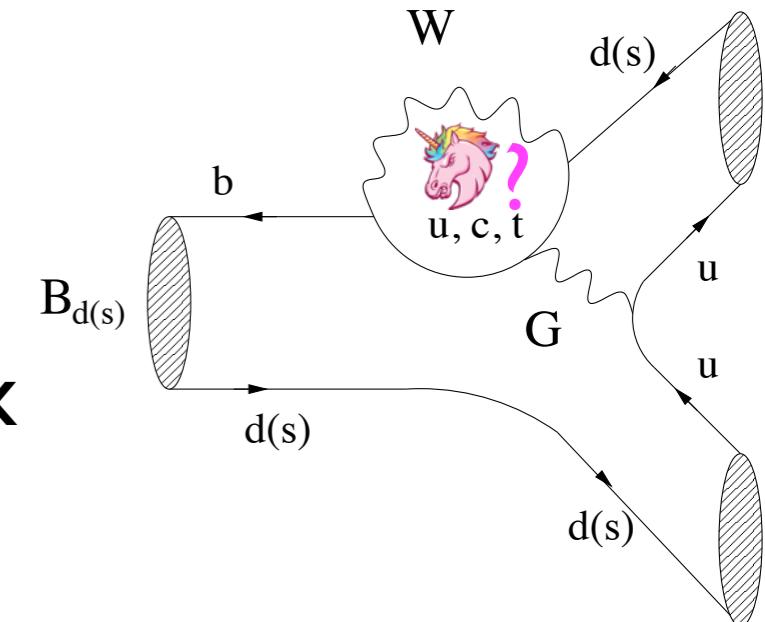
Rappel: données pp:

- 2010 : 0.035 /fb
- 2011 : 1/fb
- 2012 : +2/fb
- 2013 : [LSI]
- 2014 : [LSI]

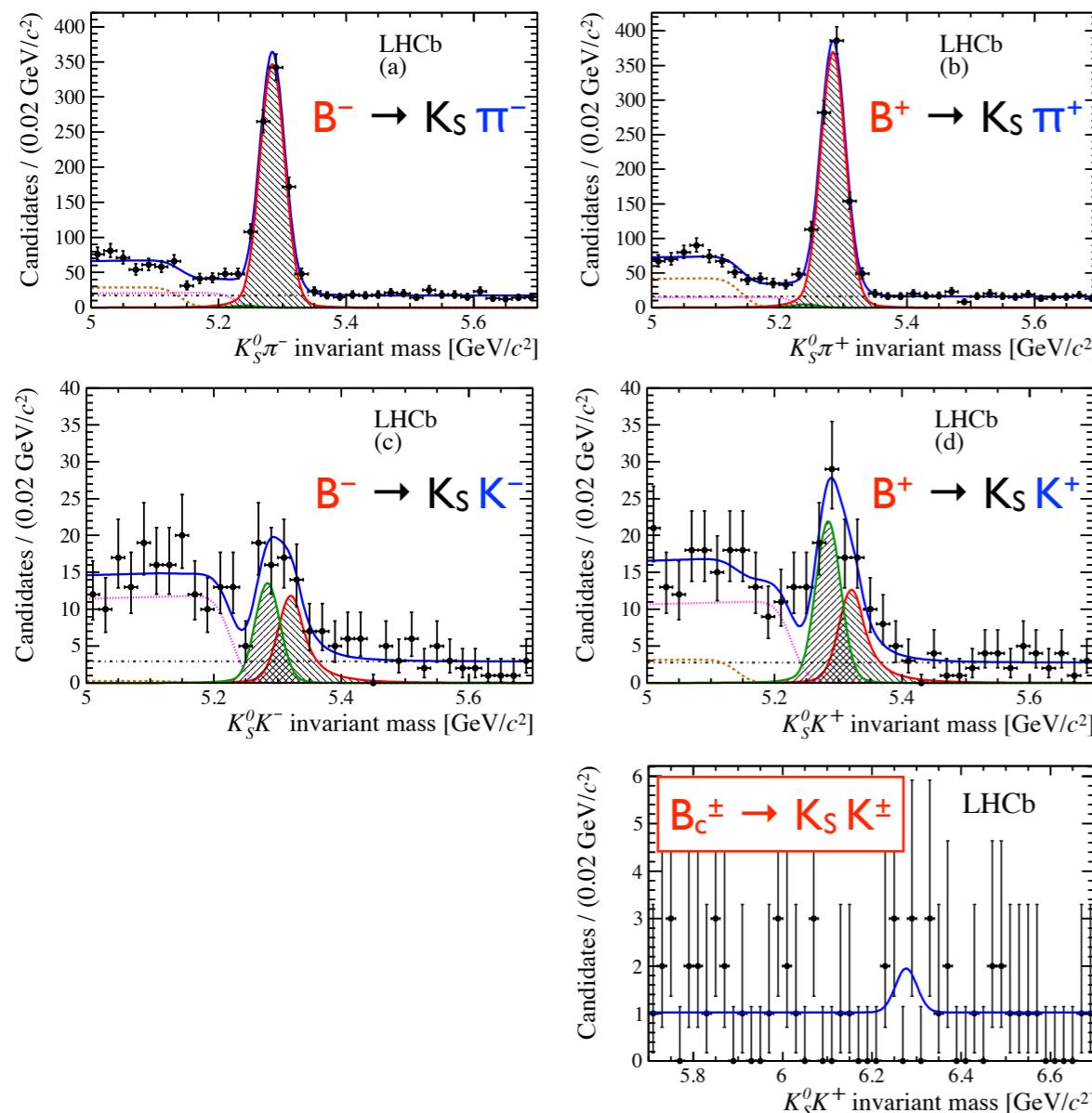
Commençons par les désintégrations de B sans charme...

LHCb: $B_{(c)}^+ \rightarrow K_S h^+$

- $B_{(s)}^0 \rightarrow h h'$ sont sensible à $\beta, \gamma...$
- ... mais avec des **incertitudes hadroniques**
- On peut les supprimer en utilisant des canaux reliés par **SU(3)** -- comme $B^+ \rightarrow K_S h^+$



Fleischer, PLB 459 (1999) 306



Mesures des BR et des asymmetries CP:

$$\frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K_S^0 K^+)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+)} = 0.064 \pm 0.009 \text{ (stat.)} \pm 0.004 \text{ (syst.)},$$

$$\mathcal{A}^{CP}(B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+) = -0.022 \pm 0.025 \text{ (stat.)} \pm 0.010 \text{ (syst.)},$$

$$\mathcal{A}^{CP}(B^+ \rightarrow K_S^0 K^+) = -0.21 \pm 0.14 \text{ (stat.)} \pm 0.01 \text{ (syst.)}.$$

Limite sur B_c (avec suppositions):

$$\mathcal{B}(B_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^+) < 4.6 \times 10^{-4} \text{ at 90\% confidence level}$$

PLB 726 (2013) 646

LHCb: $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S h^+ h'^-$

- Objectif ultime: mesure des paramètres CKM: β , β_s , γ
- Après l'upgrade, nous attendons incertitudes \sim qq degrés
- Nous commençons par des mesures de BRs avec 1 fb^{-1}

Désintégration	Observé avant LHCb?	Favorisée ou supprimée?
B^0	✓	F
B^0	✓	S
B^0	✓	F
B_s	X	S
B_s	X	F
B_s	X	S

- Article publié: plusieurs mesures, y compris les **premières observations** de $B_s \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ et $B_s \rightarrow K_S K^\pm \pi^\mp \dots$

Collaboration avec les groupes
de Clermont-Ferrand et Warwick

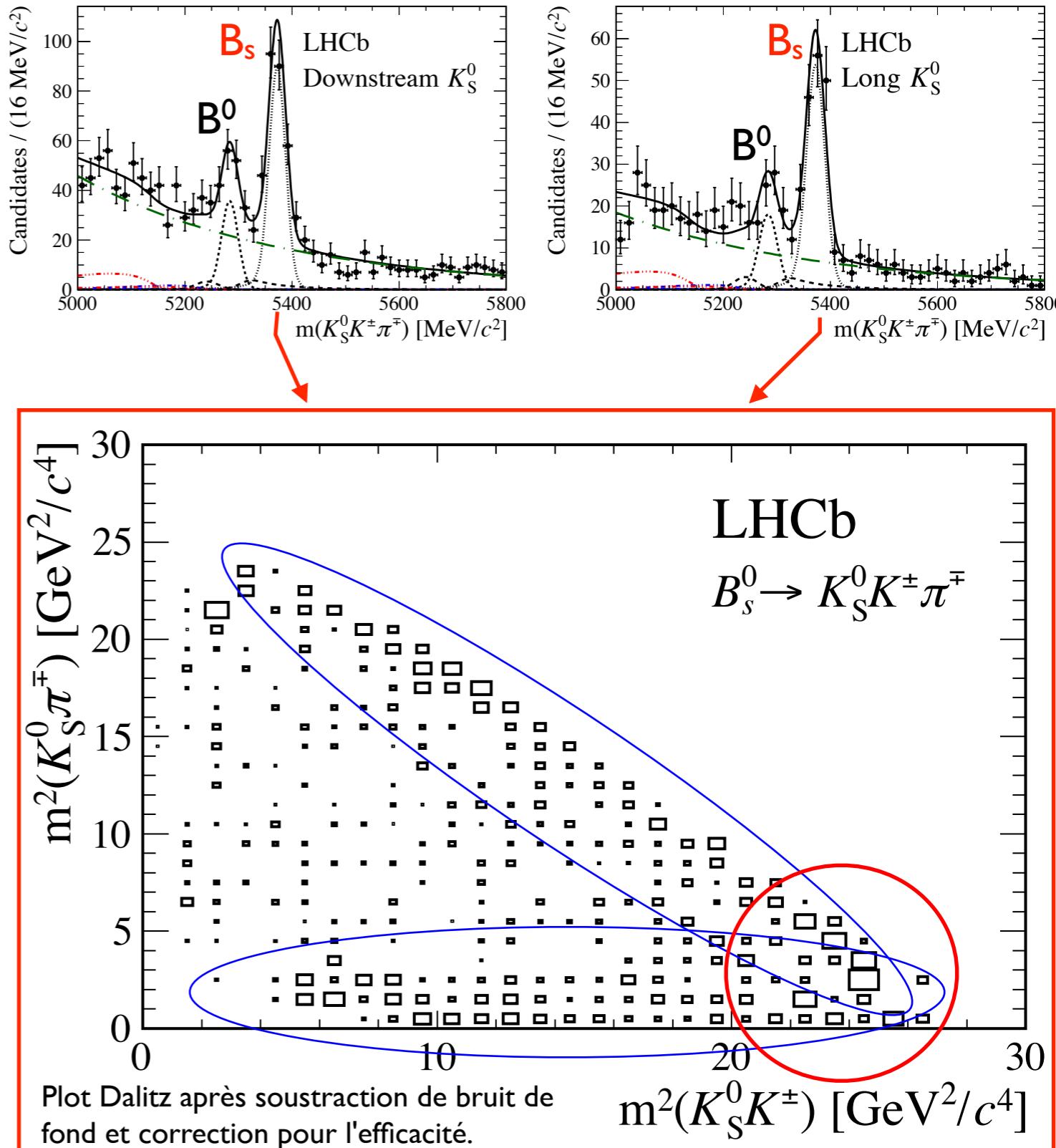
LHCb: $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S h^+ h^-$

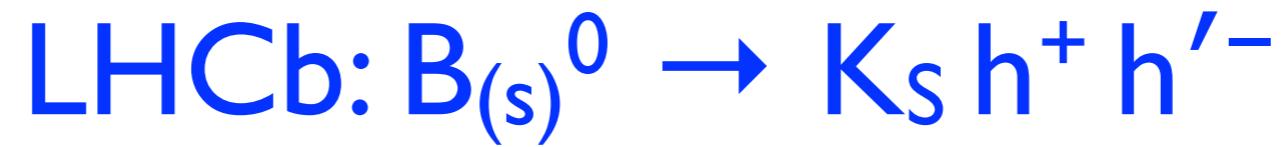
Parmi les résultats:

$$\begin{aligned}
\frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} &= 0.128 \pm 0.017 \text{ (stat.)} \pm 0.009 \text{ (syst.)}, \\
\frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} &= 0.385 \pm 0.031 \text{ (stat.)} \pm 0.023 \text{ (syst.)}, \\
\frac{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} &= 0.29 \pm 0.06 \text{ (stat.)} \pm 0.03 \text{ (syst.)} \pm 0.02 (f_s/f_d), \\
\frac{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} &= 1.48 \pm 0.12 \text{ (stat.)} \pm 0.08 \text{ (syst.)} \pm 0.12 (f_s/f_d), \\
\frac{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} &\in [0.004; 0.068] \text{ at } 90\% \text{ CL}.
\end{aligned}$$

Structure intéressante

- Contributions possibles d'états intermédiaires K^*
- Région d'interférence





En cours :

- Recherche du mode $B_s \rightarrow K_S K^+ K^-$ avec 3/fb
- Analyse en amplitude avec 3/fb intégrée en temps
 - Déterminera le contenu résonant des désintégrations
 - Fournira une étude de faisabilité d'analyses futures plus complexes (sensible à β_s via les termes hyperboliques)

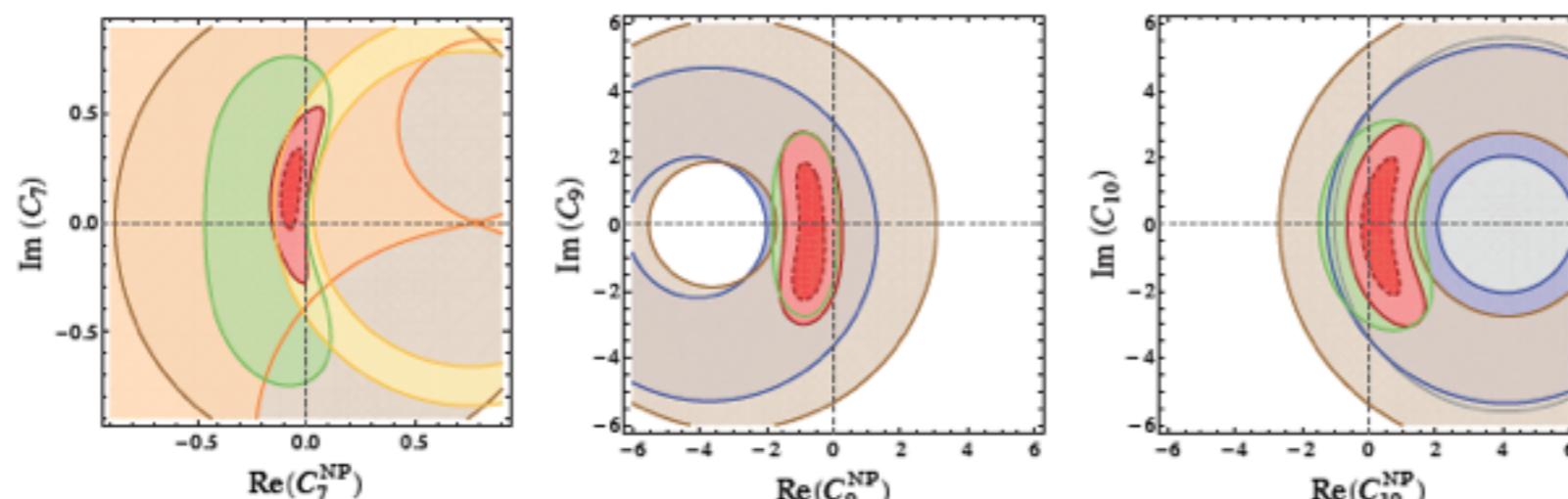
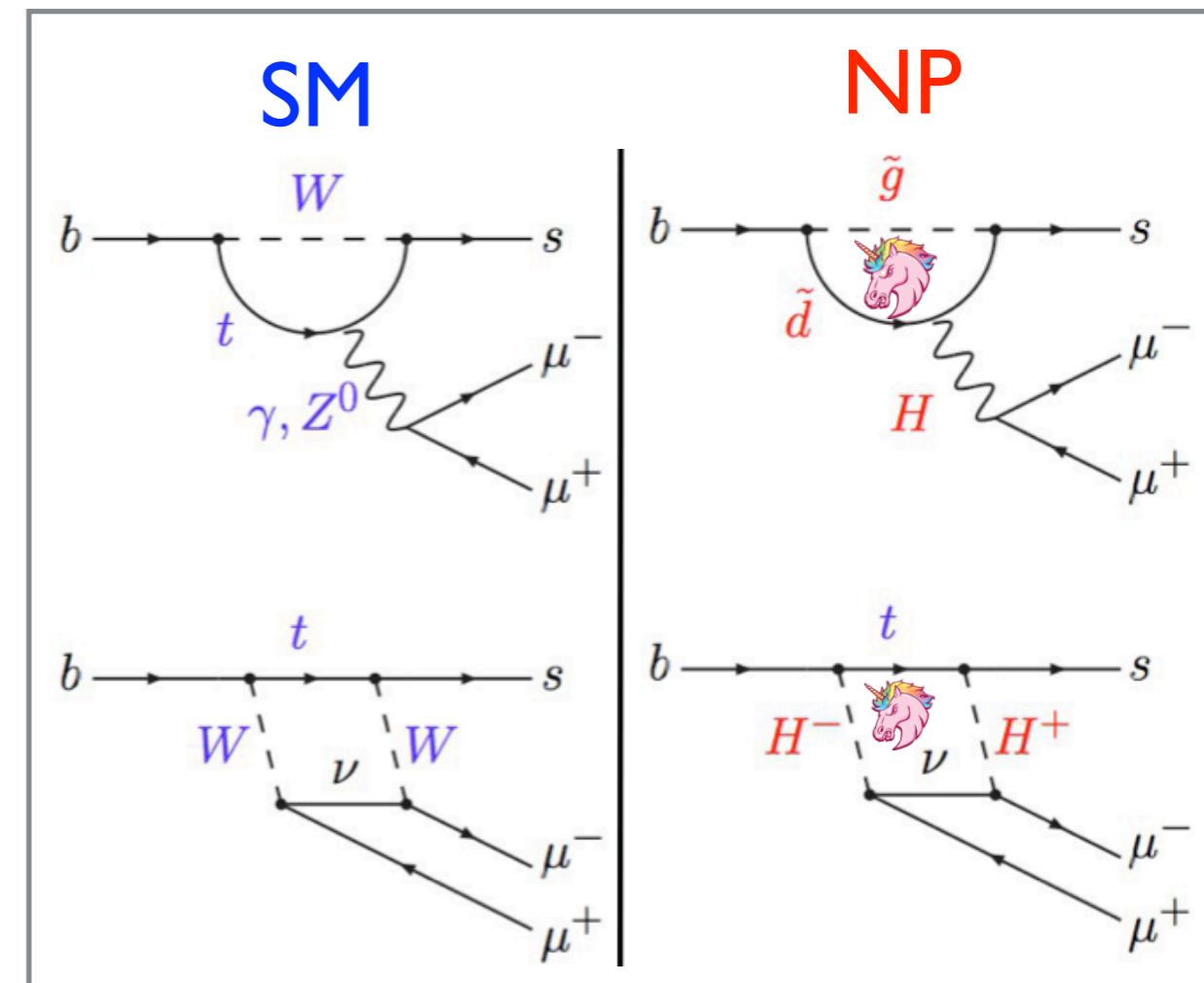
Nos contributions (entre autres) :

- Efficacité (développement d'un outil dédié de simulation)
- Fitter
- Etude détaillé de bruit de fond

Sujet de thèse de Louis Henry (en particulier le canal $K_S K^+ K^-$)

LHCb: $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

- Désintégration FCNC
- Puissant test du modèle standard: nouvelle physique dans les boucles?
- Faible BR: $\sim 10^{-6}$
- Même quand on ne trouve pas de nouvelle physique, les contraintes de la mesure sont très forts et guident les théoriciens dans la construction de modèles.



$B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$, $\text{BR}(B \rightarrow X_s \gamma)$ (yellow), $A_{\text{CP}}(b \rightarrow s \gamma)$, $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$,
 $B \rightarrow K \mu^+ \mu^-$, $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, and combination at 1 and 2 σ .

arXiv[1206.0273]
W. Altmannshofer
and D. Straub

Analyse angulaire de $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

La cinématique de la désintégration est décrite complètement en fonction de $q^2 = m^2(\mu\mu)$ et de trois angles: θ_l, θ_K, ϕ

$$\Gamma = f(q^2, \theta_l, \theta_K, \phi; [\text{set d'observables}])$$

... dont certaines ont une signification physique claire:

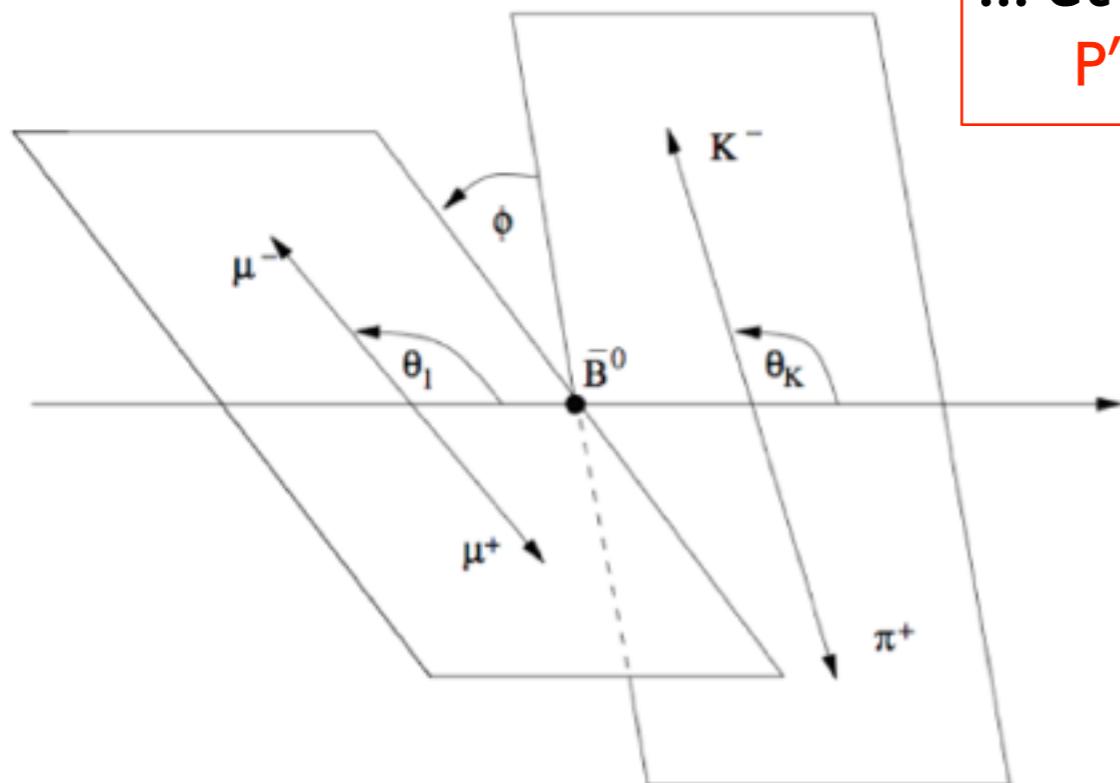
A_{FB} = asymétrie avant-arrière du di-muon

F_L = polarisation longitudinale du K^*

S_3 et A_9 = liés à la polarisation du photon

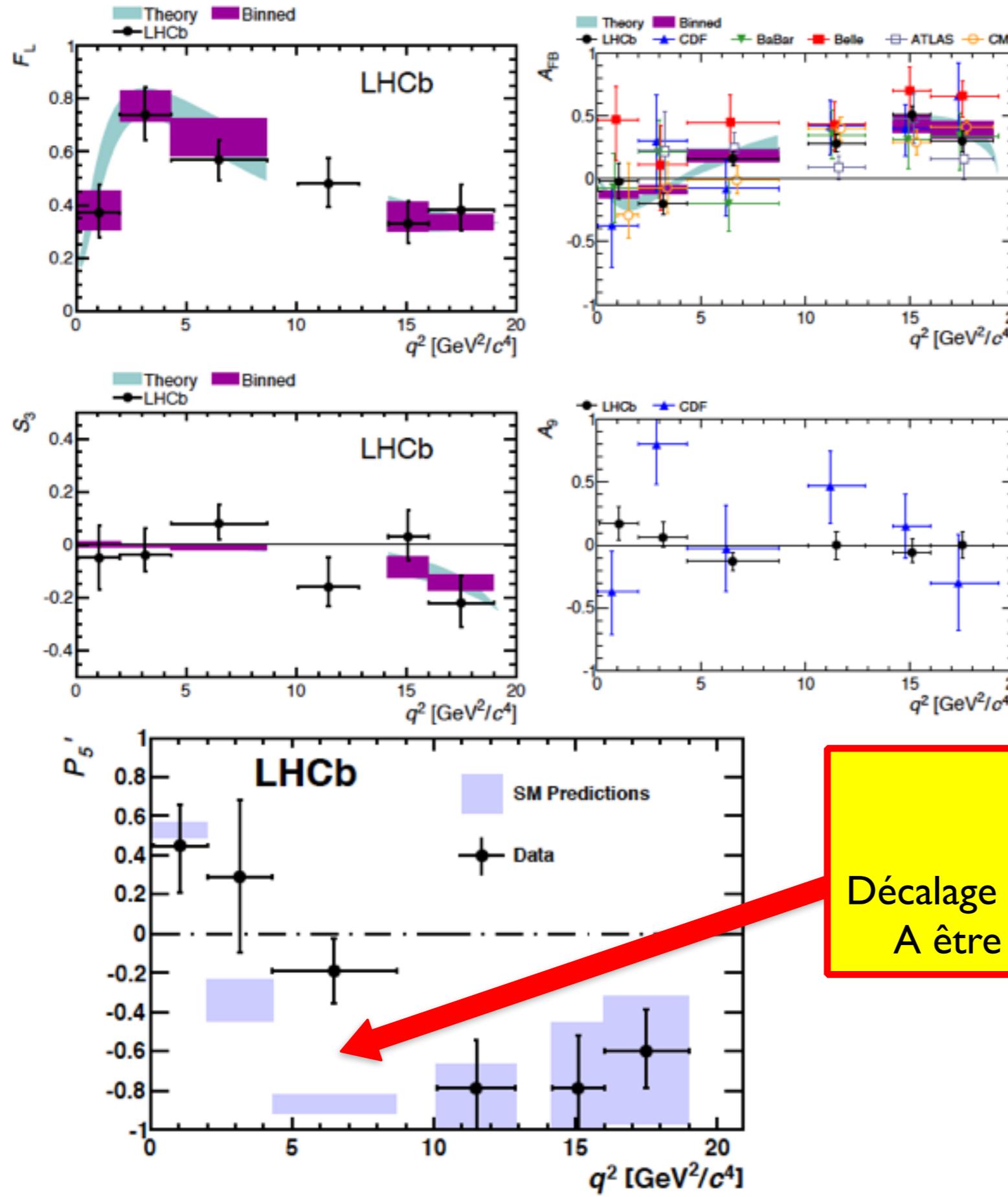
... et d'autres un peu moins claire:

P'_4, P'_5, P'_6, P'_8



$$\frac{1}{d\Gamma/dq^2} \frac{d^4(\Gamma)}{d \cos \theta_\ell \, d \cos \theta_K \, d\phi} = \frac{9}{16\pi} \left[F_L \cos^2 \theta_K + \frac{3}{4}(1 - F_L)(1 - \cos^2 \theta_K) \right. \\ \left. - F_L \cos^2 \theta_K (2 \cos \theta_\ell - 1) + \frac{1}{4}(1 - F_L)(1 - \cos^2 \theta_K)(2 \cos^2 \theta_\ell - 1) \right. \\ \left. + S_3(1 - \cos^2 \theta_K)(1 - \cos^2 \theta_\ell) \cos 2\phi + \frac{3}{4}A_{FB}(1 - \cos^2 \theta_K) \cos \theta_\ell \right. \\ \left. + A_9(1 - \cos^2 \theta_K)(1 - \cos^2 \theta_\ell) \sin 2\phi \right]$$

Analyse angulaire de $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$



Résultats publiés (1fb^{-1})

- LHCb a la meilleure précision
- LHCb mesure pour la première fois des nouvelles observables
- Les mesures sont dominées par l'incertitude statistique.

Chaud!

Décalage de 3.7σ dans cette fourchette.
A être confirmé plus de données...

Analyse angulaire de $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

Nos contributions à l'analyse publié (1fb^{-1}) :

- évaluation de l'onde $S(K\pi)$
- mise en place de la méthode pour correction des biais résultant de la masse non nulle du μ
- validation du fit par un cross-check indépendant des résultats dans le premier bin en q^2
- revue de l'analyse des observables P'

... et à l'analyse des 3 fb^{-1} en cours (thèse de Samuel Coquereau):

- production des ntuples pour le groupe de travail
- optimisation de la sélection des événements
- amélioration des descriptions du signal et du bruit

Résultats attendus en automne!

