

VIOLATION DE CP et SAVEURS LOURDES

Giampiero Mancinelli



Au nom du groupe de travail :

N. Arnaud, D. Becirevic, E. Ben-Haim, J. Charles, S. Descotes-Genon, S. Emery
J.-P. Lees, R. Le Gac, P. Nedelec, D. Rebreyend, Y. Sacquin, M.-H. Schune¹
A. Stocchi, V. Tisserand, S. T'Jampens, G. Wormser

Contenu

- Le contexte
- L'état de l'art
- SuperB
- LHCb Upgrade
- Recommandations

Le contexte

Questions Ouvertes

Le Modèle Standard n'est pas la Théorie Ultime

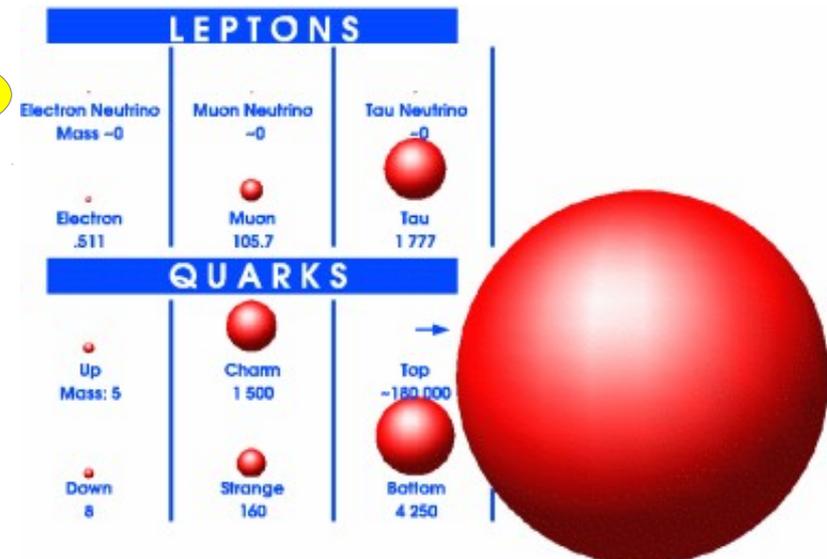
Il ne répond pas à des questions fondamentales comme :

- Pourquoi 3 générations ?
- Comment est déterminée la hiérarchie entre fermions de différentes saveurs ?
- Comment sont déterminés les éléments de la matrice CKM ?
- Quelle est l'origine de la saveur ?
- Quelle est l'origine de l'asymétrie matière-antimatière ?
- D'où vient la brisure de symétrie électrofaible ?

Le Modèle Standard peut être vu comme une théorie effective à basse énergie d'une théorie plus fondamentale à des échelles d'énergie plus élevées



Who ordered that?



Matrice CKM

- **La matrice CKM est la seule source de violation de CP** (dans le secteur des quarks) **et de FCNC** (courants neutres changeant la saveur) **dans le MS** :

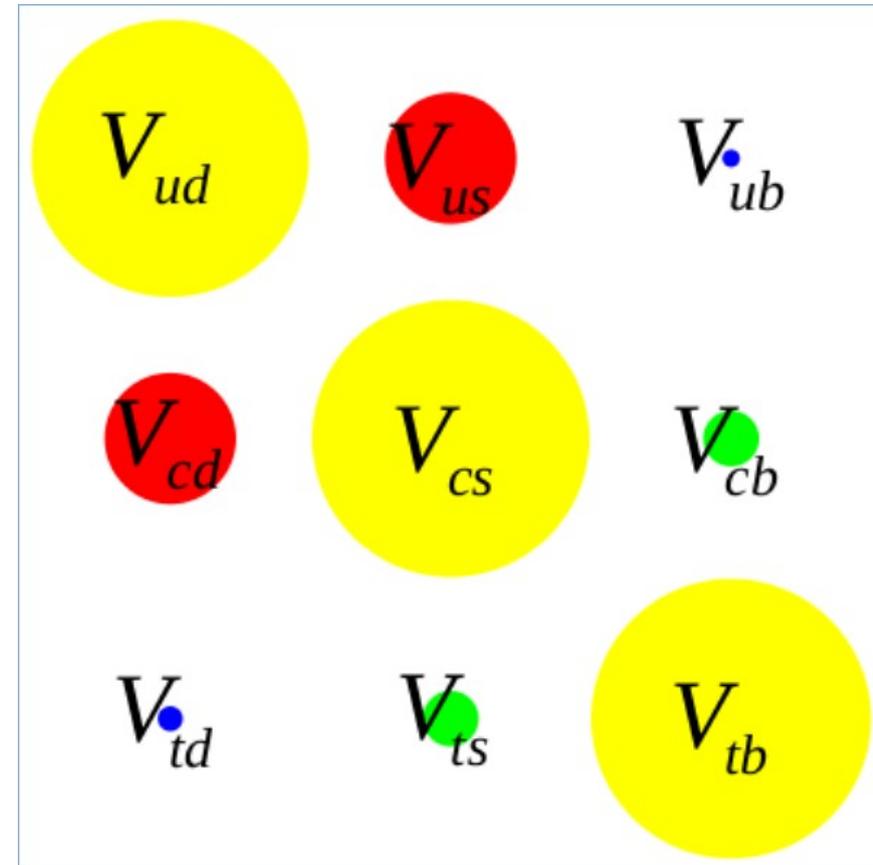
- N'explique pas l'asymétrie matière antimatière dans l'Univers
- Petits éléments non-diagonaux

