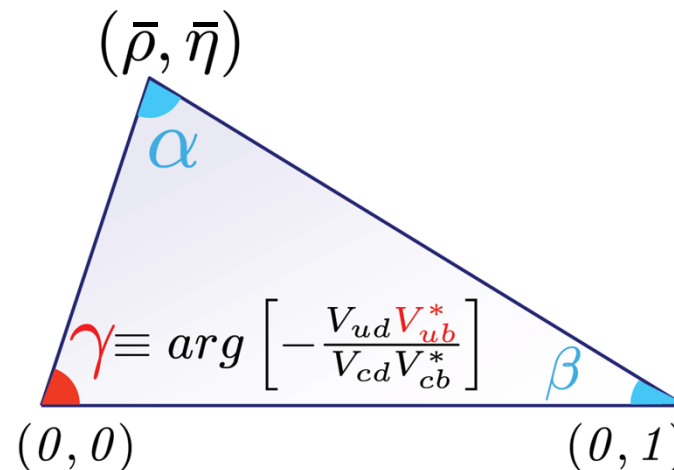


Towards a precision measurement of the **CKM angle γ** at **LHCb** and its interpretation by **CKMfitter**

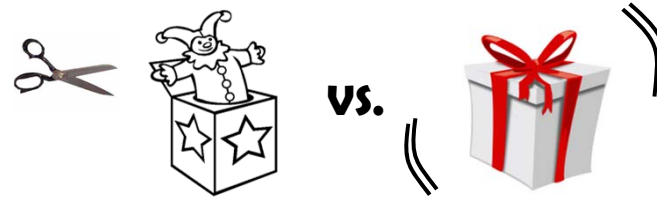
V. Tisserand, **LAPP-Annecy** (CNRS-IN2P3 et Université de Savoie).
 LABEX ENIGMASS General meeting, Grenoble, May 30 2012



Mais au fait: pourquoi continuer à étudier la Physiques des Saveurs ?

→ La Nouvelle Physique (NP) peut être découverte : *approches complémentaires* (« problème inverse » du LHC : quel est le lagrangien de la NP à partir des données ?)

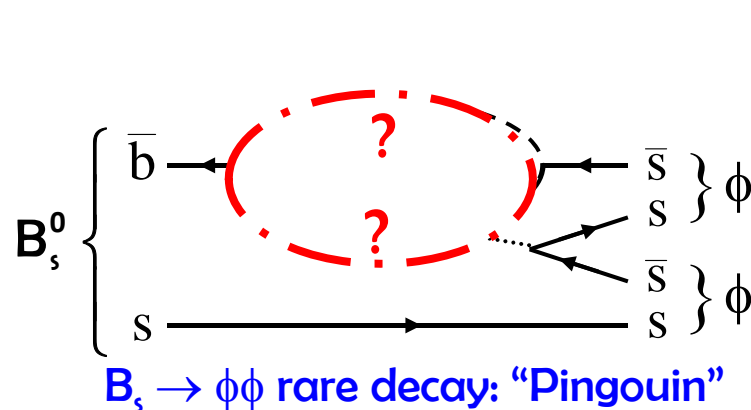
☑ **approche directe** [ATLAS/CMS] : en **produisant** et **observant directement** les **particules nouvelles** @ $\mathcal{O}(\text{TeV})$ ($\Rightarrow \sqrt{s}$ et/ou $\int \mathcal{L}.dt$?)



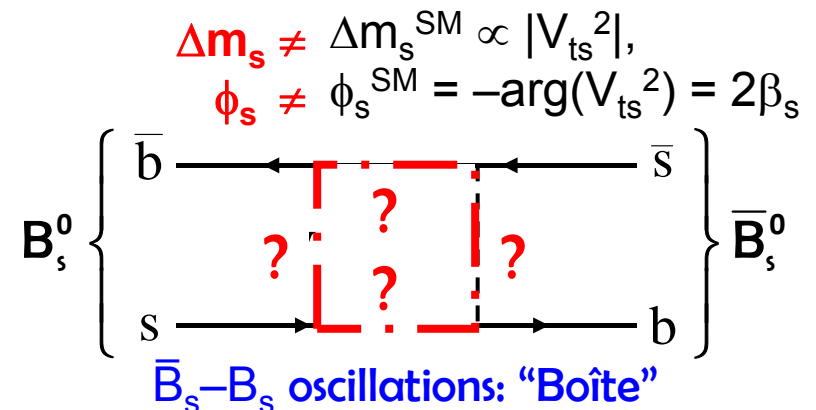
☑ **approche indirecte** [LHCb]:
→ $\mathbf{D, B_{d,u}, \Lambda_B}$ et $\mathbf{B_s}$

- corrections quantiques causées par **particules virtuelles** \Rightarrow **déviations/prédictions SM**
- accès à des échelles d'énergie bien au-delà des accélérateurs: $\Lambda_{NP} > 0.5-2 \times 10^4 \text{ TeV}$
- **NP@TeV**: quelle « **structure** » de la **physique des saveurs** explique les processus **FCNC observés** ?

↪ Accès aux **phases** des **nouveaux couplages** dans des **boucles** : CPV et/ou rare decays



NP



Stratégies pour rechercher indirectement la NP dans les B à LHC

- **Mesurer les transitions FCNC** où la NP peut le plus probablement apparaître (spécialement dans les **transitions b→s (B_s)** qui sont **les moins bien contraintes par les données**):

- **Développement OPE :**

$$H_{\text{eff}} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{tb} V_{ts}^* \sum_{i=1}^{10} \left(C_i(\mu) \times O_i(\mu) + \overbrace{C'_i(\mu) \times O'_i(\mu)}^{\text{Right handed part (suppressed in SM)}} \right)$$

C_i : short distance Wilson coefficient (pert.) O_i : long distance operator (non-pert.)

i=1,2	tree
i=3-6,8	g penguin
i=7	γ penguin
i=9,10	EW penguin

- La NP peut **modifier les C_i⁽ⁱ⁾** et/ou **créer de nouveaux opérateurs O_i⁽ⁱ⁾**

→ Mesures de désintégrations de B_s avec un grand potentiel de découverte pour la NP

- **Continuer ce qu'on fait depuis + de 10 ans les usines à B:** mesures de précision de la matrice CKM
 - Comparaison de différentes mesures de la même quantité, sensibles ou pas à la NP.
 - Extraire tous les angles CKM et les côtés de différentes façons
 - Toute incohérence significative = un signe de NP → **besoin d'une référence MS stable et inambiguë**

→ CKM métrologie CKM de précision, en incluant les déterminations « NP-free » ou non de l'angle CKM γ (connu à ~10-12° au printemps 2012@ CKMfitter → en incluant la méthode du signal ADS@4σ de LHCb 2011). Note : σ(α)=5° σ(β)=1°

Programme de Physique de **LHCb**



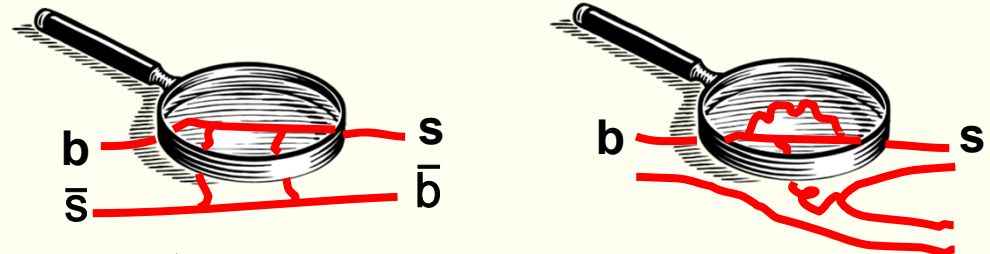
Expérience dédiée aux **mesures de précision** pour recherche NP dans CPV et désintégrations rares de **tous les hadrons b** : $B_d(40\%), B_u(40\%), B_s(10\%), B_c(0.1\%), b\text{-baryons}(10\%)$

1) Mesures de précision/CKM pour recherche de déviations/SM:

- Tests de cohérence du Triangle d'unitarité : **angle γ** dans diverses méthodes/modes+ boucles/arbres.
- Comparer des mesures de la même quantité, une sensible à la NP et l'autre insensible
[ex.: $\sin(2\beta)$ arbre/pingouins avec $B_d \rightarrow (J/\psi K_S \leftrightarrow \phi K_S)$].

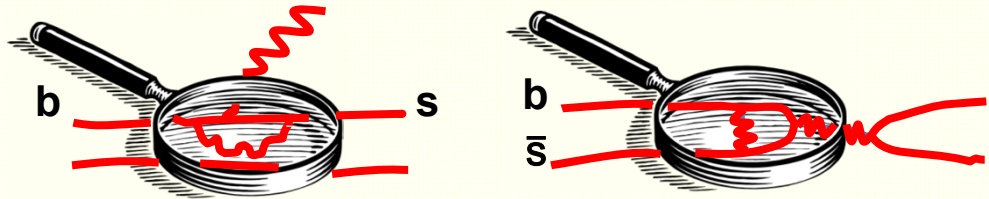
2) NP via nouvelles phases CP:

- Phase du mélange du B_s avec la désintégration $B_s \rightarrow J/\psi\phi + (J/\psi\eta^{(\prime)}, \eta_c\phi, D_s D_s \dots)$
- pingouin sans CPV: $B_s \rightarrow \phi\phi$



3) NP dans désintégrations rares ($|\Delta F|=1$ FCNC): asymétries (géom: A_{FB} , directe, dépend. du temps: C, S, ...), analyses angulaires/ amp. transversité/structure en hélicité des courants (V-A), polarisations (γ RH ?), $\mathcal{B} > SM$ pred ?

$B \rightarrow K^* \gamma, B_s \rightarrow \phi \gamma, B \rightarrow K^* l^+ l^-, B_{(s)}/D \rightarrow \mu^+ \mu^- \dots$



→ [arXiv:0912.4179v2](https://arxiv.org/abs/0912.4179v2) "Roadmap for selected key measurements of LHCb"

KM Ansatz: Tested to be Dominant CPV Phase at EW Scale

Inputs:

- \mathbf{A}, λ : $|V_{ud}|, |V_{us}|, |V_{cb}|$
- $\bar{\rho}, \bar{\eta}$:
 $\rightarrow |V_{ub}|, B \rightarrow \tau\nu, \Delta m_d, \Delta m_d \& \Delta m_s,$
 $|\epsilon_K|, \sin 2\beta, \alpha, \gamma$
- **Lattice-QCD (LQCD)**

Impressive accomplishments

Overall consistency at 2σ level

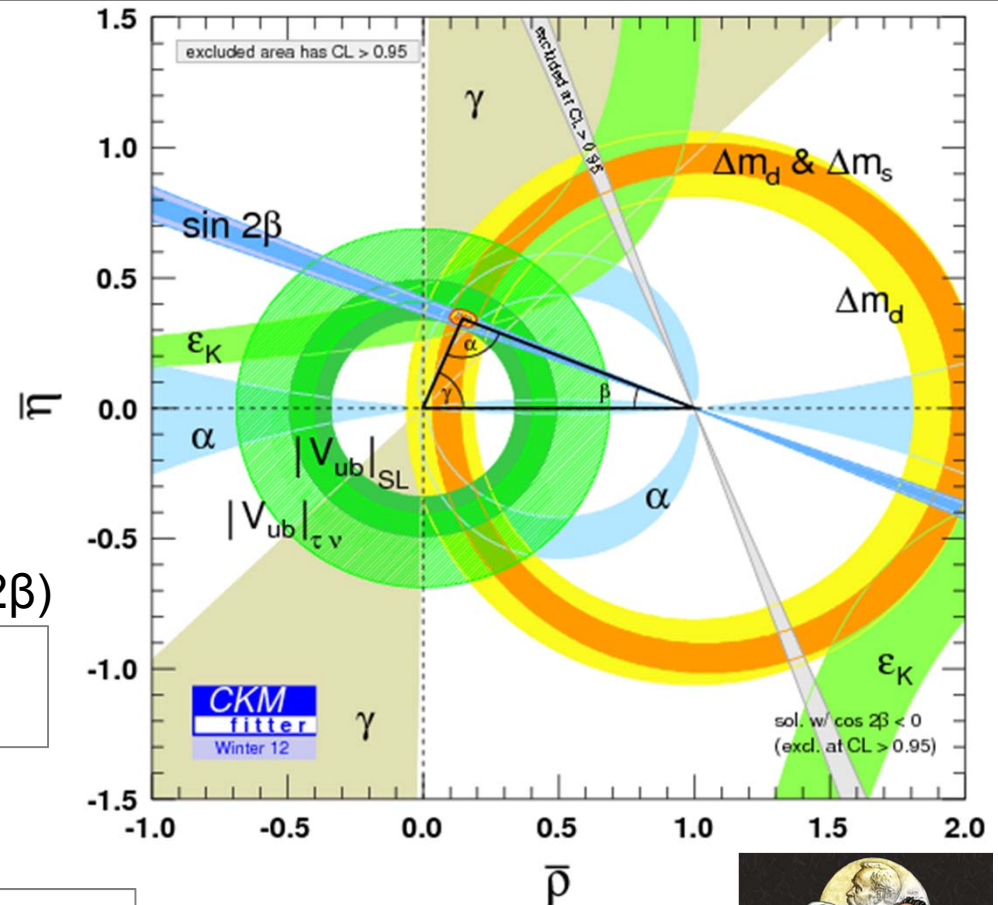
Some discrepancies ($|V_{ub}|, B \rightarrow \tau\nu$ vs $\sin 2\beta$)

Wolfenstein parameters (relative precision)

2.5% (A), 0.4% (λ), 17% (ρ) and 5% (η)

Can be tested a lot better: $O(10\%) \rightarrow O(<1\%)$

- Consistency **often misinterpreted**.
- consistency of different short-distance physics
- Still **sizable NP in mixing allowed** ($O(30-40\%)$)
- Need to overall **improve precision but especially on γ** for reference UT and **on LQCD** inputs.



CKM dominant source of flavor and CPV violation. Is CKM sufficient?

Let us stress that there is much more that is not shown in the usual UT plot ($\Phi_s, B_s \rightarrow \mu\mu, b \rightarrow s\gamma$, etc.)