LHCb: Charme

Objectifs des analyses de la spectroscopie:

- Confronter les modèles de QCD
- Mesures/études des propriétés des particules

Analyses publiées:

- Etude des mesons excités $D_J \rightarrow D^+ \pi^-, D^0 \pi^+, D^{*+} \pi^-$
- Recherche du baryon Ξ_{cc}^+ (0.65/fb)

Analyses en cours:

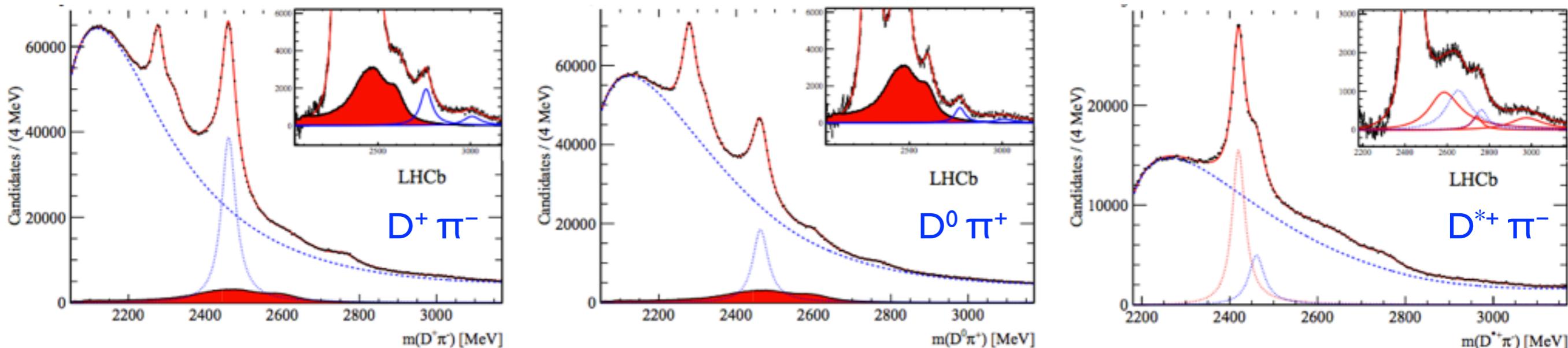
- Etude/recherche de $\Lambda_c/\Sigma_c \rightarrow pD$ et $\bar{p}D$ (plusieurs modes)
- Recherche pour le baryon Ξ_{cc}^+ (0.65/fb)
- .. et d'ailleurs, 2 analyses de la mélange et de CPV (ΔA_{CP})

LHCb: Spectroscopie des mesons charmés

Etude des mesons excités $D_J \rightarrow D^+ \pi^-, D^0 \pi^+, D^{*+} \pi^-$

- Confirmation des résonances observées par BABAR, Belle
- ... et des indications des résonances de haute masse
- Inférences ou contraintes des nombres quantiques (J^P)

[JHEP09\(2013\)145](#)

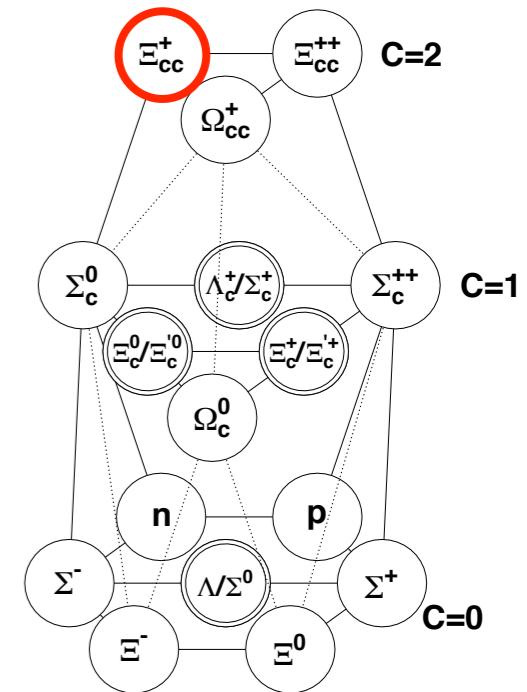


Analyse des baryons excités en cours, utilisant une méthode similaire

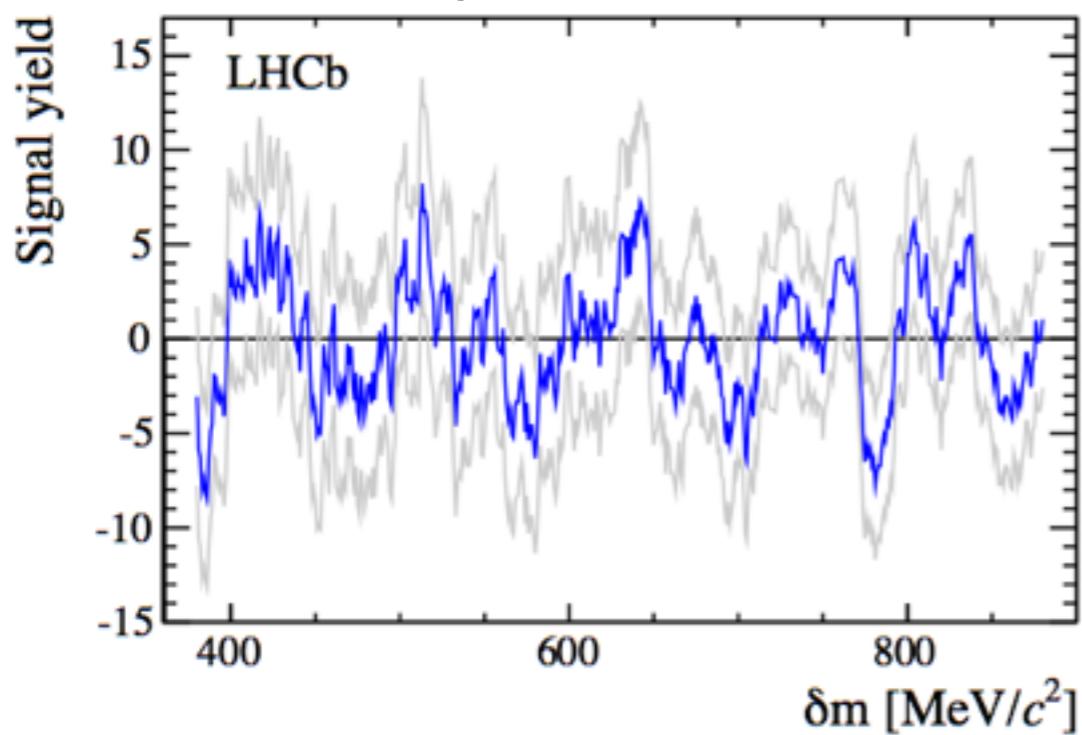
- $\Lambda_c/\Sigma_c \rightarrow pD$ et $\bar{p}D$ (plusieurs modes)

LHCb: Spectroscopie des baryons charmés

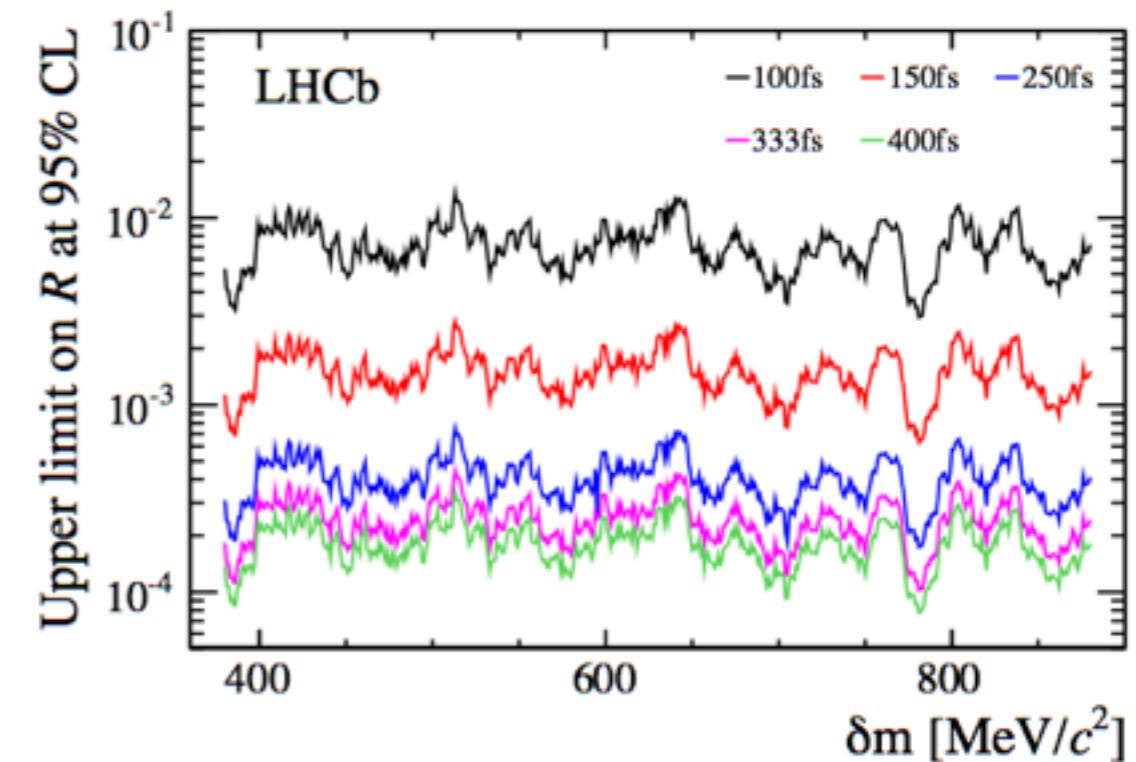
- Ξ_{cc}^+ (ccd) : attendue dans le modèle des quarks...
- ... mais n'a été observée qu'à l'expérience SELEX...
- ... et avec des propriétés surprenantes.
- Recherche au LHCb avec $0.65/\text{fb}$ publié.
- Recherche avec $3/\text{fb}$ (et plus de canaux...) en cours



Spectre de masse après soustraction de bruit de fond



Limite en fonction de masse



$$R \equiv \frac{\sigma(\Xi_{cc}^+) \mathcal{B}(\Xi_{cc}^+ \rightarrow \Lambda_c^+ K^- \pi^+)}{\sigma(\Lambda_c^+)}$$

Phénoménologie

Dalitz plot studies of $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$ decays in QCD factorization approach

J.-P. Dedonder,¹ R. Kamiński,² L. Leśniak², and B. Loiseau¹

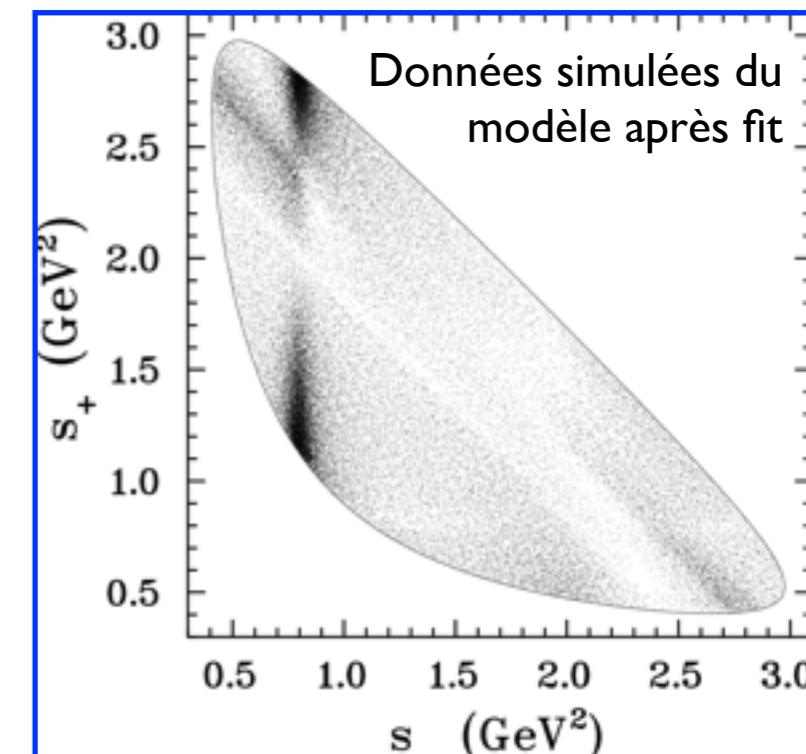
But: construire un modèle d'amplitudes

- avec les données haute statistique de Belle et BABAR
- dans le cadre de QCD factorisation quasi-2-corps

$$\mathcal{M} = \langle K_S^0 \pi^- \pi^+ | H_{\text{eff}}^{\text{weak}} | D^0 \rangle$$

= **Σ 28 amplitudes T_0 , canaux de la forme:**

$$D^0 \rightarrow [K_S^0 \pi^\pm]_L \pi^\mp \text{ ou } D^0 \rightarrow K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_L, \quad L = 0, 1, 2$$



Par exemple, pour un scalar \bar{K}^{*-} :

$$T_0 = \langle [K_S^0 \pi^-]_0 \pi^+ | H_{\text{eff}}^{\text{weak}} | D^0 \rangle \xrightarrow{\text{Factorisation}} \langle [\bar{K}^0 \pi^-]_0 | \bar{s} \gamma(1 - \gamma_5) c | D^0 \rangle \cdot \langle \pi^+ | (\bar{u} \gamma(1 - \gamma_5) d | 0 \rangle$$

Facteur de forme de transition Constante de désintégration

Phénoménologie

Après recombinaison des amplitudes

Voie	$[K_S^0 \pi^-]_0 \pi^+$	$K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_0$	$[K_S^0 \pi^-]_1 \pi^+$	$K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_1$	$K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_\omega$
Résonances dominantes	$K_0^*(800)^-$, $K_0^*(1430)^-$	$f_0(500)$, $f_0(980)$, $f_0(1400)$	$K^*(892)^-$	$\rho(770)$	$\omega(782)$
Voie	$[K_S^0 \pi^-]_2 \pi^+$	$K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_2$	$[K_S^0 \pi^+]_0 \pi^-$	$[K_S^0 \pi^+]_1 \pi^-$	$[K_S^0 \pi^+]_2 \pi^-$
Résonances	$K_2^*(1430)^-$	$f_2(1270)$	$K_0^*(800)^+$, $K_0^*(1430)^+$	$K^*(892)^+$	$K_2^*(1430)^+$

Modelisation:

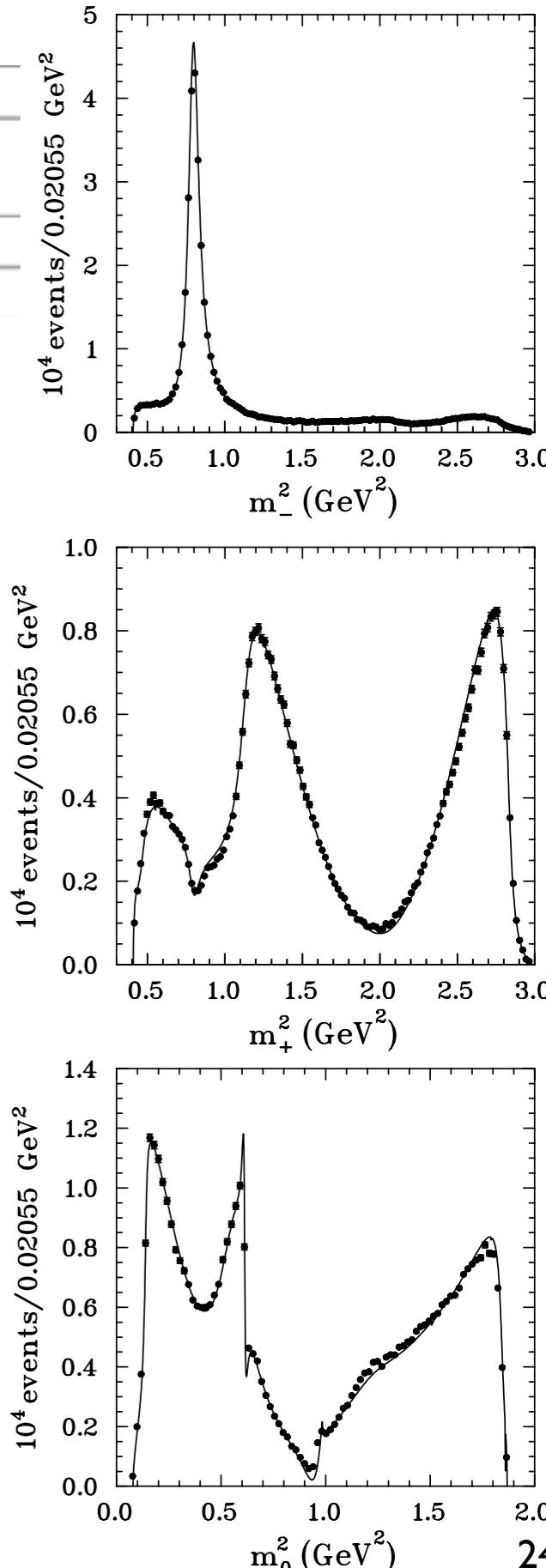
- $[K\pi]_{0,I}$ & $[\pi\pi]_{0,I}$: facteurs de forme scalaires et vecteurs.
Contraintes: données, unitarité, analyticité
- $[K\pi]_2$ & $[\pi\pi]_2$: Breit-Wigners relativistes

33 paramètres libres -- fit aux données Belle.

- Données Belle: $\chi^2/\text{NDF} = 1.48$ (NDF=6378)
- Données BaBar: $\chi^2/\text{NDF} = 0.92$ (NDF=7343)

Bon reproduction des données

- Contraintes sur les facteurs de forme $K\pi$, $\pi\pi$ scalaires et vecteurs.
- $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ amplitude utile pour des mesures de la mélange D^0/\bar{D}^0 et l'angle CKM γ



CKMFitter

- Impliqué aujourd'hui: José Ocariz
- Ancien(ne)s membres: Guillaume Thérin, Lydia Roos, Julie Malclès
 - ... et d'autre contributeurs, p. ex. stagiaires, thésards BaBar, ...
- 1 article signé depuis la dernière biennale
 - A noter : liste des auteurs/signataires non-collective

Predictions of selected flavour observables within the Standard Model

J. Charles (Marseille, CPT), O. Deschamps (Clermont-Ferrand U.), S. Descotes Genon (Orsay, LPT),
U., Berlin), S. Monteil, V. Niess (Clermont-Ferrand U.), J. Ocariz (Paris U., VI-VII), J. Orloff (Clermont-F

Published in **Phys.Rev. D84 (2011) 033005**

LPT-ORSAY-11-53

DOI: [10.1103/PhysRevD.84.033005](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.84.033005)

e-Print: [arXiv:1106.4041 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/1106.4041) | [PDF](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)

[CERN Document Server](#) ; [ADS Abstract Service](#)

[Detailed record](#) | [Cited by 105 records](#) | 100+

CKMFitter

- Currently writing a **third large-scope paper**
 - Now mostly focusing on tests of BSM physics models
 - ETA: 2014; rhythm now in good shape
- Contributions from LPNHE :
 - Rare Kaon decays : $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$, $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$
 - >90% finished (a minor update pending)
 - “History plots” (also a request for an IN2P3 book)
 - done
 - An updated version of the $B \rightarrow hhh$ phenomenology
 - ongoing
 - a few new ideas and possible extensions
- Will be Jose's final large contribution to CKMFitter !

EPJ manuscript No.
(will be inserted by the editor)

The transition from B-factories to hadronic machines: constraining the CKM matrix and New Physics

Jérôme Charles^{1,2}, Olivier Deschamps³, Sébastien Descotes-Genon⁴, Ryosuke Itoh⁵, Heiko Lacker⁶, Stéphane Monteil⁷, Valentin Nieuw⁷, José Ocariz⁷, Jean Orloff⁸, Stéphane T'Jampens⁸, Vincent Tisserand⁸, and Karim Trabelsi⁹ [The CKMFitter group]

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, CPT, UMR 7332, 13288 Marseille, France

² Université de Toulon, CNRS, CPT, UMR 7332, 83957 La Garde, France

³ Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont-Ferrand¹⁰, Université Blaise Pascal, 24 Avenue des Landais, F-63177 Aubière Cedex

⁴ Laboratoire de Physique Théorique⁸, Bâtiment 210, Faculté des Sciences, F-91405 Orsay Cedex, France

⁵ KEK (High Energy Accelerator Research Organization), Institute of Particle and Nuclear Studies, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801, Japan

⁶ Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Physik, Newtonstr. 15, D-1248 Berlin, Germany

⁷ Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Energies¹¹, 4 place Jussieuse, F-75252 Paris Cedex 05, France

⁸ Laboratoire d'Annecy-Le-Vieux de Physique des Particules¹², Domaine de Belvèze, BP 110, F-74941 Annecy-le-Vieux Cedex, France

Received: date / Revised version: date

Abstract. Insert your abstract here

PACS. PACS-key describing text of that key PACS-key describing text of that key

Contents

1	Introduction	2	4.5.2	Neutron lifetime (U)	18
2	The Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Matrix	3	4.5.3	Semileptonic pion decay	19
2.1	Quark mixing in the Standard Model	3	4.5.4	Semileptonic kaon decays (I)	19
2.2	Parameterisations of the CKM matrix	3	4.5.5	Leptonic π and K decays (I)	19
2.3	Unitarity Triangles	4	4.5.6	Hypers and hadronic τ decays (U)	20
2.4	CP violation and the Jarlskog invariant	6	4.6	$|V_{cb}|$ and $|V_{ub}|$	20
3	Frequentist statistics	7	4.6.1	Neutrino-nucleus scattering and W decay (I)	20
3.1	Data fitting and data reduction	7	4.6.2	Semileptonic and leptonic decays of charmed mesons (P)	21
3.2	Model fitting and p-values	7	4.7	$|V_{cb}|$ from semileptonic decays	22
3.3	Likelihood-ratio test statistic	9	4.7.1	Inclusive method	22
3.4	Theoretical errors	9	4.7.2	Exclusive method	22
3.5	Implementation	10	4.7.3	Average (I)	22
4	Inputs to the global fit of the CKM matrix	10	4.8	$|V_{cb}|$ from semileptonic decays	22
4.1	Overview of the relevant observables	10	4.8.1	Exclusive method	22
4.2	Inputs for the Standard Model fit	11	4.8.2	Inclusive method	23
4.3	Quark masses and coupling constants	12	4.8.3	Average (I)	23
4.4	Hadronic inputs from lattice QCD	14	4.9	$B \rightarrow \pi\pi$ (I)	23
4.5	$|V_{cb}|$ and $|V_{ub}|$	16	4.10	$|V_{cb}|$ (P)	24
4.5.1	Super-allowed nuclear β -decays (I)	18	4.11	α (I)	24
			4.12	β (I)	25
			4.13	γ (I)	26
			4.14	$\sin(2\beta + \gamma)$ (P)	28
			4.15	$B\bar{B}$ mixing observables	30
			4.15.1	d_{mix} and d_{mix}^* (I)	30
			4.15.2	Width difference and β_c (P)	30
			4.15.3	Flavour-specific asymmetries (P)	30
			4.16	$K\bar{K}$ mixing observables (I)	31

^{*} UMR 6533 du CNRS-IN2P3 associée à l'Université Blaise Pascal.

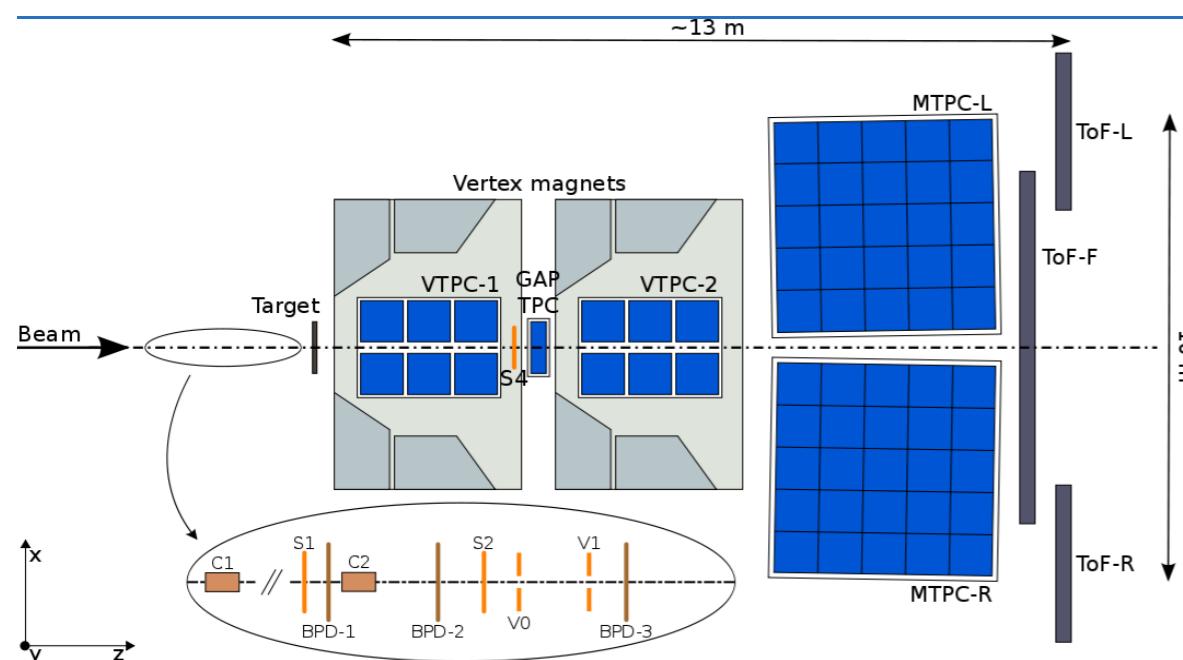
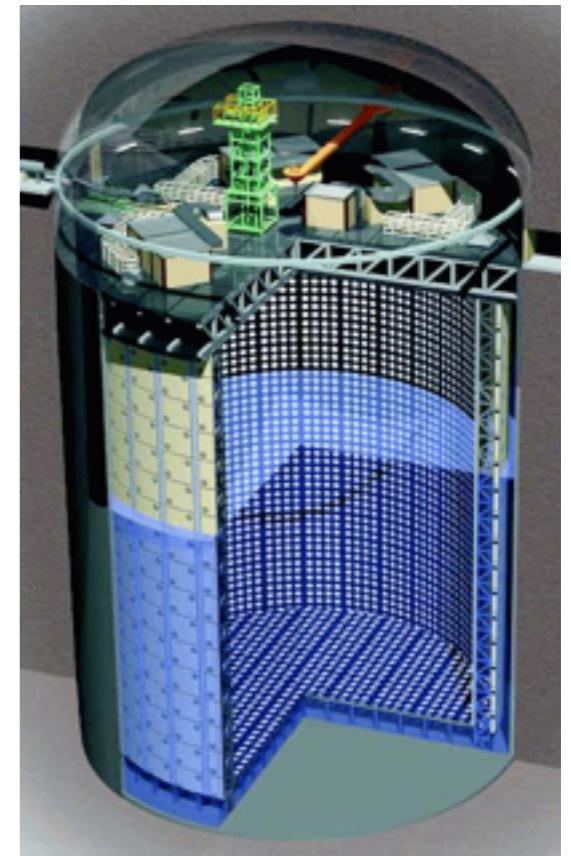
[†] UMR 8627 du CNRS associée à l'Université Paris-Sud 11.

[‡] UMR 7585 du CNRS-IN2P3 associée aux Universités Paris VI et VII.

[§] UMR 5814 du CNRS-IN2P3 associée à l'Université de Savoie.

2) Neutrinos

Super-Kamiokande (T2K)



NA61/SHINE (CERN)

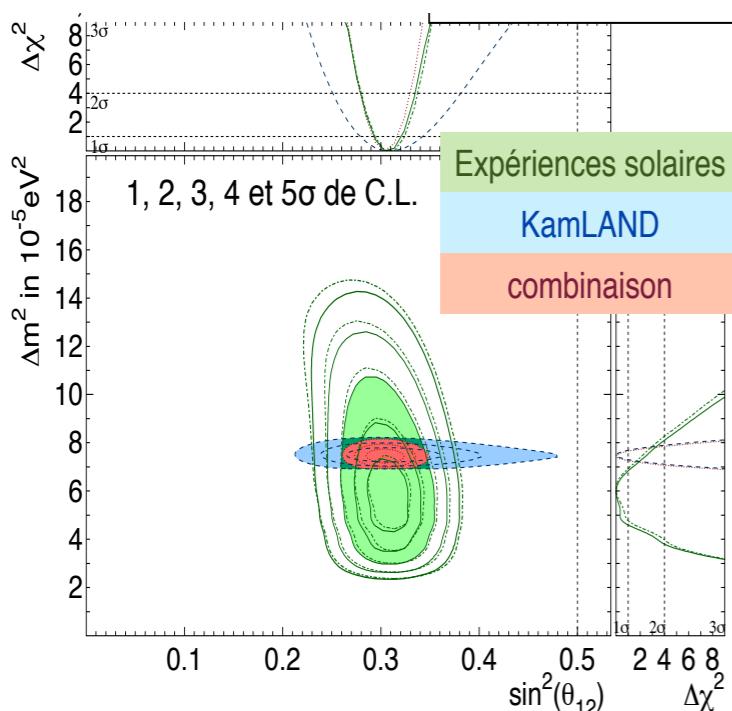
Neutrino oscillations and PMNS matrix

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{12} & \sin \theta_{12} & 0 \\ -\sin \theta_{12} & \cos \theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_{13} & 0 & \sin \theta_{13} e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_{13} e^{-i\delta} & 0 & \cos \theta_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_{23} & \sin \theta_{23} \\ 0 & -\sin \theta_{23} & \cos \theta_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

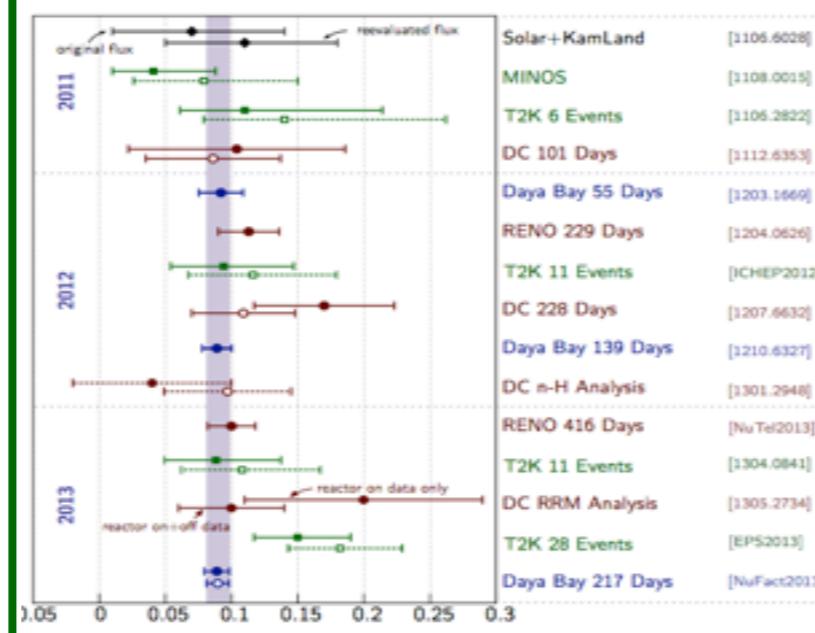
- 6 parameters: 3 mixing angles, 2 mass differences, 1 CP violation phase
- Today we know the 3 angles and the 2 mass differences
 - θ_{13} measured very recently by T2K and reactor experiments
 - CP violation phase δ_{CP} still unknown

Solar (SNO, KamLand)

$\rightarrow \theta_{12}, \Delta m_{12}$



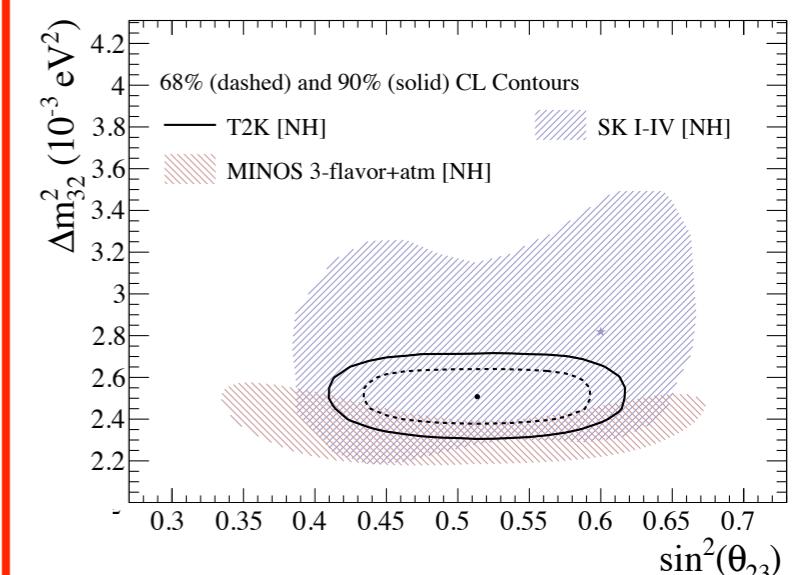
$\sin^2(2\theta_{13}) \sim 0.1$
 δ completely unknown



Atmospheric (K2K, SK, Minos)

$\rightarrow \theta_{23}, \Delta m_{23}$

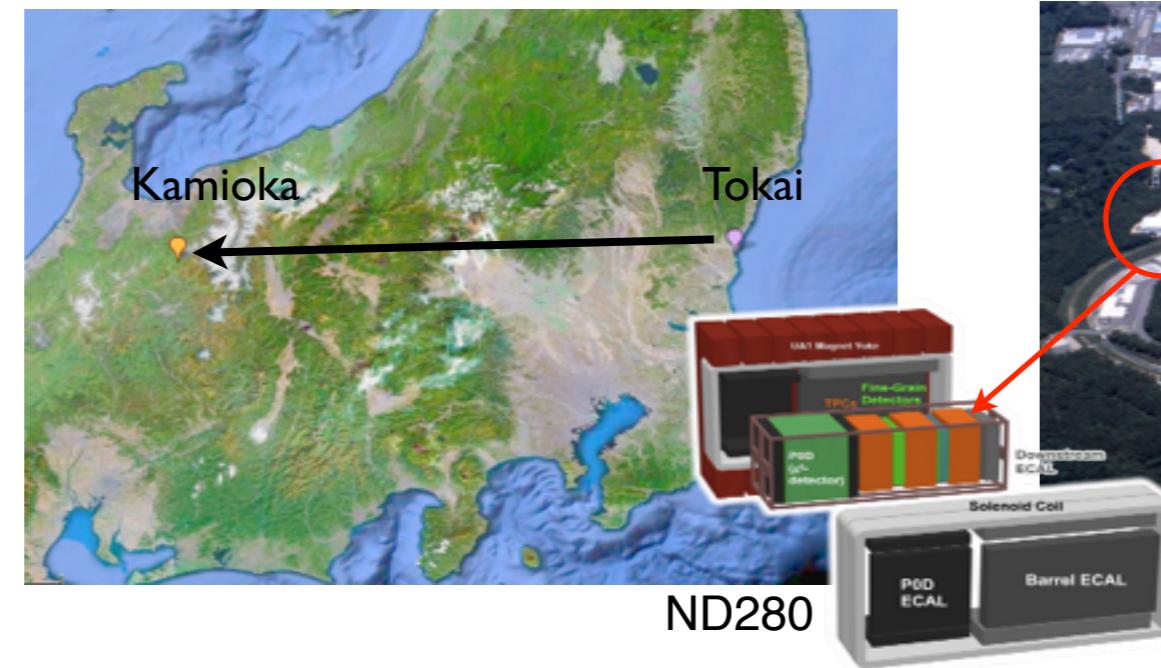
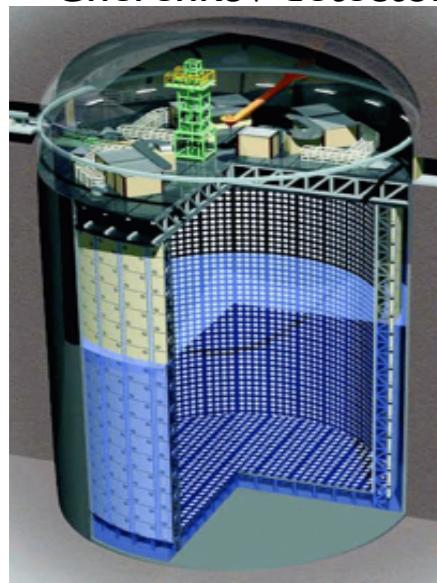
$\Delta m_{23}^2 = (2.4 \pm 0.10) \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$
 $\sin^2(\theta_{23})$ compatible with 0.5