La violation de la saveur est très supprimée dans le MS

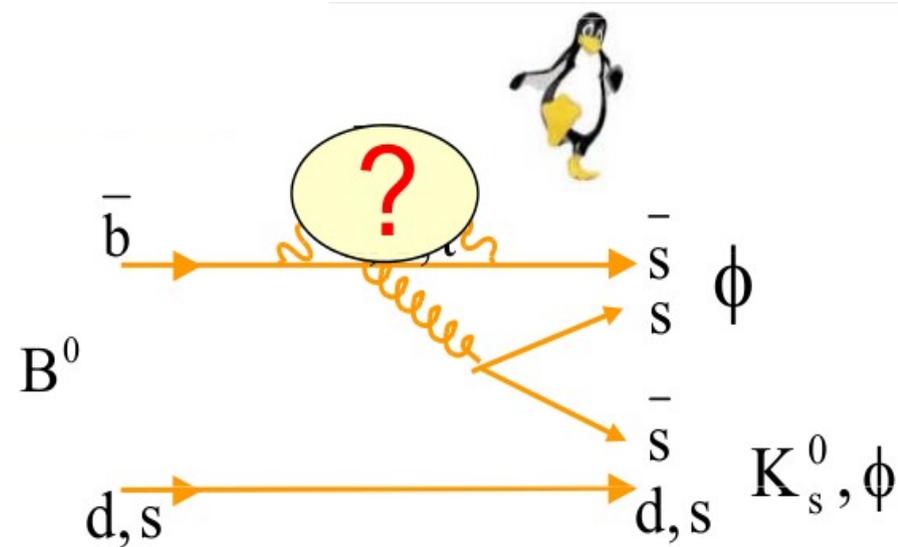
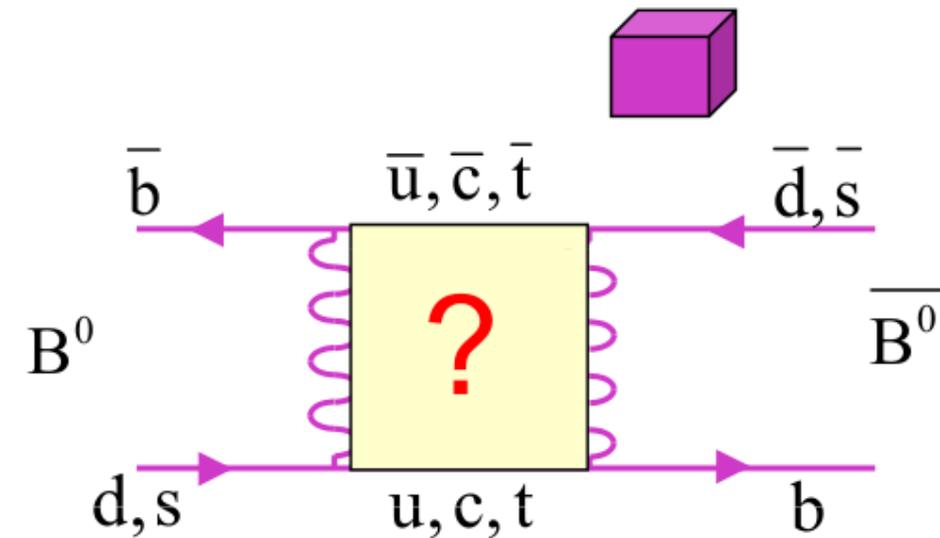
- **Dans les extensions du MS** (dont celles supersymétriques), **il existe d'autres sources de violation de la saveur et de CP.**

Pour rester en accord avec les résultats expérimentaux...

- Un ajustement fin est nécessaire
- Postuler des principes de symétrie/dynamiques



FCNC



Recherche de déviations induites par les contributions virtuelles de nouvelles particules massives dans les diagrammes

On mesure

- Phases violant CP dans le mélange et la désintégration
- Désintégrations très rares des hadrons
- ...

On compare

- Prédictions les plus précises possible du MS

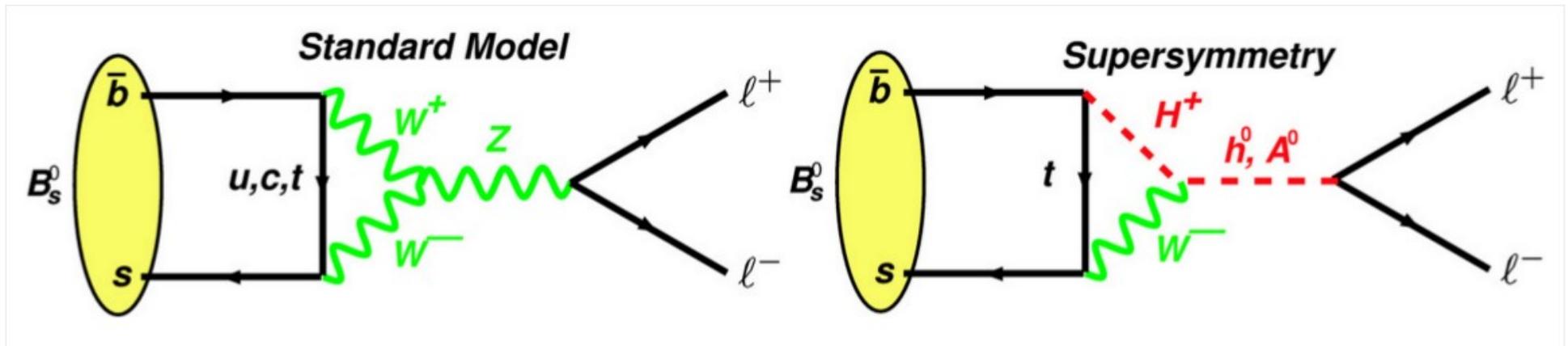
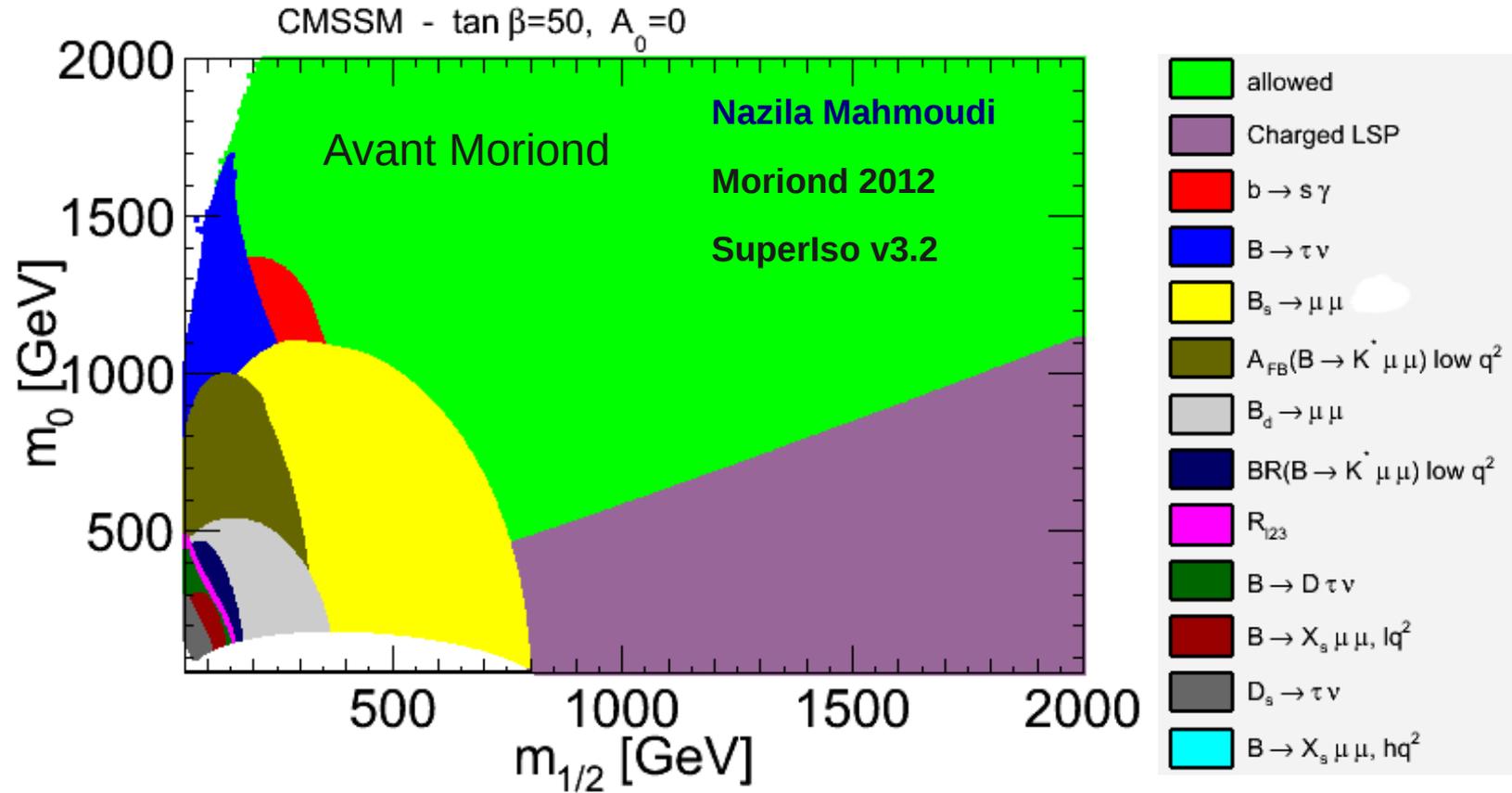
On atteint