New Physics in $B_{q=d,s}$ mixing

Assume that:

- tree-level processes are not affected by NP (SM4FC: $b \rightarrow q_i \bar{q}_j q_k$ ($i \neq j \neq k$)) nor non-loop decays, eg: $B^+ \rightarrow \tau^+ \nu$ (implies 2HDM model).

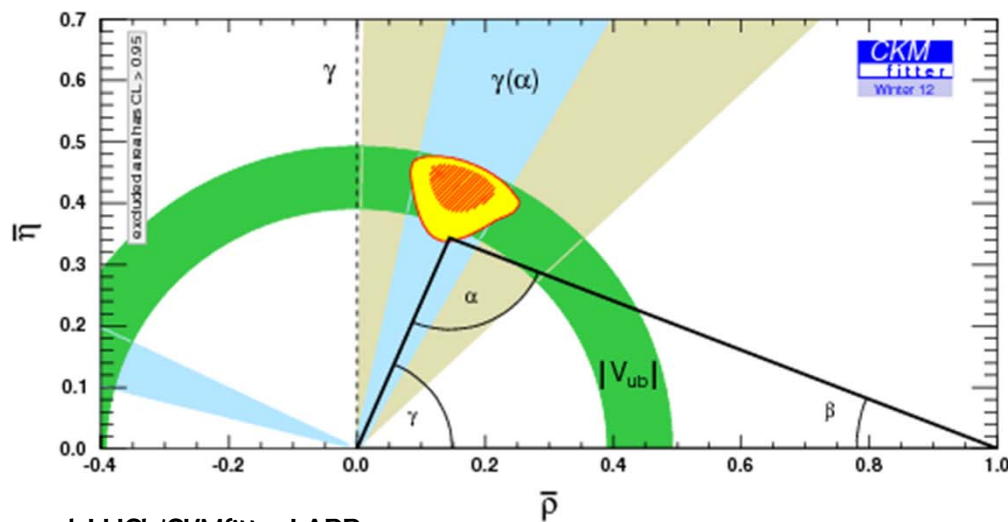
- NP only affects the short distance physics in $\Delta B=2$ transitions.

- Model independent parameterization:**

$$\Delta_q = |\Delta_q| e^{2i\Phi_{\text{NP}q}} \quad (\text{use Cartesian coords.})$$

→ SM parameters are fixed by :

$$|V_{ub}|_{\text{SL}+\tau\nu}, |V_{cb}|, |V_{ud}|, |V_{us}|, \gamma, \gamma(\alpha) = \pi - \beta - \alpha$$



The CKM angle γ is our SM reference BUT the direct measurement not yet precise enough: crucial parameter for high precision tests of CKM within SM

$$\langle B_q | \mathcal{H}_{\Delta B=2}^{\text{SM+NP}} | \bar{B}_q \rangle \equiv \langle B_q | \mathcal{H}_{\Delta B=2}^{\text{SM}} | \bar{B}_q \rangle \times (\text{Re}(\Delta_q) + i \text{Im}(\Delta_q))$$

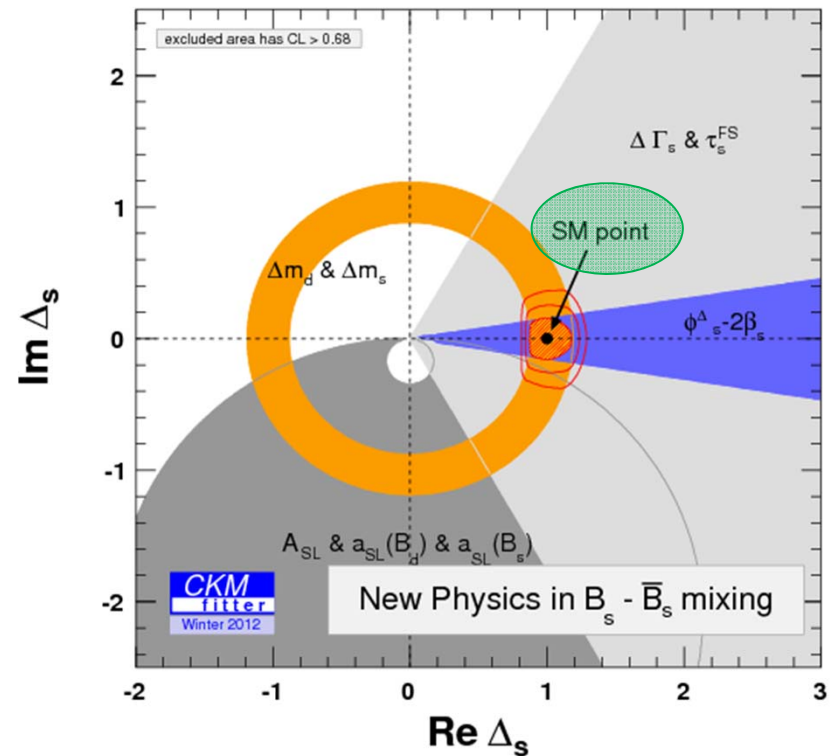
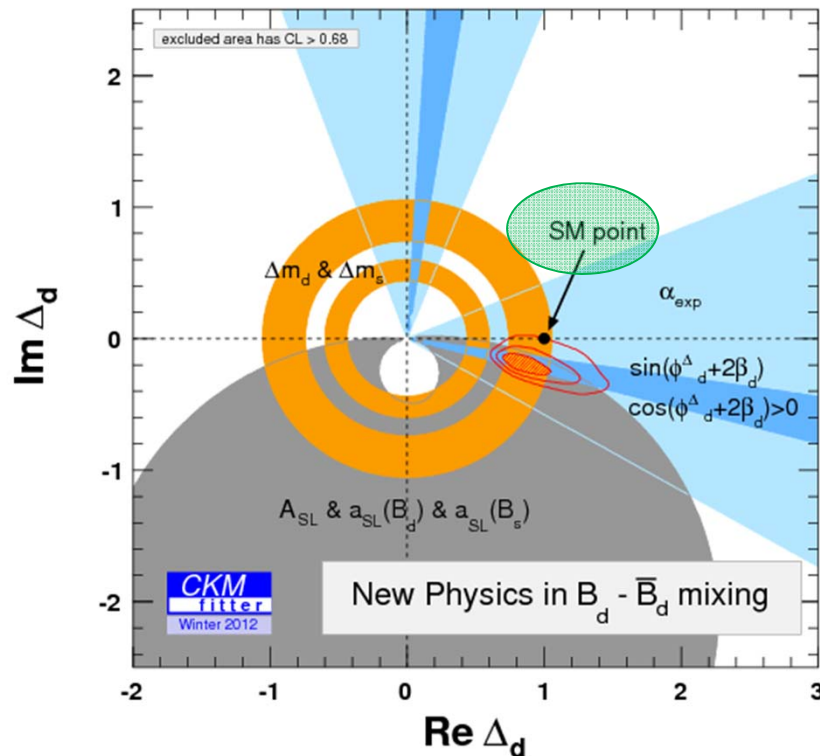
- $\Delta_q = r_q^2 e^{2i\theta_q} = 1 + h_q e^{2i\sigma_q}$
- SM $\Rightarrow \Delta_q = 1$
- MFV (Yukawa) $\Rightarrow \Phi_{\text{NP}q} = 0$ and $\Delta_d = \Delta_s$

au fait, AUJOURD'HUI y a-t-il encore des déviations/SM ?

Paramétrisation de la Nouvelle Physique (NP) dans le mélange $B-\bar{B}$, à La CKMfitter+ Lenz et Nierste (PRD 83 (2011) 03-004), Hamiltonien effectif indépendant du modèle de NP:

$$\Delta_q = |\Delta_q| e^{2i\phi_{NP}^q}$$

→ Test de cohérence globale matrice CKM **approche INDEPENDANTE** du MODELE



Sizable NP still allowed: O(30%) in both B_d and B_s meson mixing

arXiv:1203.0238

Pas de NP dans les Bs après LHCb hiver 2012 → mesures de précision !

B_d/B_s : but is there yet any deviations wrt SM ?

→ S. Descotes-Genon (LPT Orsay - CKMitter) FPCP 2012

Quantity	SM
$\phi_d^\Delta + 2\beta$	2.7 σ
$\phi_s^\Delta - 2\beta_s$	0.3 σ
A_{SL}	3.7 σ
a_{SL}^d	0.9 σ
a_{SL}^s	0.2 σ
$\Delta\Gamma_s$	0.0 σ
$Br(B \rightarrow \tau\nu)$	2.8 σ
$Br(B \rightarrow \tau\nu), A_{SL}$	4.3 σ
$\phi_s^\Delta - 2\beta_s, A_{SL}$	3.3 σ
$Br(B \rightarrow \tau\nu), \phi_s^\Delta - 2\beta_s, A_{SL}$	4.0 σ

→ S. T'Jampens (LAPP-LHCb/CKMfitter) at CIPANP 2012:

- B_s → J/ψφ Mixing: ΔM_s, ΔΓ_s, Φ_s are consistent with SM Most importantly, theory uncertainty << meas. uncertainty

→ remains very important

- Rare decays:

- B_{s,d} → μμ reaching SM



$$BR(B_s \rightarrow \mu\mu) < 4.5 \times 10^{-9}$$

$$BR(B_d \rightarrow \mu\mu) < 1.03 \times 10^{-9}$$

SM: $BF(B_s \rightarrow \mu\mu) = (3.64_{-0.32}^{+0.21}) \times 10^{-9}$
 (CKMfitter'12) $BF(B_d \rightarrow \mu\mu) = (11.17_{-1.02}^{+0.70}) \times 10^{-11}$

- B → K(*)μμ: reach pheno. Looks like SM yet!

$$q_0^2 = 4.9_{-1.1}^{+1.3} \text{ GeV}^2/c^4$$

(LHCb preliminary)

(Not talking about B to Kπ puzzle nor D⁰-D⁰ CPV well above SM)

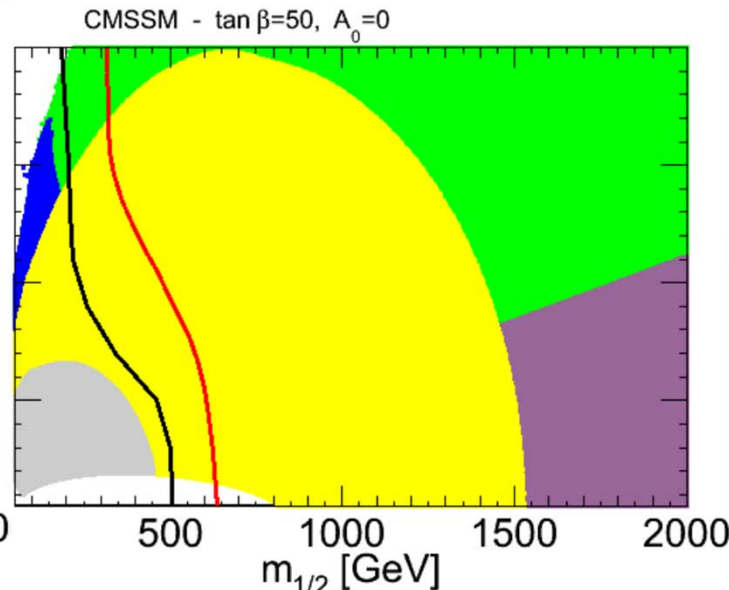
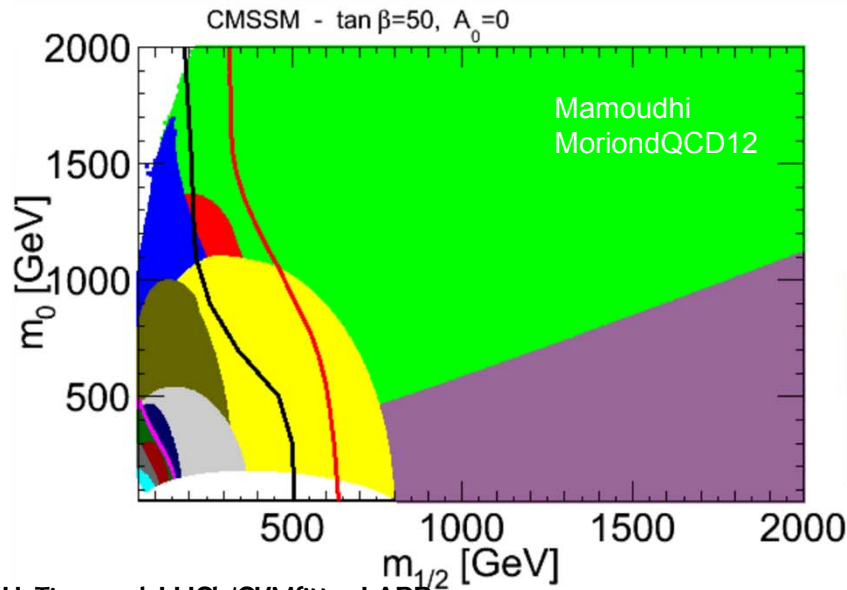
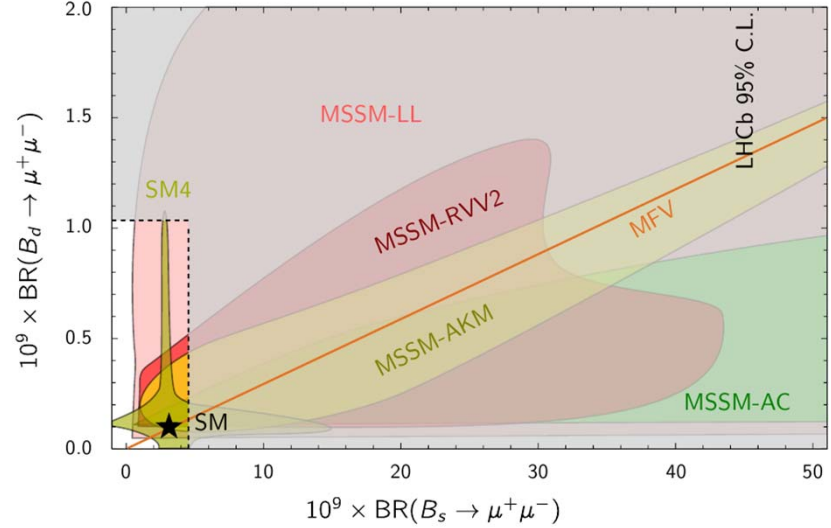
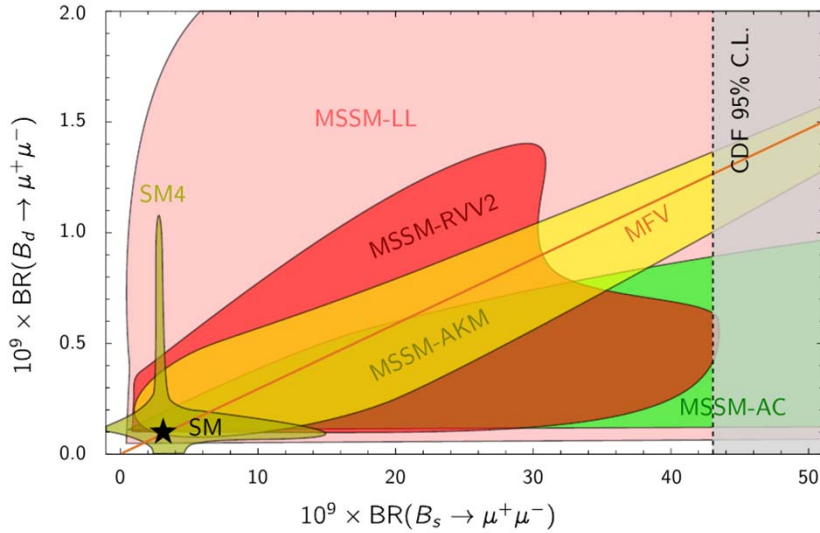
SM ~yet ok → precision measurements mandatory !