T2K experiment

Super-Kamiokande: 22.5 kt water

Cherenkov detector



J-PARC accelerator:
Design power: 750 kW

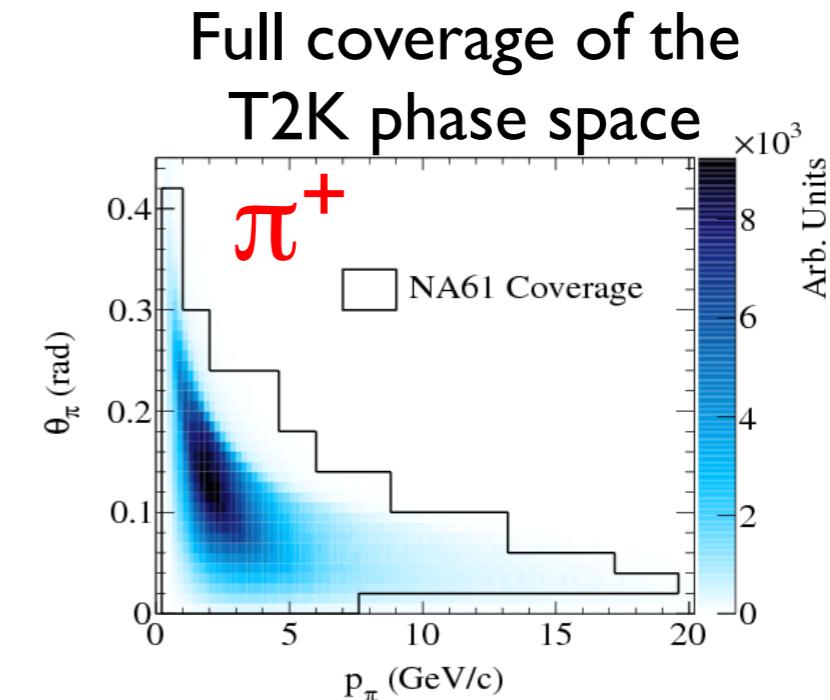
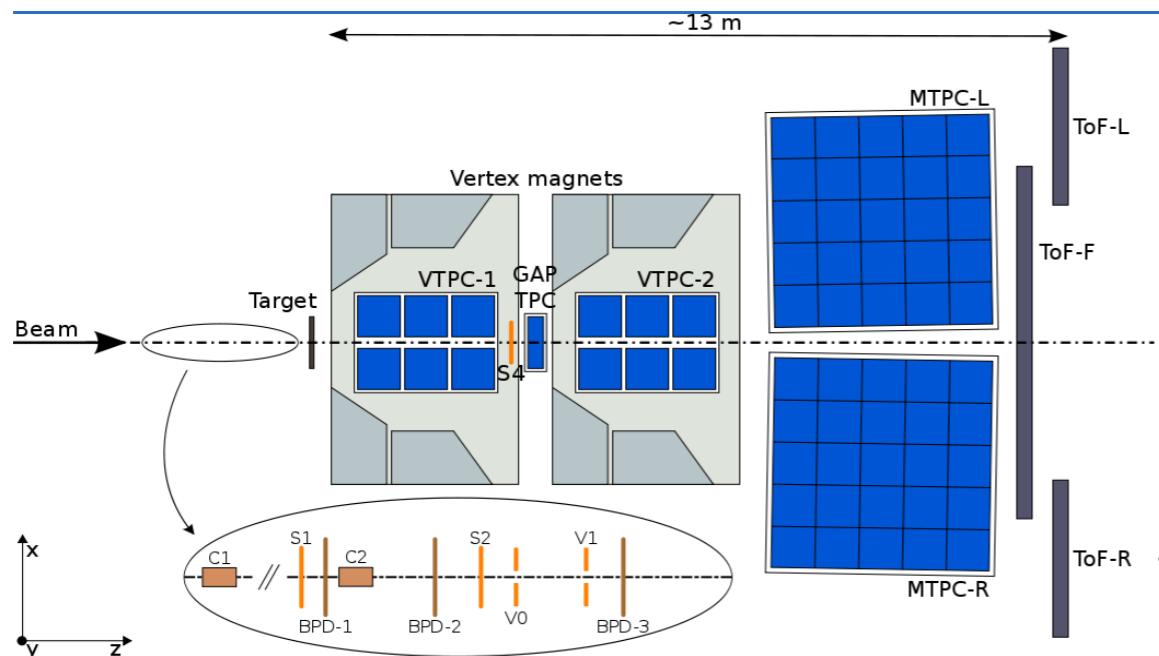
- Long baseline neutrino oscillation experiment
- High intensity off-axis ν_μ beam produced at J-PARC accelerator
 - ν fluxes tuned with the hadroproduction data from NA61 at CERN
- ν detected before and after the oscillations at the Near Detector (ND280) and at the Far Detector (Super-Kamiokande)
- Main physics goals:
 - Discovery of ν_e appearance \rightarrow measurement of θ_{13} , indications of δ_{CP}
 - Precise measurement of ν_μ disappearance $\rightarrow \theta_{23}, \Delta m_{23}$
- So far collected <10% of the total expected statistics

LPNHE group in T2K/NA6 I

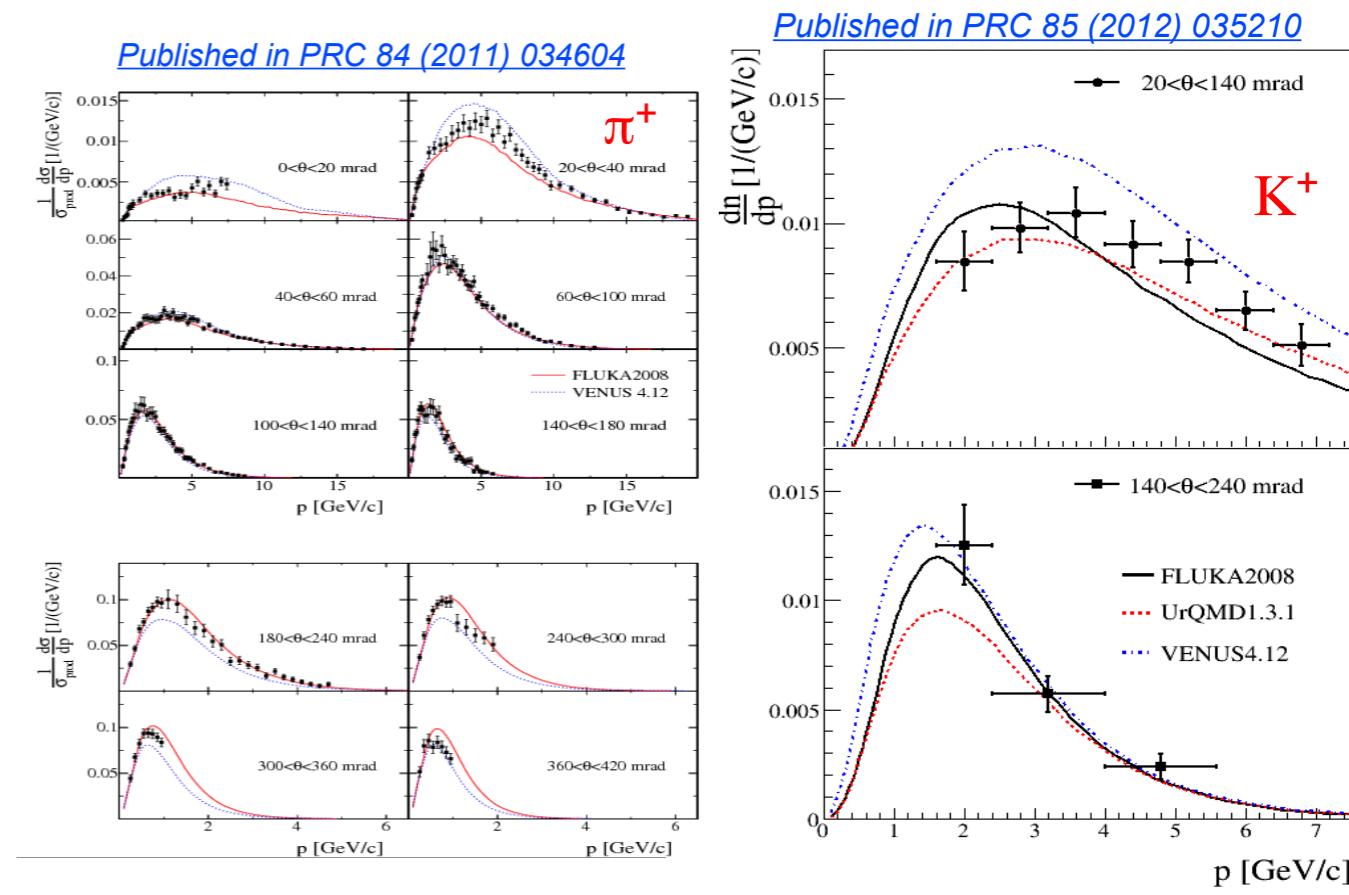
Bernard Andrieu	CR
Pierre Bartet-Friburg	PhD
Jacques Dumarchez	DR
Claudio Giganti	CR
Jean-Michel Levy	CR
Boris Popov	DR
Arnaud Robert	MdC
Laura Zambelli	PhD (defended in 2013)

- Responsibilities of the LPNHE group members in T2K:
 - Hardware contribution to the near detector (ND280): electronics for TPC read-out
 - Member of publication board
 - Convener of the beam group, T2K-NA6I
 - Convener of ND280 ve group and of the sterile neutrino group
 - Data taking shift, ND280 TPC and magnet expert shifts
 - ND280 run coordinator
- Responsibilities of the LPNHE group members in NA6I:
 - Software coordination, developments and data production
 - Coordination of analysis for T2K and for neutrino flux prediction
 - Member of the editorial board for NA6I-T2K papers

NA61/SHINE experiment at CERN

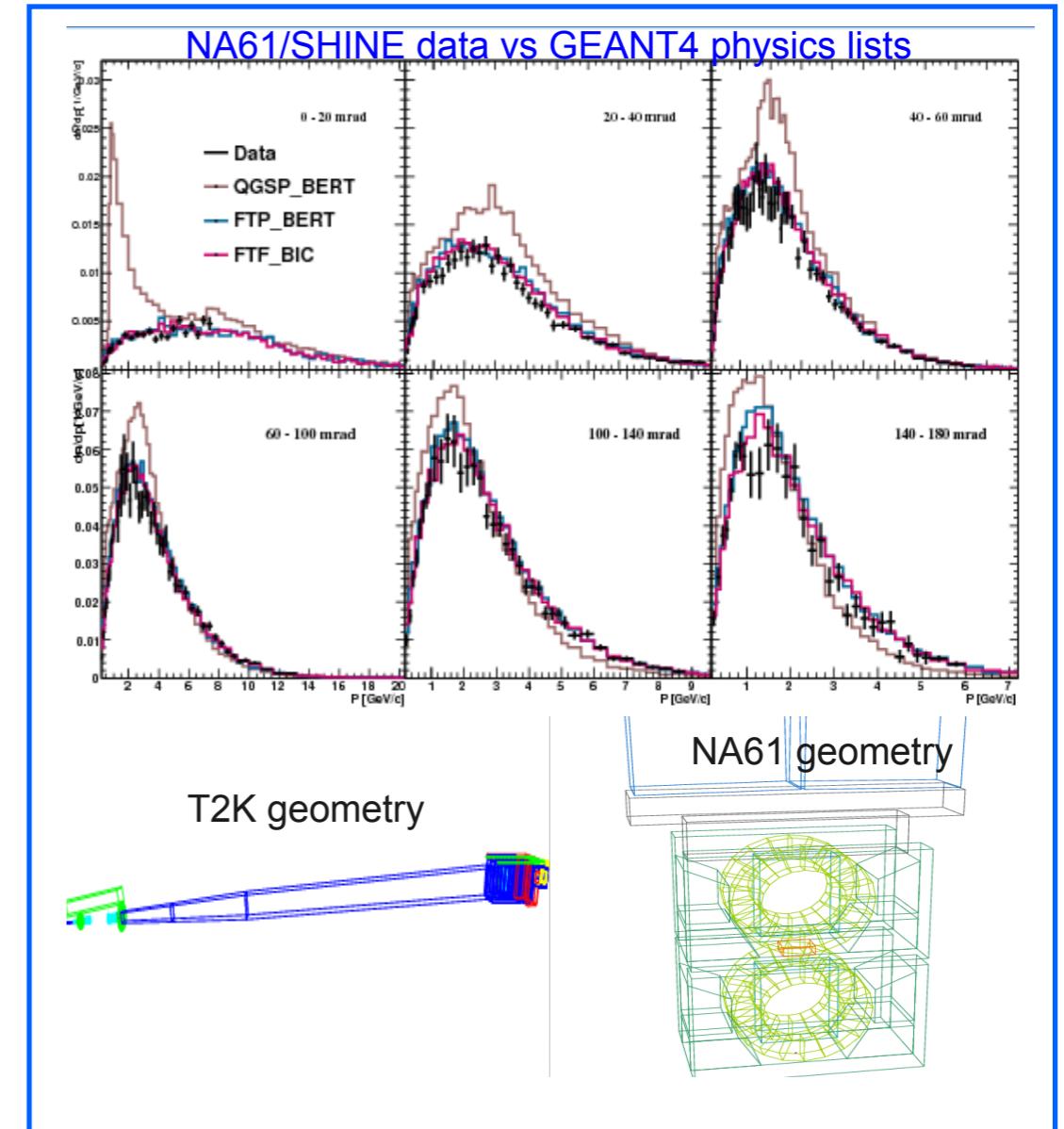
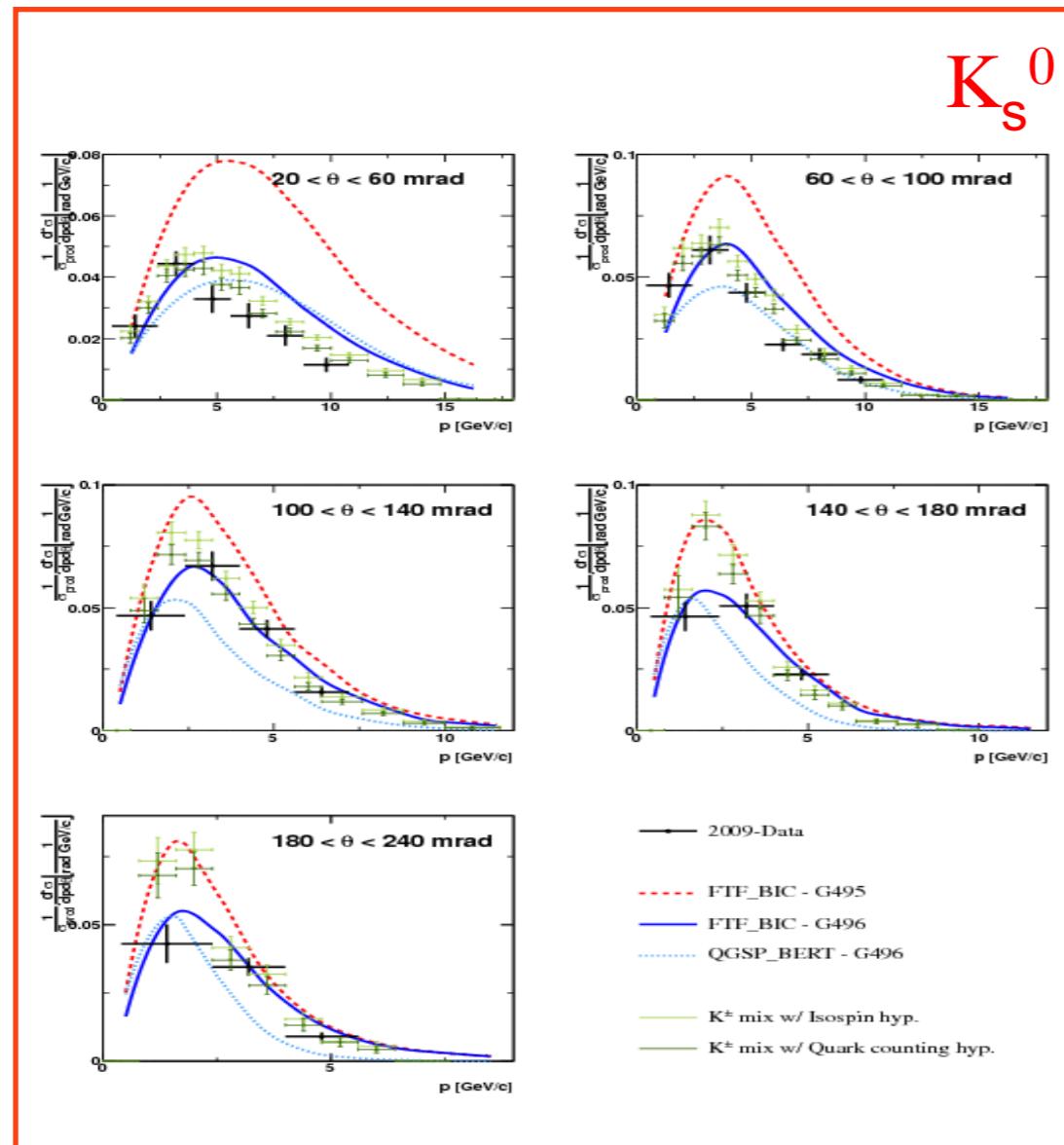


- Main systematics on the neutrino flux prediction from the uncertainties in the hadroproduction cross-section
 - NA61: Hadroproduction reference measurements for accelerator neutrino (T2K, Fermilab ν program, LBNO?)
 - Measure π^\pm, K^\pm, K^0 in the relevant $p\text{-}\theta$ bins for T2K produced by p-C interactions at T2K energies (31 GeV/c)
 - Use thin target and T2K replica target

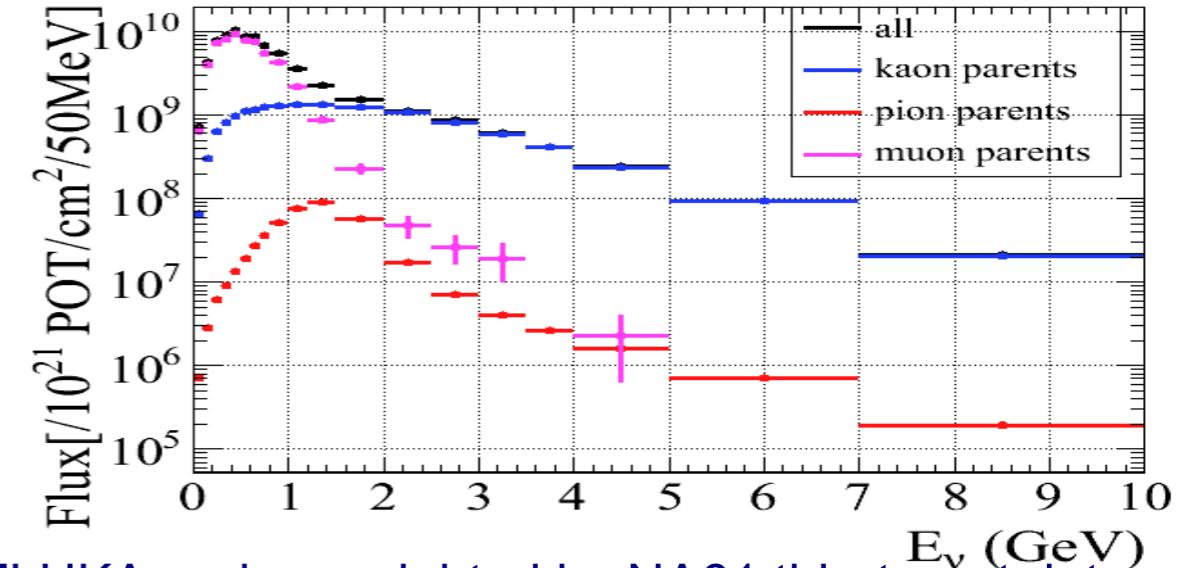
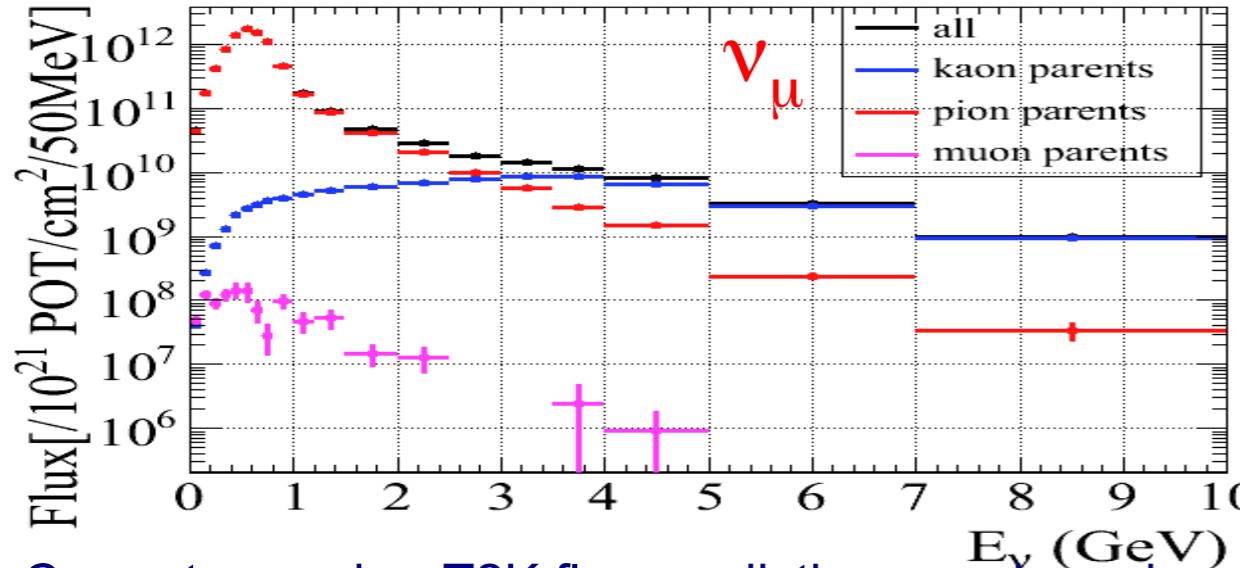


LPNHE contributions

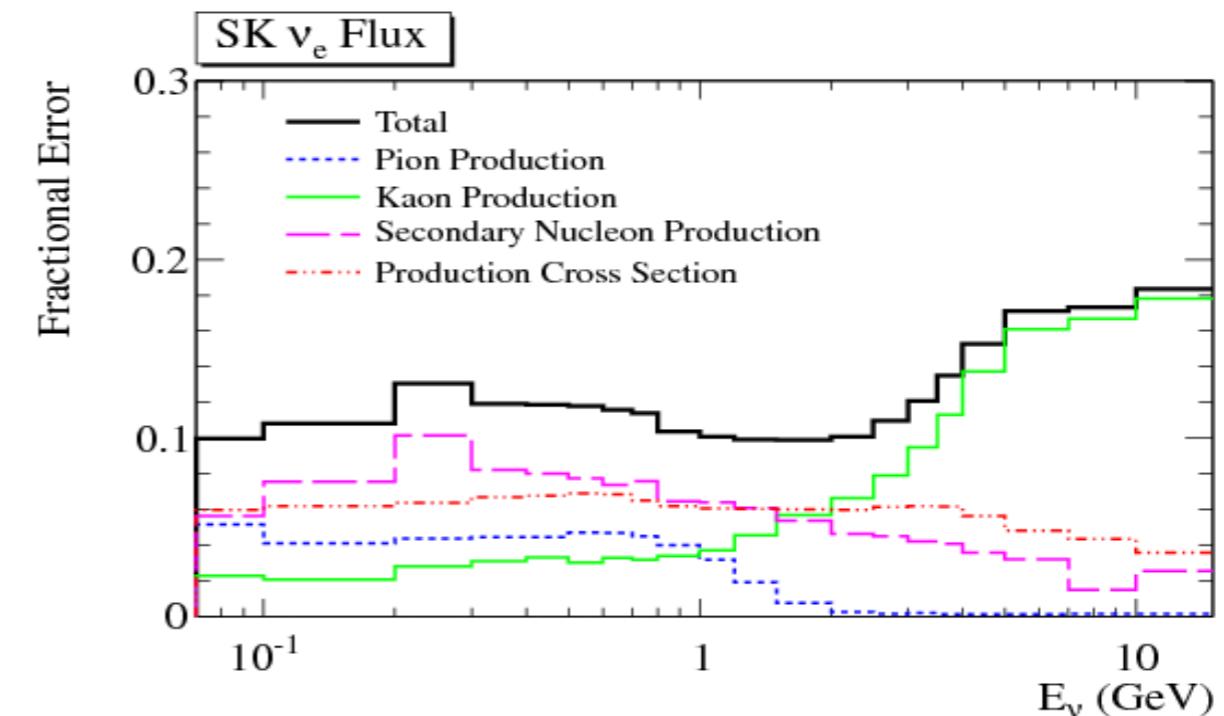
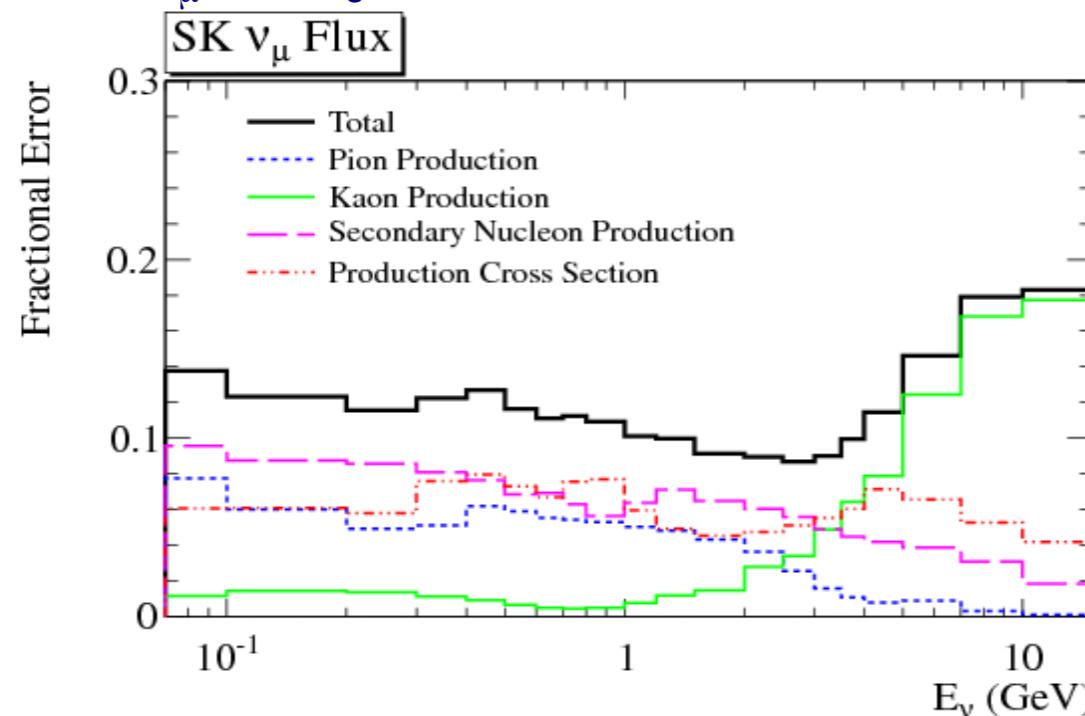
- Work done within Laura Zambelli PhD thesis → September 2013
- Analysis of **neutral strange particles (V^0)** with the **thin carbon target**
- Development of a **generic tool for neutrino flux prediction** based on ROOT Virtual MC (VMC)
 - Run simulations on different hadroproduction models (GEANT3 and 4, originally FLUKA)
 - Easy switch between physics model and detector geometry



Neutrino flux prediction for T2K



Current ν_μ and ν_e T2K flux predictions are based on FLUKA and re-weighted by NA61 thin-target data



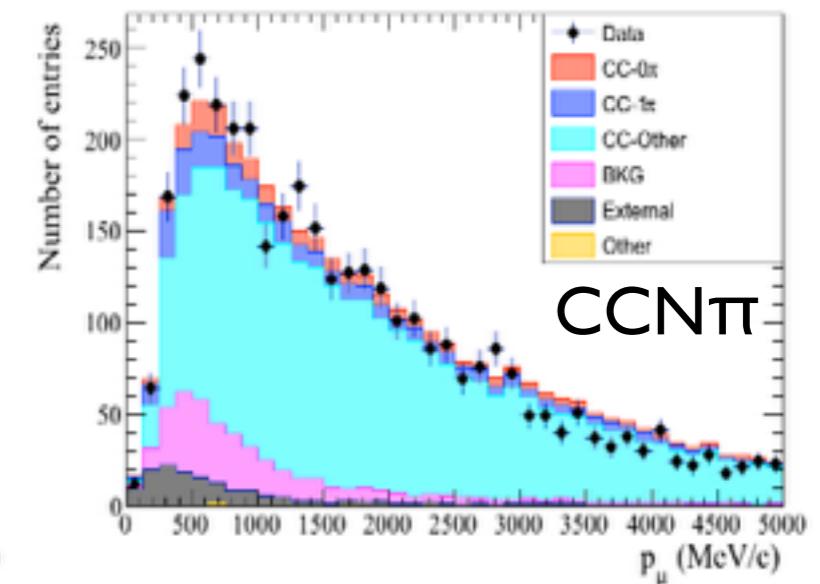
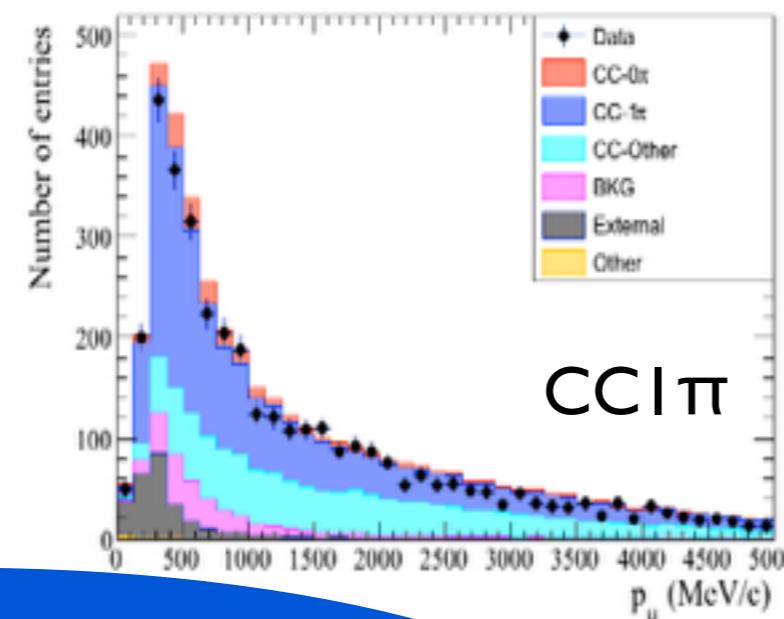
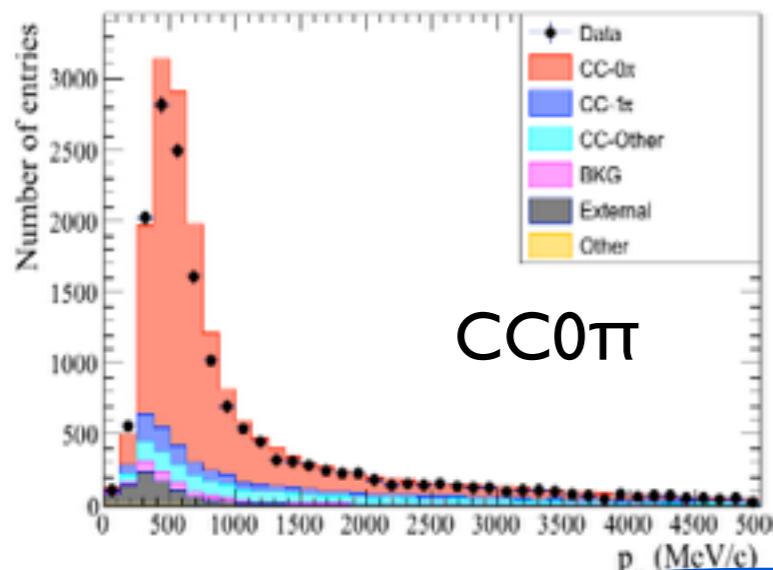
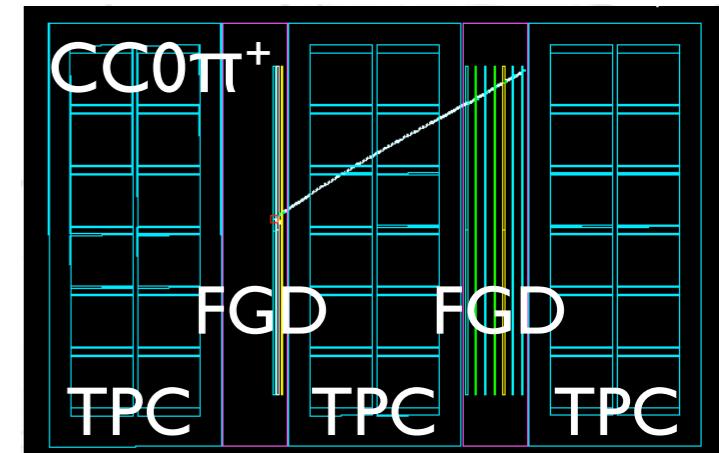
Current fractional errors on the ν_μ and ν_e fluxes at the T2K far detector

["The T2K Neutrino Flux Prediction", PRD 87 \(2013\) 012001](#)

12-15% errors on the neutrino fluxes for T2K → will be further improved when new data from NA61 is included in the neutrino flux prediction

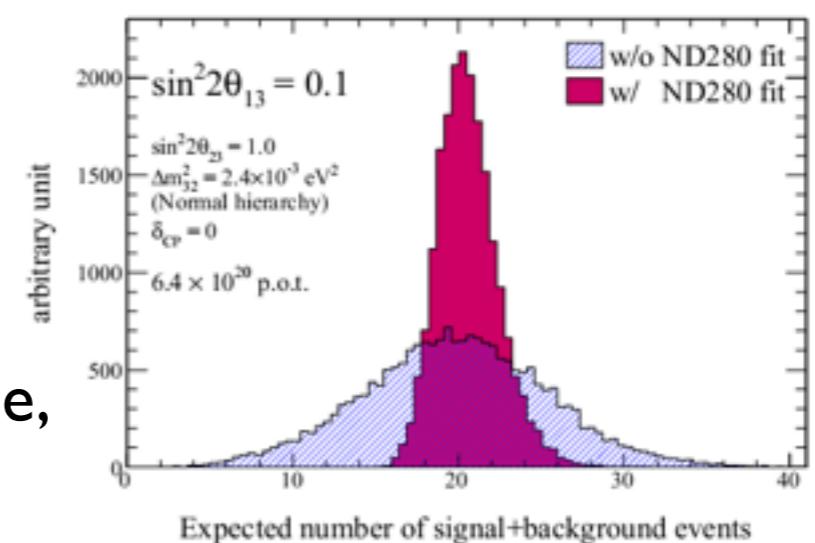
ND280 ν_μ CC analysis

- Select a ν charged current (CC) interaction in the FGD with a track in the downstream TPC
- Reconstruct momentum, charge and PID in the TPC
- Divide the sample according to the number of positive pions: CC0 π , CC1 π , CCN π topologies
- Constrain flux and cross-section models for oscillation analyses



Constrained with
ND280 ν_μ data (0, 1, multi- π)
Reduce the error on N_{exp} at the far
detector from 27% to 3%!