- Potentiel de découverte au-delà de l'énergie du LHC

Les Approches Possibles

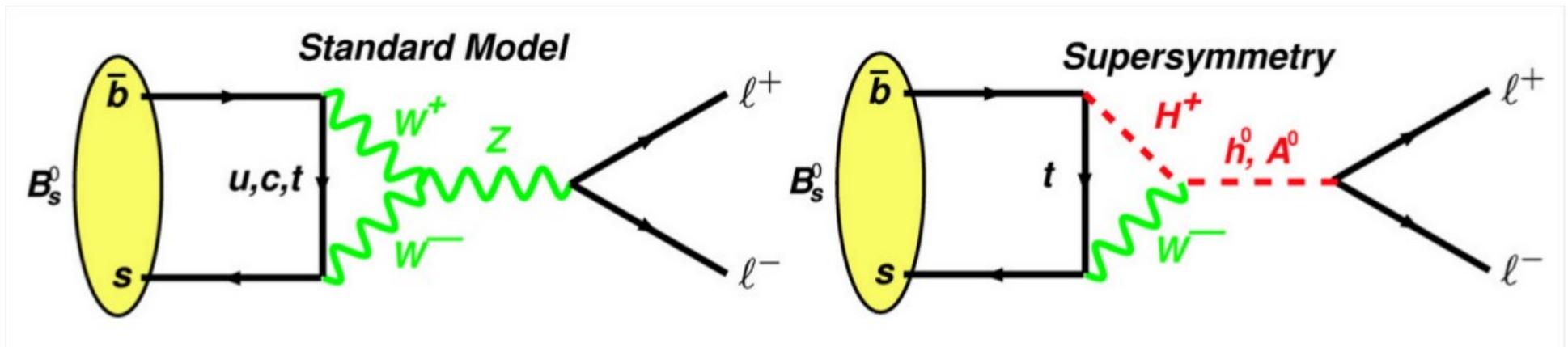
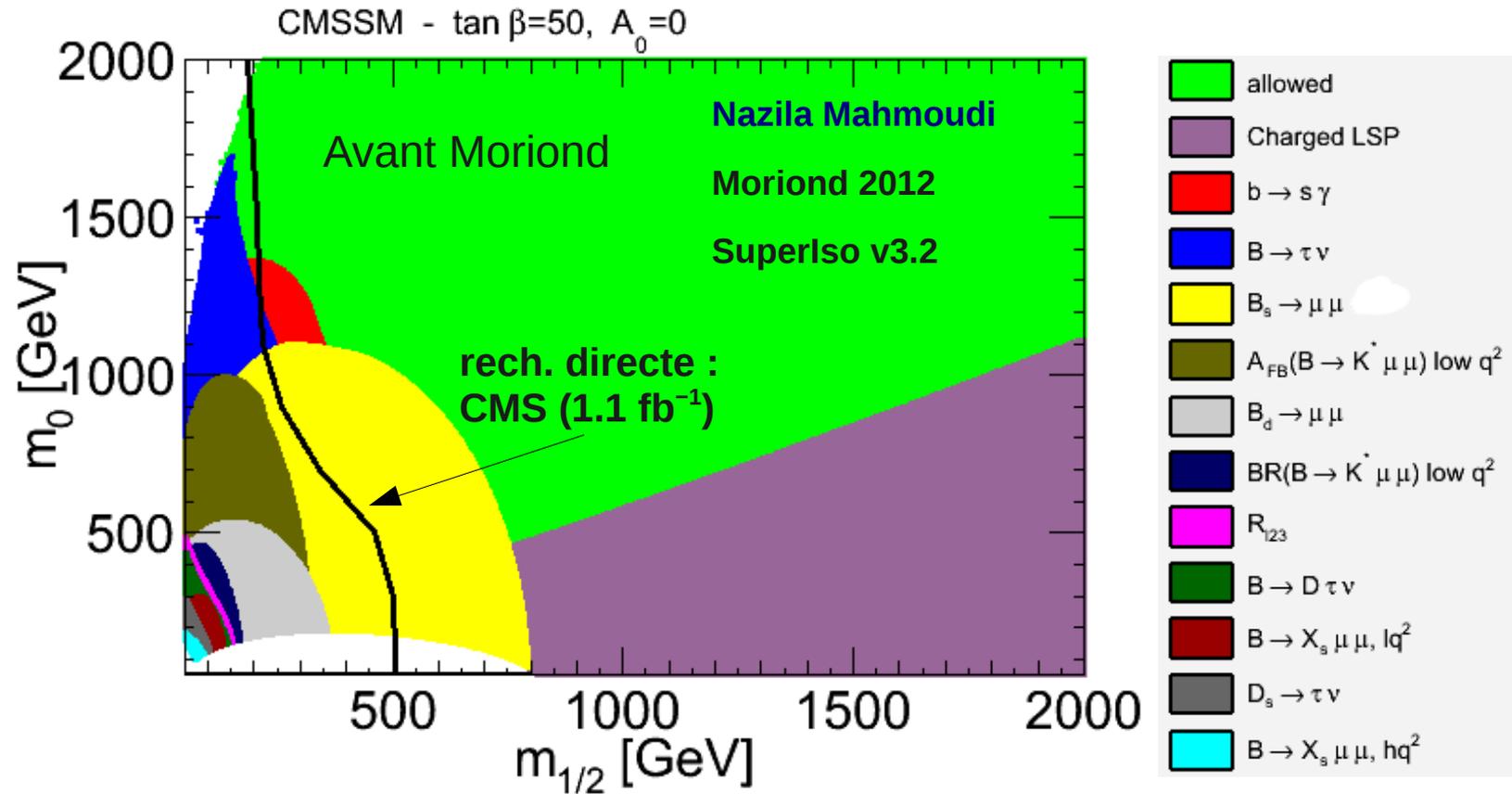
- **Frontière en intensité**
 - **approche indirecte**
 - production de particules virtuelles
 - **LHCb, usines à B**
- **Frontière en énergie**
 - **approche directe**
 - production de particules réelles
 - **CMS, ATLAS, D0, CDF**