$B_s \rightarrow \mu\mu$: Constraints on Supersymmetric Models

2011

Straub – MoriondEW12

2012

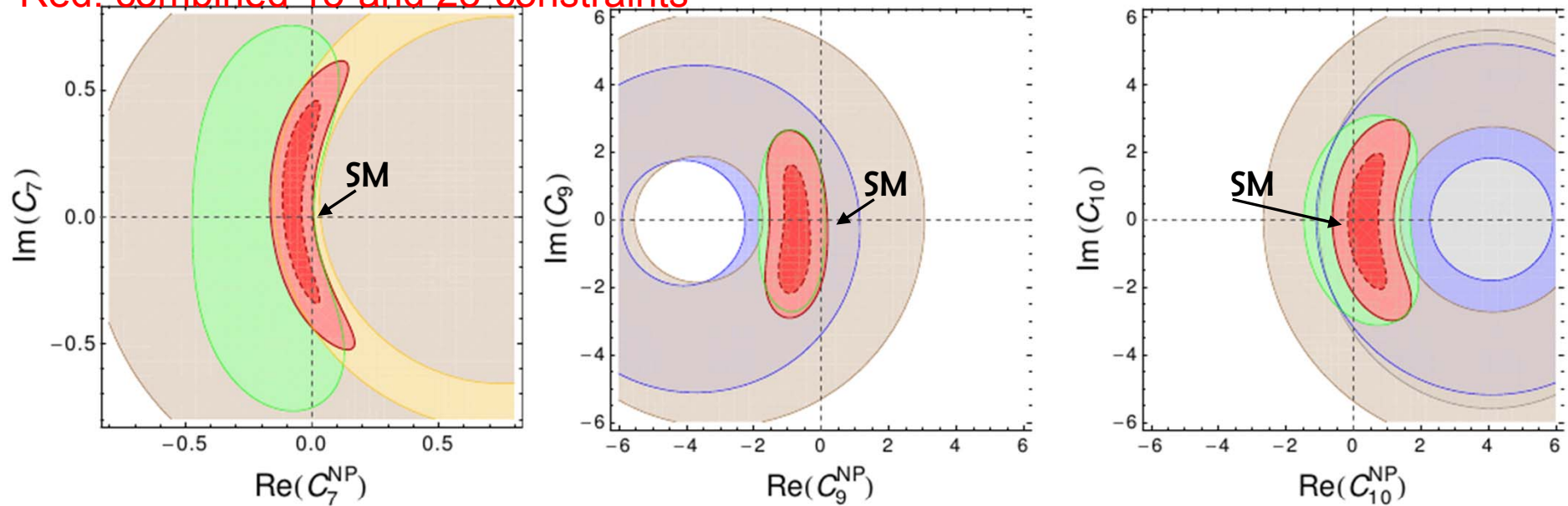


Constraints on Wilson Coefficients from $\Delta F=1$ FCNC

Varying 1 Wilson coefficient at a time. $C_i = C_i^{\text{SM}} + C_i^{\text{NP}}$

preliminary

Red: combined 1σ and 2σ constraints



$BR(B \rightarrow X_s l^+ l^-)$
 $BR(B \rightarrow X_s \gamma)$
 $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$
 $BR(B \rightarrow K \mu^+ \mu^-)$
 $BR(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)$

Straub *et al.* [arXiv:1111.1257 – JHEP 1202:106]
+ update 1205.xxxx

- Good agreement with SM expectations
- Complementarity between observables crucial to break degeneracies

Over-constraining Wilson coefficients with many measurements (\rightarrow precision) in a global fit (similar to UT global fit): best sensitivity to small NP effects



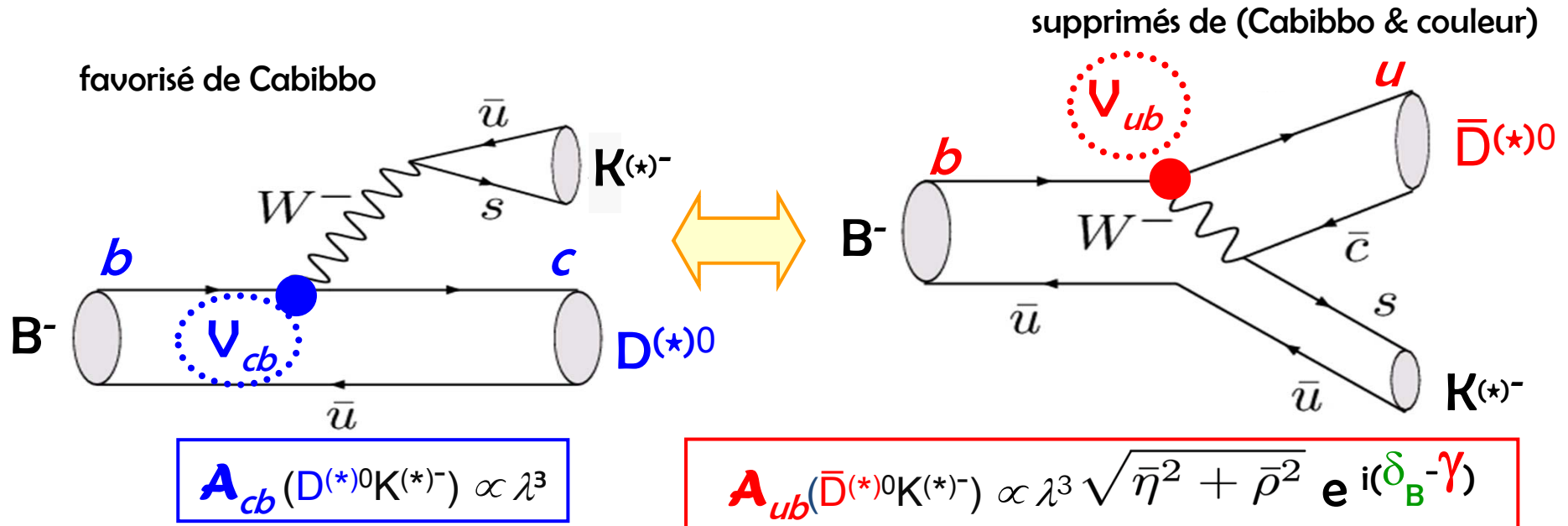
Type	Observable	Current precision	LHCb 2018 (6-7/fb)	LHCb Upgrade (50/fb)	Theory uncertainty
B_s^0 mixing	$2\beta_s (B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi)$	0.10 [9]	0.025	0.008	~ 0.003
	$2\beta_s (B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980))$	0.17 [10]	0.045	0.014	~ 0.01
	$A_{fs}(B_s^0)$	6.4×10^{-3} [18]	0.6×10^{-3}	0.2×10^{-3}	0.03×10^{-3}
Gluonic penguin	$2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\phi)$	–	0.17	0.03	0.02
	$2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow K^{*0}\bar{K}^{*0})$	–	0.13	0.02	< 0.02
	$2\beta_s^{\text{eff}}(B^0 \rightarrow \phi K_S^0)$	0.17 [18]	0.30	0.05	0.02
Right-handed currents	$2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)$	–	0.09	0.02	< 0.01
	$\tau^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)/\tau_{B_s^0}$	–	5 %	1 %	0.2 %
Electroweak penguin	$S_3(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-; 1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2/c^4)$	0.08 [14]	0.025	0.008	0.02
	$s_0 A_{\text{FB}}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	25 % [14]	6 %	2 %	7 %
	$A_I(K\mu^+\mu^-; 1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2/c^4)$	0.25 [15]	0.08	0.025	~ 0.02
	$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \pi^+\mu^+\mu^-)/\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+\mu^+\mu^-)$	25 % [16]	8 %	2.5 %	$\sim 10\%$
Higgs penguin	$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$	1.5×10^{-9} [2]	0.5×10^{-9}	0.15×10^{-9}	0.3×10^{-9}
	$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)/\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$	–	$\sim 100\%$	$\sim 35\%$	$\sim 5\%$
Unitarity triangle angles	$\gamma (B \rightarrow D^{(*)}K^{(*)})$	$\sim 10\text{--}12^\circ$ [19, 20]	4°	0.9°	negligible
	$\gamma (B_s^0 \rightarrow D_s K)$	–	11°	2.0°	negligible
	$\beta (B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)$	0.8° [18]	0.6°	0.2°	negligible
Charm CP violation	A_Γ	2.3×10^{-3} [18]	0.40×10^{-3}	0.07×10^{-3}	–
	ΔA_{CP}	2.1×10^{-3} [5]	0.65×10^{-3}	0.12×10^{-3}	–

Theory uncertainties are negligible for the measurements of the CKM γ angle in $B_{(s)} \rightarrow DX$ decays tree diagrams \rightarrow irreducible theory uncertainties $\delta\gamma/\gamma \sim \mathcal{O}(10^{-6})$ [arxiv:1001.0134]

Measuring the CKM γ angle with a high accuracy will set a very stable SM reference !

Measuring the CKM angle γ in B to DX decays: Direct CPV

Interférence entre 2 même états finals $\tilde{D}^0 \equiv [D^0/\bar{D}^0]$



use interference between $b \rightarrow c\bar{u}s$ and $b \rightarrow u\bar{c}s$

Gronau, Wyler, 1991; Gronau, London, 1990

$$A_{tot} = A + A$$

taille de l'asymétrie CP: dépend du paramètre critique:

$$r_B \equiv |A/A| \sim 5-30\% \quad \text{suppression de couleur/Cabibbo}$$

Gronau PLB557,198(2003)

si r_B petit \Rightarrow petite sensibilité experim. à γ (précision en $1/r_B$)

Measuring the CKM angle γ in B to DX decays: Direct CPV

Many Possible Final states under study or to be studied at LHCb

- possible choices for final state f in D decay
 - CP- eigenstate (e.g. $K_S\pi^0$) Gronau, London, Wyler (1990,1991)
 - flavor state (e.g. $K^+\pi^-$) Atwood, Dunietz, Soni (1997)
 - singly Cabibbo suppressed (e.g. $K^{*+}K^-$) Grossman, Ligeti, Soffer (2002)
 - many-body final state (e.g. $K_S \pi^+\pi^-$) Giri, Grossman, Soffer, JZ (2003)
Poluektov et al. [Belle] (2004)
- other extensions:
 - many body B final states: $B^+ \rightarrow DK^+\pi^0$, $B^0 \rightarrow D\pi^-K^+$ **+DK $\pi\pi$**
Aleksan, Petersen, Soffer (2002), Gershon (2008), Gershon, Poluektov (2009)
 - use D^{0*} in addition to D^0 Bondar, Gershon (2004)
 - use self tagging D^{0**} , D_2^{*-}
Sinha (2004) Gershon (2008)
 - neutral B decays (time dep., time-integr., self-tag)
Including B_s to D_sK many refs.; see also talks by A. Rubin, Y. Onuki, V. Gligorov