Working on improvements → increase angular acceptance,
select backward going tracks

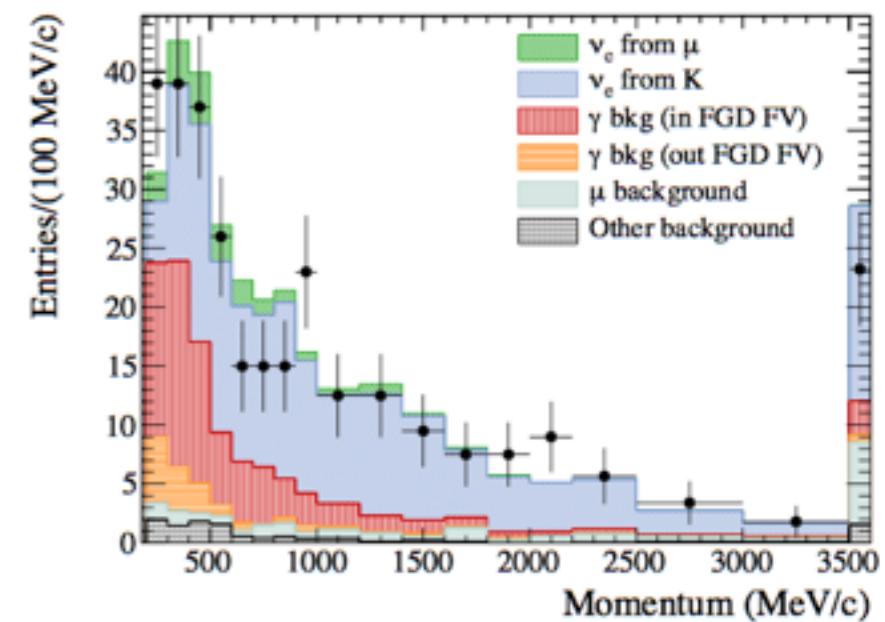
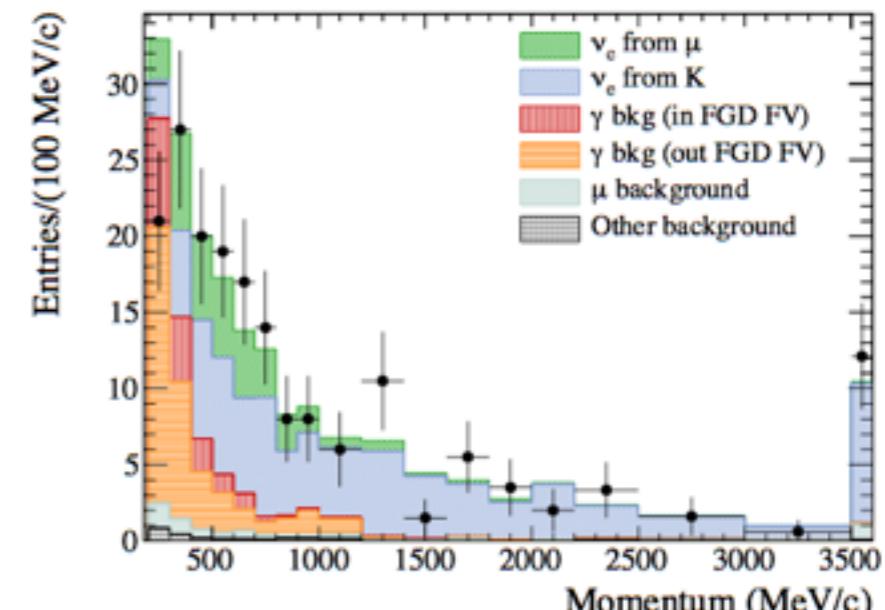


ND280 ν_e CC analysis

- Beam ν_e component is the main background to the ν_e appearance analysis ($\sim 1.2\%$ of the total ν flux at T2K)
- $N(\nu_e)$ from appearance constrained by ν_μ selection at ND280 $\rightarrow \nu_e/\nu_\mu$ cross section differences are an important source of systematics
- A direct measurement of ν_e CC interactions at ND280 is necessary

	sin
ν_e	17.3
ν_e	3.2
ν_μ	1.1
Total	20.44

- Combine TPC+ECAL to select e^- rejecting μ
- Muon rejection factor $>99\%$, electron purity $>90\%$
- ν_e CC purity $\sim 65\%$
 - Most of the background from γ conversions \rightarrow controlled by a selection of $\gamma \rightarrow e^+e^-$ in the TPC
- This sample is also used to measure ν_e cross section and to study sterile neutrino oscillations at ND280

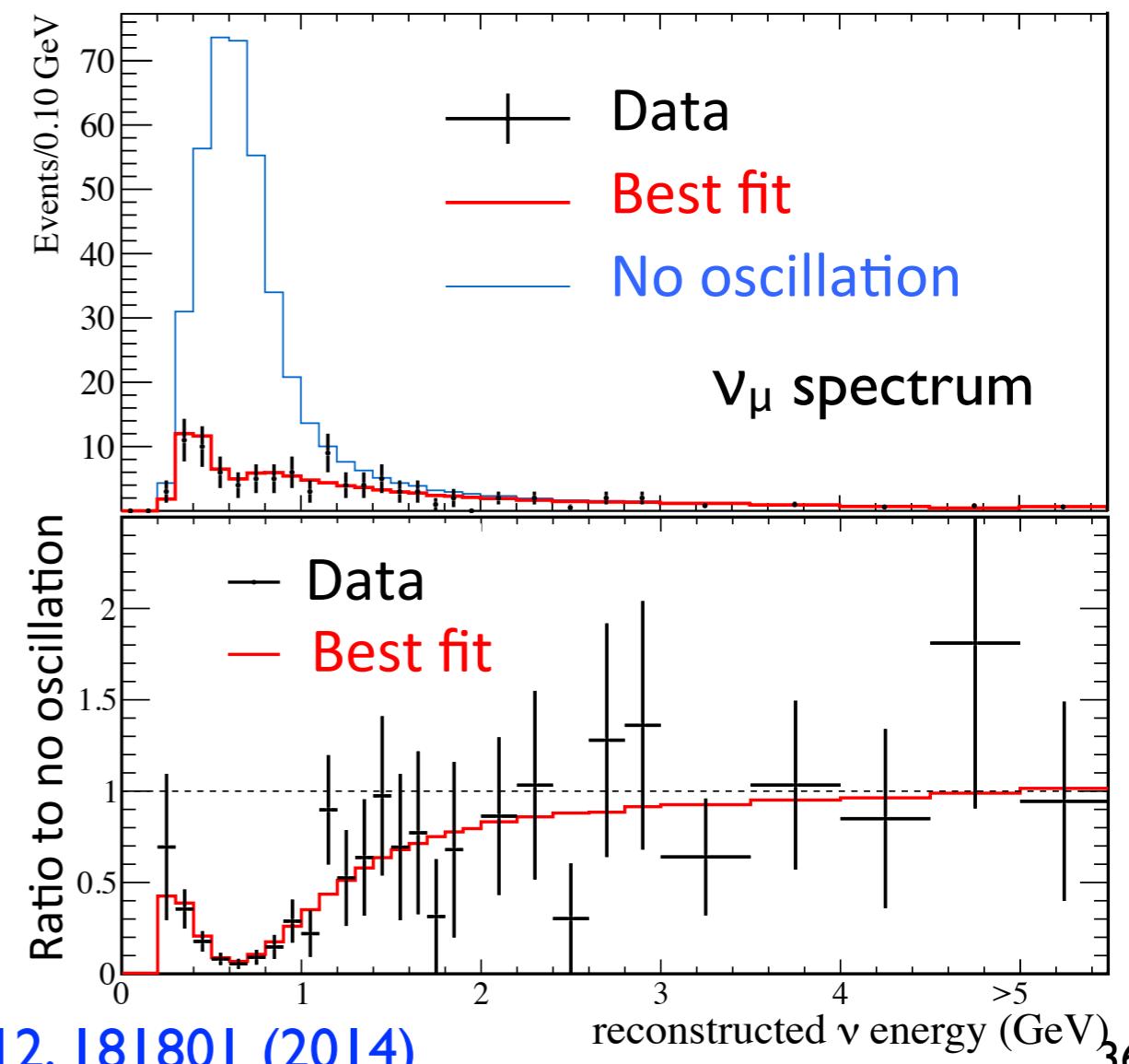
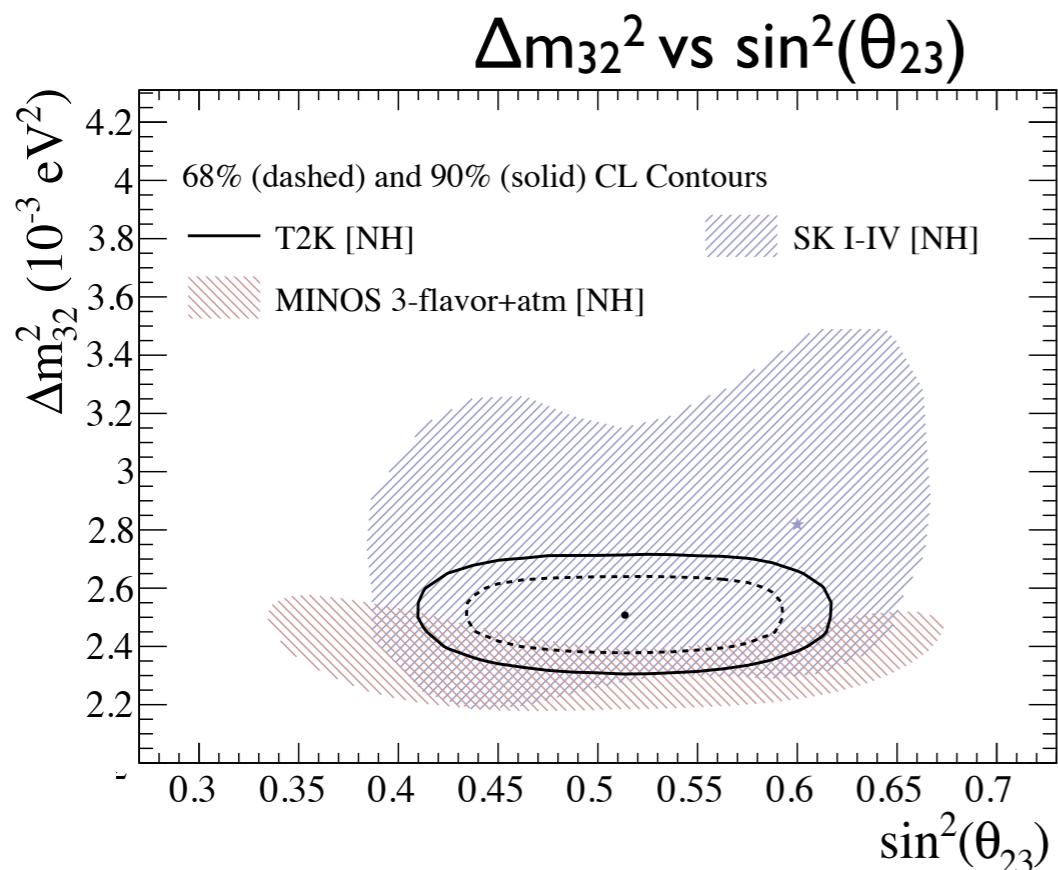


Measured ν_e data/MC ratio
 1.01 ± 0.10

Key confirmation for T2K
oscillation analyses

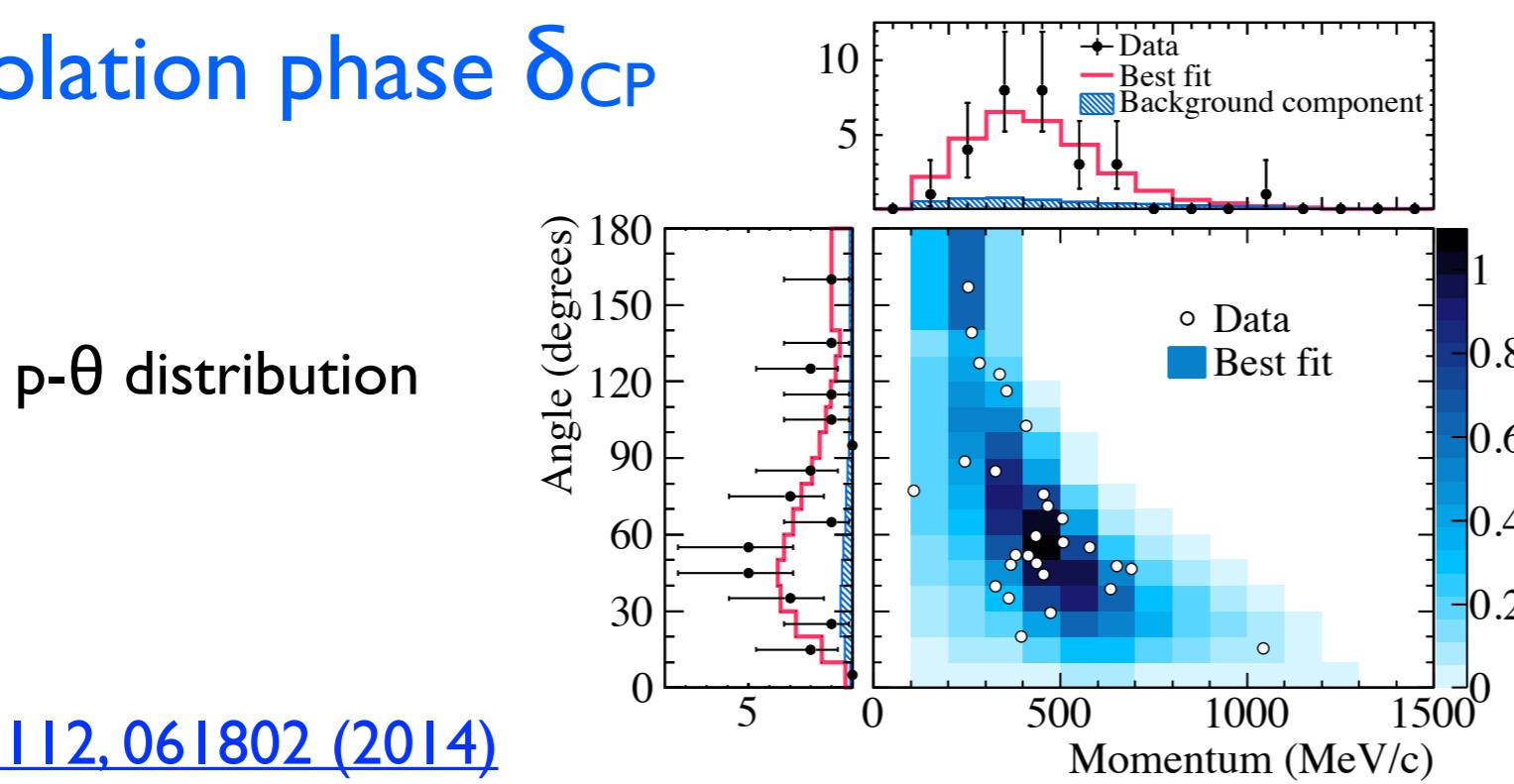
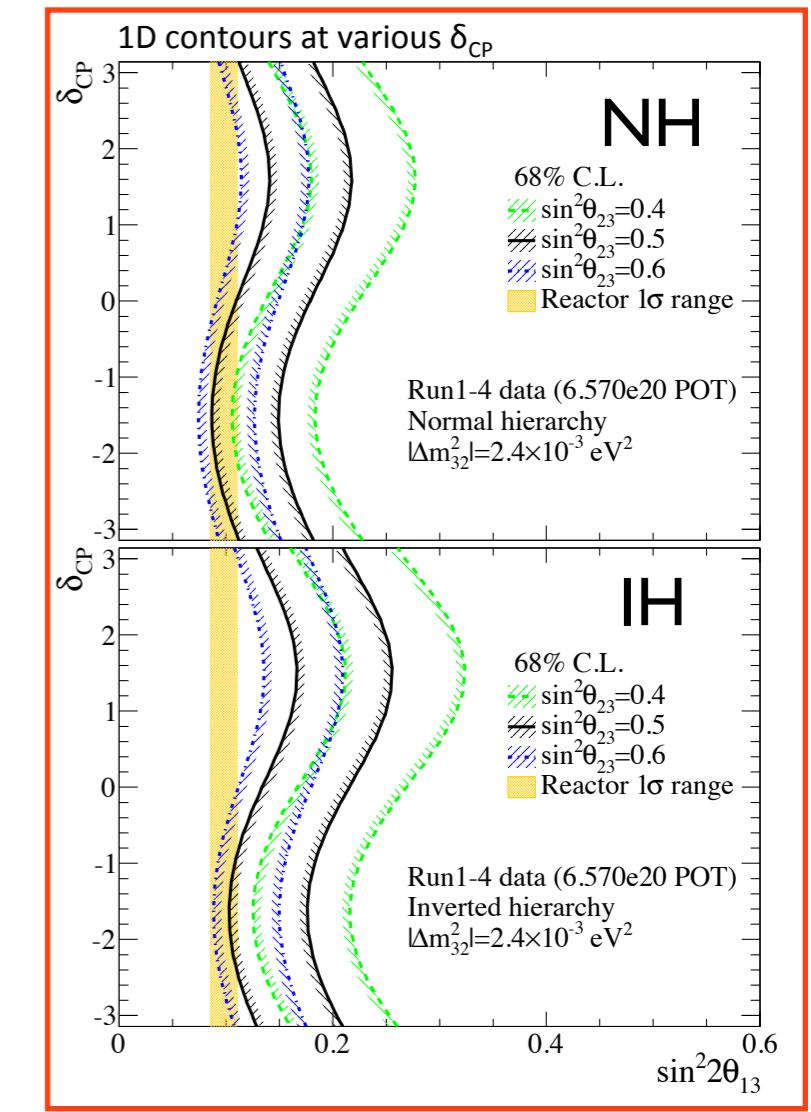
Oscillation analysis: ν_μ disappearance

- 120 μ -like selected events at SK
- Very clear disappearance pattern compatible with maximum disappearance → thanks to the off-axis beam configuration
- World best measurement of $\sin^2(\theta_{23})$ → compatible with maximum, no indications yet on the octant
- 4% error on the determination of $|\Delta m_{32}^2|$



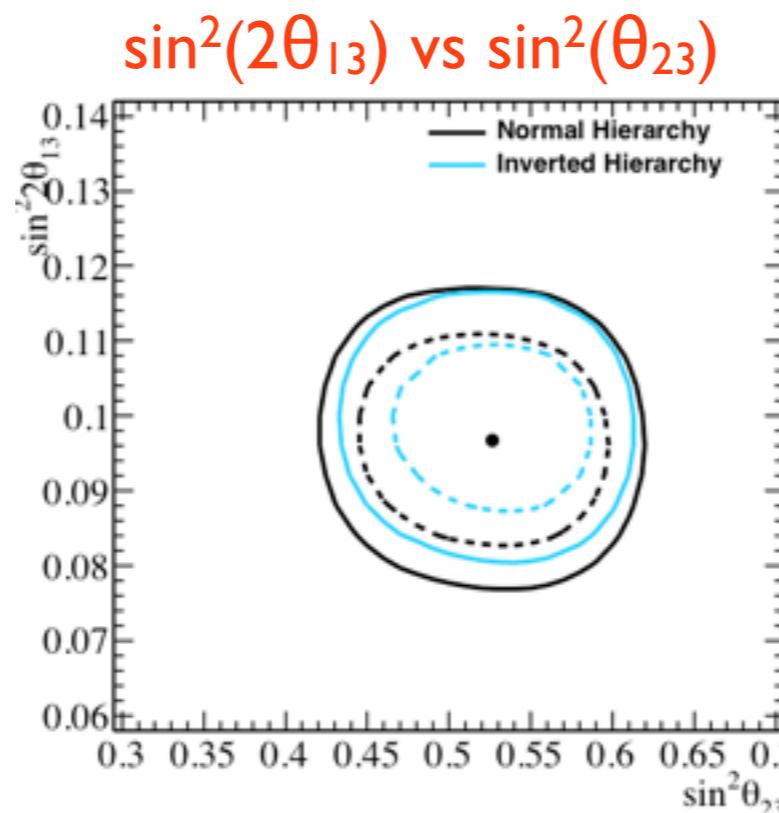
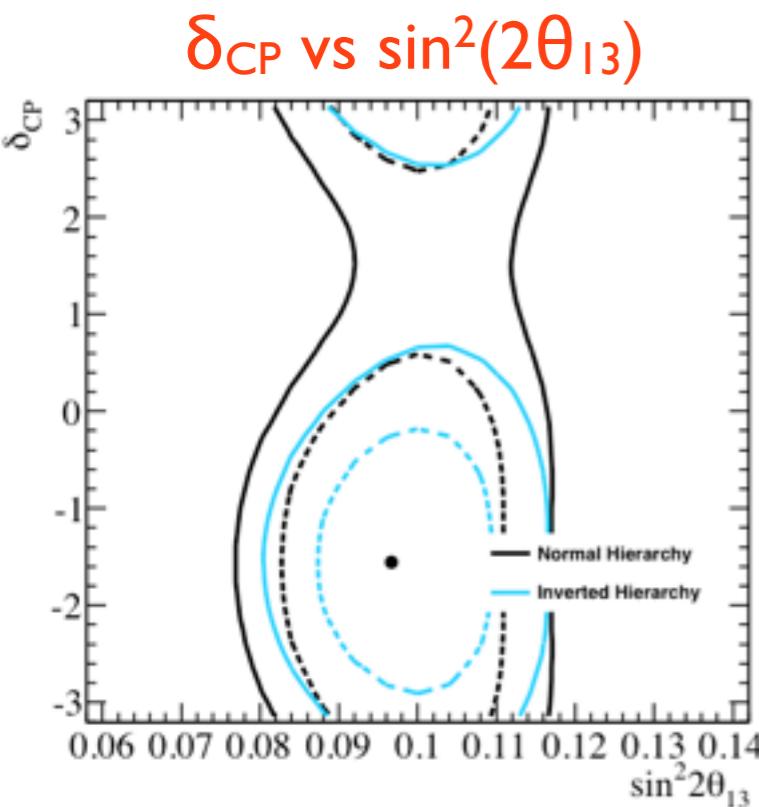
Oscillation analysis: ν_e appearance

- ν_e selection at SK
 - 28 events selected, 4.92 ± 0.55 expected if $\theta_{13}=0$
- Fit the (p - θ) distribution of electrons
- First observation of neutrino oscillation in the appearance channel ($\nu_\mu \rightarrow \nu_e$) $\rightarrow 7.4\sigma$
- θ_{13} is correlated with $\theta_{23} \rightarrow$ A joint fit is necessary!
- Combining T2K with reactors (Daya Bay) we have first constraints on the CP violation phase δ_{CP}



Joint oscillation app./disapp. analysis

- Joint fit of the reconstructed energy distribution for the e-like and μ -like samples
- A joint fit is the only way in which correlations among the oscillation parameters can be properly taken into account
 - $(\theta_{13}, \theta_{23}, \text{sign}(\Delta m^2_{23}), \delta_{CP})$
- 2 analyses: frequentist and bayesian techniques



Compare the probability for each MH and θ_{23} octant combination

(%)	NH	IH	Sum
$\sin^2\theta_{23} \leq 0.5$	18	8	26
$\sin^2\theta_{23} > 0.5$	50	24	74
Sum	68	32	

PRELIMINARY

Some of the values for δ_{CP} are excluded at 90% \rightarrow much better measurement when more statistics will be collected

3) Leptons chargés

Moment magnétique anormal du μ ($g-2$)



g-2

Rappel:

$$\vec{M} = g_\mu \frac{e}{2m_\mu} \vec{S} \quad a_\mu \equiv \frac{g_\mu - 2}{2}$$

Mesure de E821 à BNL (après correction):

$$a_\mu^{\text{exp}} = (116\,592\,089 \pm 54 \pm 33) \times 10^{-11}$$

On peut **calculer la valeur attendue** dans le SM:

$$a_\mu^{\text{SM}} = \underbrace{a_\mu^{\text{QED}} + a_\mu^{\text{EW}}}_{\text{Contributions pQCD & QED connues à } 10^{-12}; \text{ EW à } 10^{-11}} + [a_\mu^{\text{pQCD}} + a_\mu^{\text{HPV}} + a_\mu^{\text{LBL}}]$$

Contributions pQCD & QED connues à 10^{-12} ; EW à 10^{-11}

Incertitudes théoriques dominantes:
Hadronic Vacuum Polarisation
Light-by-Light

$$\sigma(a_\mu^{\text{SM}}) \approx 55 \times 10^{-11}$$

Désaccord théorie-expérience actuel: (3.3σ à 4.5σ)

2 nouvelles expériences (au FNAL et J-PARC).

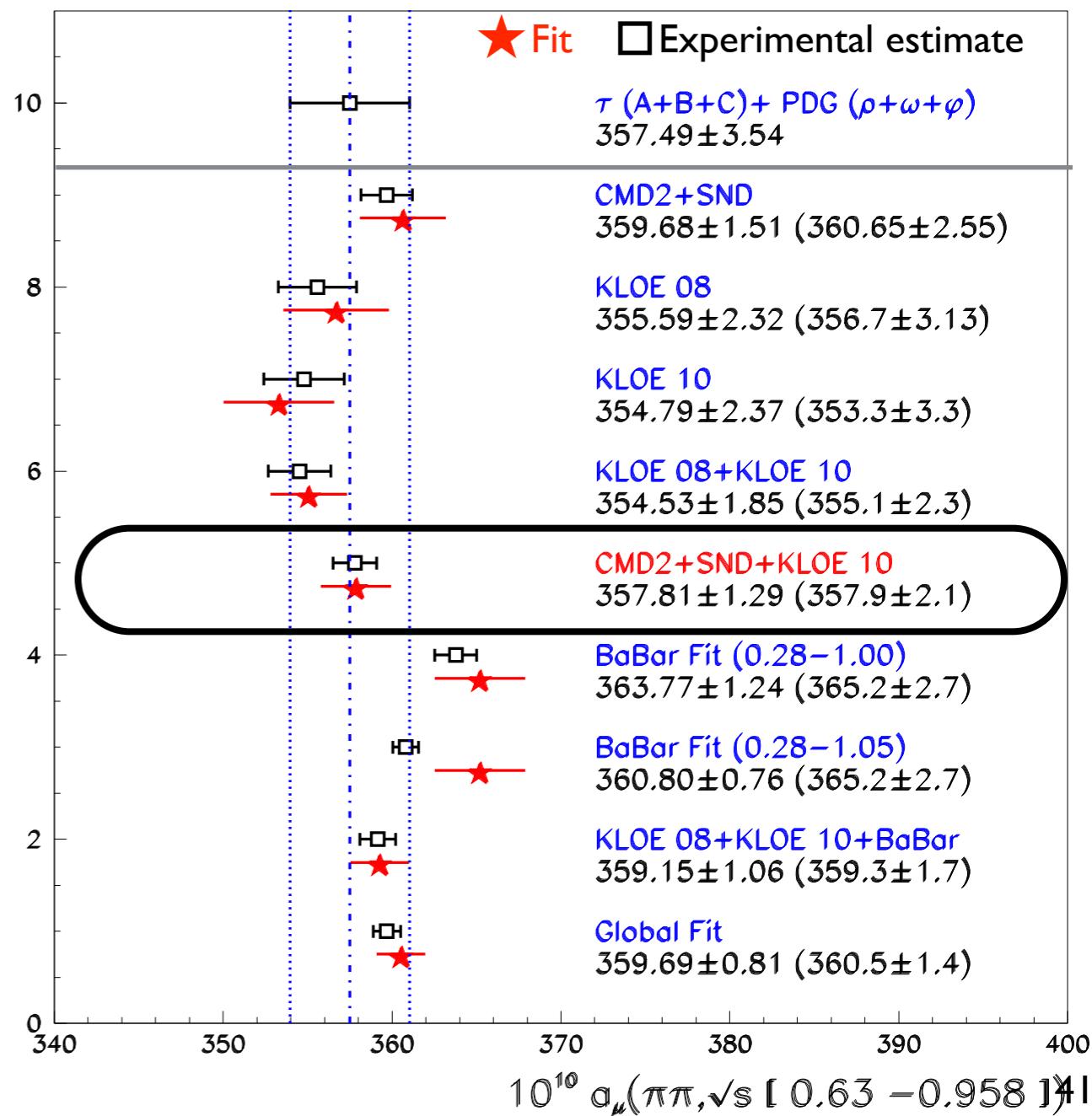
Réduction de l'incertitude expérimentale prévue : ($63 \rightarrow 15$) $\times 10^{-11}$
=> Il faut réduire l'incertitude théorique.

g-2

- Incertitude théorique le plus importante: $\sigma(a^{\text{HPV}})$
- Pour ce calcul, il faut modéliser les **contributions de plusieurs canaux hadronique**, en utilisant des données expérimentales
- Réduction x2 de l'incertitude théorique HPV déjà accomplie
- Progrès nouveau depuis la dernière biennale:
 - Test de la **cohérence des échantillons de données**
 - Enlèvement ou "reweighting" des **données inconsistantes** => réduction d'incertitude et résultat plus fiable

$$a_{\mu}^{th} = (11\ 659\ 169.55 + \left[{}^{+1.26}_{-0.59} \right]_{\phi} + \left[{}^{+0.00}_{-2.00} \right]_{\tau} \pm 5.21_{th}) \ 10^{-10}$$

$$\Rightarrow a_{\mu}^{\text{exp}} - a_{\mu}^{\text{SM}} = (4.7 \text{ à } 4.9)\sigma$$



Conclusions

- BABAR :
 - Les activités terminent après des années productives
- LHCb :
 - $B \rightarrow hh, hhh$: Analyses préparatoire
 - $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$: Résultat intéressant avec $1/fb; 3/fb$ en cours
 - Charme : Des analyses à finir
- Phéno:
 - $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$: Résultat d'intérêt publié
- CKMFitter:
 - Article "topcite"; dernier article en cours
- T2K et NA61:
 - NA61 et ND280: Des contraintes forts pour réduire les incertitudes
 - Mesures de $\theta_{13}, \theta_{23}, |\Delta m_{32}^2|$
 - ... et en combinaison avec reacteurs, des contraintes sur signe(Δm_{23}^2), δ_{CP}