Accéder aux Hautes Masses par la Saveur



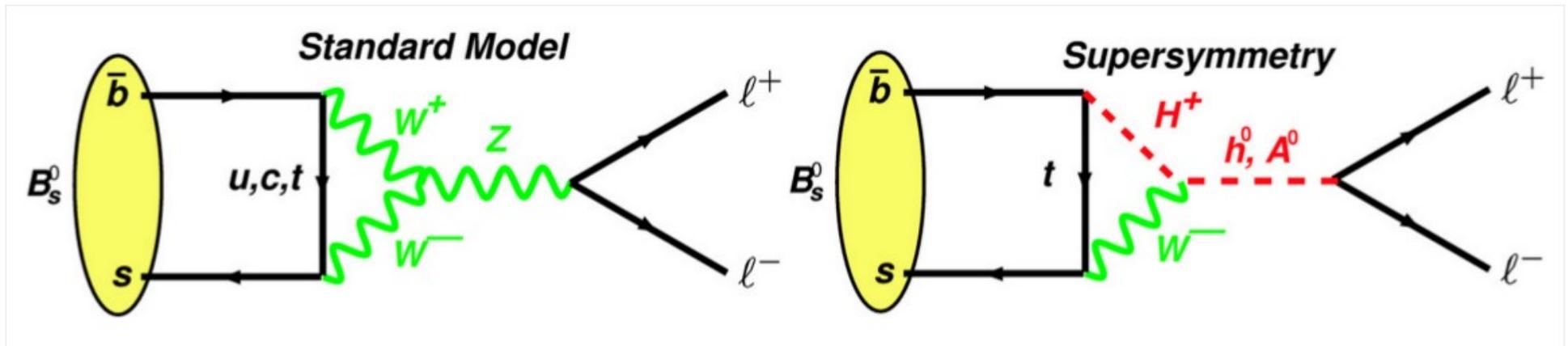
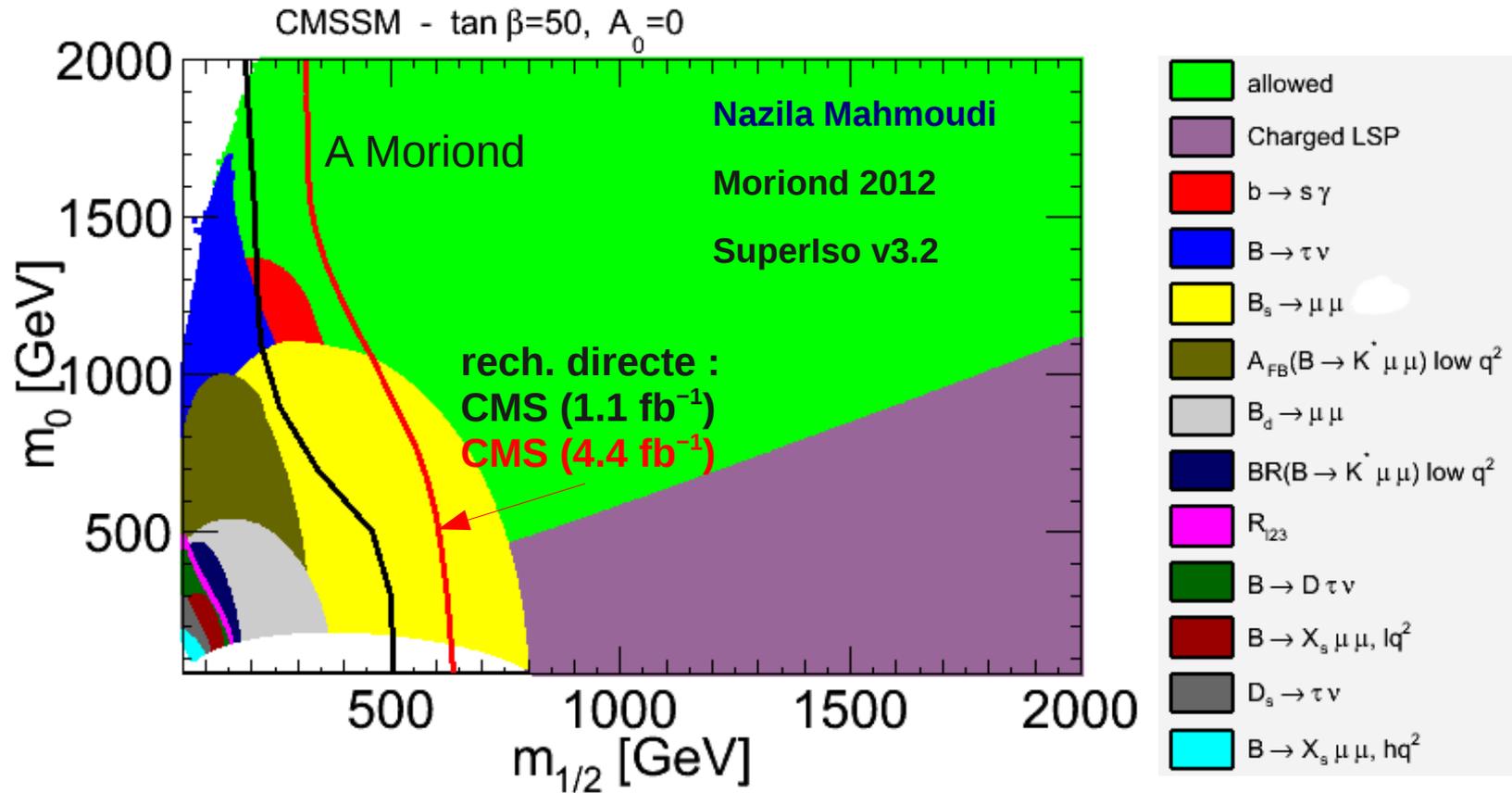
Les processus changeant la saveur permettent d'accéder à l'échelle de masse des nouvelles particules **et à leurs couplages**