Measuring the CKM angle γ in B to DX decays: Direct CPV

More exotic states to be studied at LHCb

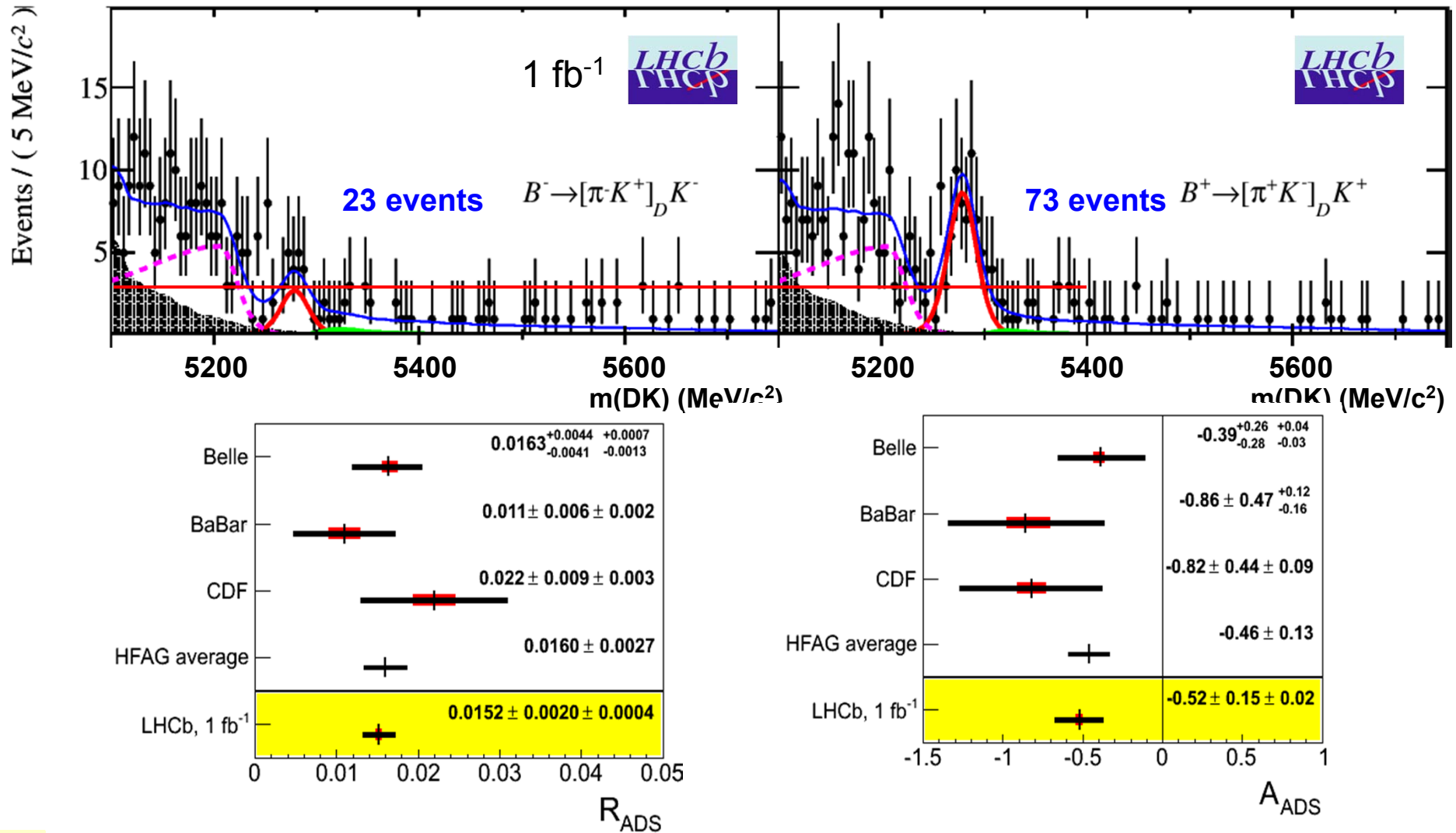
- $\Lambda_B \rightarrow DpK$: Only $\sim 30\%$ smaller yield than $B \rightarrow DK\pi$ ($200 \text{ ev}/\text{fb}^{-1}$), around half of the amplitude is due to $\Lambda_B \rightarrow D\Lambda^*$ where CPV is expected with $r_B \sim 0.3$. Dalitz \otimes angular analysis should provide γ measurement w/o ambiguity.
- $B_c^+ \rightarrow DD_s^+$: Very low yield ($1 \text{ event}/\text{fb}^{-1}$), but CPV magnitude (r_B) around 100% expected, extremely low background. [Mike W.]
- $B_s \rightarrow D\phi, DKK$: Untagged time-integrated measurement possible. [Stefania R.]
- $B \rightarrow D^*(D\pi^0, D\gamma)K$: At least, $D\gamma$ looks possible to reconstruct exclusively [Vincent]. Can we do it with partial reconstruction?
- $B \rightarrow DK_S^0\pi, B \rightarrow DK\pi^0$:

→ Really a lot to be done!

→ **Redundancy mandatory:**

difficult meas. + statistics matters + strong interaction unknown params (nuisance)

CKM Matrix: Gamma (Direct CPV): LHCb ALREADY THERE !



→ LHCb is already Driving the World Averages !

R_{ADS}: first observation of ADS mode with 10σ significance

(A_{ADS}: 4σ evidence of direct CPV)

V. Tisserand, LHCb/CKMfitter LAPP

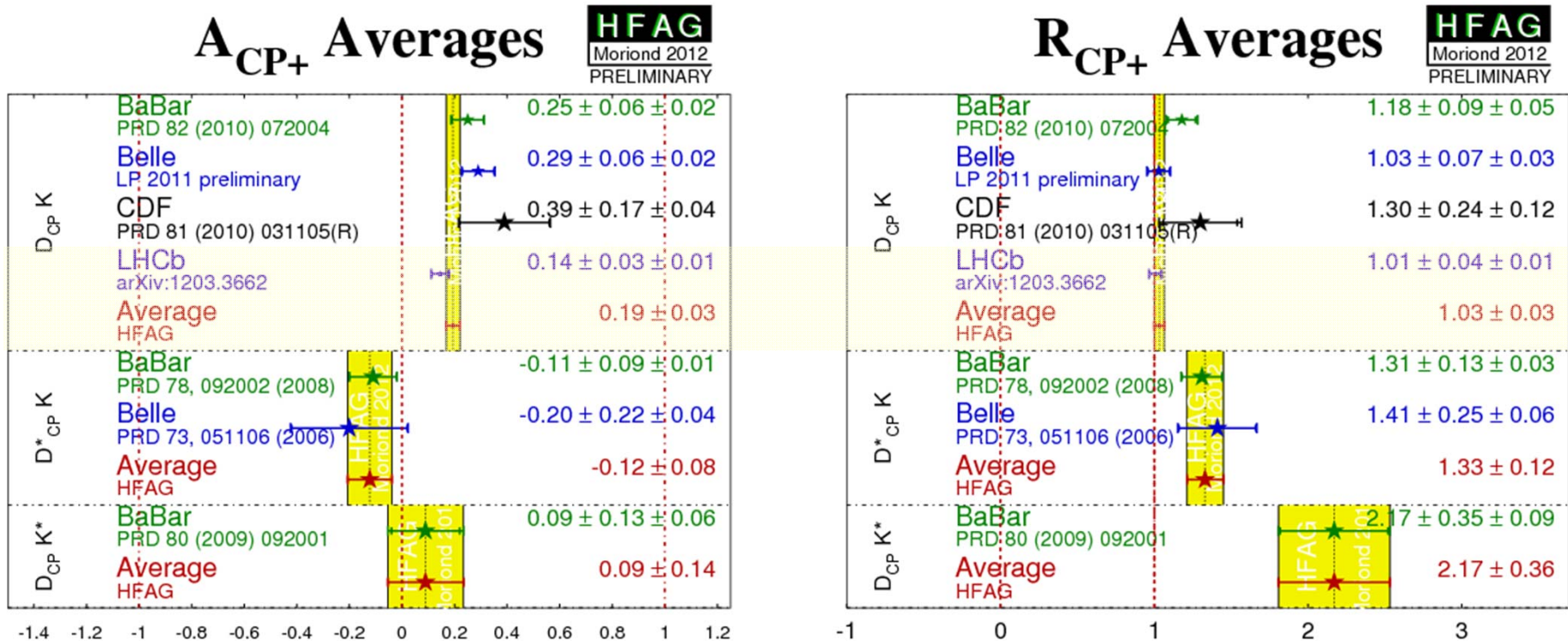
LHCb: PLB 712 (2012) 203

CDF: PRD 84 (2011) 091504

BaBar: PRD 82 (2010) 072006

Belle: PRL 106 (2011) 231803

CKM Matrix: Gamma (Direct CPV): LHCb ALREADY THERE !

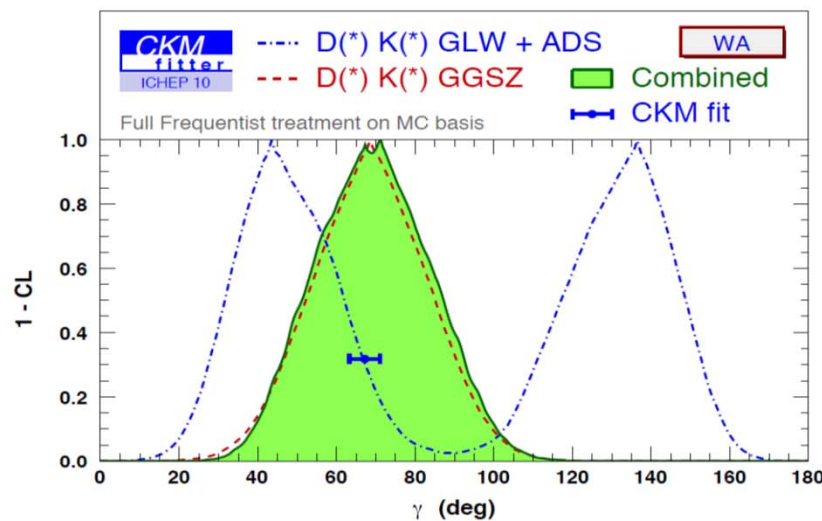


- where available, LHCb results are most precise measurements
- B factories dominating in other modes
- LHCb works on Dalitz GGSZ analyzes for summer 2012
- Note that HFAG averages the observables & CKMfitter (we) extracts γ (complicated statistical treatment (nuisance params in multidimensions))

Interpretation of the observables **into the γ CKM parameter** and including statistical treatment of hadronic nuisance parameters : **CKMfitter**

- Update in ADS inputs from Belle and CDF (2011)
- Inclusion of ADS from LHCb (2012) (+ GLW CP+)

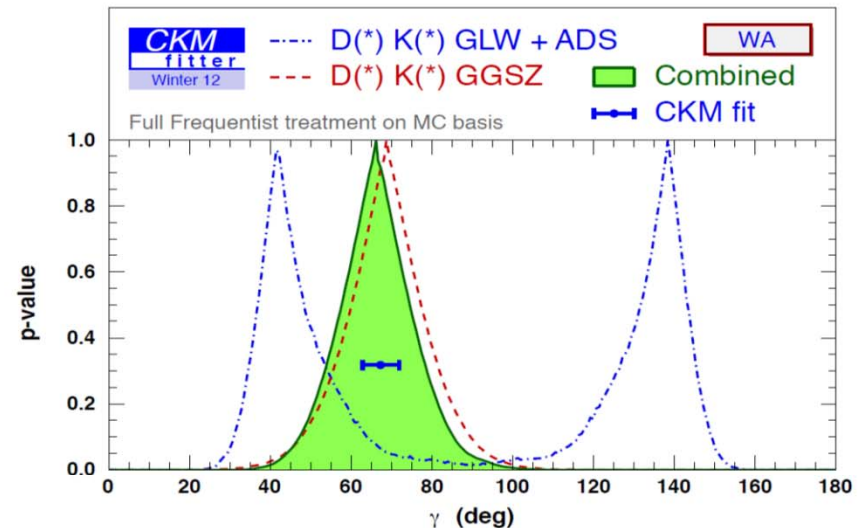
➔ A lot accomplished since the end of Bfactories and the startup of LHCb



Summer 10

$$\gamma[\text{comb}] = (71^{+21}_{-25})^\circ$$

$$\gamma[\text{fit}] = (67.2^{+3.9}_{-3.9})^\circ$$



Summer 11

$$\gamma[\text{comb}] = (68^{+10}_{-11})^\circ$$

$$\gamma[\text{fit}] = (67.3^{+4.2}_{-3.5})^\circ$$

Winter 12

$$\gamma[\text{comb}] = (66^{+12}_{-12})^\circ$$

$$\gamma[\text{fit}] = (67.1^{+4.3}_{-4.3})^\circ$$

Et **ENIGMASS** dans tout ça ? : de BaBar à LHCb en passant par **CKMfitter**

- **Co-coordonateurs dans BaBar BRECO AWG** : J.P. Lees sept04-nov07, V. Tisserand nov07-déc08, V. Poireau depuis déc08.-août11:

- Grande expertise sur les decays B en DX
- Auteurs de 2 papiers sur γ (ADS D(*)K et ADS/GLW DK*)
- Avons coordonné toutes les analyses/publis. de BaBar sur la mesure de γ



- Stéphane T'Jampens et VT: **membres (coordinateur) de CKMfitter depuis 2005:**

Experts de l'extraction de γ à partir des moyennes mondiales avec J. Charles (CPT Marseille) et K. Trabelsi (Belle) et développement des méthodes de traitement Statistiques



- **Sur LHCb : expertise calorimètres** (MN. Minard project leader -> 2011): Apporter notre expertise de BaBar et CKMfitter et augmenter le nombre de canaux en incluant des photons, π^0 et η (études en cours B en D* π K). Commencer en collaborant avec les groupes de LHCb anglais (Oxford, RAL, et Warwick) et français LAL sur des canaux comme DK* π et B(s) \rightarrow D π KK + des responsabilités sur l'