Backups

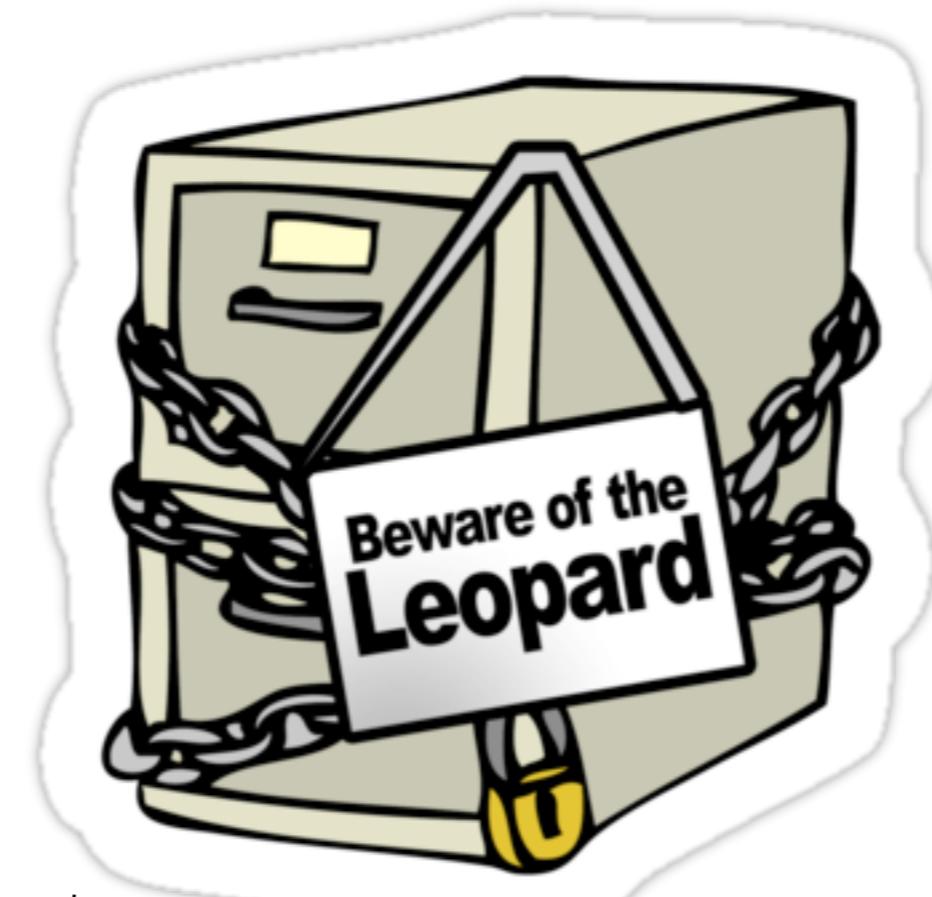


Image credit: metacortex (Redbubble)

BABAR (Eli)

BaBar au LPNHE

Nom	Position	Activité principale	Instances et committées
<i>Simon AKAR</i>	<i>Doctorant (-2013)</i>		
<i>EBH (PI)</i>	<i>MdC</i>	<i>LHCb</i>	<i>Convener de “charmless B decays”</i>
<i>Gérard BONNEAUD</i>	<i>DR</i>		<i>pub. Board, speakers bureau (chair)</i>
<i>Jacques CHAUVEAU</i>	<i>PR</i>	<i>ATLAS</i>	<i>Direction national du projet BaBar à l'IN2P3, executive board - speakers bureau</i>
<i>José OCARIZ</i>	<i>PR</i>	<i>ATLAS</i>	

Signataires BABAR d'autres groupes au LPNHE

<i>Marco BOMBEN</i>	<i>CDD</i>	<i>ATLAS</i>	
<i>Giovanni CALDERINI</i>	<i>DR</i>	<i>ATLAS</i>	
<i>Bogdan MALAESCU</i>	<i>CR</i>	<i>ATLAS</i>	
<i>Giovanni MARCHIORI</i>	<i>CR</i>	<i>ATLAS</i>	

L'expérience BaBar : « highlights »

- Plus de 500 papiers publiés
- Quelques résultats majeurs de physique :
 - $\text{BR}(B \rightarrow D\tau\nu_\tau)/\text{B}(B \rightarrow Dl\nu_l)$ et $\text{BR}(B \rightarrow D^*\tau\nu_\tau)/\text{BR}(B \rightarrow D^*l\nu_l)$ dévie de 3.4σ de la prédition du modèle standard
 - Première observation directe de la violation de l'inversement du temps dans les oscillations de mésons B^0
 - « *Physics World* magazine's list of top 10 breakthroughs for 2012 »
- Prise de données arrêtée en 2008. Depuis: diminution naturelle graduelle des activités et des moyens. Le projet n'est plus financé par l'IN2P3
- La collaboration prévoit une activité dans le mode de fonctionnement actuel jusqu'à la fin des analyses (ou l'épuisement des ressources), probablement 2018.
- Participation du LPNHE dans expérience depuis sa conception (1994), avec une contribution technique (construction, “commissioning” et qualité des données du détecteur de lumière Tcherenkov – DIRC; suivi du détecteur de vertex – SVT)
- Depuis un certain temps la plupart des chercheurs ont une autre activité principale
- La dernière thèse (Simon Akar) soutenue en septembre 2013

Activités au LPNHE

Analyse

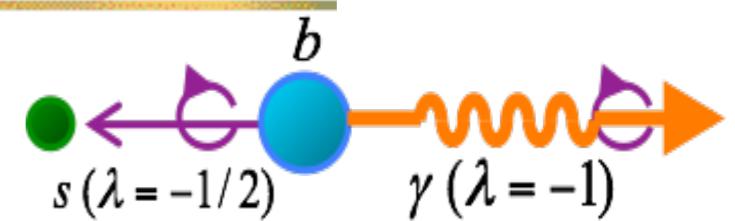
- Les dernières années le LPNHE a contribué principalement aux analyses autour des désintégrations hadroniques du méson B à trois corps sans particule charmée. (En 5 ans: 3 thèses + 2 HDRs, contribution à plusieurs papiers, coordination du groupe de travail correspondant).
- Thèse de Simon Akar: étude des désintégrations radiatives $B \rightarrow K\pi\gamma$ (sensible à la polarization du photon, en lien avec l'étude de $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ avec LHCb)
- En plus : CKMfitter, g-2

Autres

- Participation active dans les instances de la collaboration
- Participation au processus de revue interne des analyses et des publications
- Contribution à l'écriture
 - du livre « Physics of the B Factories » book, qui fait le résumé de la physique et des résultats des usines à B, en cours de publication (plusieurs contributions majeures, J.O. éditeur de chapitre);
 - « The BABAR detector: upgrade, operation & performance » (papier NIM).
- Production MC au CCIN2P3 (jusqu'à décembre 2012)

Fundamentals

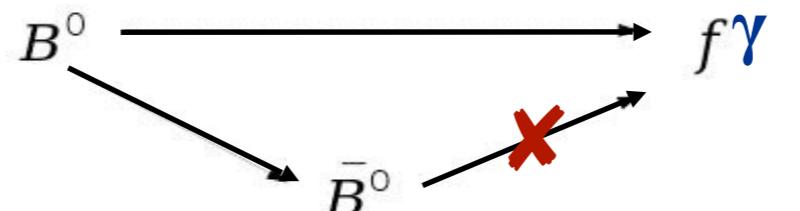
- SM: left-handed quarks and right-handed antiquarks



- NP particle may be present in the loop and enhance right-handed photons

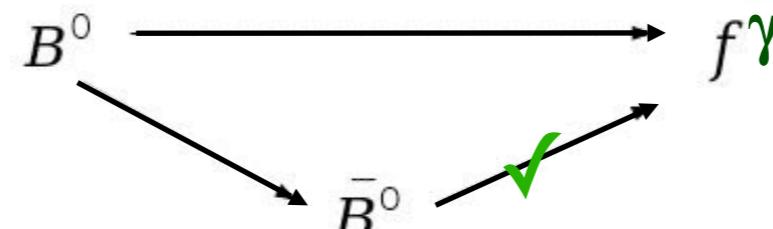
SM $\Rightarrow b \rightarrow s\gamma_L$ or $\bar{b} \rightarrow \bar{s}\gamma_R \Rightarrow$

CP asymmetry parameters ≈ 0



NP $\Rightarrow b \rightarrow s\gamma_{L,R}$ or $\bar{b} \rightarrow \bar{s}\gamma_{R,L} \Rightarrow$

CP asymmetry parameters $\neq 0$



$$\begin{aligned} A_{CP}(\Delta t) &= \frac{\Gamma(\bar{B}^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}\gamma) - \Gamma(B^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}\gamma)}{\Gamma(\bar{B}^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}\gamma) + \Gamma(B^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}\gamma)} \\ &= \mathcal{S}_{f_{CP}} \sin(\Delta m_d \Delta t) - \mathcal{C}_{f_{CP}} \cos(\Delta m_d \Delta t) \end{aligned}$$

Observable

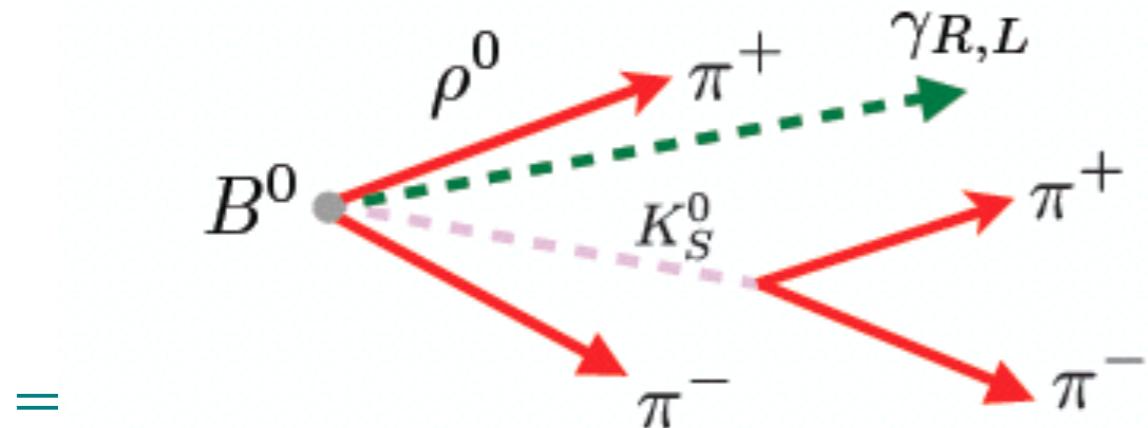
$$\mathcal{S}_{f_{CP}}^{\text{SM}} \propto \frac{m_s}{m_b} \simeq 0.02$$

Objective: measurement of S in $B^0 \rightarrow K_S \rho \gamma$ decays

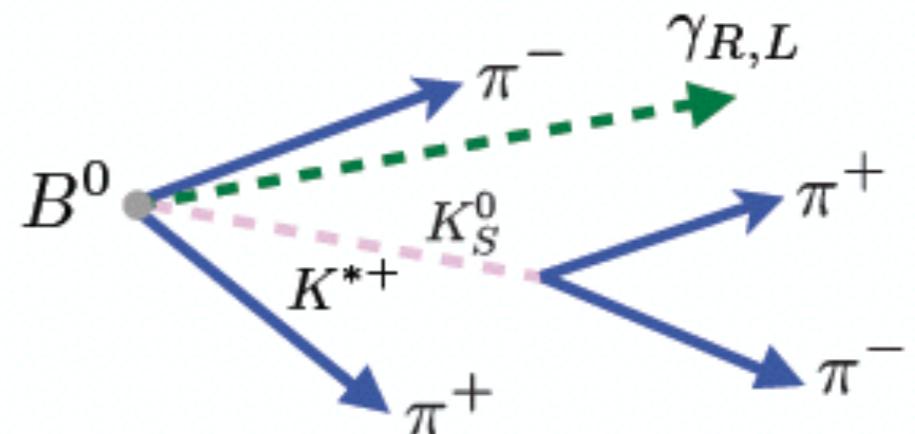
Strategy (I)

- Difficulty: irreducible contribution from non CP eigenstates

$$\mathbf{B^0 \rightarrow K_S \rho^0 (\rightarrow \pi^-\pi^+) \gamma :}$$



$$\mathbf{B^0 \rightarrow K^{*\pm} (\rightarrow K_S \pi^\pm) \pi^\mp \gamma :}$$



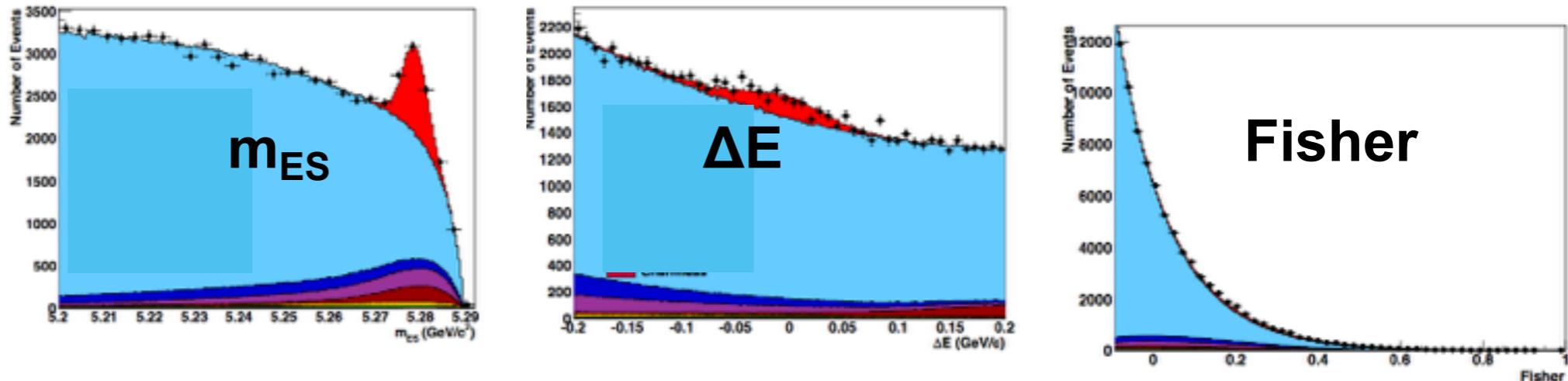
$$\boxed{\mathcal{D}_{K_S^0 \rho \gamma}} = \frac{\mathcal{S}_{K_S^0 \pi^+ \pi^- \gamma}}{\mathcal{S}_{K_S^0 \rho \gamma}}$$

- As there are not enough events to perform this amplitude analysis, D is extracted from $B^+ \rightarrow K^+\pi^-\pi^+\gamma$ decays, assuming isospin asymmetry.
- Further difficulty: due to the 4-body final state the kinematic boundaries of the ($K\pi - \pi\pi$) phase space vary event by event.

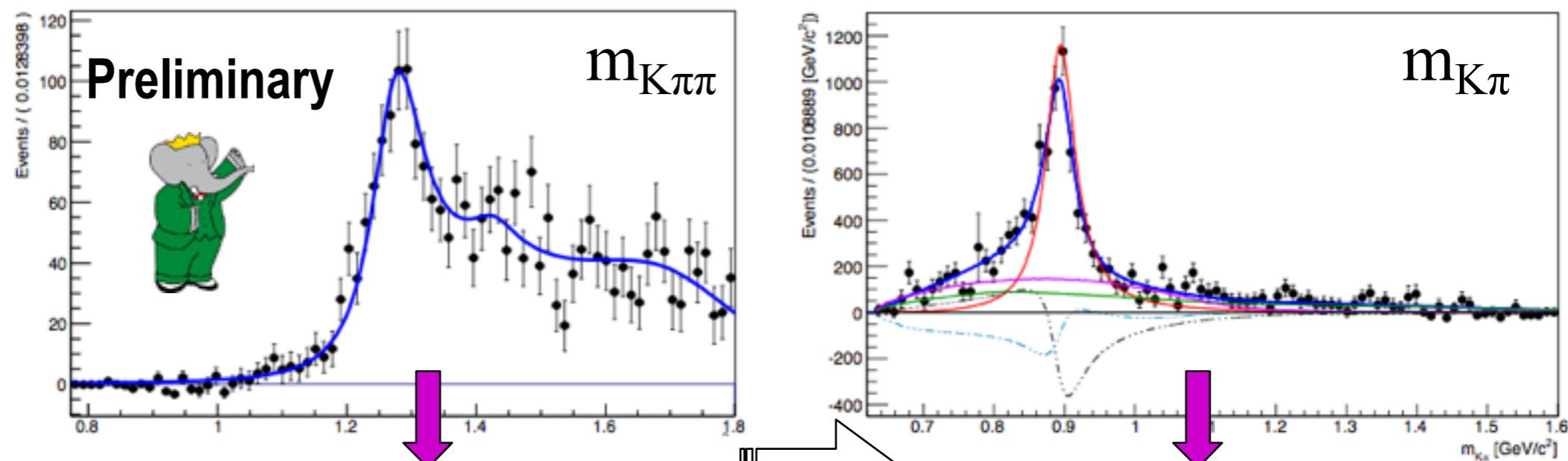
Strategy (II)

Three stages of the $B^+ \rightarrow K^+\pi^-\pi^+\gamma$ analysis

(1) Maximum likelihood fit



(2) Extraction of signal $m_{K\pi\pi}$ & $m_{K\pi}$ spectra



(3) Fit of $m_{K\pi\pi}$, $m_{K\pi}$ (projection) to extract amplitudes

$A(K_{\text{res}} \rightarrow K\pi\pi)$

(input)

$A(K^*)$
 $A(\rho)$...

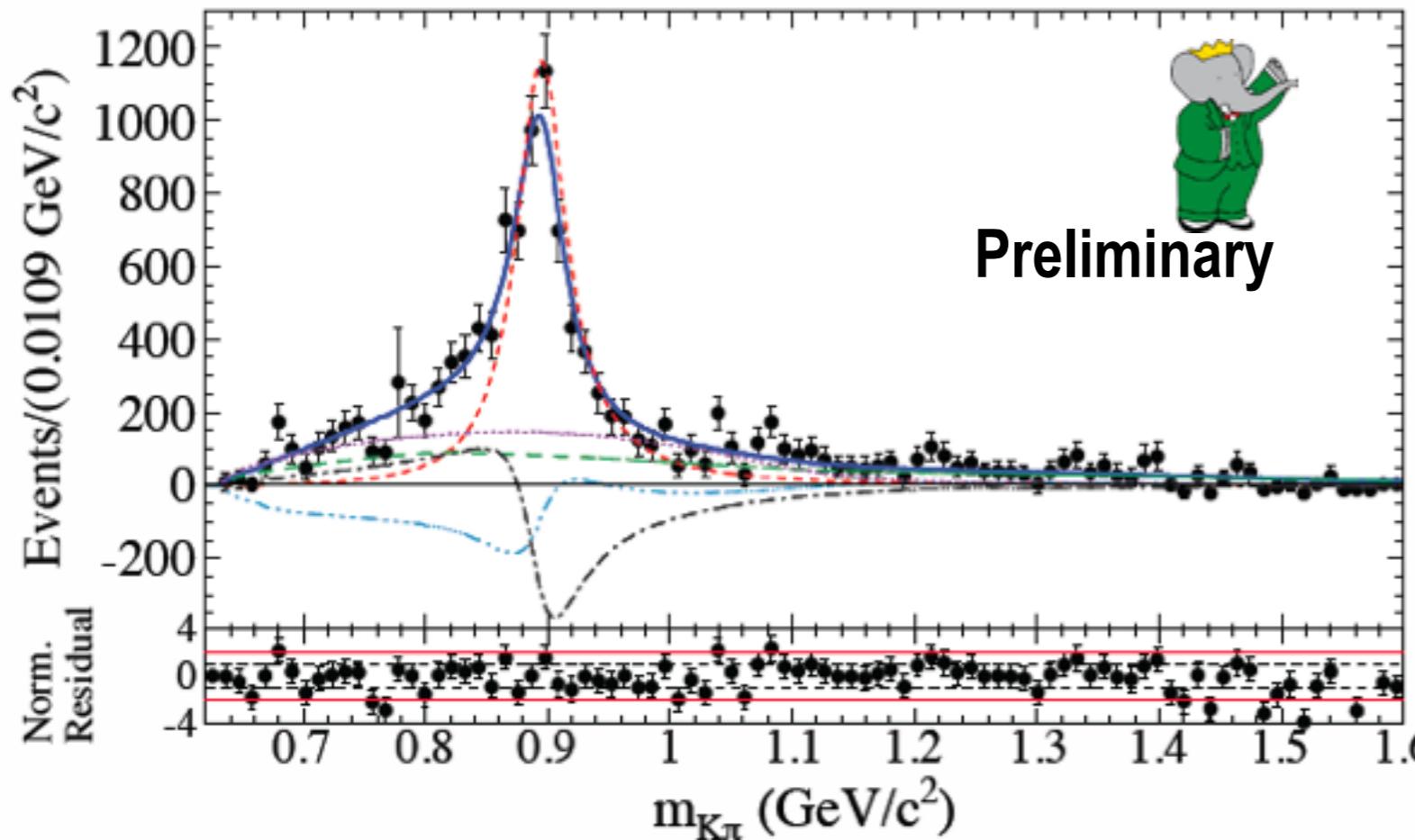
Amplitudes → dilution factor and branching fractions

The dilution factor

- From the fit to the $m_{K\pi}$ spectrum of in the (charged) mode $B^+ \rightarrow K^+\pi^-\pi^+\gamma$

$$\mathcal{D}_{K_S^0\rho\gamma} = \frac{\int \left[|A_\rho|^2 + \Re(A_\rho^* A_{K^*+}) + \Re(A_\rho^* A_{K^*-}) + \Re(A_{K^*+}^* A_{K^*-}) + \Re(A_{(K\pi)^+}^* A_{(K\pi)^-}) \right]}{\int \left[|A_\rho|^2 + \Re(A_\rho^* A_{K^*+}) + \Re(A_\rho^* A_{K^*-}) + \frac{|A_{K^*+}|^2 + |A_{K^*-}|^2}{2} + \frac{|A_{(K\pi)^+}|^2 + |A_{(K\pi)^-}|^2}{2} \right]}$$

↑ $\propto \text{FF}_{K^*}$
↑ $\propto \text{FF}_{(K\pi)_0}$
↓ $\propto \text{FF}_\rho$
↓ $\propto \text{FF}_{K^*-\rho}^{\text{interf.}}$
↓ $\propto \text{FF}_{K^*}$
↓ $\propto \text{FF}_{(K\pi)_0}$



$$\mathcal{D}_{K_S^0\rho\gamma} = 0.549^{+0.096}_{-0.094}$$

- Total PDF
- $K^*(892)$
- $\rho^0(770)$
- $(K\pi)_0$ S-wave
- $K^*(892) - \rho^0(770)$ interf.
- $\rho^0(770) - (K\pi)_0$ interf.

Results (BF in $B^+ \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \gamma$)



Preliminary

$K_{\text{res}} \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+$

Mode	$\frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \text{Mode})}{\mathcal{B}(K_{\text{res}} \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-)} \times 10^{-6}$	$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \text{Mode}) \times 10^{-6}$	PDG values ($\times 10^{-6}$)
Inclusive $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$	...	$27.2 \pm 1.0^{+1.1}_{-1.3}$	27.6 ± 2.2
$K_1(1270)^+ \gamma$	$14.5^{+2.0+1.1}_{-1.3-1.2}$	$44.0^{+6.0+3.5}_{-4.0-3.7} \pm 4.6$	43 ± 13
$K_1(1400)^+ \gamma$	$4.1^{+1.9+1.3}_{-1.2-0.8}$	$9.7^{+4.6+3.1}_{-2.9-1.8} \pm 0.6$	< 15 CL = 90%
$K^*(1410)^+ \gamma$	$9.7^{+2.1+2.4}_{-1.9-0.7}$	$23.8^{+5.2+5.9}_{-4.6-1.4} \pm 2.4$	\emptyset
$K_2^*(1430)^+ \gamma$	$1.5^{+1.2+0.9}_{-1.0-1.4}$	$10.4^{+8.7+6.3}_{-7.0-9.9} \pm 0.5$	14 ± 4
$K^*(1680)^+ \gamma$	$17.0^{+1.7+3.5}_{-1.4-3.0}$	$71.7^{+7.2+15}_{-5.7-13} \pm 5.8$	< 1900 CL = 90%

Resonances in
 $K^+ \pi^- \pi^+$ system

Mode	$\frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \text{Mode})}{\mathcal{B}(R \rightarrow hh)} \times 10^{-6}$	$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \text{Mode}) \times 10^{-6}$	PDG values ($\times 10^{-6}$)
Inclusive $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$	...	$27.2 \pm 1.0^{+1.1}_{-1.3}$	27.6 ± 2.2
$K^{*0}(892) \pi^+ \gamma$	$17.3 \pm 0.9^{+1.2}_{-1.1}$	$26.0^{+1.4}_{-1.3} \pm 1.8$	20^{+7}_{-6}
$K^+ \rho(770)^0 \gamma$	$9.1^{+0.8}_{-0.7} \pm 1.3$	$9.2^{+0.8}_{-0.7} \pm 1.3 \pm 0.02$	< 20 CL = 90%
$(K\pi)_0^{*0} \pi^+ \gamma$	$11.3 \pm 1.5^{+2.0}_{-2.6}$	...	\emptyset
$(K\pi)_0^0 \pi^+ \gamma$ (NR)	...	$10.8^{+1.4+1.9}_{-1.5-2.5}$	< 9.2 CL = 90%
$K_0^*(1430)^0 \pi^+ \gamma$	$0.51 \pm 0.07^{+0.09}_{-0.12}$	$0.82 \pm 0.11^{+0.15}_{-0.19} \pm 0.08$	\emptyset

Results (BF in $B^+ \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \gamma$)



Preliminary

$K_{\text{res}} \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+$

Mode	$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \text{Mode}) \times \mathcal{B}(K_{\text{res}} \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-) \times 10^{-6}$	$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \text{Mode}) \times 10^{-6}$	PDG values ($\times 10^{-6}$)
Inclusive $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$	...	$27.2 \pm 1.0^{+1.1}_{-1.3}$	27.6 ± 2.2
$K_1(1270)^+ \gamma$	$14.5^{+2.0+1.1}_{-1.3-1.2}$	$44.0^{+6.0+3.5}_{-4.0-3.7} \pm 4.6$	43 ± 13
$K_1(1400)^+ \gamma$	$4.1^{+1.9+1.3}_{-1.2-0.8}$	$9.7^{+4.6+3.1}_{-2.9-1.8} \pm 0.6$	< 15 CL= 90%
$K^*(1410)^+ \gamma$	$9.7^{+2.1+2.4}_{-1.9-0.7}$	$23.8^{+5.2+5.9}_{-4.6-1.4} \pm 2.4$	\emptyset
$K_2^*(1420)^+ \gamma$	$10.4^{+1.2+0.9}_{-1.0-0.8}$	$10.4^{+8.7+6.3}_{-7.0-5.5} \pm 0.5$	14 ± 4
$K^*(1430)^+ \gamma$	$0.51 \pm 0.07^{+0.09}_{-0.12}$	$0.82 \pm 0.11^{+0.15}_{-0.19} \pm 0.08$	0 CL= 90%

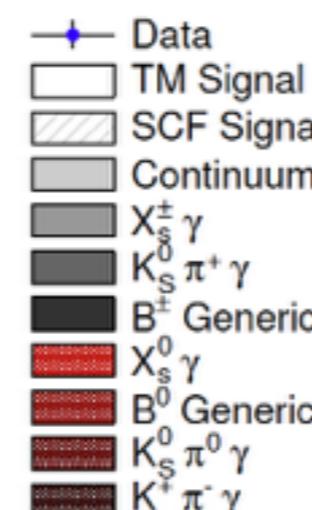
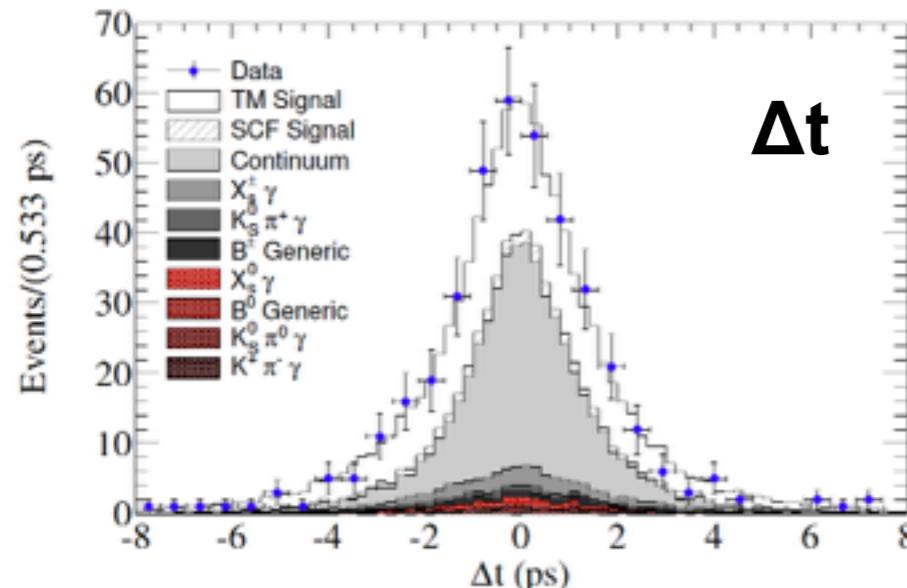
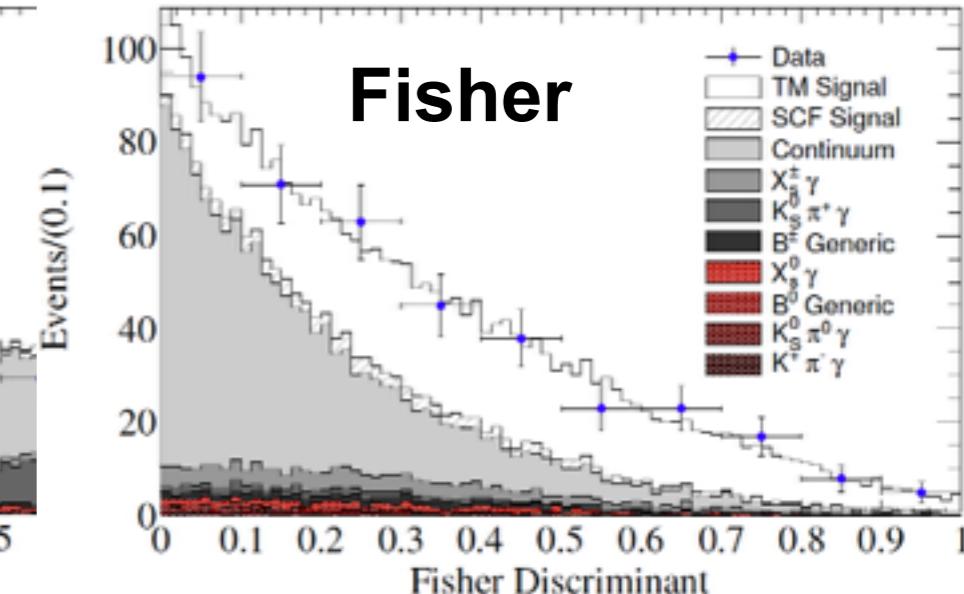
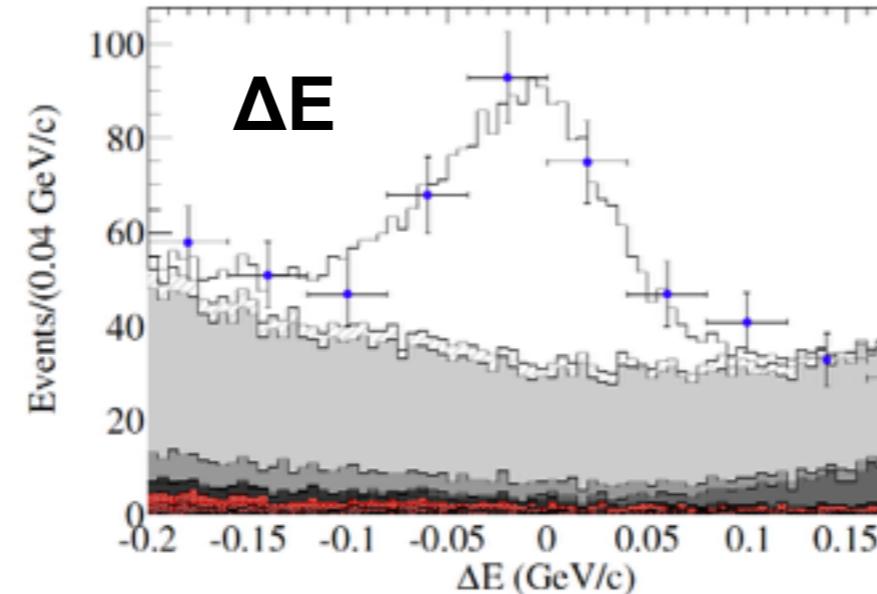
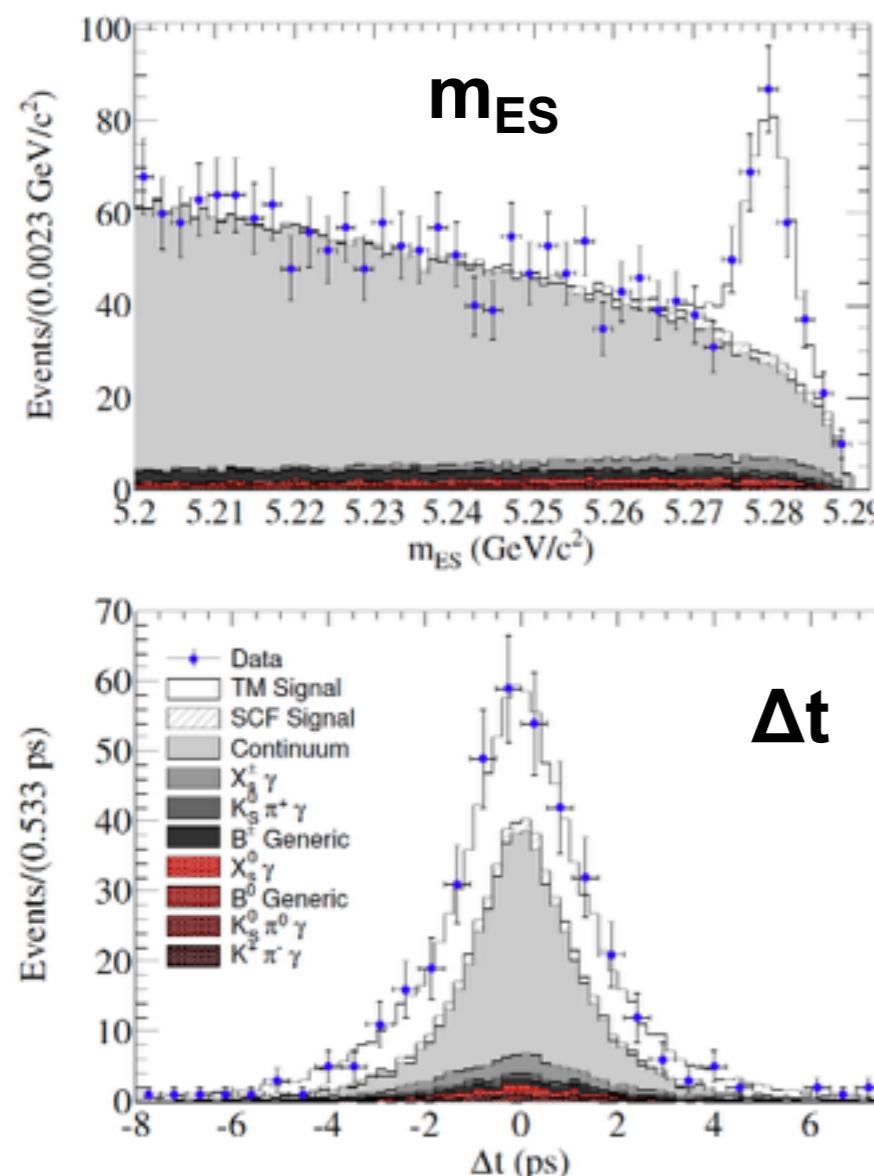
Several of these measurements
are the world best
(or done for the first time)