Accéder aux Hautes Masses par la Saveur



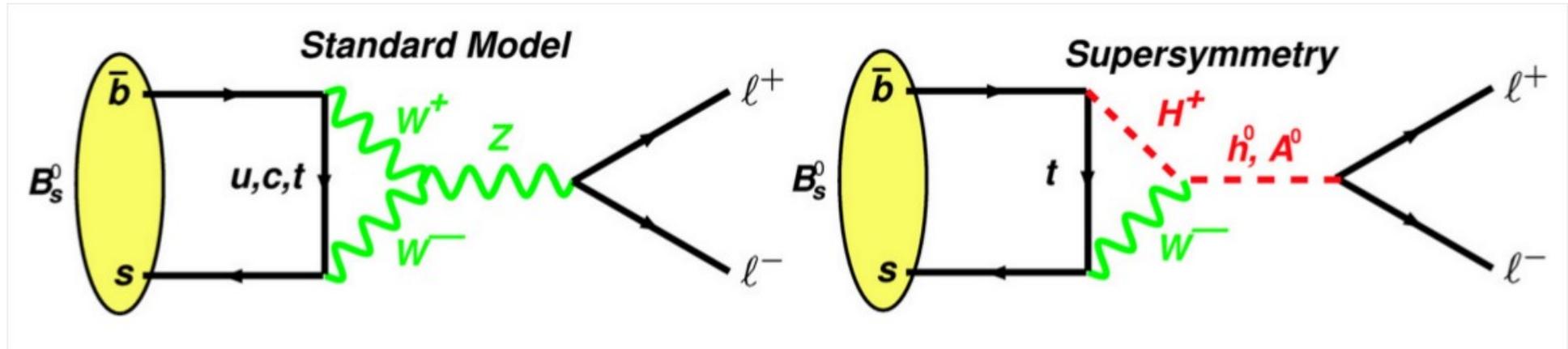
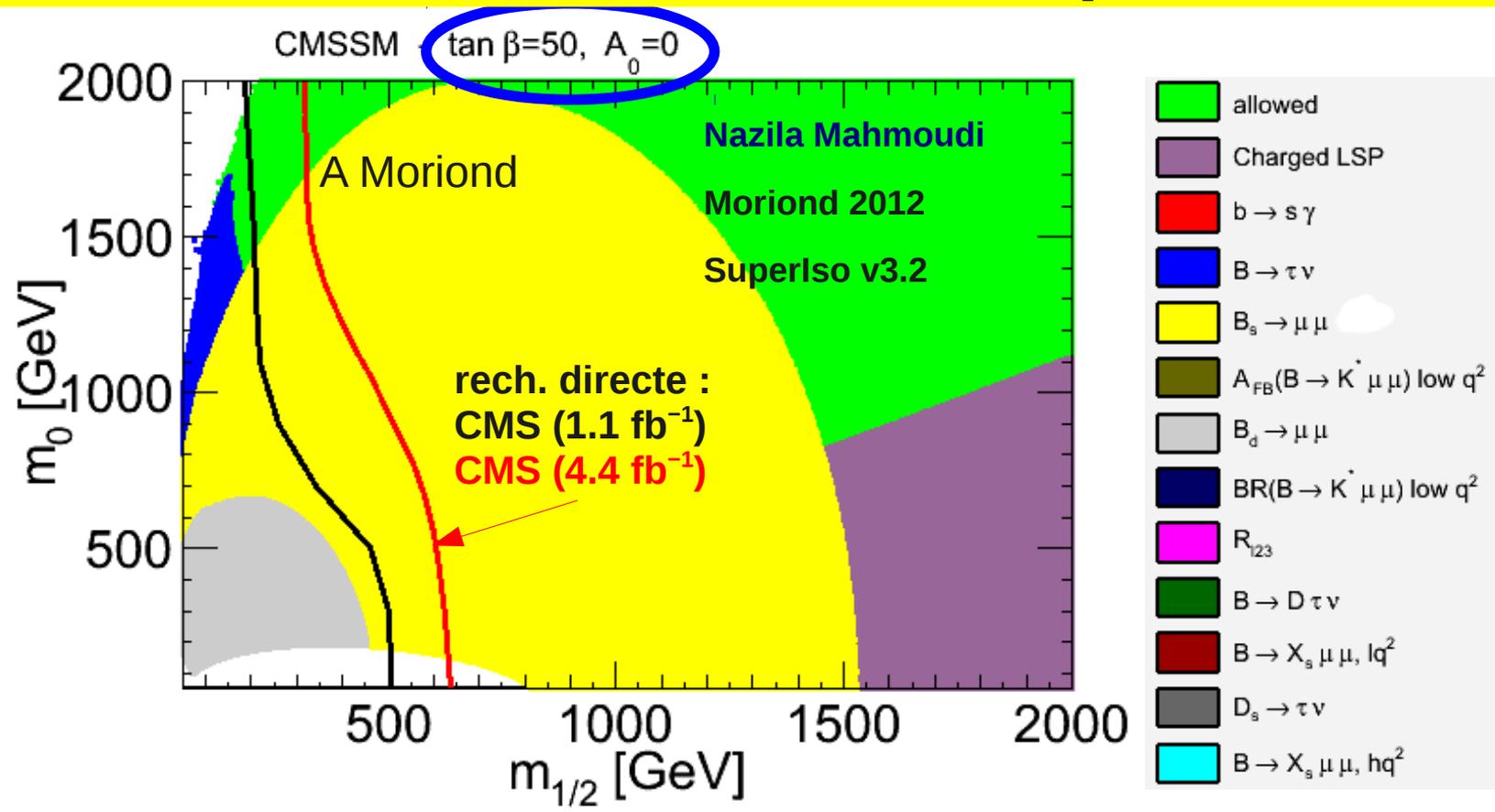
Les processus changeant la saveur permettent d'accéder à l'échelle de masse des nouvelles particules et à leurs couplages

Accéder aux Hautes Masses par la Saveur



Les processus changeant la saveur permettent d'accéder à l'échelle de masse des nouvelles particules et à leurs couplages

Accéder aux Hautes Masses par la Saveur



Les processus changeant la saveur permettent d'accéder à l'échelle de masse des nouvelles particules et à leurs couplages

Les Succès de l'Approche Indirecte

Dans l'histoire de la physique des particules, le secteur de la saveur a souvent joué un rôle déterminant :

- Mélange dans le secteur du Kaon, $BR(K_L^0 \rightarrow \mu \mu) \rightarrow GIM$
 - prédiction du charme
- Violation de CP
 - prédiction d'une troisième famille de quarks
- Désintégrations rares des mésons B ($b \rightarrow s \gamma$ et al.)
 - contraintes sur l'espace des paramètres de la NP
- Mélange du B_d
 - masse du top très lourde
 - e.g. ($m_t = 167^{+16}_{-17}$ GeV) - Barik, Das, Panda, Roy (PRD 48, 1993, pp.3271-3276)
 - Découverte : 1995, $m_t = 172.9 \pm 1.5$ GeV - PDG 2011

Aujourd'hui : l'étude simultanée d'un grand nombre de systèmes et d'états finals est nécessaire pour mettre en évidence la nouvelle physique et en comprendre la nature

Des Saveurs Lourdes à la Nouvelle Physique

(liste de G. Isidori, intégrée*)

$B \rightarrow \tau \nu, \mu \nu$

L'angle γ

$|V_{ub}|$ (semi-leptoniques exclusifs du B)

$B_{s/d} \rightarrow \mu \mu$

$B \rightarrow K^{(*)} \ell \ell$ (analyse angulaire)

CPV dans le mélange du B_s

A_{sl}

Violation de CP directe dans $B_s \rightarrow K \pi$, $B^0 \rightarrow K \pi$ et $B^+ \rightarrow K^+ \pi^0$