- **AU LAPTh** : collaborer avec D. Guadagnoli

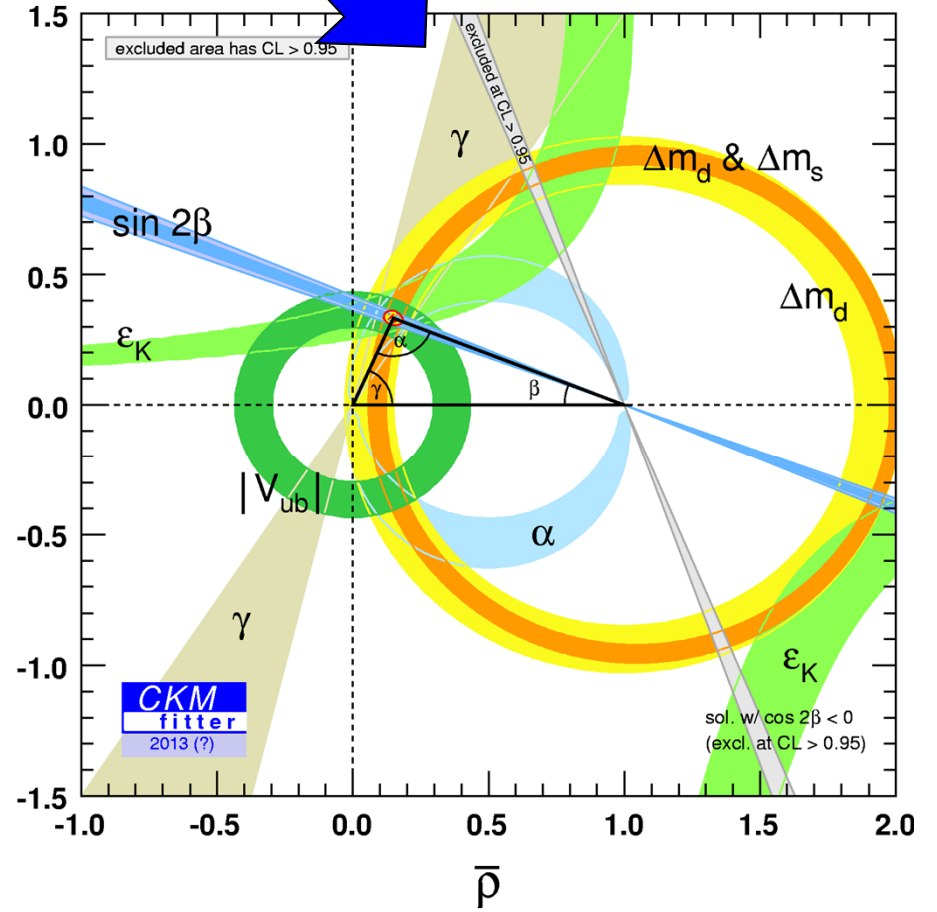
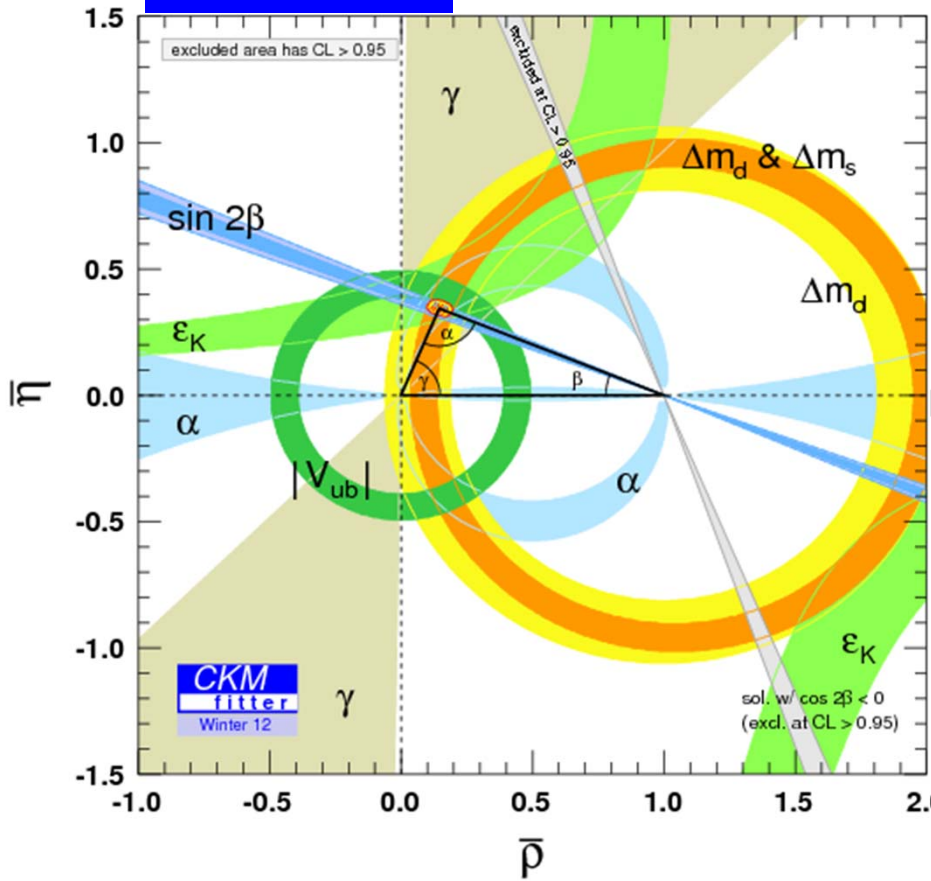
























→ SUPPORT LABEX ENIGMASS SERAIT FANTASTIQUE POUR MAINTENIR ET RENFORCER CETTE EXPERTISE ACQUISE DEPUIS PRÈS de 10 ANS !

En route/retour vers le futur !

10/fb CERN 

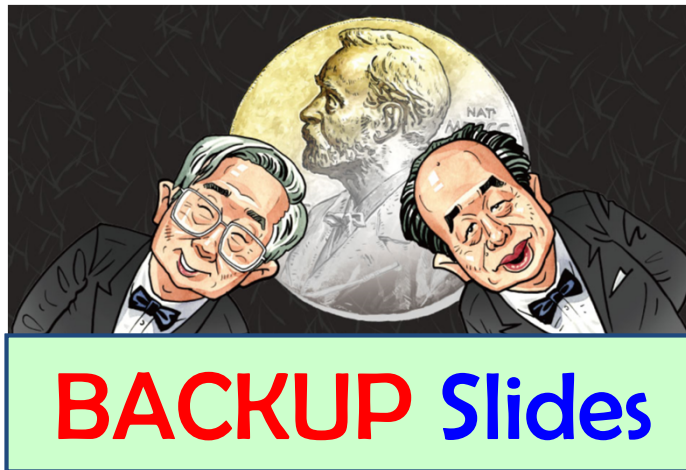
hiver 2012



Observable	SM prediction	Theory error	Present result	Future error	Future Facility
$ V_{us} $ [$K \rightarrow \pi \ell \nu$]	input	$0.5\% \rightarrow 0.1\%_{\text{Latt}}$	0.2246 ± 0.0012	0.1%	K factory
$ V_{cb} $ [$B \rightarrow X_c \ell \nu$]	input	1%	$(41.54 \pm 0.73) \times 10^{-3}$	1%	
$ V_{ub} $ [$B \rightarrow \pi \ell \nu$]	input	$10\% \rightarrow 5\%_{\text{Latt}}$	$(3.38 \pm 0.36) \times 10^{-3}$	4%	
γ [$B \rightarrow DK$]	input	$< 1^\circ$	$(70^{+27}_{-30})^\circ$	3°	
$S_{B_d \rightarrow \psi K}$	$\sin(2\beta)$	$\lesssim 0.01$	0.671 ± 0.023	0.01	
$S_{B_s \rightarrow \psi \phi}$	0.036	$\lesssim 0.01$	$0.81^{+0.12}_{-0.32}$	0.01	
$S_{B_d \rightarrow \phi K}$	$\sin(2\beta)$	$\lesssim 0.05$	0.44 ± 0.18	0.1	
$S_{B_s \rightarrow \phi \phi}$	0.036	$\lesssim 0.05$	—	0.05	
$S_{B_d \rightarrow K^* \gamma}$	$\text{few} \times 0.01$	0.01	-0.16 ± 0.22	0.03	
$S_{B_s \rightarrow \phi \gamma}$	$\text{few} \times 0.01$	0.01	—	0.05	
A_{SL}^d	-5×10^{-4}	10^{-4}	$-(5.8 \pm 3.4) \times 10^{-3}$	10^{-3}	
A_{SL}^s	2×10^{-5}	$< 10^{-5}$	$(1.6 \pm 8.5) \times 10^{-3}$	10^{-3}	
$A_{CP}(b \rightarrow s \gamma)$	< 0.01	< 0.01	-0.012 ± 0.028	0.005	
$\mathcal{B}(B \rightarrow \tau \nu)$	1×10^{-4}	$20\% \rightarrow 5\%_{\text{Latt}}$	$(1.73 \pm 0.35) \times 10^{-4}$	5%	
$\mathcal{B}(B \rightarrow \mu \nu)$	4×10^{-7}	$20\% \rightarrow 5\%_{\text{Latt}}$	$< 1.3 \times 10^{-6}$	6%	
$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)$	3×10^{-9}	$20\% \rightarrow 5\%_{\text{Latt}}$	$< 5 \times 10^{-8}$	10%	
$\mathcal{B}(B_d \rightarrow \mu^+ \mu^-)$	1×10^{-10}	$20\% \rightarrow 5\%_{\text{Latt}}$	$< 1.5 \times 10^{-8}$	[?]	
$A_{\text{FB}}(B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-)_{q_0^2}$	0	0.05	(0.2 ± 0.2)	0.05	
$B \rightarrow K \nu \bar{\nu}$	4×10^{-6}	$20\% \rightarrow 10\%_{\text{Latt}}$	$< 1.4 \times 10^{-5}$	20%	
$ q/p _{D-\text{mixing}}$	1	$< 10^{-3}$	$(0.86^{+0.18}_{-0.15})$	0.03	
ϕ_D	0	$< 10^{-3}$	$(9.6^{+8.3}_{-9.5})^\circ$	2°	
$\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$	8.5×10^{-11}	8%	$(1.73^{+1.15}_{-1.05}) \times 10^{-10}$	10%	
$\mathcal{B}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$	2.6×10^{-11}	10%	$< 2.6 \times 10^{-8}$	[?]	
$R^{(e/\mu)}(K \rightarrow \pi \ell \nu)$	2.477×10^{-5}	0.04%	$(2.498 \pm 0.014) \times 10^{-5}$	0.1%	K factory
$\mathcal{B}(t \rightarrow c Z, \gamma)$	$\mathcal{O}(10^{-13})$	$\mathcal{O}(10^{-13})$	$< 0.6 \times 10^{-2}$	$\mathcal{O}(10^{-5})$	LHC (100 fb^{-1})

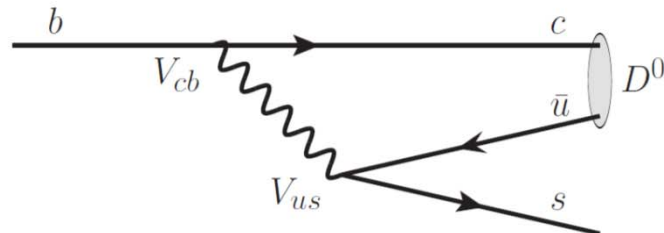
Isidori, Nir,
& Perez
arXiv:
1002.0900
LHCb [10/fb]
superB[50/ab]

Flavour Physics
constraints
for Physics
Beyond the SM

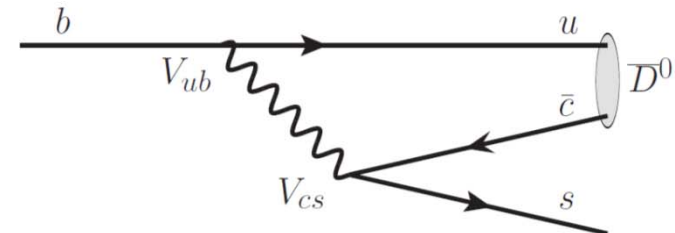


Measuring the CKM angle γ in B to DX decays: Direct CPV

γ can be constrained by many modes.



$$V_{cb} V_{us}^* \sim A\lambda^3$$



$$V_{ub} V_{cs}^* \sim A\lambda^3(\rho - i\eta)$$

Take any spectator(s) you like. Color-allowed diagrams are also possible for certain spectators.

- Counting analyses:

$$A_{B\pm} = A_D + e^{\pm i\gamma} \bar{A}_D$$

- Dalitz plot analyses (multibody decays):

$$A_{B\pm}(\mathcal{D}) = A_D(\mathcal{D}) + e^{\pm i\gamma} \bar{A}_D(\mathcal{D})$$

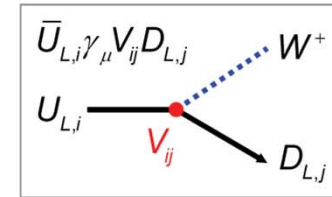
Phase difference and amplitude ratio vary as functions of \mathcal{D} .

- Angular analyses: non-scalar states.

Le Modèle Standard (SM) et la Matrice Unitaire CKM
 → mélange des 3 familles de quarks et violation de CP

- Le boson de Higgs donne la masse aux bosons et aux fermions (quarks et leptons) au travers des couplages de Yukawa, mais il n'y a pas que ça ! :

$$\mathcal{L}_{cc}^{\text{quarks}} = \frac{g}{2\sqrt{2}} W_{\mu}^{\dagger} \left[\sum_{ij} \bar{u}_i(q_2) \gamma^{\mu} (1 - \gamma^5) V_{ij} d_j \right] + \text{h.c}$$

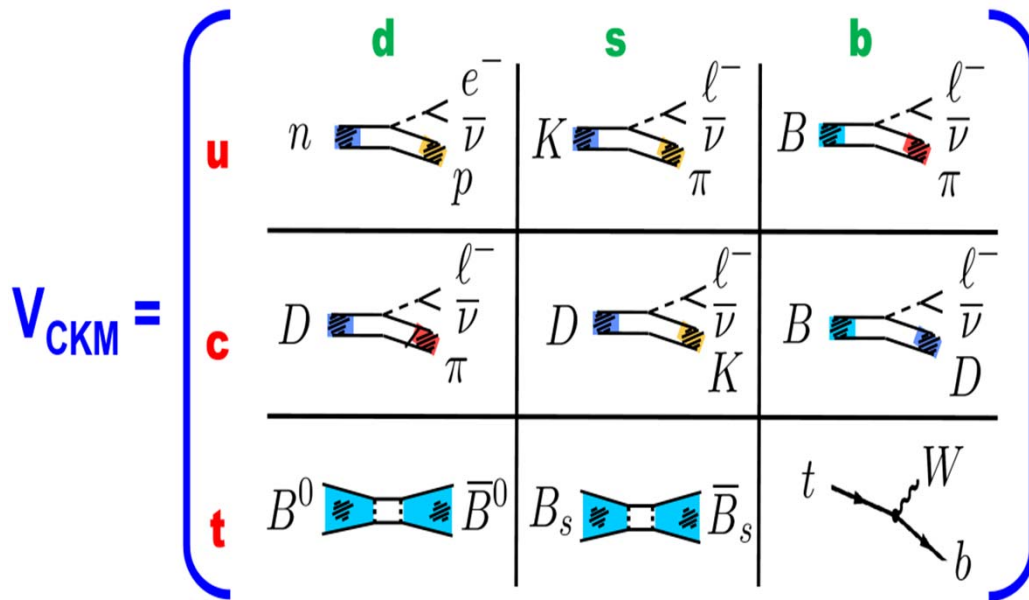


Les courants chargés (EW) impliquent des transitions entre familles de quarks : désintégrations des quarks [pas de courant neutre changeant la saveur (FCNC) à l'ordre des arbres (mécanisme GIM)].

$$V_{\text{CKM}} = \begin{pmatrix} \text{u} & \text{d} & \text{s} & \text{b} \\ 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ \text{c} & -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ \text{t} & A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + \mathcal{O}(\lambda^4) \quad (\text{VV}^{\dagger} = \mathbf{1})$$

- Forte hiérarchie** dans les couplages EW V_{ij} entre les 3 familles (décalage à la diagonale couplage $\propto \lambda^N \approx (0.225)^N$:
 → angle de Cabibbo).
- Mécanisme KM** (Kobayashi-Maskawa) :
3 générations → **4 paramètres**: A , λ , ρ et **1 phase** η qui est l'unique source de la violation de CP.