Resonances in
 $K^+ \pi^- \pi^+$ system

$B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$			
$K^{*0}(892)\pi^+ \gamma$	$17.3 \pm 0.9^{+1.2}_{-1.1}$	$26.0^{+1.4}_{-1.3} \pm 1.8$	20^{+7}_{-6}
$K^+ \rho(770)^0 \gamma$	$9.1^{+0.8}_{-0.7} \pm 1.3$	$9.2^{+0.8}_{-0.7} \pm 1.3 \pm 0.02$	< 20 CL= 90%
$(K\pi)_0^{*0}\pi^+ \gamma$	$11.3 \pm 1.5^{+2.0}_{-2.6}$	...	\emptyset
$(K\pi)_0^0\pi^+ \gamma$ (NR)	...	$10.8^{+1.4+1.9}_{-1.5-2.5}$	< 9.2 CL= 90%
$K_0^*(1430)^0\pi^+ \gamma$	$0.51 \pm 0.07^{+0.09}_{-0.12}$	$0.82 \pm 0.11^{+0.15}_{-0.19} \pm 0.08$	\emptyset

Results (S)

From the time-dependent analysis of the (neutral) decay mode $B^0 \rightarrow K_S\pi^-\pi^+\gamma$



With present sensitivity, S in agreement with the SM prediction and with previous measurement from Belle

$$S_{K_S^0\rho\gamma} = \frac{\mathcal{S}_{K_S^0\pi^+\pi^-\gamma}}{\mathcal{D}_{K_S^0\rho\gamma}} = 0.249 \pm 0.455^{+0.076}_{-0.060}$$

$$\mathcal{S}_{K_S^0\rho^0\gamma}^{\text{SM}} \sim 0.02$$

LHCb (Eli)

Le groupe

Responsable: EBH	(été 2010) MdC	
<i>Matthew Charles</i>	(Sep. 2013) <i>MdC</i>	
<i>Pascal David</i>	<i>MdC (a quitté le groupe Janvier 2014)</i>)
<i>Francesco Polci</i>	(Oct. 2011) <i>CNRS</i>)
<i>Maurice Benayoun</i>	<i>CNRS (émérite), garde toujours le contacte avec LHCb</i>)
<i>Luigi Del Buono</i>	<i>CNRS</i>)
<i>Aurélien Martens</i>	(Oct. 2011) <i>CDD-HN (jusqu'à juillet 2013)</i>)
<i>Diego Milanés</i>	(Nov. 2012) <i>Post doc « Emergence UPMC » (2 ans)</i>	
<i>Samuel Coquereau</i>	(Sep. 2012) <i>Doctorant (2</i>	
<i>Louis Henry</i>	(Sep. 2013) <i>Doctorant (1</i>	

2 CNRS + 2 MdC + 1 postdoc + 2 doctorants (8 signataires à présent)

- Publications : **2012** 1 note de conf. ; **2013** 4 articles + 1 note de conf.
- Shifts : près de 100% du quota LHCb en 2012
- Conférences **2011** 1 présentation ; **2012** 1 présentation
2013 : 6 présentation (sur les sujets de travail du groupe entre autres à Moriond, FPCP, SUSY, Beauty)

Activité : analyse (2 axes) + upgrade

$B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

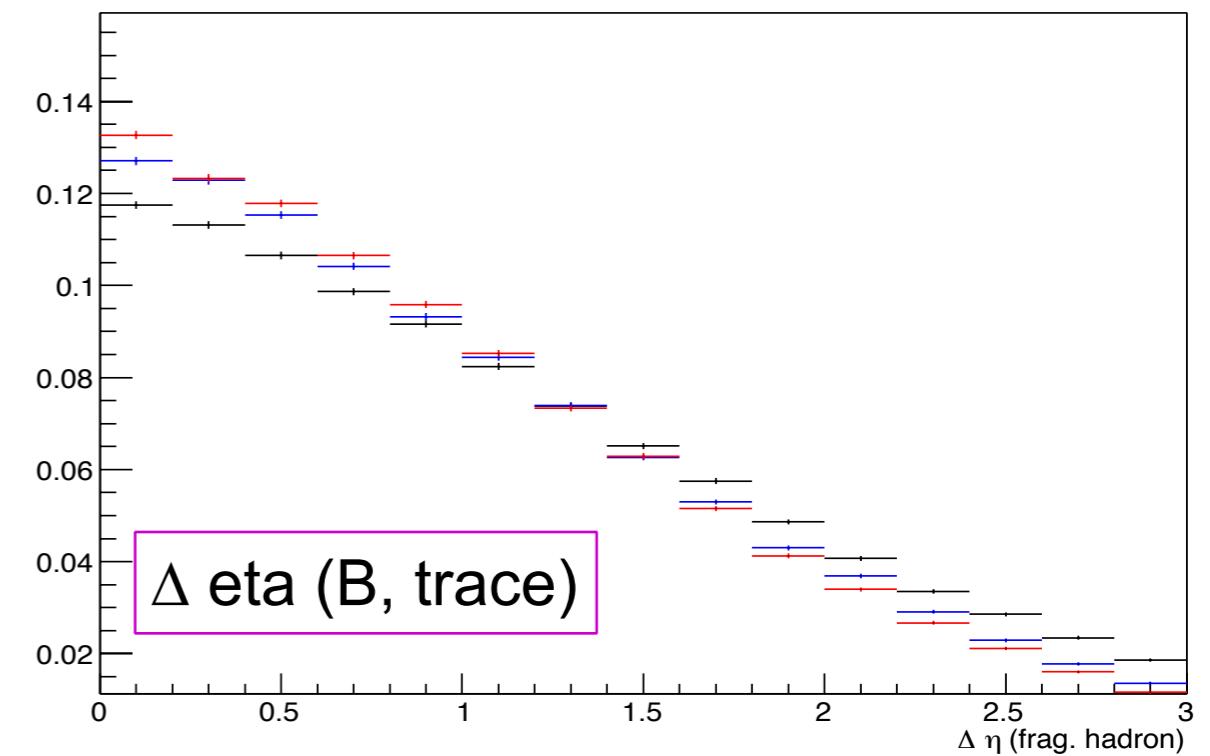
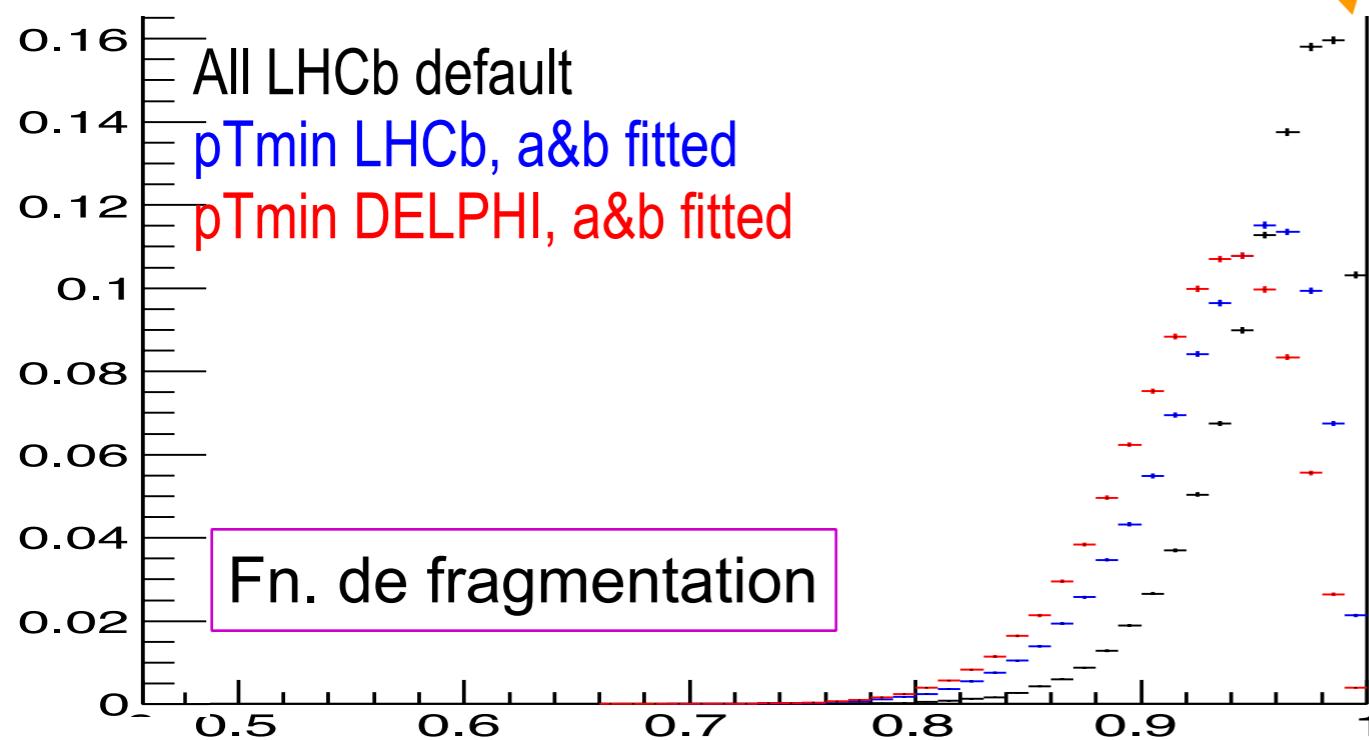
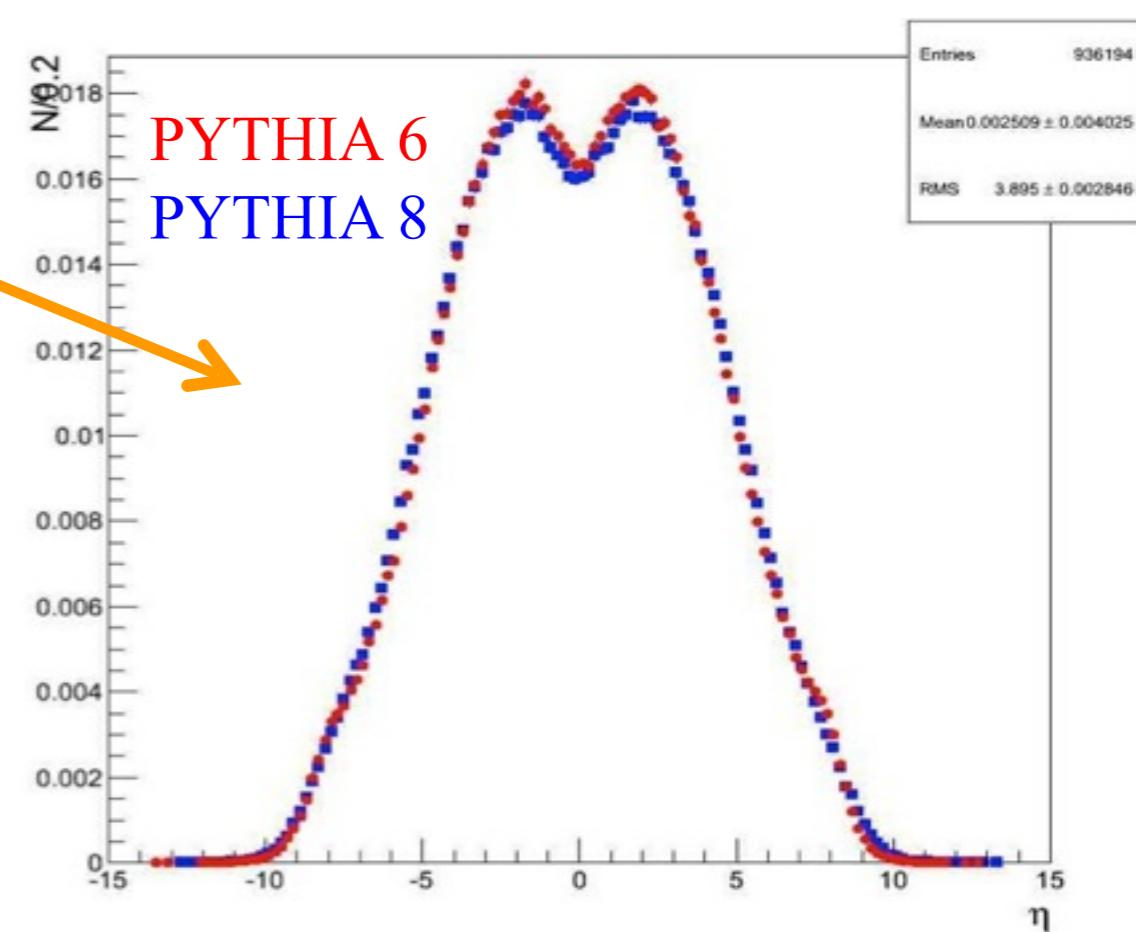
- Francesco Polci, Samuel Coquereau, EBH
→ 1 note conf. + 1 publication

Désintégrations de mésons B sans particule charmée

- Désintégration en trois corps, $B_{d,s} \rightarrow K_S h h'$: Aurélien Martens, Diego Milanés, EBH, Louis Henry, (Matthew Charles)
→ 1 note conf. + 1 publication
- Désintégration en deux corps, $B^+_{(c)} \rightarrow K_S h^+$: Aurélien Martens, Diego Milanés
→ 1 publication

-
- Notre projet de participation à l'upgrade porte sur le détecteur SciFi
 - Nous contribuons déjà à l'électronique, et aux aspects de simulation
 - Prise en charge de 50% des cartes de lecture pour le SciFi
 - à CS du laboratoire l'été prochain
 - à Luigi Del Buono, Olivier Le Dortz, Diego Milanés, Francesco Polci, EBH, (Louis Henry, Matthew Charles)

- Comparaison d'événements générés avec PYTHIA6 et 8 (après tuning de base) : rapidité des traces dans les événements « minimum bias » (pas biaisés par des conditions restrictives de déclenchement).
- Tuning des paramètres de fragmentation du B dans PYTHIA 8, entre autres pour les algorithmes de « same side tagging ».
→ Article en préparation



$B_{(s)}^0 \rightarrow K_s h^+ h^-$ decays

- Time-dependent flavour-tagged DP analyses sensitive to CP -violating phases
 - Angle β in B^0 decays
 - The equivalent mixing phase, β_s , in B_s decays
 - Angle γ from direct CP violation effects
- With the LHCb upgrade hope for precision of order a few degrees

- First step towards these measurements was to search for the previously unseen B_s decays

Decay	Observed?	Favoured?
B^0	✓	✓
B^0	✓	✗
B^0	✓	✓
B_s	✗	✗
B_s	✗	✓
B_s	✗	✗

(Status at beginning of 2013)

$B_{d,s} \rightarrow K_S hh'$

- ($h, h' = \pi$ ou K chargés)
- Collaboration avec les groupes de Clermont-Ferr et Warwick
- Analyse publiée en 2013 avec 1fb^{-1}
(JHEP 10 (2013) 143) :
 - Une première pour les modes avec B_s
 - Référence : mode bien mesuré ($B_d \rightarrow K_S \pi\pi$)
 - Pour l'instant : mesure de rapport d'embranchement

Decay	Observed?	Favoured?
$B^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$	✓	✓
$B^0 \rightarrow K_S K^\pm \pi^\mp$	✓	✗
$B^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$	✓	✓
$B_s \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$	✗	✗
$B_s \rightarrow K_S K^\pm \pi^\mp$	✗	✓
$B_s \rightarrow K_S K^+ K^-$	✗	✗

Non observés avant notre analyse...

$B_{d,s} \rightarrow K_S h h'$

■ Quelques résultats

$$\frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-)} = 0.128 \pm 0.017 \text{ (stat.)} \pm 0.009 \text{ (syst.)},$$

$$\frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_s^0 K^+ K^-)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-)} = 0.385 \pm 0.031 \text{ (stat.)} \pm 0.023 \text{ (syst.)},$$

$$\frac{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-)} = 0.29 \pm 0.06 \text{ (stat.)} \pm 0.03 \text{ (syst.)} \pm 0.02 (f_s/f_d),$$

$$\frac{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-)} = 1.48 \pm 0.12 \text{ (stat.)} \pm 0.08 \text{ (syst.)} \pm 0.12 (f_s/f_d),$$

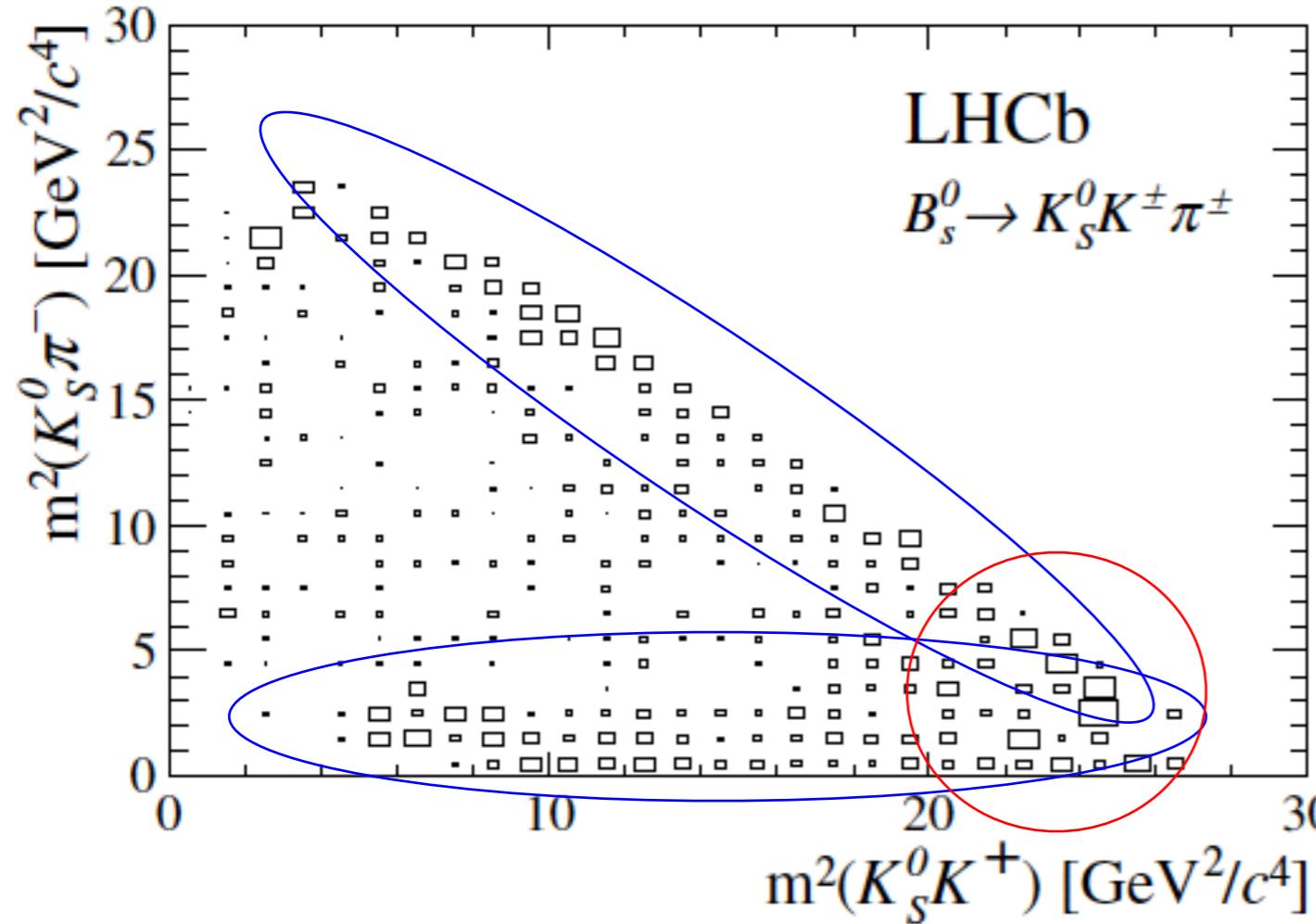
$$\frac{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K_s^0 K^+ K^-)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-)} \in [0.004; 0.068] \text{ at } 90\% \text{ CL}.$$

Confirmation de
mesures de BaBar

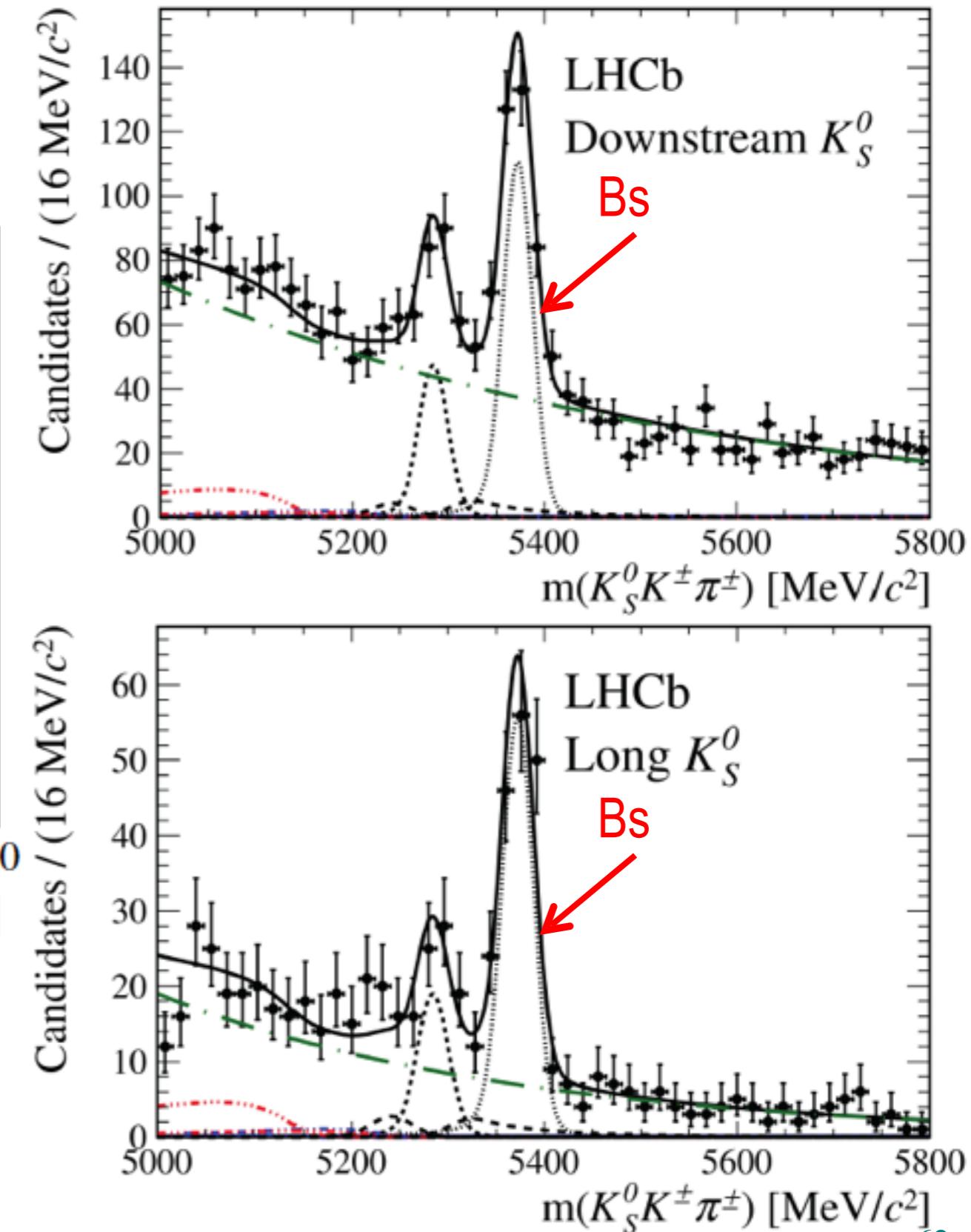
Nouveau
(observation)

$B_{d,s} \rightarrow K_S h h'$

■ Exemple de $B_s \rightarrow K_S K \pi$



Contributions possibles d'états intermédiaires K^*
 Région d'interférence



$B_{d,s} \rightarrow K_S h h'$

- Nous avons commencé une analyse en amplitude
 - Combiner les données de 2011 (1 fb^{-1}) et 2012 (3 fb^{-1})
 - Dans un premier temps: chercher le mode $B_s \rightarrow K_S K^+ K^-$
 - Analyse en amplitude intégrée en temps
 - ◆ Elle déterminera le contenu résonant des désintégrations (rapports d'embranchements et phases relatives entre composantes)
 - ◆ Elle fournira une étude de faisabilité d'analyses futures plus complexes.
- Nos contributions (entre autres):
 - Etudes d'efficacité sur le plan de Dalitz et développement d'un outil dédié de simulation
 - Développement de « fitter »
 - Etude détaillé de bruit de fond
 - Etude de modèle du plan de Dalitz
- Ceci (et en particulier le canal $K_S K^+ K^-$) est le sujet de thèse de Louis Henry

$B^+ \rightarrow K_S h^+$

■ Mesures (3 fb^{-1}) :

$$\frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K_S^0 K^+)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+)} = 0.064 \pm 0.009 \text{ (stat.)} \pm 0.004 \text{ (syst.)}$$

$$\mathcal{A}^{CP}(B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+) = -0.022 \pm 0.025 \text{ (stat.)} \pm 0.010 \text{ (syst.)}$$

$$\mathcal{A}^{CP}(B^+ \rightarrow K_S^0 K^+) = -0.21 \pm 0.14 \text{ (stat.)} \pm 0.01 \text{ (syst.)}$$