CPV dans le charme

$K \rightarrow \pi \nu \nu$

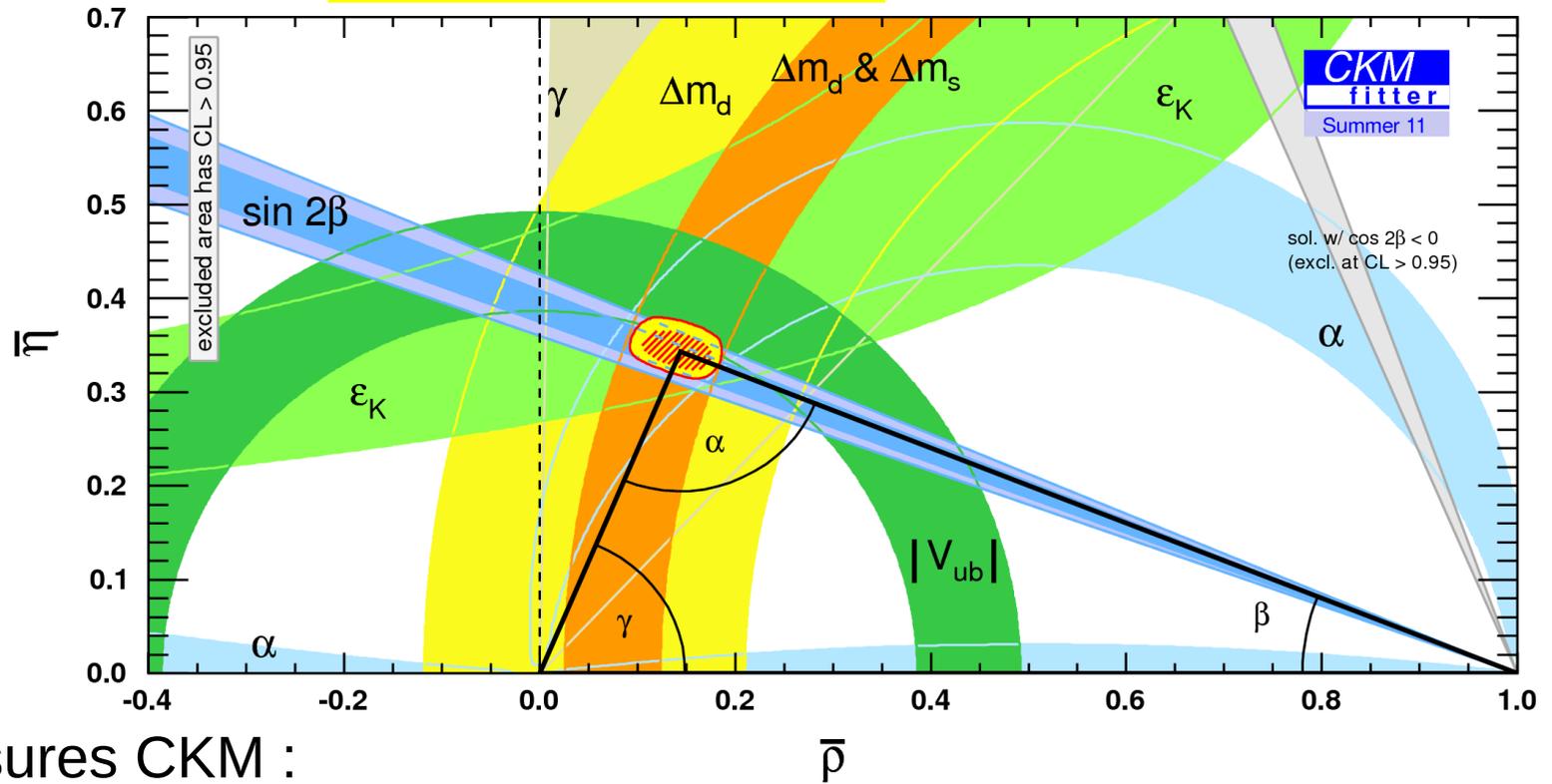
(*) Un échantillon de sujets sûrement doublement biaisé

En bleu nouveaux résultats présentés récemment à La Thuile/Moriond

L'état de l'art

Matrice CKM

L'héritage des usines à B



Mesures CKM :