La matrice CKM : le triangle d'unitarité et la phénoménologie très riche des saveurs



→ 4 paramètres ($A, \lambda, \bar{\rho}$ et $\bar{\eta}$) pour décrire la matrice CKM, et à extraire des données: nucléons, K, D, $B_{(s)}$ et physique du quark top.

→ Relation d'unitarité système des B_d (1^{ère} ligne/3^{ème} col.):

$$\frac{V_{ud} V_{ub}^*}{V_{cd} V_{cb}^*} + 1 + \frac{V_{td} V_{tb}^*}{V_{cd} V_{cb}^*} = 0$$

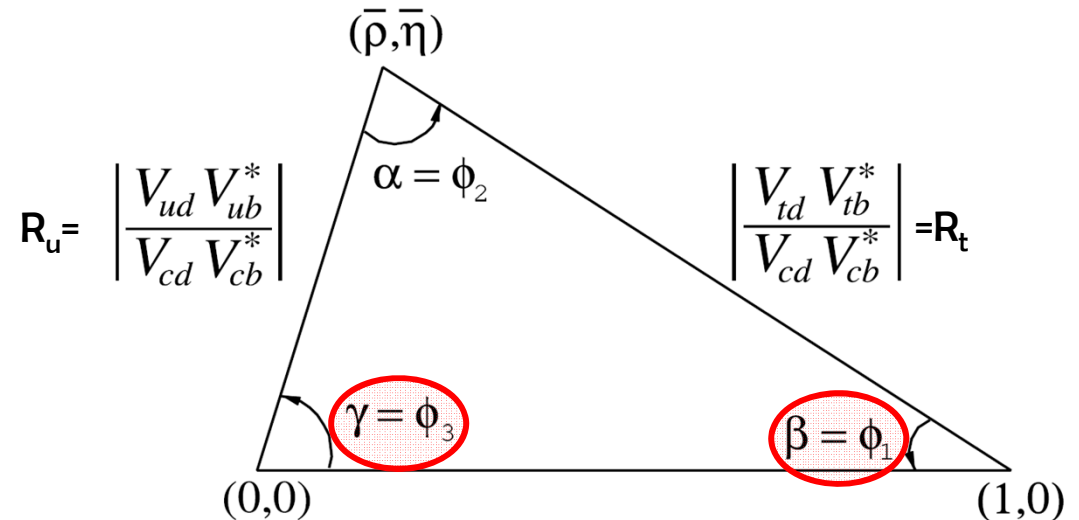
$$O(1) + O(1) + O(1)$$

Paramétrisation « à la Wolfenstein » invariante de phase et valide à tous les ordres en λ (EPJ C41, 1-131, 2005):

$$\bar{\rho} + i\bar{\eta} = -\frac{V_{ud} V_{ub}^*}{V_{cd} V_{cb}^*}$$

$$\lambda^2 = \frac{|V_{us}|^2}{|V_{ud}|^2 + |V_{us}|^2} \quad A^2 \lambda^4 = \frac{|V_{cb}|^2}{|V_{ud}|^2 + |V_{us}|^2}$$

Triangle d'unitarité dans le plan complexe ($\bar{\rho}, \bar{\eta}$):



Le triangle d'unitarité : métrologie des paramètres CKM@SM

Au démarrage de la construction des usines à B : *BABAR* et Belle

Expérimentalement : mesures redondantes et indépendantes avec un bon contrôle théorique

(mais !!! ☀ !!! : données = weak ⊗ QCD)

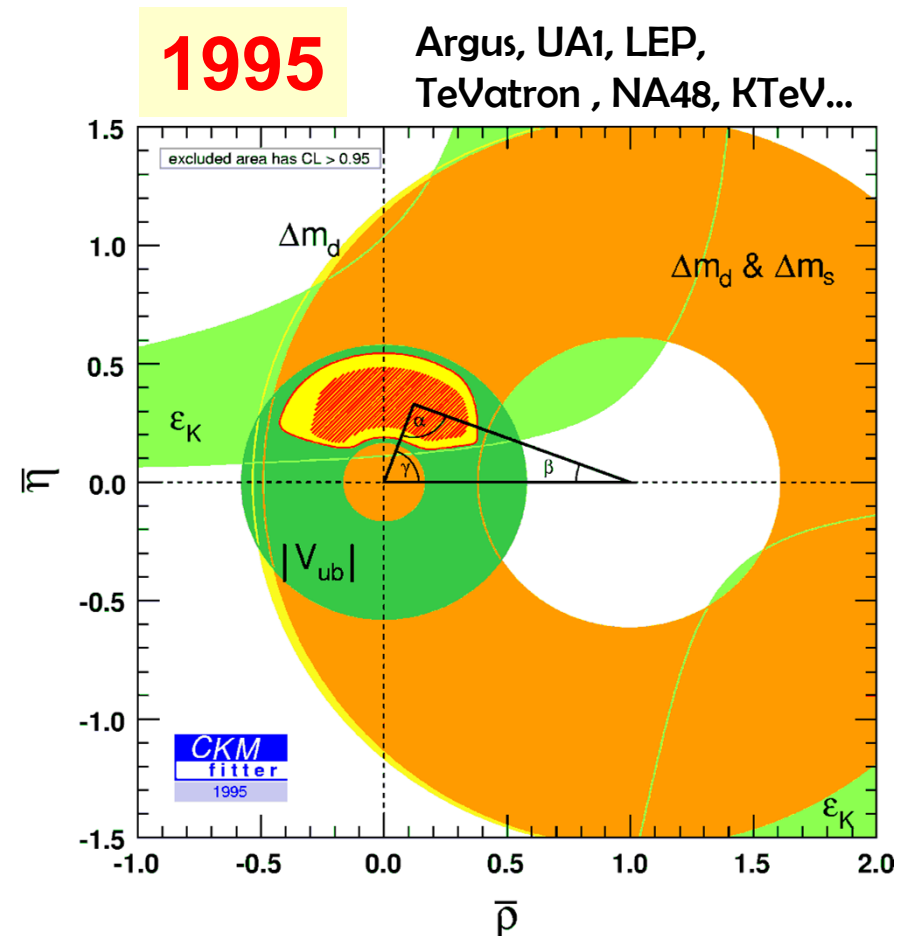
⇒ inputs hadroniques (souvent Lattice QCD):

→ Physique nucléaire et Kaons: $|V_{ud}|$ et $|V_{us}|$

→ Longueur des côtés :

- $|V_{xb}|$ ($x=u,c$) : $b \rightarrow X_{c/u} V$ premières mesures

→ Mélange K/ $B_{d,s}$: ϵ_K , Δm_d (1987+LEP) + le quark top et Δm_s (limite LEP > 6.5 ps⁻¹ 95%CL)



toutes les mesures doivent être en accord si le mécanisme KM@SM est correct. Sinon: Nouvelle Physique (NP) !

Le triangle d'unitarité : métrologie des paramètres CKM@SM

Juste avant les premiers résultats significatifs des usines à B : *BABAR* et Belle

Expérimentalement : mesures redondantes et indépendantes avec un bon contrôle théorique

(mais !!! ☀ !!! : données = weak ⊗ QCD)

⇒ inputs hadroniques (souvent Lattice QCD):

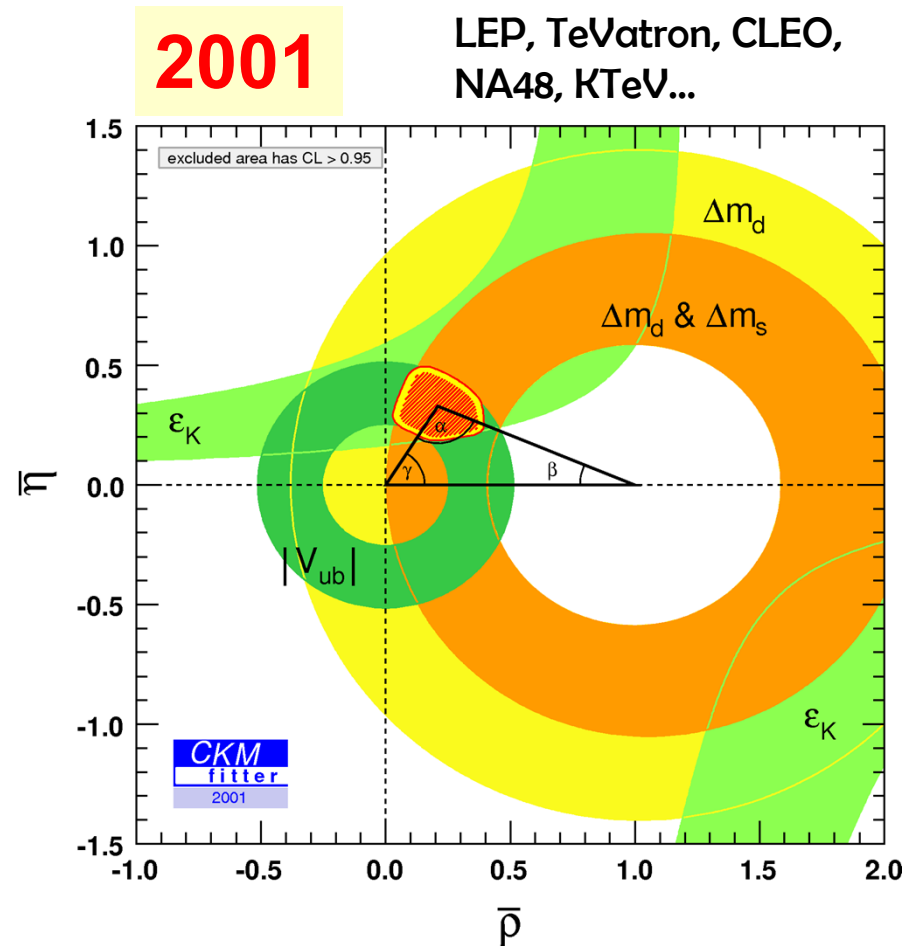
→ Physique nucléaire et Kaons: $|V_{ud}|$ et $|V_{us}|$

→ Longueur des côtés :

• $|V_{xb}|$ ($x=u$ ($\mathcal{O}(15\%)$), c ($\mathcal{O}(5\%)$)) : $b \rightarrow X_{cu} |V$

→ Mélange K/ $B_{d,s}$: ϵ_K , Δm_d et Δm_s (limite LEP $> 14 \text{ ps}^{-1}$ @95 %CL)

→ $B_K \dots$



toutes les mesures doivent être en accord si le mécanisme KM@SM est correct. Sinon: Nouvelle Physique (NP) !

Le triangle d'unitarité : métrologie des paramètres CKM@SM

Mise en évidence CPV dans les B aux usines à B : *BABAR* et Belle !

Expérimentalement : mesures redondantes et indépendantes avec un bon contrôle théorique (mais !!! ☀ !!! : données = weak ⊗ QCD)
 ⇒ inputs hadroniques (souvent Lattice QCD):

→ Physique nucléaire et Kaons: $|V_{ud}|$ et $|V_{us}|$

→ Longueur des côtés :

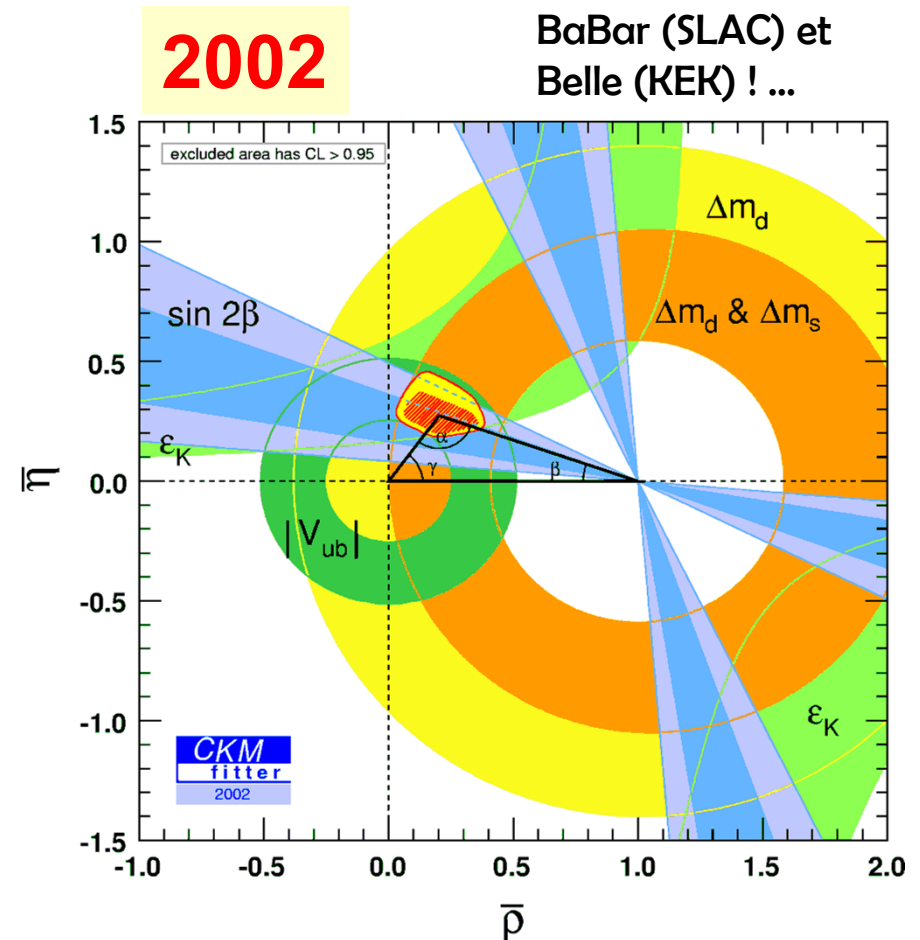
- $|V_{xb}|$ ($x=u,c$) : $b \rightarrow X_{c/u} V$

→ Mélange K/B_{d,s}: ϵ_K , Δm_d et Δm_s

→ Angles (asymétries):

- β/ϕ_1 : modes charmonium
 → $\sin(2\beta) = 0.48 \pm 0.16$

Note: fin 2009 il y a plus de 25 observables dans les B qui violent CP à $>3\sigma$!