Résultats les plus précis d'une expérience unique

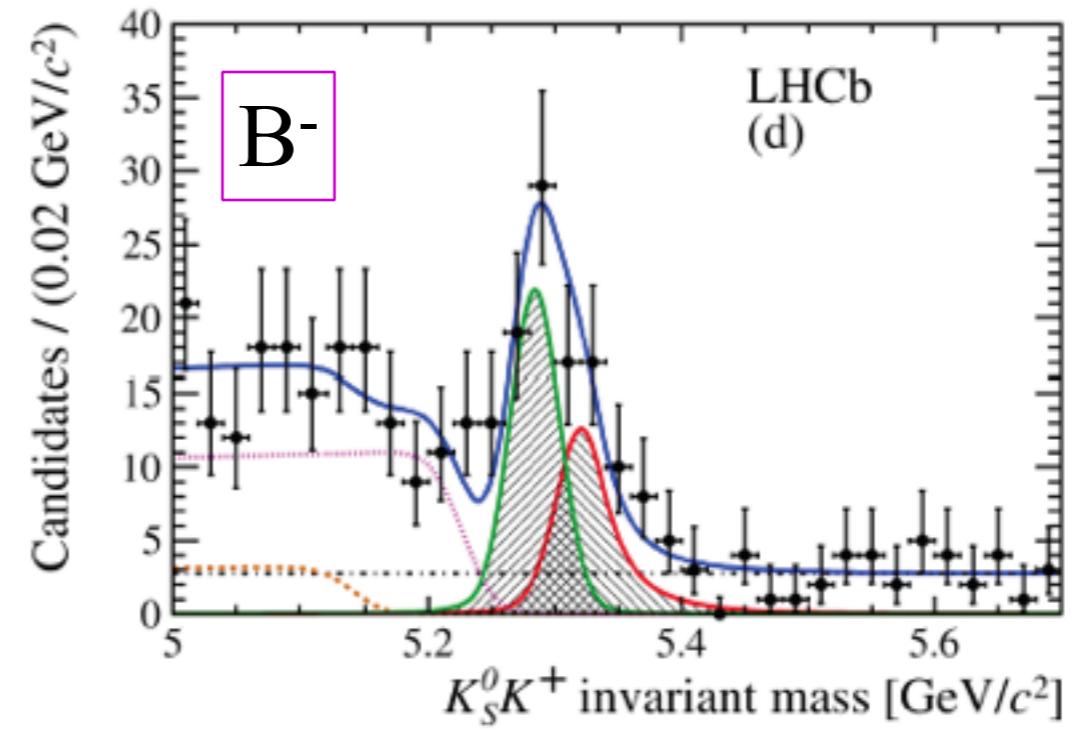
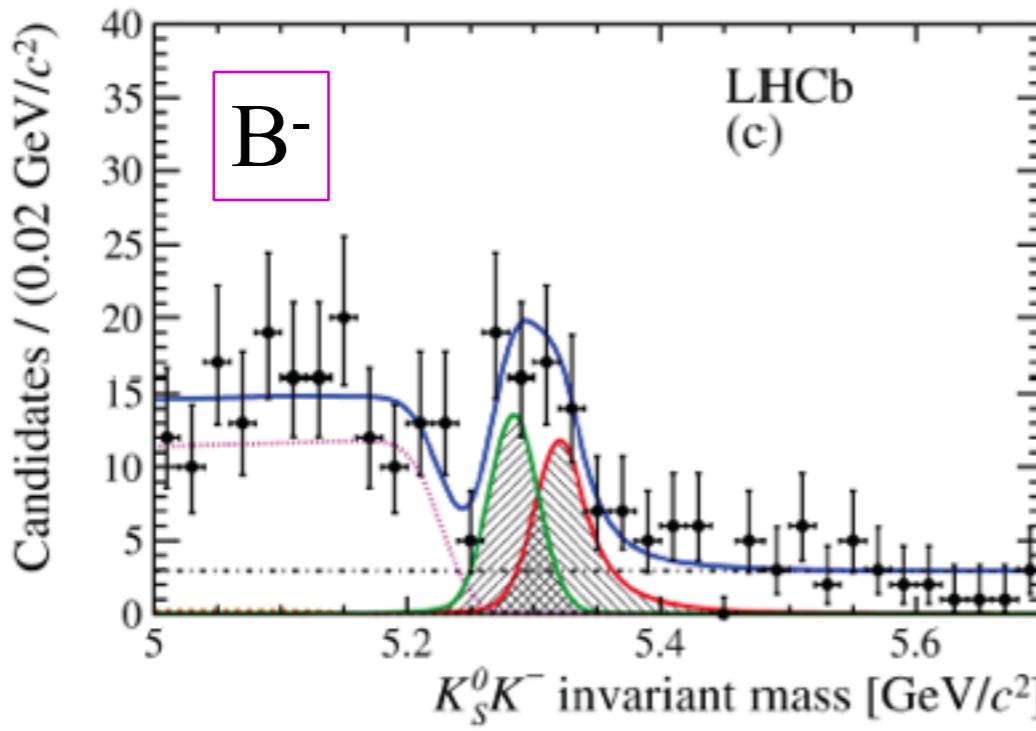
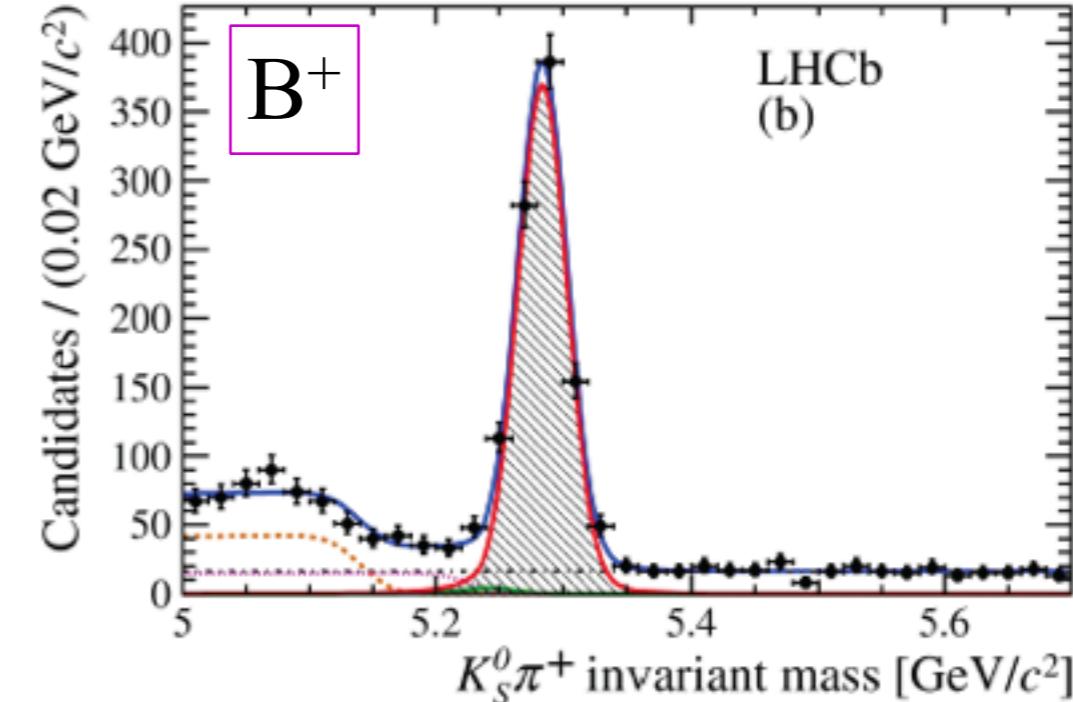
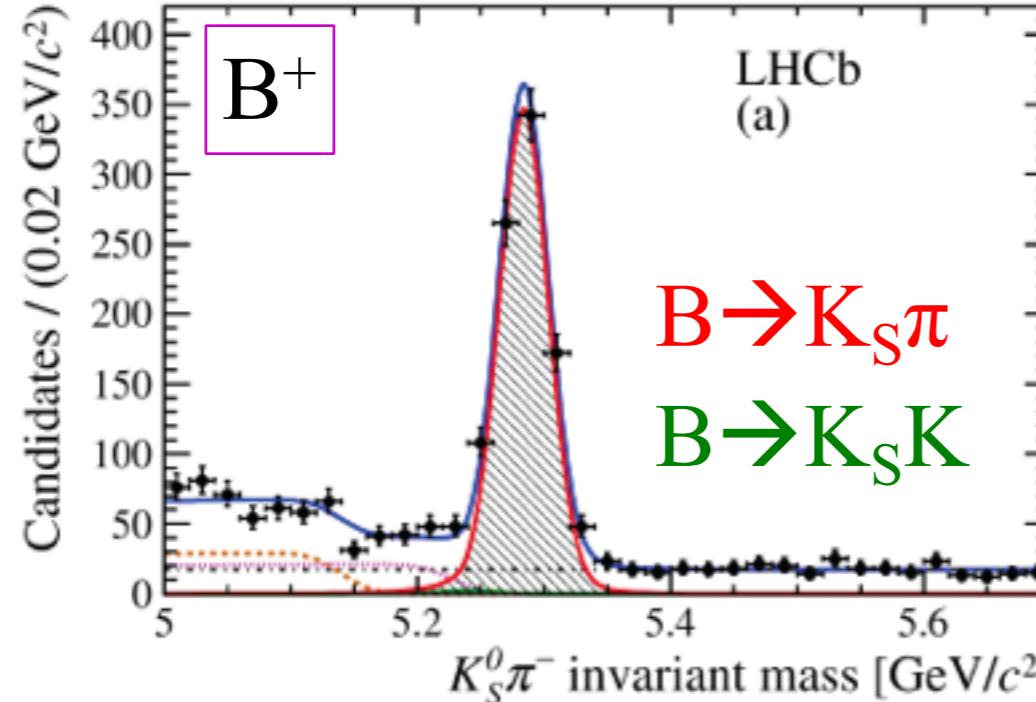
■ Limite sur $B_c^+ \rightarrow K_S h^+$ (avec 1 fb^{-1})

10^{-4} at 90% CL

$$\mathcal{B}(B_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^+) < 4.6 \times$$

- Résultats montrés à EPS 2013, papier: arXiv 1308.1277 (envoyé à Phys. Lett. B, réaction positive du referee)
- Réalisée par le LPNHE tout seul

$$B^+ \rightarrow K_S h^+$$



List of LHCb publications

Branching fraction and CP asymmetry of the decays $B^+ \rightarrow K^0 S \pi^+$ and $B^+ \rightarrow K^0 S K^+$

<http://arxiv.org/abs/1308.1277>

Physics Letters B 726 (2013) pp. 646-655

10.1016/j.physletb.2013.09.046

Study of $B^0(s) \rightarrow K^0 S h + h' -$ decays with first observation of $B^0 s \rightarrow K^0 S K^\pm \pi^\mp$ and $B^0 s \rightarrow K^0 S \pi^+ \pi^-$

<http://arxiv.org/abs/1307.7648>

J. High Energy Phys. 10 (2013) 143

10.1007/JHEP10(2013)143

Differential branching fraction and angular analysis of the decay $B^0 \rightarrow K^*_0 \mu^+ \mu^-$

<http://arxiv.org/abs/1304.6325>

JHEP 1308 (2013) 131

10.1007/JHEP08(2013)131

Study of D_J meson decays to $D^+ \pi^-$, $D^0 \pi^+$ and $D^* \pi^-$ final states in pp collision

<http://arxiv.org/abs/1307.4556>

JHEP 1309 (2013) 145

10.1007/JHEP09(2013)145

Search for the doubly charmed baryon Ξ_{cc}^+

<http://arxiv.org/abs/1310.2538>

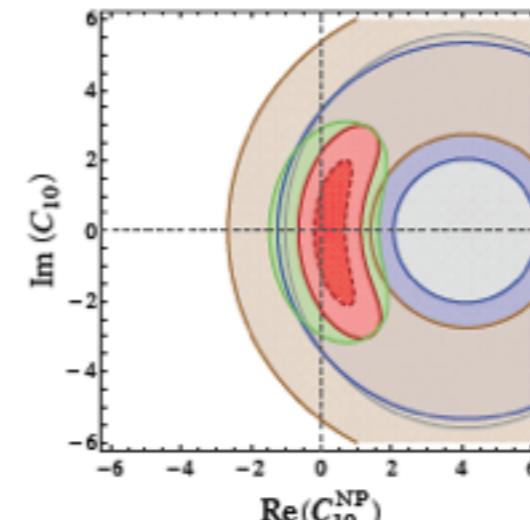
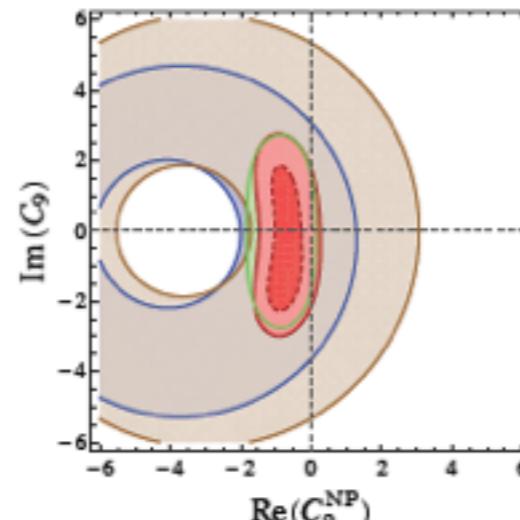
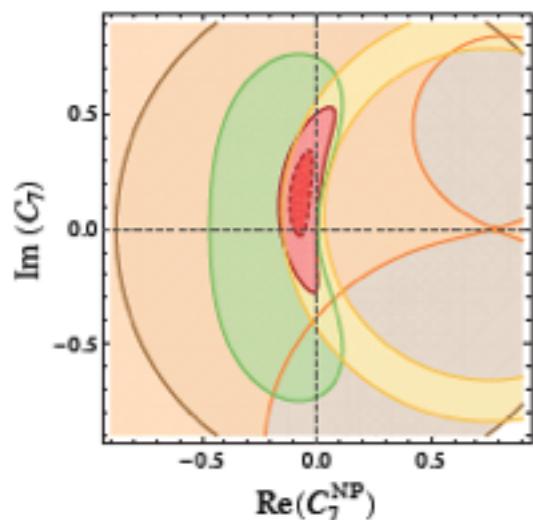
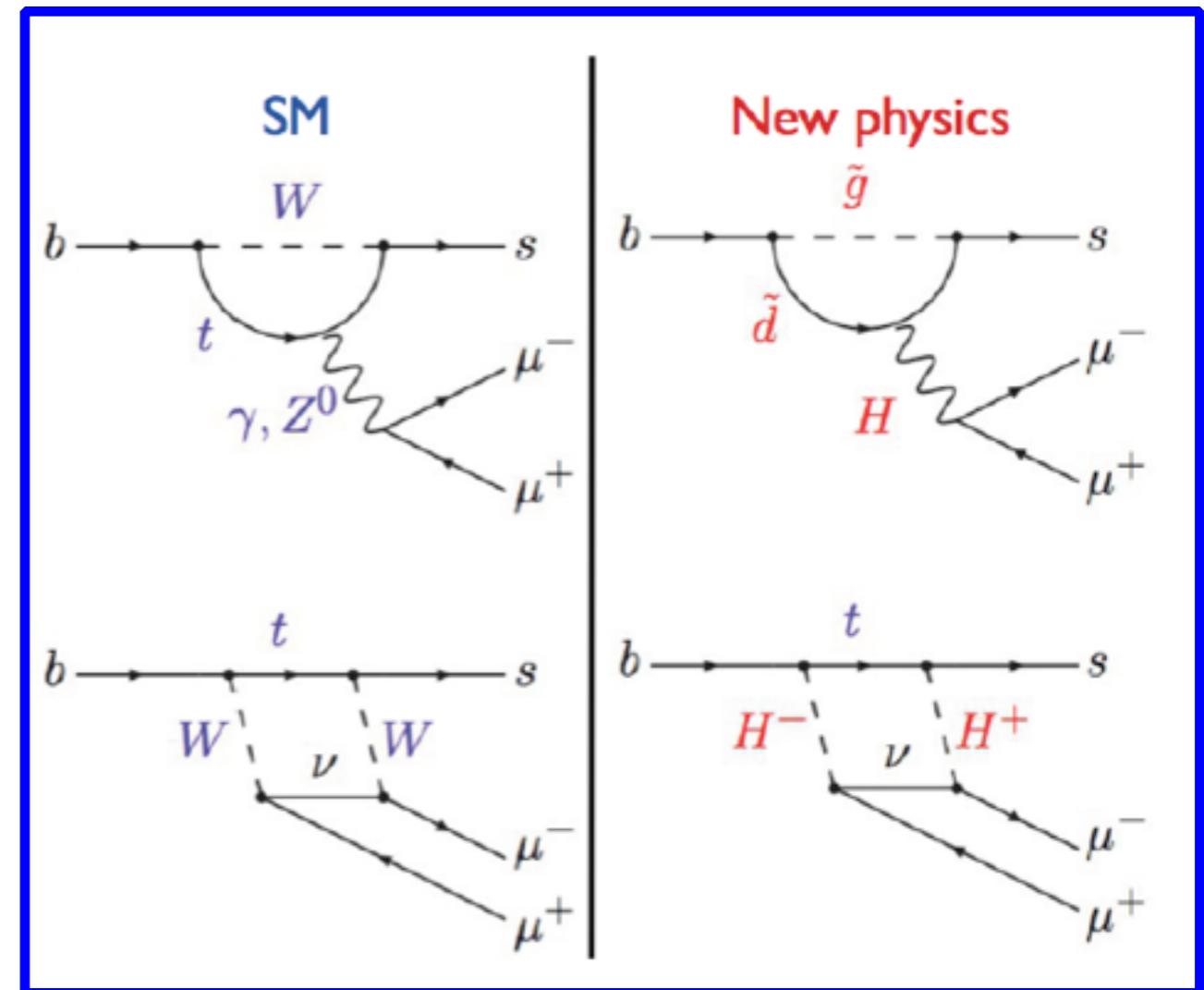
JHEP 1312 (2013) 090

10.1007/JHEP12(2013)090

LHCb (Francesco)

Désintégrations $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

- Courante neutre changent de saveur (FCNC)
- Puissant test du model standard: nouvelle physique dans les boucles?
- Faible BR: $\sim 10^{-6}$
- Même quand on ne trouve pas de nouvelle physique, les contraintes de la mesure sont très forts et guident les théoriciens dans la constructions de modèles.



arXiv[1206.0273]
W. Altmannshofer
and D. Straub

$B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$, $BR(B \rightarrow X_s \gamma)$ (yellow), $A_{CP}(b \rightarrow s \gamma)$, $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$,
 $B \rightarrow K \mu^+ \mu^-$, $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, and combination at 1 and 2σ .

Analyse angulaire des désintégrations $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

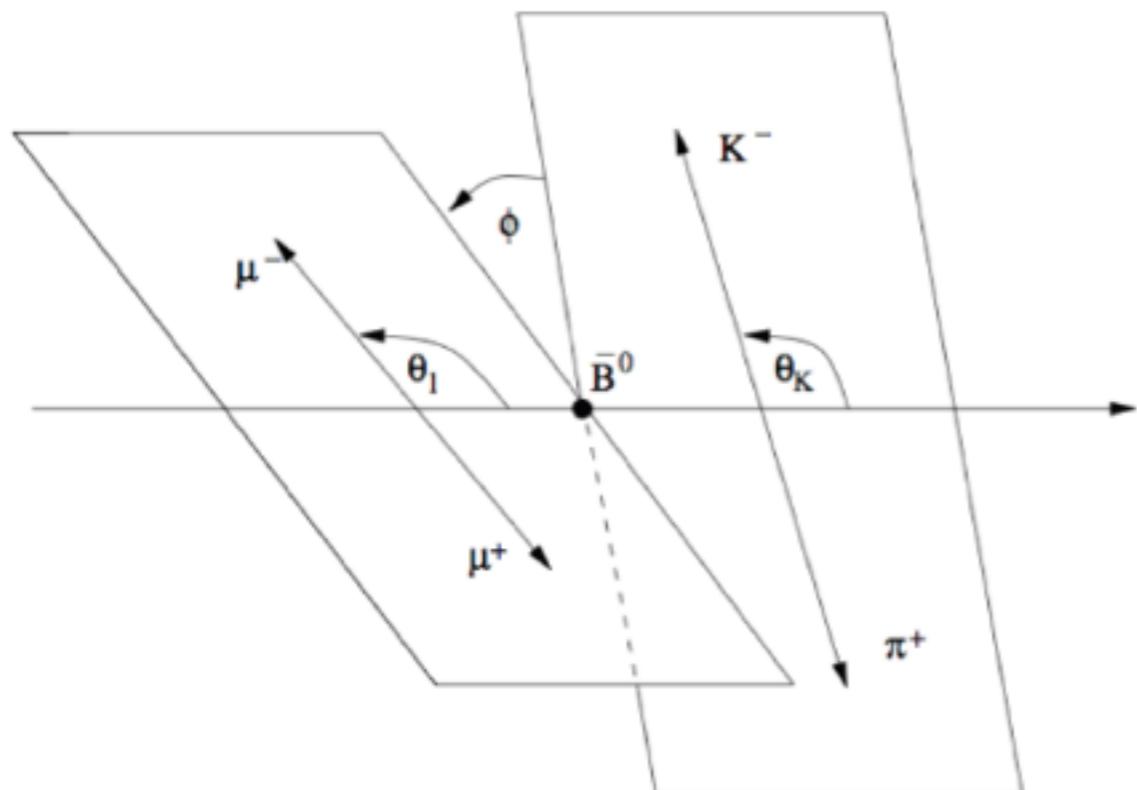
La cinématique de la désintégration est décrite complètement en fonction de $q^2 = m^2(\mu\mu)$ et de trois angles θ_l θ_K ϕ

$$\frac{1}{d\Gamma/dq^2} \frac{d^4(\Gamma)}{d \cos \theta_\ell \, d \cos \theta_K \, d\phi} = \frac{9}{16\pi} \left[F_L \cos^2 \theta_K + \frac{3}{4} (1 - F_L) (1 - \cos^2 \theta_K) \right.$$

$$- F_L \cos^2 \theta_K (2 \cos \theta_\ell - 1) + \frac{1}{4} (1 - F_L) (1 - \cos^2 \theta_K) (2 \cos^2 \theta_\ell - 1)$$

$$+ S_3 (1 - \cos^2 \theta_K) (1 - \cos^2 \theta_\ell) \cos 2\phi + \frac{3}{4} A_{FB} (1 - \cos^2 \theta_K) \cos \theta_\ell$$

$$\left. + A_9 (1 - \cos^2 \theta_K) (1 - \cos^2 \theta_\ell) \sin 2\phi \right]$$



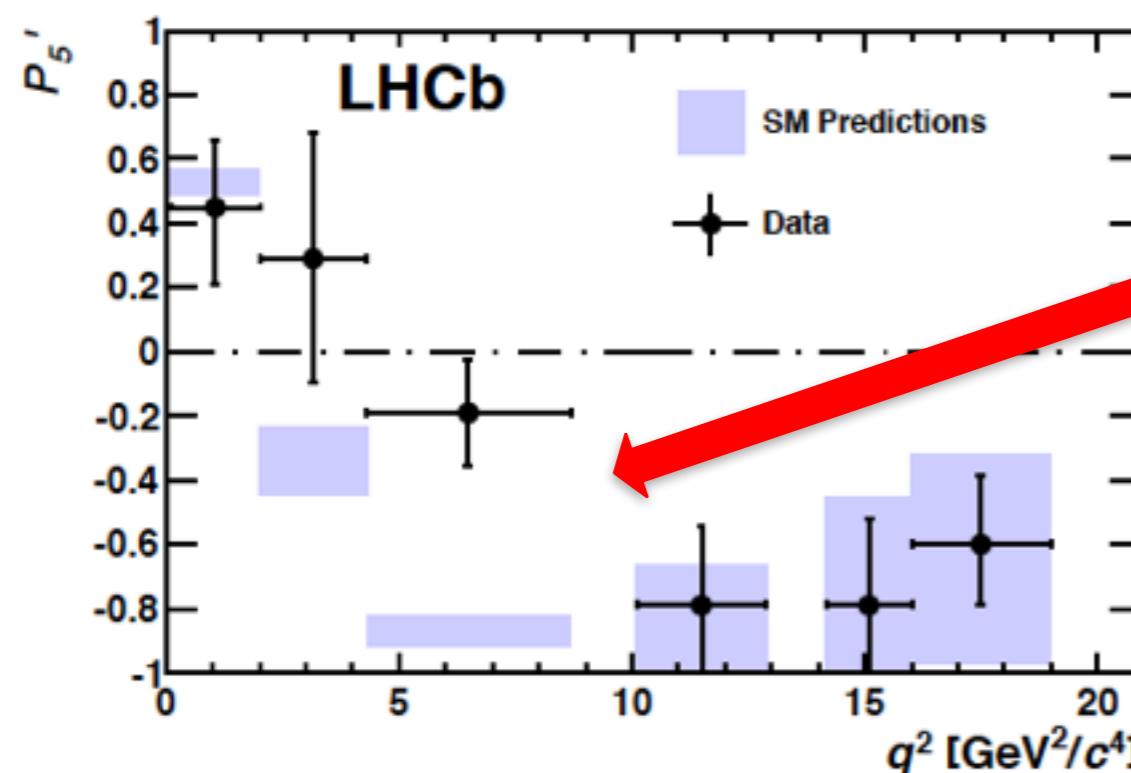
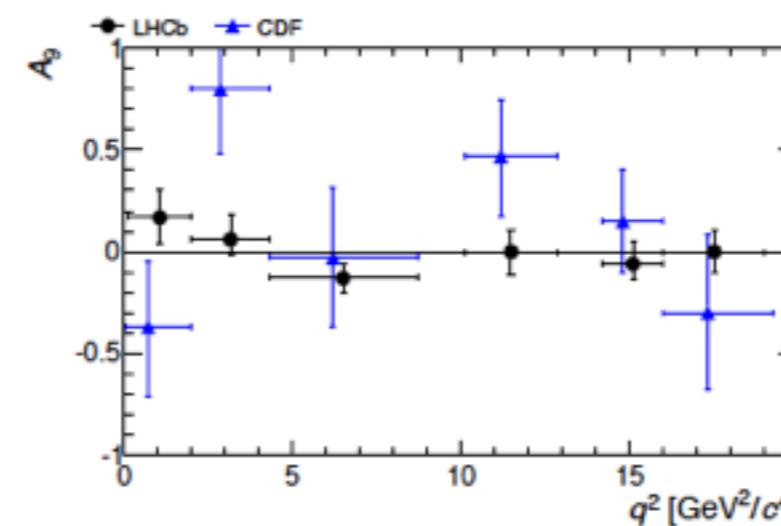
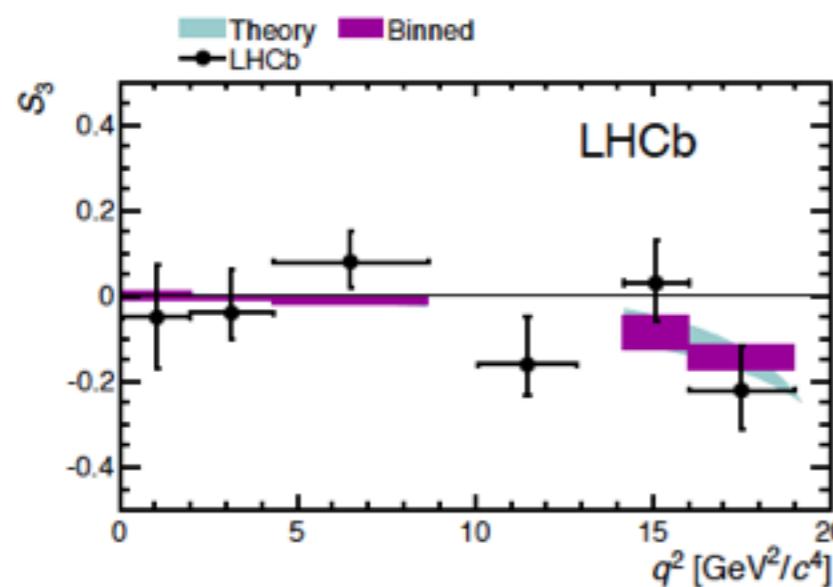
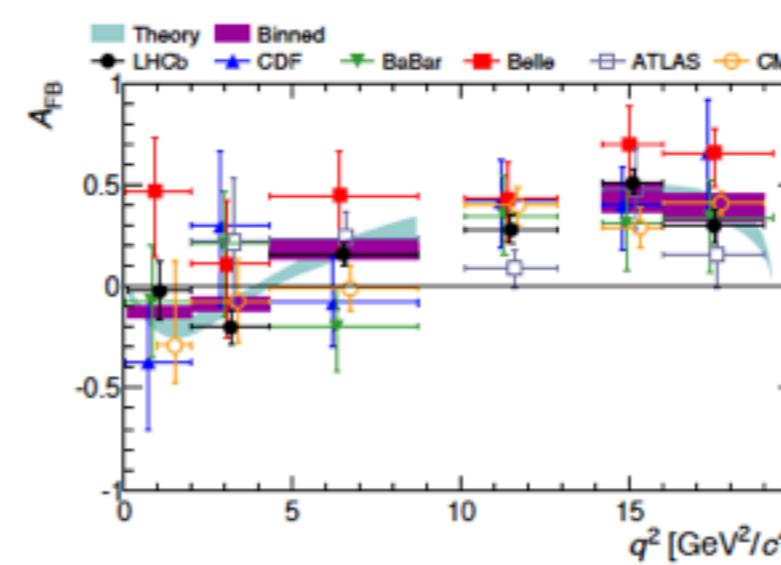
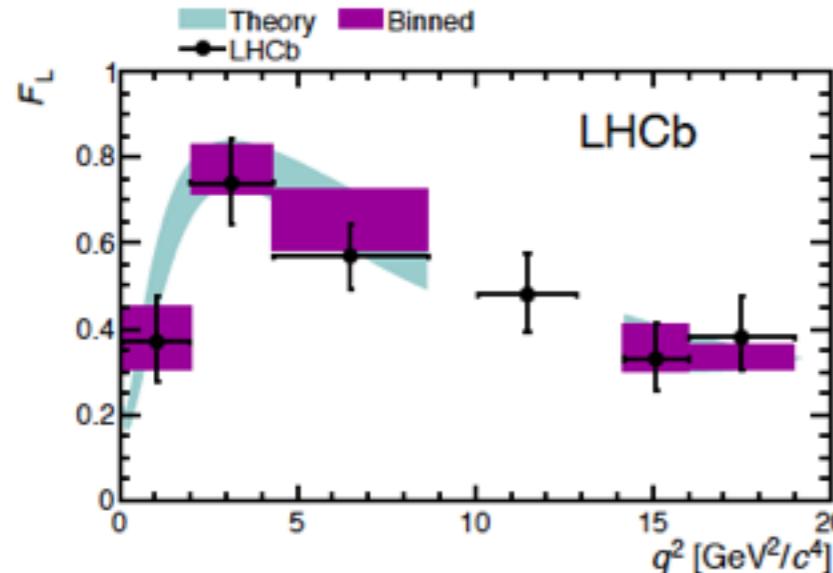
A_{FB} = asymétrie avant/arrière du di-muon
 F_L = polarisation longitudinale du K^*
 S_3 et A_9 = liée à la polarisation du photon

D'autres observables sont aussi mesurées:
 P_4' , P_5' , P_6' , P_8'

Resultats (1fb^{-1})

JHEP 08 (2013) 131

- LHCb a la meilleure précision!
- LHCb mesure pour la première fois des nouvelles observables!
- Les mesures sont dominé par l'erreur statistique.



HOT TOPIC!

3.7 σ deviation in this bin
To be confirmed with more data....

Notre contribution

Pour l'analyse des données 1fb^{-1} :

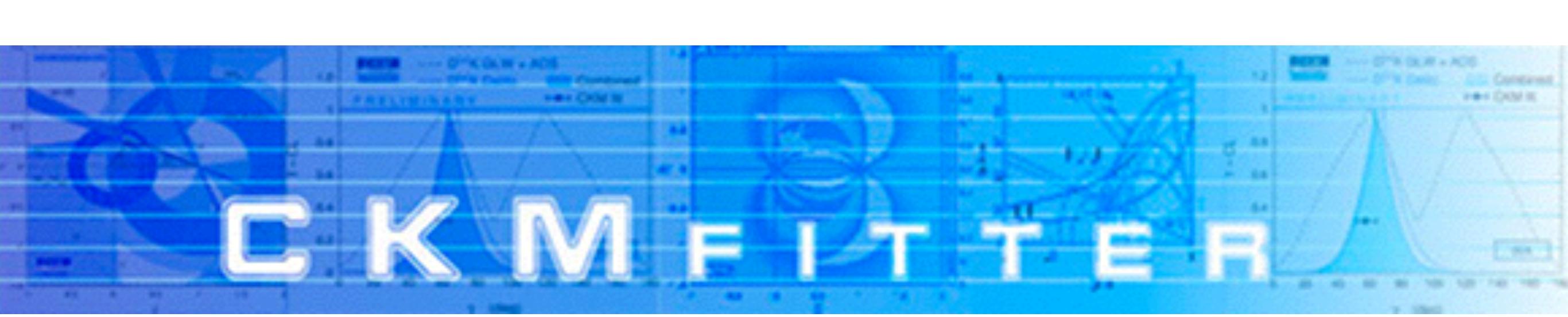
- évaluation de l'onde $S(K\pi)$;
- mise en place de la méthode pour correction des bias due à la masse non nulle du μ ;
- validation du fit à travers un cross-check indépendant des résultats dans le premier bin en q^2 ;
- review de l'analyse des observables P'

Analyse des 3 fb^{-1} en cours (thèse de Samuel Coquereau):

- production d'ntuple pour le working group;
- optimisation de la sélection des événements;
- amélioration des descriptions de signal et fond.

Résultats attendus à l'automne!

CKMFitter (Jose)



CKM FITTER

<http://ckmfitter.in2p3.fr>

CKM
fitter

José Ocariz, pour la biennale du LPNHE 2014

LPNHE and CKMfitter

The CKMfitter Group

Jérôme Charles	Theory	CPT Marseille (France)
Olivier Deschamps	LHCb	LPC Clermont-Ferrand (France)
Sébastien Descotes-Genon	Theory	LPT Orsay (France)
Ryosuke Itoh	Belle/Belle II	KEK Tsukuba (Japan)
Heiko Lacker	ATLAS/BABAR	Humboldt-Universität Berlin (Germany)
Evan Machefer	LHCb	LPC Clermont-Ferrand (France)
Andreas Menzel	ATLAS	Humboldt-Universität Berlin (Germany)
Stéphane Monteil	LHCb	LPC Clermont-Ferrand (France)
Valentin Niess	LHCb	LPC Clermont-Ferrand (France)
José Ocariz	ATLAS/BABAR	LPNHE Paris (France)
Jean Orloff	Theory	LPC Clermont-Ferrand (France)
Alejandro Perez	BABAR	IPHC Strasbourg (France)
Wenbin Qian	LHCb	LAPP Annecy-Le-Vieux (France)
Vincent Tisserand	LHCb/BABAR	LAPP Annecy-Le-Vieux (France)
Karim Trabelsi	Belle/Belle II	KEK Tsukuba (Japan)
Philip Urquijo	Belle/Belle II	Melbourne Universiy (Australia)
Luiz Vale Silva	Theory	LPT Orsay (France)

Group composition :

Experimentalists
(B-factories, LHC expt's)

Theorists
(in increasing number)

Mostly french people
(but not only)

One person from LPNHE
(yours truly)

The CKMfitter Group

Former Members:

Francois R. Le Diberder	BABAR	LAL Orsay (France)
Andreas Höcker	ATLAS	CERN Geneva (Switzerland)
Sandrine Laplace	ATLAS	LAPP Annecy-Le-Vieux (France)
Guillaume Therin	BABAR	LPNHE Paris (France)
Lydia Roos	BABAR	LPNHE Paris (France)
Christian Kaufhold	Theory	LAPP Annecy-Le-Vieux (France)
Muriel Pivk	LHCb	CERN Geneva (Switzerland)
Julie Malcles	BABAR	LPNHE Paris (France)
Stéphane Pruvot	BABAR	LAL Orsay (France)
Arnaud Robert	LHCb	LPC Clermont-Ferrand (France)
Andreas Jantsch	ATLAS	MPI Munich (Germany)
Geoffrey Herbert	ATLAS	Humboldt-Universität Berlin (Germany)
Fabian Spettel	ATLAS	Humboldt-Universität Berlin (Germany)
Stéphane T'Jampens	LHCb	LAPP Annecy-Le-Vieux (France)

In the past :

Several LPNHE members

Our *BaBar* PhD students did phenomenology studies during their theses (including a few well-valued publications out of the large experimental collaborations)

... plus several stagiaires, or “outsider” CKMfitter users...