de la validation du MS

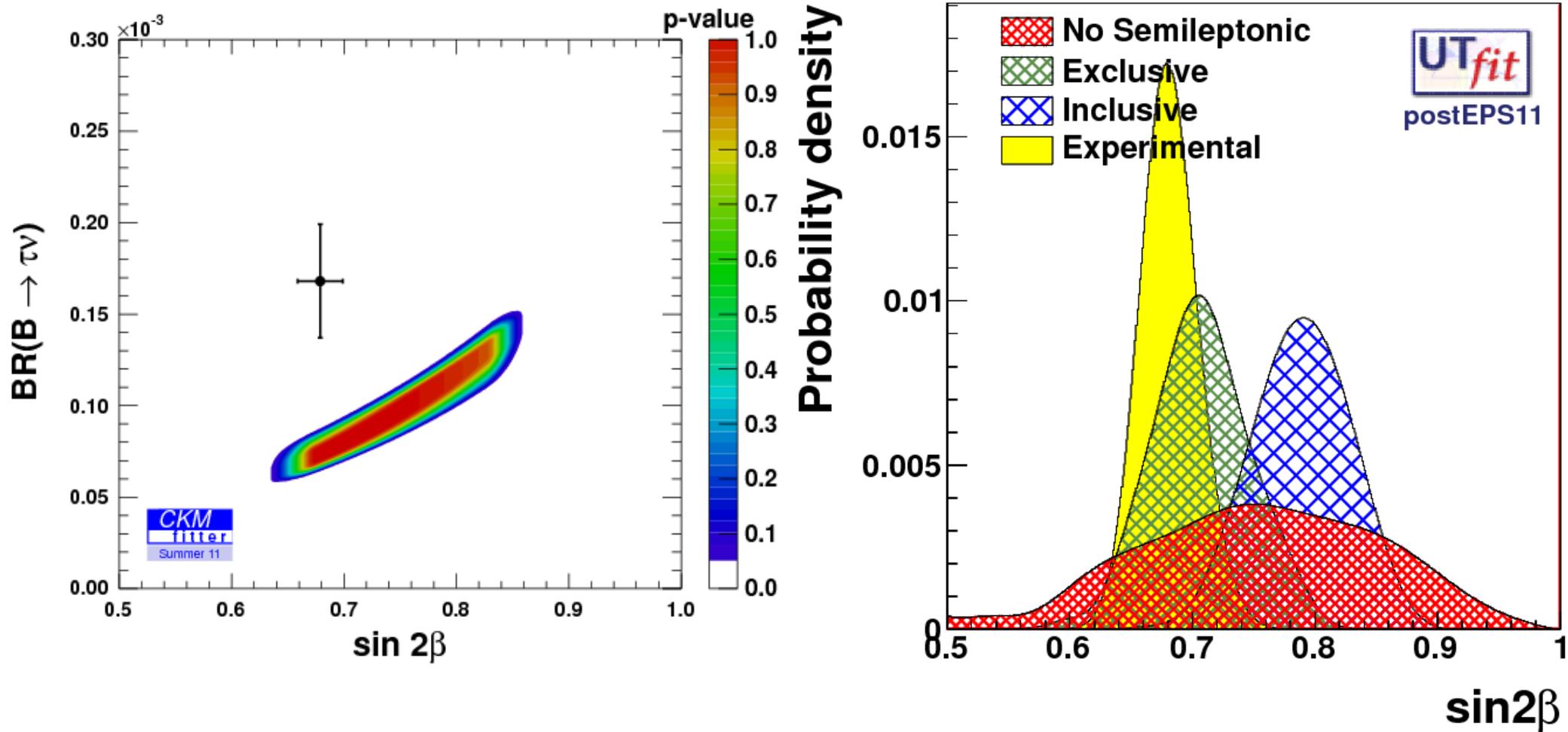


à un ensemble de contraintes extrêmement fortes sur les extensions du MS

Résultats du fit – LP 2011

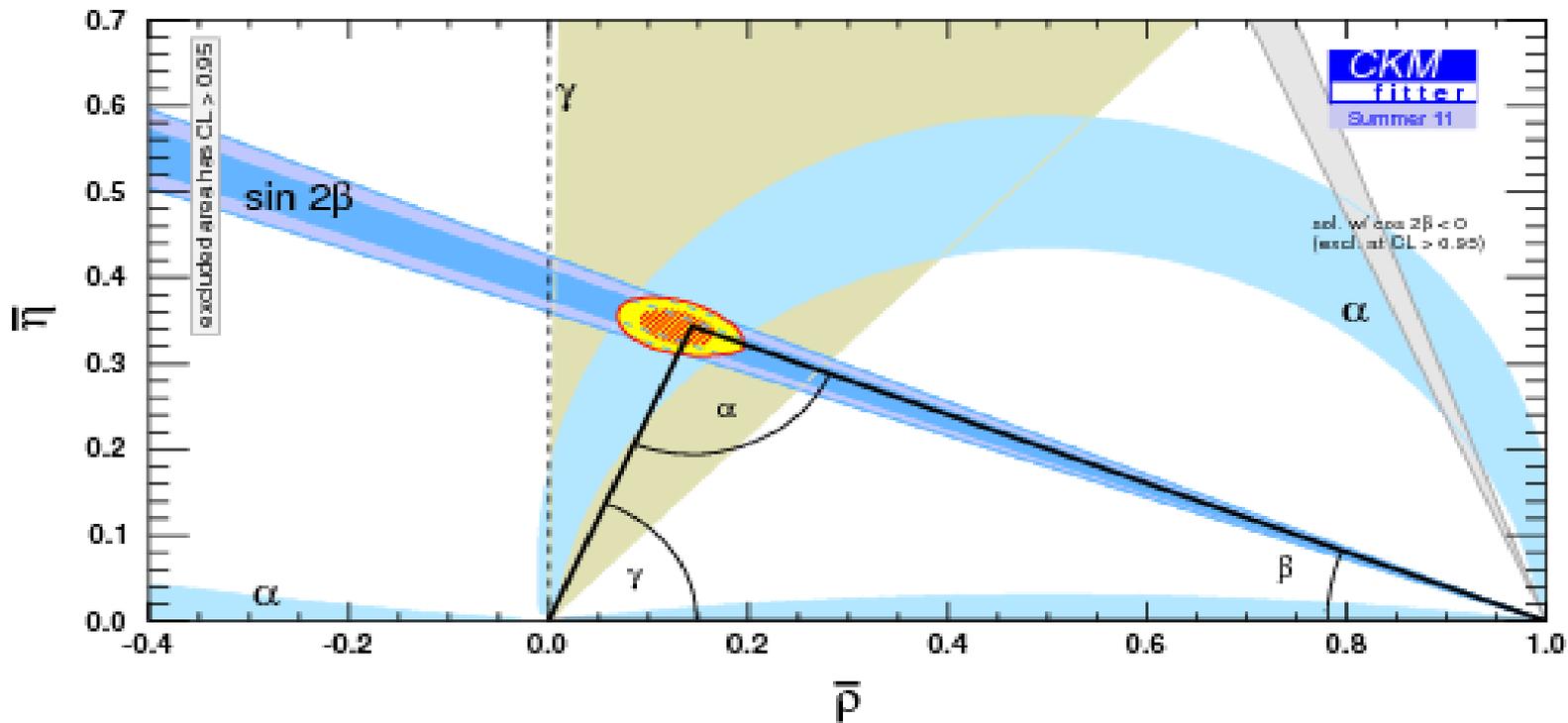
$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\rho} = 0.144^{+0.023}_{-0.026} \\ \bar{\eta} = 0.343^{+0.015}_{-0.014} \\ \beta = (21.84^{+0.80}_{-0.76})^\circ \\ \gamma = (67.3^{+4.2}_{-3.5})^\circ \end{array} \right.$$

$B^+ \rightarrow \tau^+ \nu$ vs $\sin 2\beta$



Effet à $\sim 3 \sigma$ entre
 $B^+ \rightarrow \tau^+ \nu$ & $\sin 2\beta$

L'angle γ



L'angle γ , malgré les efforts héroïques - et au-delà des prévisions - de BABAR et Belle, **est le moins bien mesuré** :

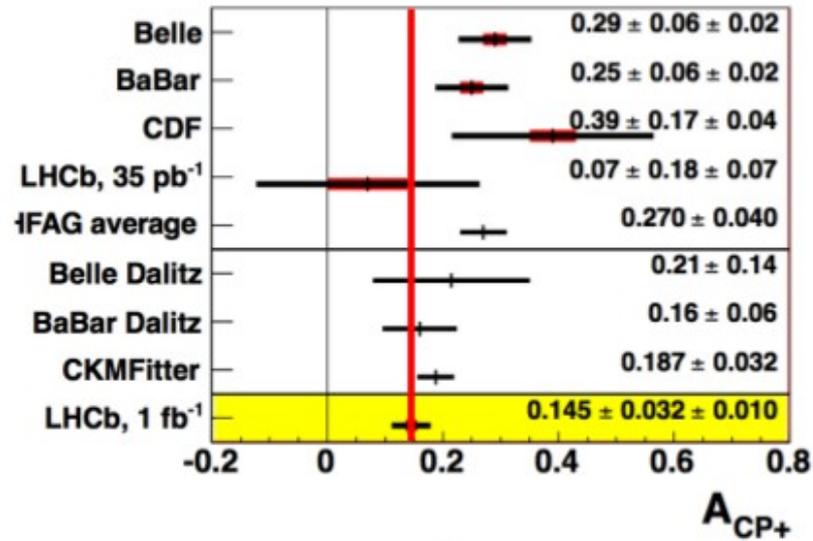
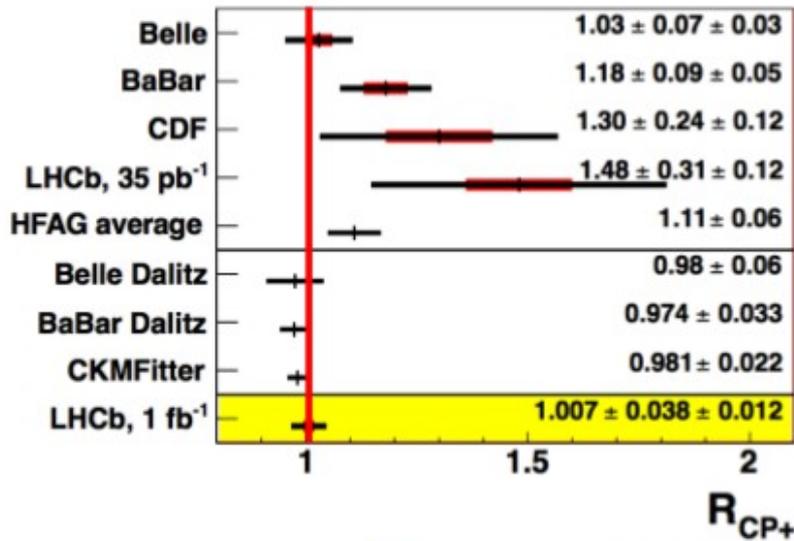
$$\gamma = (68^{+10}_{-11})^\circ$$