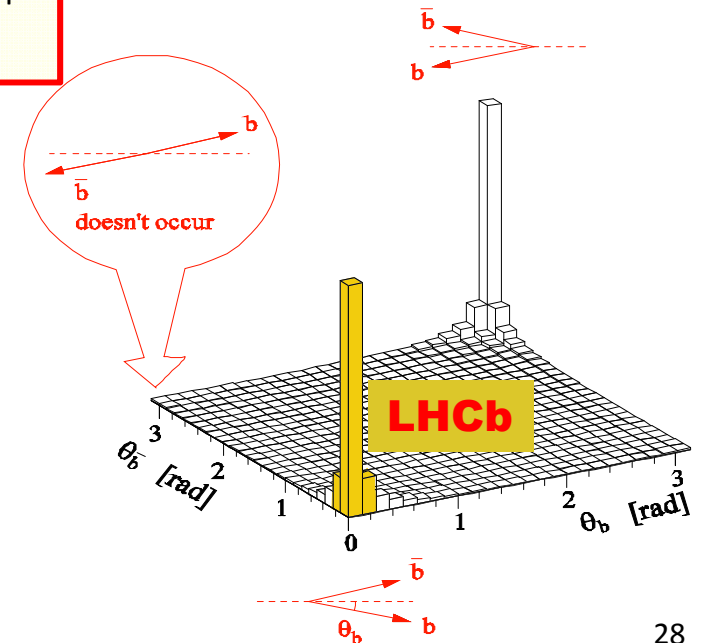
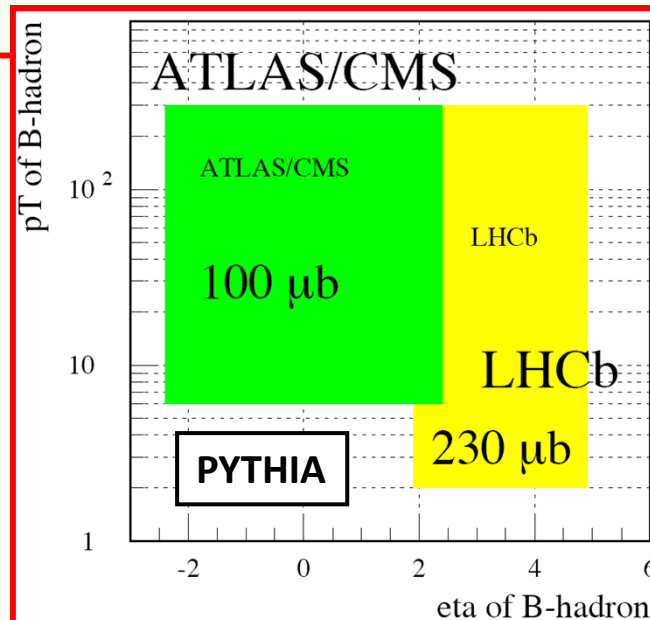
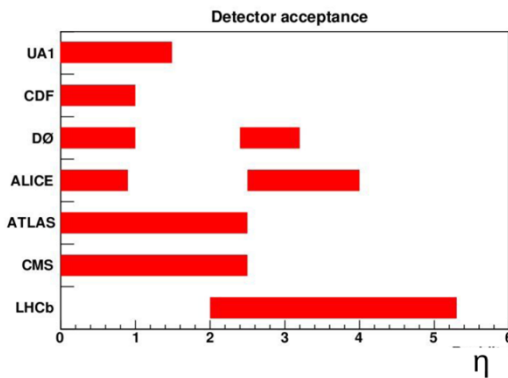
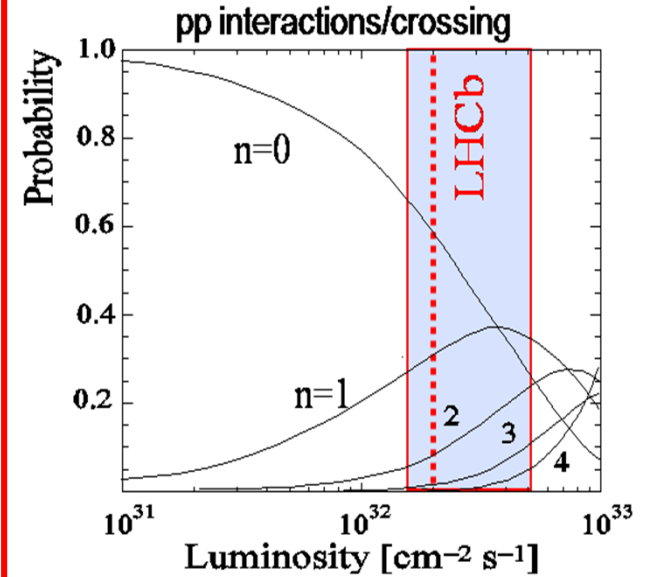
toutes les mesures doivent être en accord si le mécanisme KM@SM est correct. Sinon: Nouvelle Physique (NP) !

LHCb@LHC (fonctionnement nominal à 14TeV)

730 personnes
54 instituts 15 pays



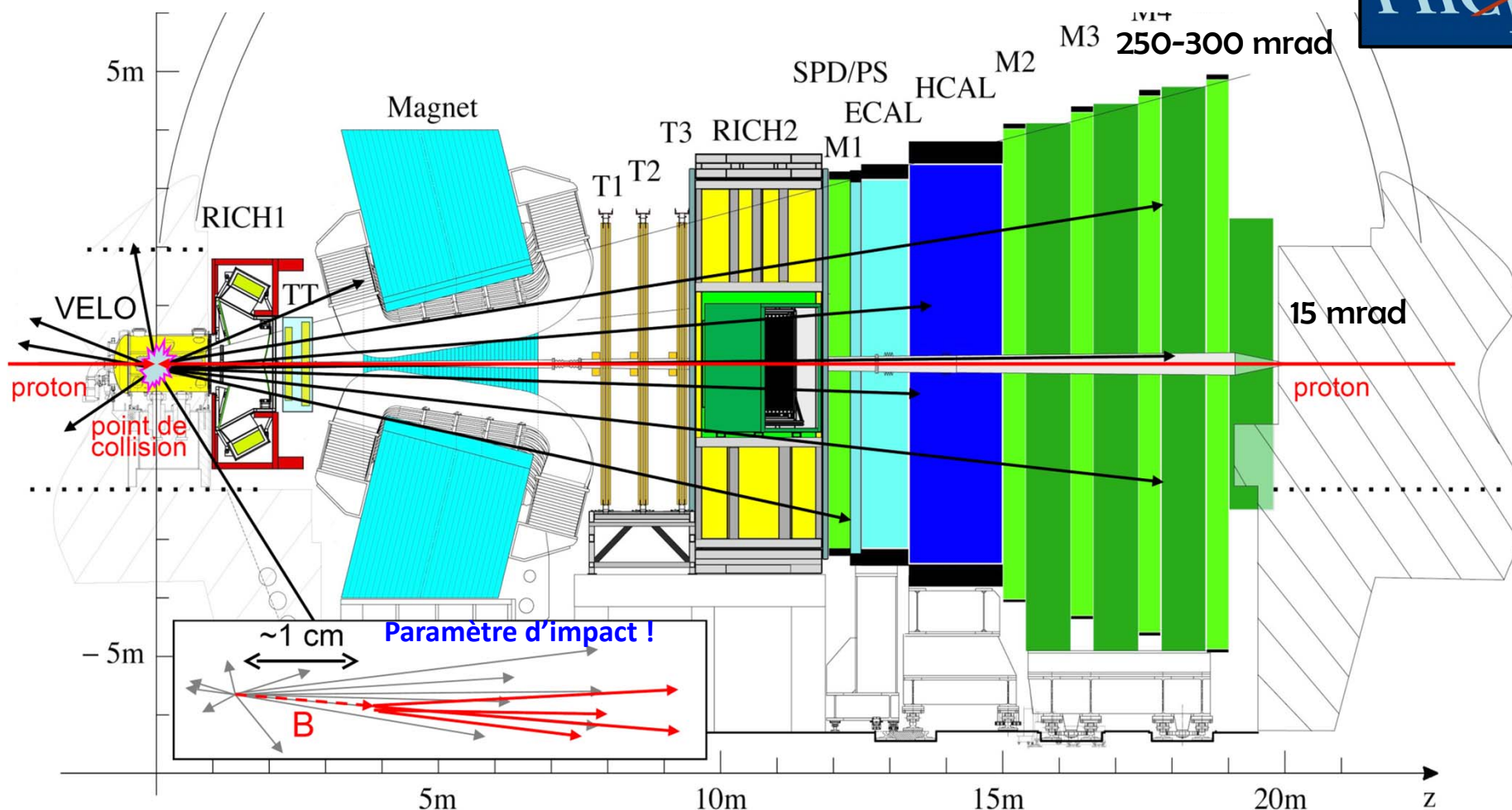
- Fonctionnement à une luminosité nominale plus basse pour limiter le pile-up : $\mathcal{L}=2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (faisceaux dé-focalisés)
- Grande section efficace $b\bar{b}$: $\geq 500 \mu\text{b}$ (minimum!)
 - mais $\sigma_{\text{had}}/\sigma_{b\bar{b}} \approx 5 \times 10^3$ et désintégrations rares $\mathcal{B} \leq 10^{-5}$
 - production de hadrons B : 10^{12} hadrons B [$\mathcal{L}_{\text{int}}=2/\text{fb/ans} \Rightarrow 10/\text{fb}/5 \text{ ans}$]
 - démarrage 2010 @ 7 TeV: 18-24 mois $\Rightarrow \mathcal{L}_{\text{int}} \sim 1/\text{fb}$ ($\sigma_{b\bar{b}}$ divisée ~ 2)
- Les $b\bar{b}$ sont produits de façon corrélée et préférentiellement vers l'avant \rightarrow LHCb = spectromètre avant :
 - 40% des B: $1.9 < \eta < 4.9$, un seul bras (coût et espace caverne DELPHI)
 - trigger flexible et efficace pour les désintégrations purement hadroniques et leptonique sde B (traces/photons de bas p_T + ID de particules + Paramètre d'Impact (tracking+vertexing) + calcul « EN-LIGNE » puissant + lecture rapide ...).



Détecteur LHCb

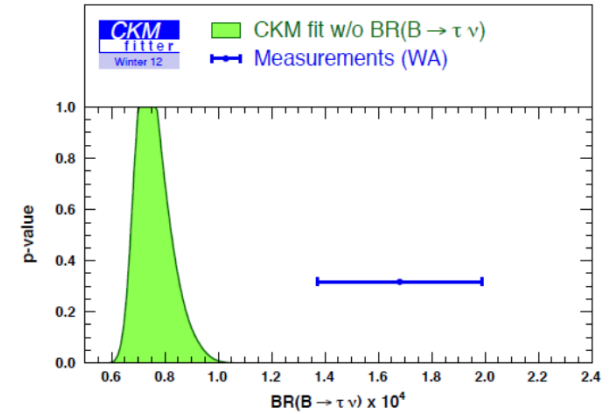
Expérience optimisée pour le physique du B:

- bonne couverture angulaire
- trigger efficace pour modes hadroniques et leptoniques
- tracking and vertexing précis (masse, temps propre)
- excellent PID
- polarité de l'aimant renversible (asymétries)

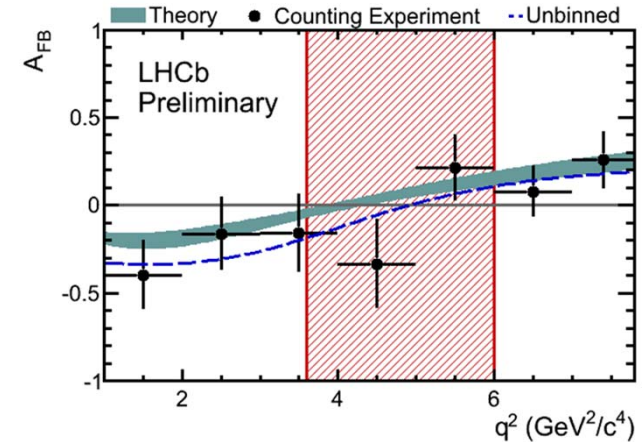


B⁺⁰ : au fait, y a-t-il encore des déviations/SM ? (1)

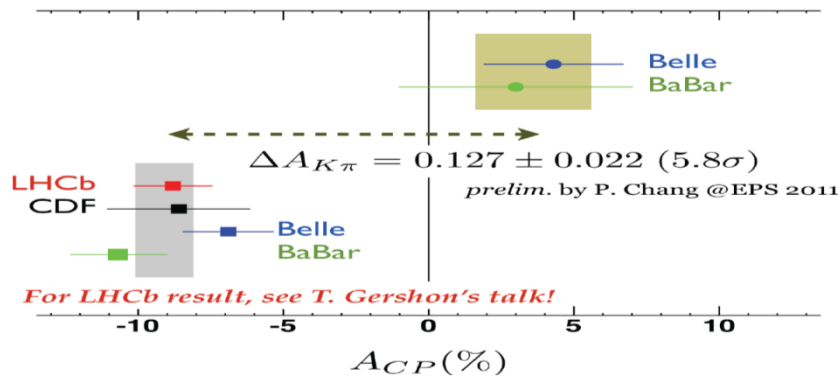
- $\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau)$ [$\times 10^{-4}$] désintégration **purement leptonique** :
 préd. SM (CKMfitter) = (0.83 ± 0.08) \Leftrightarrow
 BaBar+Belle: (1.68 ± 0.31)
→ inaccessible pour LHCb (superB factories)



- $A_{FB}(q^2)[B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-] \rightarrow$ LHCb@2011 (~900evts)
Précis mais pas de NP pour le moment (isospin $K\mu\mu$?)