Scientific production

Publications

Future sensitivity to new physics in B_d , B_s and K mixings
[\[arXiv:1306.2293 \[hep-ph\]\]](#)
[\[Inputs and results\]](#)

New Physics in B - \bar{B} mixing in the light of recent LHCb data
[\[arXiv:1203.0238 \[hep-ph\]\]](#)
[\[extended list of inputs and results\]](#)

Predictions of selected flavour observables within the Standard Model
[\[arXiv:1106.4041 \[hep-ph\]\]](#)
[\[list of inputs\]](#)

Anatomy of New Physics in B - \bar{B} mixing
[\[arXiv:1008.1593 \[hep-ph\]\]](#)

The Two Higgs Doublet of Type II facing flavour physics data
[\[arXiv:0907.5135 \[hep-ph\]\]](#)

CP violation and the CKM matrix: Assessing the impact of the asymmetric B factories
[\[arXiv:hep-ph/0406184\]](#)

A New approach to a global fit of the CKM matrix
[\[arXiv:hep-ph/0104062\]](#)

Impact of a Higgs boson at a mass of 126 GeV on the standard model with three and four fermion generations
[\[arXiv:1209.1101 \[hep-ph\]\]](#)

Status of the fourth fermion generation before ICHEP2012: Higgs data and electroweak precision observables
[\[arXiv:1207.0438 \[hep-ph\]\]](#)

Joint analysis of Higgs decays and electroweak precision observables in the Standard Model with a sequential fourth generation
[\[arXiv:1204.3872 \[hep-ph\]\]](#)

Model-independent extraction of $|V_{tb}|$ matrix elements from top-quark measurements at hadron colliders
[\[arXiv:1202.4694 \[hep-ph\]\]](#)

Simultaneous Extraction of the Fermi constant and PMNS matrix elements in the presence of a fourth generation
[\[JHEP 1007 \(2010\) 066\]](#)
[\[arXiv:1003.4532 \[hep-ph\]\]](#)

12 publications in refereed journals

Including one TOPCITE=1000+

New: no group authorship for papers
i.e. I only sign papers with personal work
i.e. 1 paper since last biennale

Many requests for talks in conferences!
We often struggle to fulfill requests
i.e. I have not given a CKMfitter talk since last biennale...

Predictions of selected flavour observables within the Standard Model

J. Charles (Marseille, CPT), O. Deschamps (Clermont-Ferrand U.), S. Descotes-Genon (Orsay, LPT), U., Berlin), S. Monteil, V. Niess (Clermont-Ferrand U.), J. Ocariz (Paris U., VI-VII), J. Orloff (Clermont-F

Published in **Phys.Rev. D84 (2011) 033005**

LPT-ORSAY-11-53

DOI: [10.1103/PhysRevD.84.033005](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.84.033005)

e-Print: [arXiv:1106.4041 \[hep-ph\]](#) | [PDF](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)

[CERN Document Server](#) ; [ADS Abstract Service](#)

[Detailed record](#) - [Cited by 105 records](#)

100+

Final Words

EPJ manuscript No.
(will be inserted by the editor)

The transition from B-factories to hadronic machines: constraining the CKM matrix and New Physics

Jérôme Charles^{1,2}, Olivier Deschamps³, Sébastien Descotes-Genon⁴, Ryosuke Itoh⁵, Heiko Lacker⁶, Stéphane Monteil³, Valentin Niess³, José Ocariz⁷, Jean Orloff³, Stéphane T'Jampens⁸, Vincent Tisserand⁸, and Karim Trabelsi⁵ [The CKMfitter group]

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, CPT, UMR 7332, 13288 Marseille, France

² Université de Toulon, CNRS, CPT, UMR 7332, 83957 La Garde, France

³ Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont-Ferrand^a, Université Blaise Pascal, 24 Avenue des Landais, F-63177 Aubière Cedex

⁴ Laboratoire de Physique Théorique^b, Bâtiment 210, Faculté des Sciences, F-91405 Orsay Cedex, France

⁵ KEK (High Energy Accelerator Research Organization), Institute of Particle and Nuclear Studies, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801, Japan

⁶ Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Physik, Newtonstr. 15, D-12489 Berlin, Germany

⁷ Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Energies^c, 4 place Jussieu, F-75252 Paris Cedex 05, France

⁸ Laboratoire d'Annecy-Le-Vieux de Physique des Particules^d, 9 Chemin de Bellevue, BP 110, F-74941 Annecy-le-Vieux Cedex, France

Received: date / Revised version: date

Abstract. Insert your abstract here.

PACS. PACS-key describing text of that key – PACS-key describing text of that key

Contents

1	Introduction	2
2	The Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Matrix	3
2.1	Quark mixing in the Standard Model	3
2.2	Parameterizations of the CKM matrix	3
2.3	Unitarity Triangles	4
2.4	CP violation and the Jarlskog invariant	6
3	Frequentist statistics	7
3.1	Data fitting and data reduction	7
3.2	Model fitting and p-values	7
3.3	Likelihood-ratio test statistic	9
3.4	Theoretical errors	9
3.5	Implementation	10
4	Inputs to the global fit of the CKM matrix	10
4.1	Overview of the relevant observables	10
4.2	Inputs for the Standard Model fit	11
4.3	Quark masses and coupling constants	12
4.4	Hadronic inputs from lattice QCD	14
4.5	$|V_{ud}|$ and $|V_{us}|$ . . . . .	16
4.5.1	Super-allowed nuclear β -decays (I)	18

^a UMR 6533 du CNRS-IN2P3 associée à l'Université Blaise Pascal.

^b UMR 8627 du CNRS associée à l'Université Paris-Sud 11.

^c UMR 7585 du CNRS-IN2P3 associée aux Universités Paris VI et VII.

^d UMR 5814 du CNRS-IN2P3 associée à l'Université de Savoie.

4.5.2	Neutral kaon (U)	18
4.5.3	Semileptonic $\mu\mu$ decay ?	19
4.5.4	Semileptonic kaon decays (I)	19
4.5.5	Lepton and τ decays (I)	19
4.5.6	Hyperon and hadronic τ decays (U)	20
4.6	$|V_{ub}|$ and $|V_{cb}|$ . . . . .	20
4.6.1	Neutrino-nucleon scattering and W decays (I)	20
4.6.2	Semileptonic and leptonic decays of charmed mesons (P)	21
4.7	$|V_{cb}|$ from semileptonic decays	22
4.7.1	Inclusive method	22
4.7.2	Exclusive method	22
4.7.3	Average (I)	22
4.8	$|V_{cb}|$ from semileptonic decays	22
4.8.1	Exclusive method	22
4.8.2	Inclusive method	23
4.8.3	Average (I)	23
4.9	$B \rightarrow \tau\nu$ (I)	23
4.10	$|V_{cb}|$ (P)	24
4.11	α (I)	24
4.12	β (I)	25
4.13	γ (I)	26
4.14	$\sin(2\beta + \gamma)$ (P)	28
4.15	$B\bar{B}$ mixing observables	30
4.15.1	Δm_d and Δm_s (I)	30
4.15.2	Width difference and β_s (P)	30
4.15.3	Flavour-specific asymmetries (P)	30
4.16	$K\bar{K}$ mixing observables (I)	31

2 J. Charles et al. (The CKMfitter group): The transition from B-factories to hadronic machines

4.17	$B_s \rightarrow \mu\mu$ (P)	32
4.18	Radiative B decays (P)	32
4.19	Semileptonic B decays (I)	32
5	Testing the Standard Model	33
5.1	Unitarity tests	33
5.2	p-value of the Standard Model	33
5.3	Metrology of the CKM parameters	33
5.4	Comparing experimental measurements and Standard Model predictions	34
5.5	Metrology of lattice parameters	36
5.6	α	36
5.7	γ	36
5.8	$B \rightarrow \tau\nu$ and $\sin 2\beta$	36
5.9	ϵ_K	36
5.10	$\sin(2\beta + \gamma)$	36
5.11	Radiative decays	37
6	Predicting the Standard Model	37
6.1	$|V_{cb}|$ at low q^2	37
6.2	B mixing observables	37
6.3	Dileptonic decays	37
6.4	Rare B decays	38
6.5	$K \rightarrow \pi$	38
6.6	$B \rightarrow K^{(*)}\ell\nu$	38
7	Probing New Physics	39
7.1	Relevant observables	40
7.2	Model independent : $\Delta F = 2$	40
7.3	Model-dependent approach for $\Delta F = 1$ transitions	40
7.3.1	The Two Higgs Doublet Model of type II	42
7.3.2	Charged Higgs effects in flavour observables	43
7.3.3	Combined constraints	44
7.4	Wilson coefficients	45
8	Conclusion	45
A	The linear CKM fit	46
B	The time evolution of CKM constraints	47
C	Prospective [?].	48
C.1	Kaon (NA62) [?].	48
C.2	LHCb [?].	48
C.3	Super Flavour Factory [?].	48
SDG (Clermont): General comments		

– use British spelling
– define and use short-cuts at the beginning of each section (Standard Model → SM...)
– use commas at the end of the equations
– use SPIRES/INSPIRE references for Bibtex
– use consistent notations: B for Branching ratios, B for bag parameters, f for decay constants, F for form factors, m for masses, t for time difference in time evolution
– template for table format to be provided by SDG
– more diagrams to be drawn when relevant (in particular concerning interferences)

The B_s -meson has been investigated first by the Tevatron experiments CDF and DØ, then by the LHCb experiment. On the theoretical side, the understanding of hadronic effects present at low energies has progressed significantly, thanks to huge improvements in lattice simulations of QCD, with unquenched results with three dynamical fermions, more realistic quark masses, finer lattice spacings and larger volumes, allowing for accurate assessments of error budgets, currently dominated by systematic uncertainties. There have been also progress in computing higher orders of several processes (such as the inclusive $b \rightarrow s\gamma$ transition, $B_s \rightarrow \mu\mu$, ϵ_K ...). In addition to reducing the errors on already analysed quantities, this global effort has led to new measurements concerning CP-violating quantities (γ angle), neutral-meson mixing (B_s mixing angle and width difference, CP-violation in B_d - and B_s -meson mixings), leptonic and radiative decays ($B \rightarrow \tau\nu$, $B_s \rightarrow \mu\mu$, $B \rightarrow K^{(*)}\ell\ell$) and semileptonic ones ($B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu$), where a good theoretical control on hadronic uncertainties can be achieved.

1 Introduction

Flavour physics, i.e. the study of transitions from one flavour to another, is a very powerful tool to assess the description of elementary particle physics. It provides a deep

connection between many different scales and type of processes involved in the Standard Model and in any of its extensions. At it is related to high energies at and beyond the electroweak scale. The pattern of quark masses and mixings, encoded in the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) matrix, is derived from the diagonalisation of Yukawa couplings between the Higgs boson and fermions after electroweak symmetry breaking. Rare processes suppressed in the Standard Model and mediated by loops may be sensitive to degrees of freedom much heavier than the scale of the quarks involved as external states. It is also related to low energies, as the comparison between theory (in terms of quarks) and experiment (in terms of hadrons) requires a careful understanding of strong interaction at low energies, where QCD does not allow for perturbative computations.

The discovery of a scalar boson at the ATLAS and CMS experiments with properties in very good agreement with the SM expectations for the Higgs boson, together with the absence of direct observation of additional light degrees in the same experiments, has revived the interest of indirect searches for New Physics through flavour physics. This change of perspective concerning flavour physics corresponds also to an internal evolution of the field over the last decade. It started by probing the Kobayashi-Maskawa mechanism of CP violation at the heart of the Standard Model (leading to the 2008 Nobel Prize), but it has progressively shifted to identifying deviations from the Standard Model through high-precision analyses, with a possible interplay with the already known properties of the Higgs boson. On the experimental side, the B factories Babar and Belle have completed their analyses with their full statistics, refining their results up to a final status. The B_s -meson has been investigated first by the Tevatron experiments CDF and DØ, then by the LHCb experiment. On the theoretical side, the understanding of hadronic effects present at low energies has progressed significantly, thanks to huge improvements in lattice simulations of QCD, with unquenched results with three dynamical fermions, more realistic quark masses, finer lattice spacings and larger volumes, allowing for accurate assessments of error budgets, currently dominated by systematic uncertainties. There have been also progress in computing higher orders of several processes (such as the inclusive $b \rightarrow s\gamma$ transition, $B_s \rightarrow \mu\mu$, ϵ_K ...). In addition to reducing the errors on already analysed quantities, this global effort has led to new measurements concerning CP-violating quantities (γ angle), neutral-meson mixing (B_s mixing angle and width difference, CP-violation in B_d - and B_s -meson mixings), leptonic and radiative decays ($B \rightarrow \tau\nu$, $B_s \rightarrow \mu\mu$, $B \rightarrow K^{(*)}\ell\ell$) and semileptonic ones ($B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu$), where a good theoretical control on hadronic uncertainties can be achieved.

This large variety of flavour transitions is controlled by the four parameters of the CKM matrix, which can be constrained once a proper statistical framework has been designed to combine the available experimental and theoretical inputs. The CKMfitter group has performed such an analysis within the frequentist approach widely

Final Words

EPJ manuscript No.
(will be inserted by the editor)

J. Charles et al. (The CKMfitter group): The transition from B-factories to hadronic machines

We are currently writing a third large-scope paper

- now mostly focussing on tests of BSM physics models
- expected time: this year ! (yes, I know...)
- after a slow-progress period, rhythm is now in good shape

My personal commitments for this paper:

- Rare Kaon decays : $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$, $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$
 - >90% finished (a minor update pending)
- “History plots” (also a request for an IN2P3 book)
 - done
- An updated version of the $B \rightarrow hhh$ phenomenology
 - ongoing
 - a few new ideas and possible extensions
- Will be my final large contribution to CKMfitter !

– more diagrams to be drawn when relevant (in particular concerning interferences)

1 Introduction

Flavour physics, i.e. the study of transitions from one flavour to another, is a very powerful tool to assess the description of elementary particle physics. It provides a deep

analysis and type of processes and in any of its extremes at and beyond the weak masses and mixing. The Kobayashi-Maskawa (CKM) matrix of Yukawa couplings of fermions after electroweak suppressed in loops may be sensitive than the scale of . It is also related to renormalization theory (in terms of hadrons) requires reaction at low energy perturbative computations at the ATLAS and CMS experiments. There is very good agreement between ggF and Higgs boson, together with additional light Higgses. This has revived the interest in flavour physics through flavour universality. The CKM matrix of the field over the Kobayashi-Maskawa matrix of the Standard Model (SM), but it has predictions from the Standard Model analyses, with a positive properties of the SM side, the B factories analyses with their up to a final status. First by the Tevatron and then by the LHCb experiment. The understanding of flavour physics has progressed significantly in lattice simulations with three generations of quarks and gluons, finer lattice spacing, and improved fits to data dominated by systematic errors. There has also been progress in non-leptonic processes (such as the $\mu \rightarrow e$, ϵ_K , etc.). In addition to the SM, the CKMfitter has analysed quantities such as measurements concerning lepton number, lepton-meson mixing, lepton-photon coupling, CP-violation in the lepton sector, and radiative decays ($\mu \rightarrow e\nu\bar{\nu}$, $D_s \rightarrow \mu\mu$, $D \rightarrow K^+\ell^-\ell^0$) and semileptonic ones ($B \rightarrow D(*)\tau\nu$), where a good theoretical control on hadronic uncertainties can be achieved.

This large variety of flavour transitions is controlled by the four parameters of the CKM matrix, which can be constrained once a proper statistical framework has been designed to combine the available experimental and theoretical inputs. The CKMfitter group has performed such an analysis within the frequentist approach widely used in particle physics.

The transition from B-factories to hadronic machines

Jérôme Charles^{1,2}, Olivier Deschamps¹,
Monteil³, Valentin Niess³, José Oscar
Trabelsi⁵ [The CKMfitter group]

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, CPT

² Université de Toulon, CNRS, CPT, UMR

³ Laboratoire de Physique Corpusculaire d'Aubière Cedex

⁴ Laboratoire de Physique Théorique, UPMC

⁵ KEK (High Energy Accelerator Research Organization), Ibaraki-ken, 305-0801, Japan

⁶ Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Physik

⁷ Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Energies

⁸ Laboratoire d'Annecy-Le-Vieux de Physique Nucléaire et de Hautes Energies, France

Received: date / Revised version: date

Abstract. Insert your abstract here

PACS. PACS-key describing your paper

Contents

1	Introduction	1
2	The Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Matrix	1
2.1	Quark mixing in the Standard Model	1
2.2	Parameterizations of the CKM matrix	1
2.3	Unitarity Triangles	1
2.4	CP violation and the Jarlskog invariant	1
3	Frequentist statistics	1
3.1	Data fitting and data reduction	1
3.2	Model fitting and p-values	1
3.3	Likelihood-ratio test statistic	1
3.4	Theoretical errors	1
3.5	Implementation	1
4	Inputs to the global fit of the CKM matrix	1
4.1	Overview of the relevant observables	1
4.2	Inputs for the Standard Model	1
4.3	Quark masses and coupling constants	1
4.4	Hadronic inputs from lattice QCD	1
4.5	$|V_{ud}|$ and $|V_{us}|$ . . . . .	1
4.5.1	Super-allowed nuclear β -decays (I)	18

4.11	α (I)	24
4.12	β (I)	25
4.13	γ (I)	26
4.14	$\sin(2\beta + \gamma)$ (P)	28
4.15	$B\bar{B}$ mixing observables	30
4.15.1	Δm_d and Δm_s (I)	30
4.15.2	Width difference and β_s (P)	30
4.15.3	Flavour-specific asymmetries (P)	30
4.16	$K\bar{K}$ mixing observables (I)	31

^a UMR 6533 du CNRS-IN2P3 associée à l'Université Blaise Pascal.

^b UMR 8627 du CNRS associée à l'Université Paris-Sud 11.

^c UMR 7585 du CNRS-IN2P3 associée aux Universités Paris VI et VII.

^d UMR 5814 du CNRS-IN2P3 associée à l'Université de Savoie.

Phénoménologie (Benoit)

J.-P. Dedonder, Professeur Émérite, Uni. Paris Diderot, B. Loiseau, Directeur de Recherche Émérite CNRS

⇒ Dalitz plot studies of $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$ decays in QCD factorization approach

(arXiv:[1403.2971](https://arxiv.org/abs/1403.2971)[hep-ph]) avec [R. Kamiński](#) et [L. Leśniak](#), INP, Cracovie, Pologne

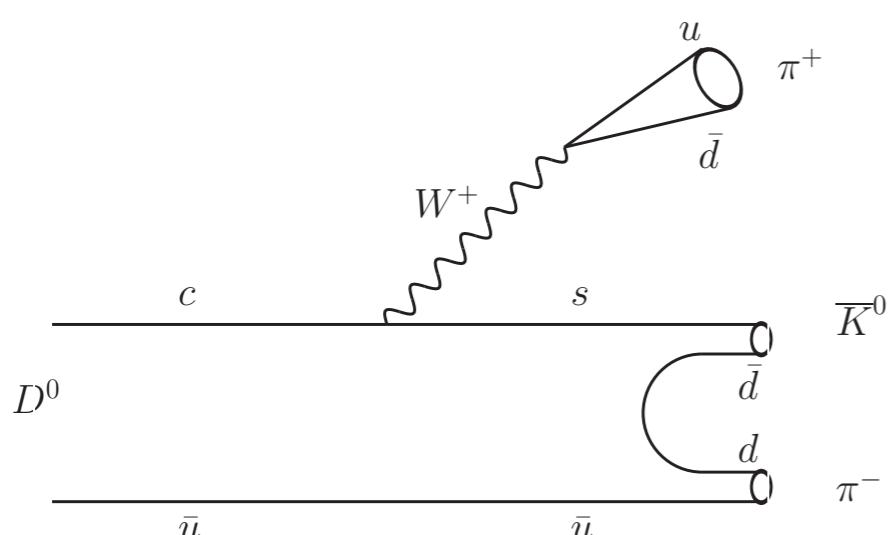
- Motivations : Données haute statistique : Collaborations Belle & BABAR (2010)
 - Construction amplitude basée sur Modèle Standard et la connaissance des interactions fortes entre les mésons
 - Modèle : factorisation quasi deux-corps en QCD, $D^0 \rightarrow [K_S^0 \pi^\pm]_L \pi^\mp$ ou $D^0 \rightarrow K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_L$, $L = 0$ (scalaire), 1 (vecteur) ou 2 (tenseur)

$$\mathcal{M} = \langle K_S^0 \pi^- \pi^+ | H_{\text{eff}}^{\text{weak}} | D^0 \rangle = \sum 28 \text{ amplitudes, comme par exemple :}$$

$$T_0 \equiv \langle [K_S^0 \pi^-]_0 \pi^+ | H_{\text{eff}}^{\text{weak}} | D^0 \rangle \quad (\text{Note: on utilisera } |K_S^0\rangle \approx (|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle) / \sqrt{2})$$

$$\text{FACTORISATION : } T_0 \propto \langle [\bar{K}^0 \pi^-]_0 | \bar{s} \gamma(1 - \gamma_5) c | D^0 \rangle \cdot \langle \pi^+ | (\bar{u} \gamma(1 - \gamma_5) d | 0 \rangle$$

\propto facteur de forme de transition \times constante de désintégration



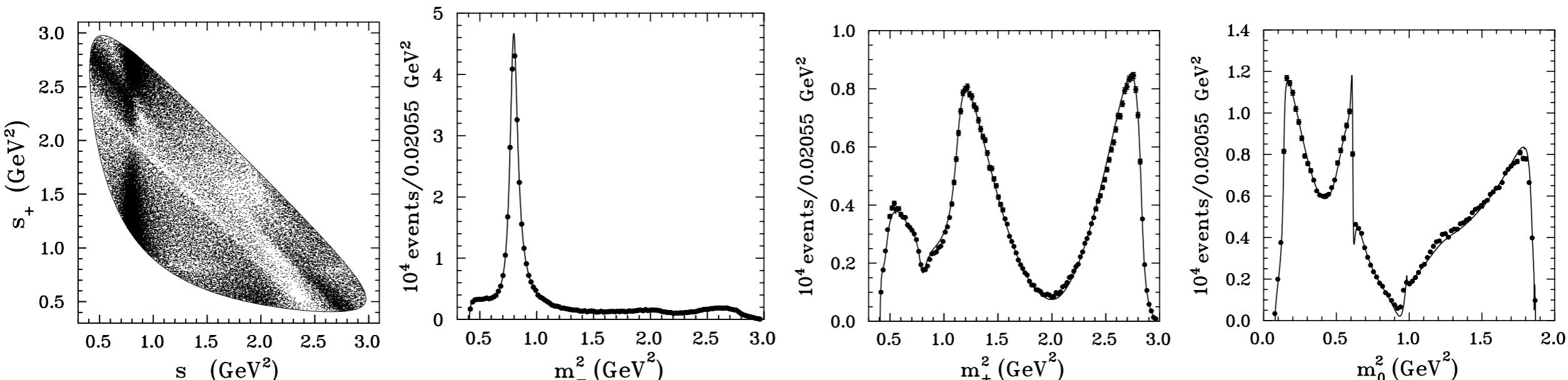
$c \rightarrow s u \bar{d}$ (Cabbibo favorisé, CF)

$T_0 \equiv -\frac{G_F}{2} a_1 V_{cs}^* V_{ud} \chi_1 \left(m_{D^0}^2 - s_- \right)$
 $\times f_\pi F_0^{D^0 \bar{K}_0^*(1430)^-} (m_\pi^2) F_0^{\bar{K}^0 \pi^-} (s_-)$
 - $s_\pm = (p_{K^0} + p_{\pi^\pm})^2 = m_\pm^2$, $m_0^2 = (p_{\pi^+} + p_{\pi^-})^2$
 - $G_F = 1.166 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$: couplage de Fermi
 - a_1 : effective QCD Wilson coefficient - $V_{qq'}$: élément matrice CKM
 - χ_1 : force du facteur de forme scalaire $K\pi$ onde S , $F_0^{\bar{K}^0 \pi^-} (s_-)$
 - f_π : constante de désintégration du π
 - Contribution de $K_0^*(800)$ et $K_0^*(1430)$ dans $F_0^{\bar{K}^0 \pi^-} (s_-)$
 - $F_0^{D^0 \bar{K}_0^*(1430)^-} (m_\pi^2)$: facteur de forme de transition

- Plus amplitudes, $c \rightarrow d\bar{u}\bar{s}$ (doublement Cabibbo supprimé DCS), $\propto V_{dc}^* V_{us}$, \Rightarrow recombinaison en 10 amplitudes, $\mathcal{M} \equiv \sum_{i=1}^{10} \mathcal{M}_i$, $\mathcal{M}_i(CF + DCS) \equiv [\mathcal{T}_i(\text{tree}) + \mathcal{A}_i(\text{annihilation : échange du } W \text{ entre } c - \bar{u} \text{ de } D^0)]$

Voie	$[K_S^0 \pi^-]_0 \pi^+$	$K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_0$	$[K_S^0 \pi^-]_1 \pi^+$	$K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_1$	$K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_\omega$
Résonances dominantes	$K_0^*(800)^-$, $K_0^*(1430)^-$	$f_0(500)$, $f_0(980)$, $f_0(1400)$	$K^*(892)^-$	$\rho(770)$	$\omega(782)$
Voie	$[K_S^0 \pi^-]_2 \pi^+$	$K_S^0 [\pi^+ \pi^-]_2$	$[K_S^0 \pi^+]_0 \pi^-$	$[K_S^0 \pi^+]_1 \pi^-$	$[K_S^0 \pi^+]_2 \pi^-$
Résonances	$K_2^*(1430)^-$	$f_2(1270)$	$K_0^*(800)^+, K_0^*(1430)^+$	$K^*(892)^+$	$K_2^*(1430)^+$

- $[K\pi]_{0,1}, [\pi\pi]_{0,1}$: facteurs de forme $K\pi, \pi\pi$ scalaires et vecteurs \Leftrightarrow données $K\pi, \pi\pi$ + unitarité + analyticité
- $[K\pi]_2, [\pi\pi]_2$: Breit-Wigner relativistes
- 33 paramètres libres : forces des facteur de forme scalaires + facteurs de forme méson-méson inconnus au grand moment de transfert égal à $m_{D^0}^2$ $\Leftrightarrow \chi^2$ fit : distribution du diagramme de Dalitz de Belle [PRD 81, 112002 (2010)] + embranchement total + données Belle $\tau^- \rightarrow K_S^0 \pi^- \nu_\tau \Leftrightarrow \chi^2/ndf = 1.48, ndf = 6378 \Rightarrow$ Résultats : (Note : également fit d'un modèle de BABAR [PRL 105, 081803 (2010)] $\chi^2/ndf = 0.92, ndf = 7343$)



- Conclusions :** - Bonne reproduction des données \Leftrightarrow contraintes sur les facteurs de forme $K\pi, \pi\pi$ scalaires et vecteurs
 $\Rightarrow D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$ amplitude : donnée utile pour détermination mélange D^0 - \bar{D}^0 et CKM, angle γ (or ϕ_3)

g-2 (Maurice)

arxiv:0907.4047 -> EPJC 65 (2010) 211-245 :: 32 citations

arxiv:0907.5603 -> EPJC 68 (2010) 355-379 :: 15 citations

arxiv:1106.1315 -> EPJC 72 (2012) 1848 :: 40 citations

arxiv:1210.7184 -> EPJC 73 (2013) 2453 :: 42 citations

Moment magnétique anormal du μ

Théorie, phénoménologie & expériences

Théorie & phénoménologie : M. B., P. D., L.
dB (+collaborateurs extérieurs)

Expériences : F. K. , W. dS.

Moment magnétique anormal du μ

- Mesuré à BNL : $a_\mu = (11\ 659\ 208.9 \pm 6.3)10^{-10}$
- Peut être estimé « théoriquement » :
 - Contributions pQCD & QED connues à 10^{-12} , EW à 10^{-11}
 - La partie hadronique de la Polarisation du vide (HVP)
 - La contribution dite ‘Light by light’ (LbyL) : $\gamma^* \gamma^* \rightarrow \gamma^* \gamma$
 - Précision théorique $\approx 5.5\ 10^{-10}$ dominée par HVP & LbyL
 - Désaccord (théor. –exp.) sur a_μ :: de 3.3 à 4.5 σ
- Mesure expérimentale par 2 nouvelles expériences (FNAL and J-PARC)
 - Objectif: réduire l'erreur exp ($6.3 \rightarrow 1.5\ 10^{-10}$)
- Fits simultanés de l'ensemble des données sur $e^+e^- \rightarrow \pi\pi$ / **KKbar** / $\pi\gamma$ / $\eta\gamma$ / $\pi\pi\pi$ & $\tau \rightarrow \pi\pi\nu_\tau$
- Incertitude améliorée d'un facteur 2, déjà avec les seules données publiées

From Fits : HVP up to 1.05 GeV

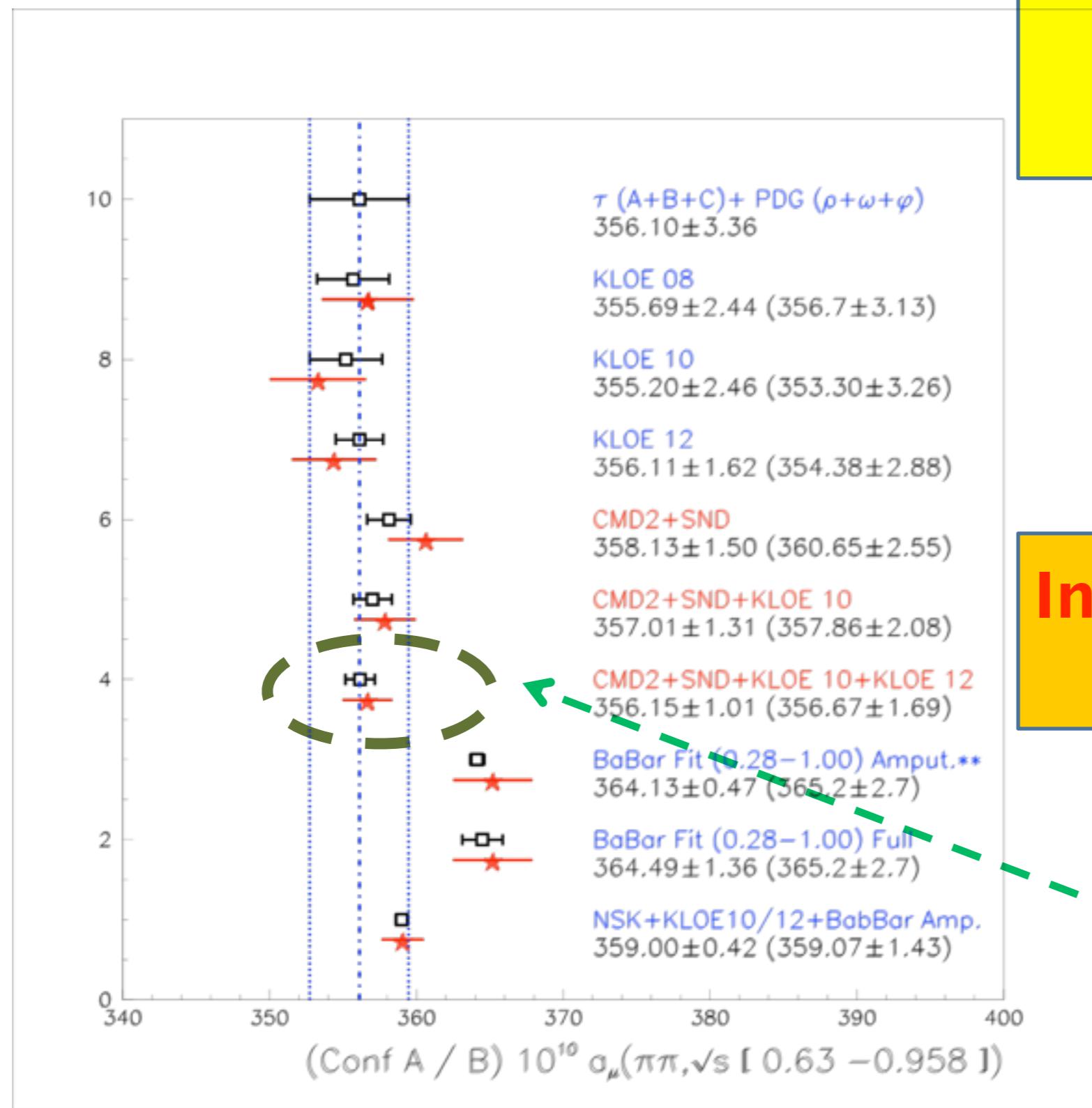
- Précision améliorée d'un facteur ≈ 2

Channel	NSK + τ	NSK+KLOE+ τ	Direct Estimate
π^+	496.67 ± 2.13	495.22 ± 1.45	498.53 ± 3.73 (497.72 ± 2.12)
π^-	4.53 ± 0.04	4.54 ± 0.04	3.35 ± 0.11
$\eta \gamma$	0.63 ± 0.01	0.63 ± 0.01	0.48 ± 0.01
$\eta' \gamma$	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	---
π^0	39.50 ± 0.58	39.07 ± 0.58	43.24 ± 1.47
K_L	11.54 ± 0.08	11.54 ± 0.08	12.31 ± 0.33
K^+	16.94 ± 0.21	16.95 ± 0.21	17.88 ± 0.54
Total up to 1.05 GeV	569.81 ± 2.02	567.94 ± 1.56	575.79 ± 4.06 (574.98 ± 2.66)

$a_\mu(\pi\pi)$ over
 $m_{\pi\pi}=[0.63,0.958]$
 GeV
 (Conf B)

Accord with Exp.
 expectations

Incertitude réduite de
 40%



No Bias!