- WA: $A_{CPdir}(B \rightarrow K^+ \pi^-) - A_{CPdir}(B^+ \rightarrow K^+ \pi^0)$ **puzzle@5.8 σ**
+ Mesure de $A_{CPdir}(B_s \rightarrow K^+ \pi^-)$ par LHCb !

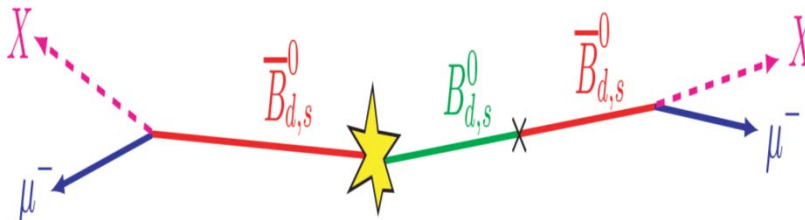


- $\sin(2\beta_{eff}) \stackrel{?}{\approx} \text{ou } \neq \sin(2\beta)_{c\bar{c}}$ dans les modes pingouins $b \rightarrow s\bar{s}s$???

→ !! puzzles !! : amplitudes hadroniques ? + mesures de précision !

B_d/B_s : au fait, y a-t-il encore des déviations/SM ? (2)

Dimuon Charge Asymmetry

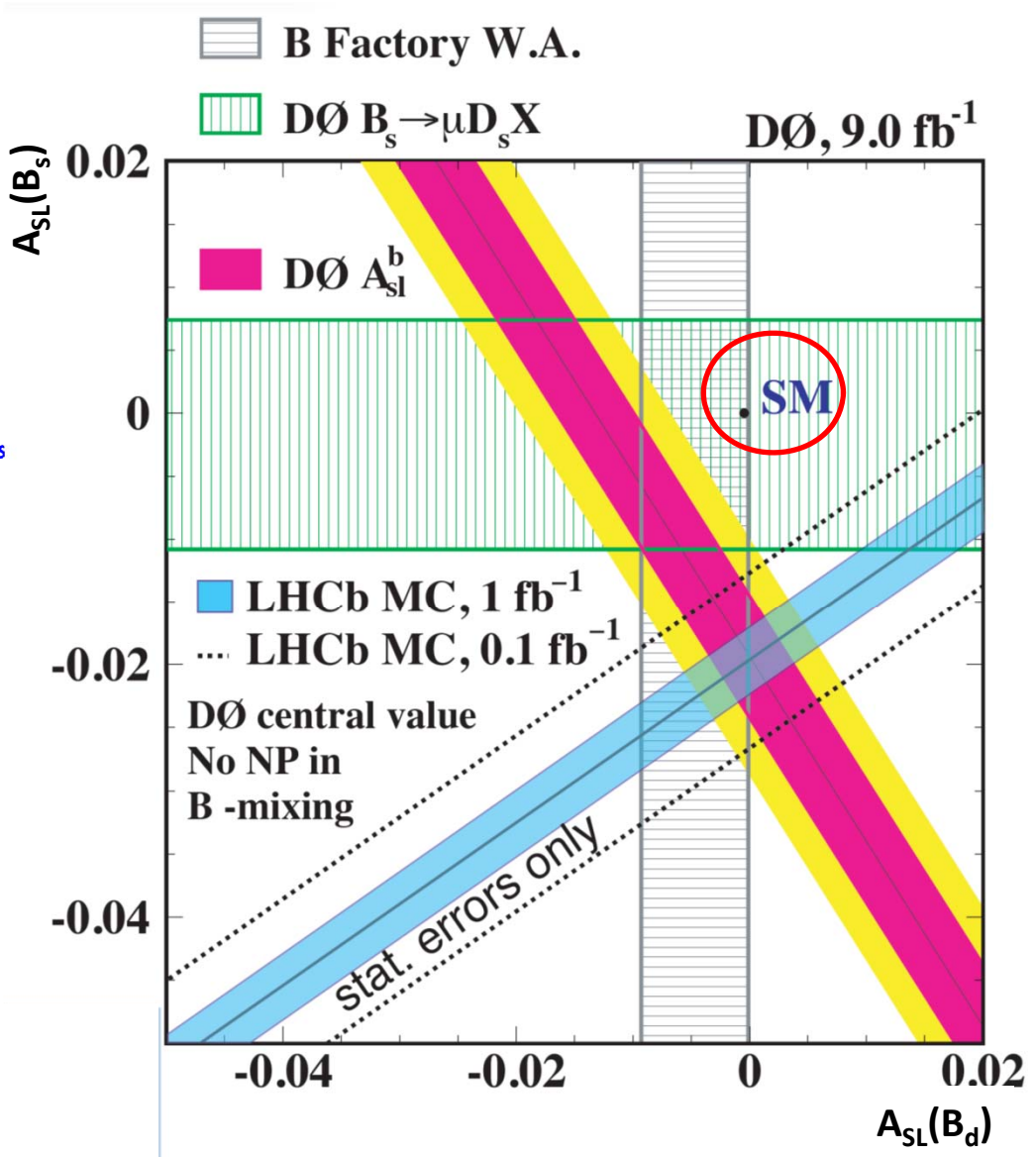


Violation de CP dans le mélange combiné B_d/B_s

$$A_{sl}^b = \frac{N_b(\mu^+\mu^+) - N_b(\mu^-\mu^-)}{N_b(\mu^+\mu^+) + N_b(\mu^-\mu^-)}$$

→ @9/fb : à 3.9σ du SM

→ LHCb seul à pouvoir refaire cette mesure (renverser champ mag) n'a encore rien dit !
 → gare au gorille !



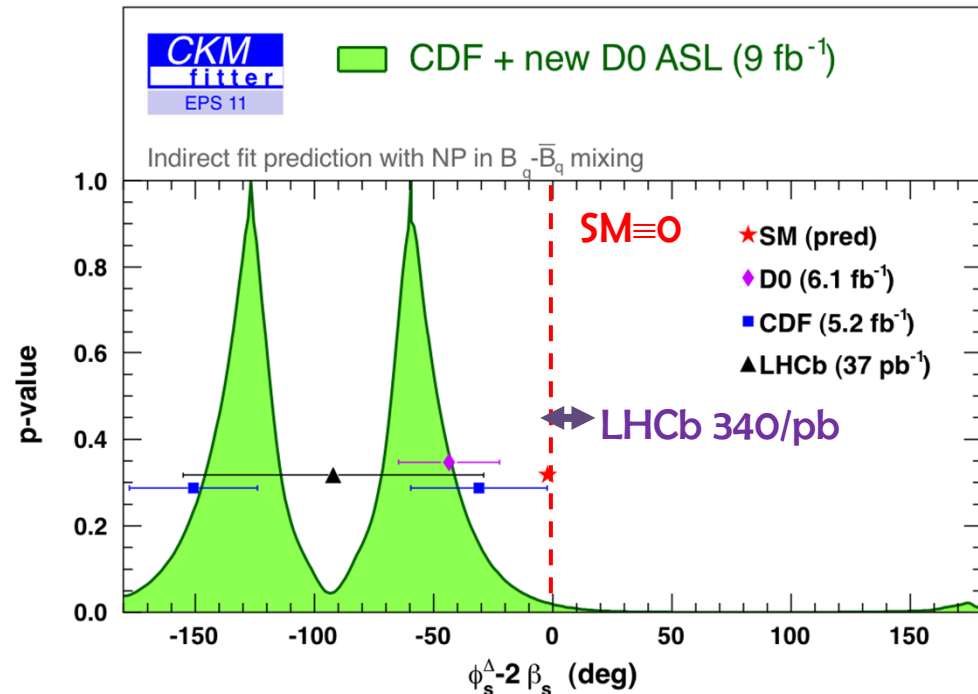
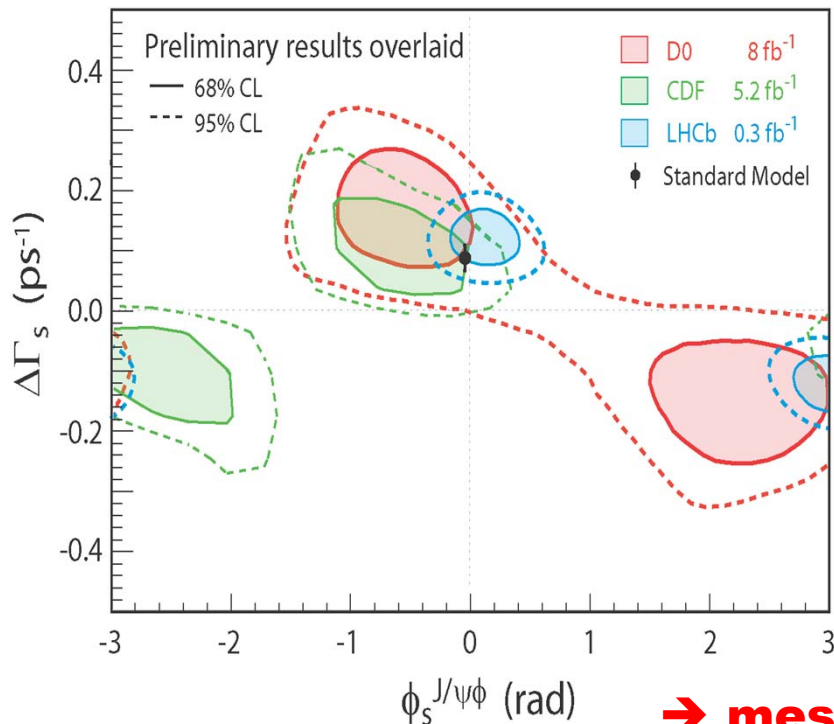
→ **mesures de précision !**

B_s → J/ψφ : au fait, y a-t-il encore des déviations/SM ? (2)

B_s → J/ψφ (φ_s ≡ -2β_s SM)

→ La phase dans le mélange et la CPV φ_s dans les désintégrations B_s → J/ψφ (φ_s = -2β_s SM) n'est pas encore mesurée, mais ... il y avait début 2010 une indication de déviation venant du Tevatron (non ???) → déjà marginale à l'été 2010 !

→ LHCb fait une très belle analyse angulaire de CP dépendante du temps dans le mélange B_s-B̄_s qui est très complète et très difficile: sélection de ~8300 cand@340/pb + temps de vie + mélange Δm_s + étiquetage de la saveur + ajustements/acceptance analyse angulaire transversité ...



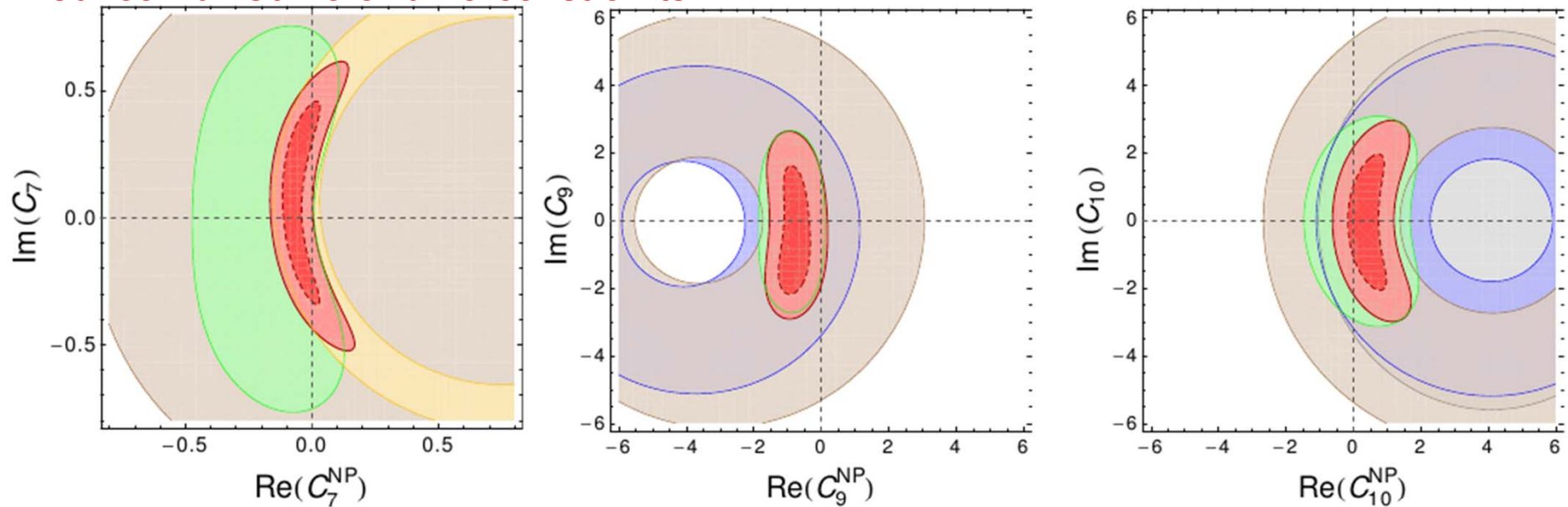
→ mesures de précision !

Constraints on Wilson Coefficients from $\Delta F=1$ FCNC

Varying 1 Wilson coefficient at a time. $C_i = C_i^{\text{SM}} + C_i^{\text{NP}}$

preliminary

Red: combined 1σ and 2σ constraints



$\text{BR}(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-)$
 $\text{BR}(B \rightarrow X_s \gamma)$
 $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$
 $\text{BR}(B \rightarrow K \mu^+ \mu^-)$
 $\text{BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)$

Straub *et al.* [arXiv:1111.1257 – JHEP 1202:106]
+ update 1205.xxxx

- Good agreement with SM expectations
- Complementarity between observables crucial to break degeneracies

Over-constraining Wilson coefficients with many measurements (\rightarrow precision) in a global fit (similar to UT global fit): best sensitivity to small NP effects