Il est important de comparer les mesures de γ obtenues à partir :

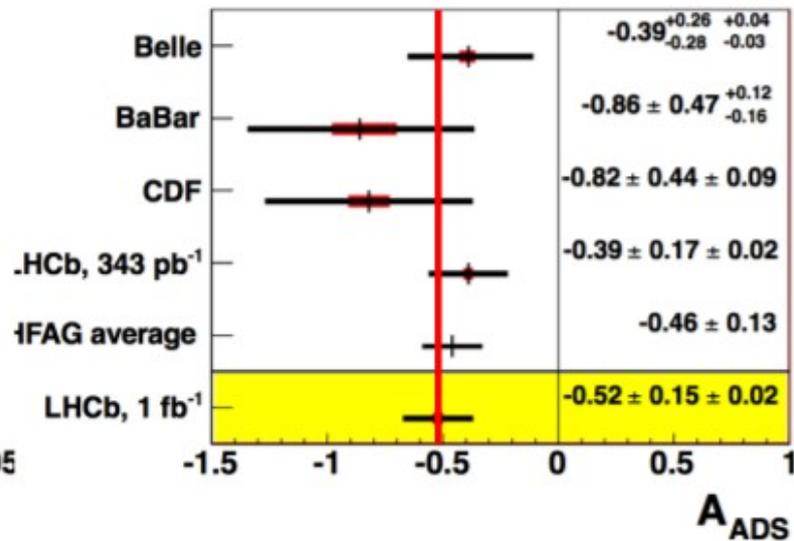
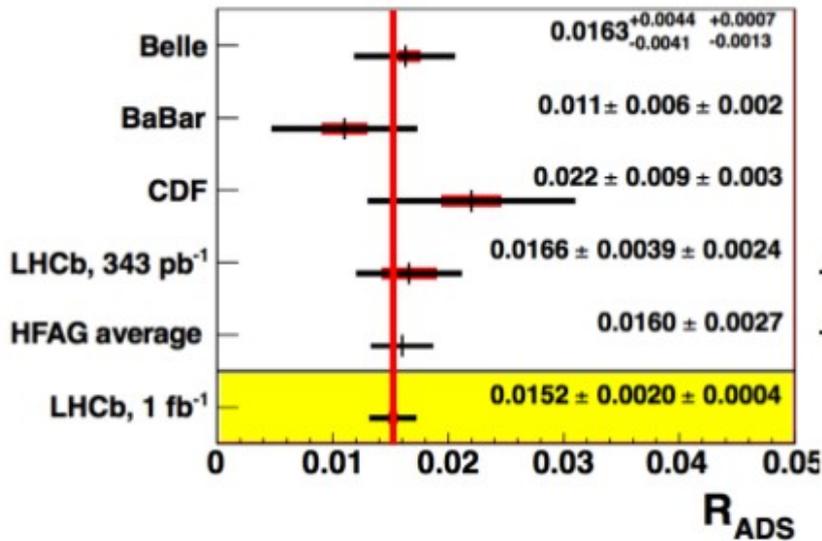
- des processus en arbres seulement (pas de NP)
- des processus en boucles (où la NP peut contribuer)

γ aux Usines à B et à LHCb

γ from $B \rightarrow D K$



Variables pour la méthode GLW (*)



Variables pour la méthode ADS (**)

(*) M. Gronau and D. Wyler, Phys. Lett. B265, 172 (1991); M. Gronau and D. London, Phys. Lett. B253 483 (1991); M. Gronau, Phys. Rev. D58 037301(1998).

(**) D. Atwood, I. Dunietz and A. Soni, Phys. Rev. Lett. 78, 3257 (1997); A. Bondar and T. Gershon, hep-ph/0409281.

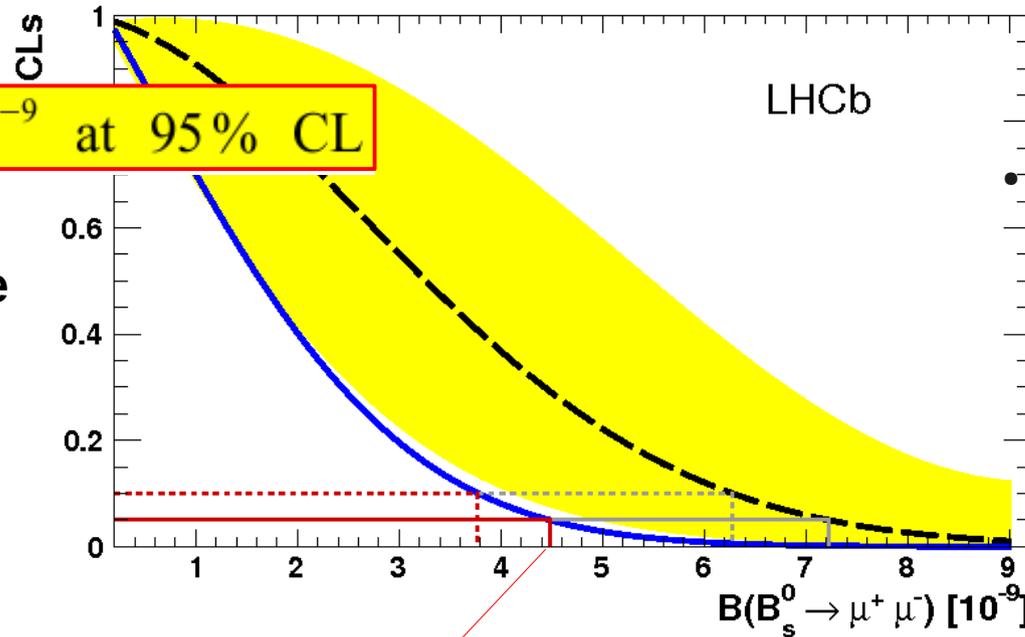
$B_s \rightarrow \mu\mu$ vs SUSY

Début de désaccord
- vu par un théoricien ! -
entre les recherches
directes (SUSY), g-2 et
 $B_s \rightarrow \mu\mu$ et ?

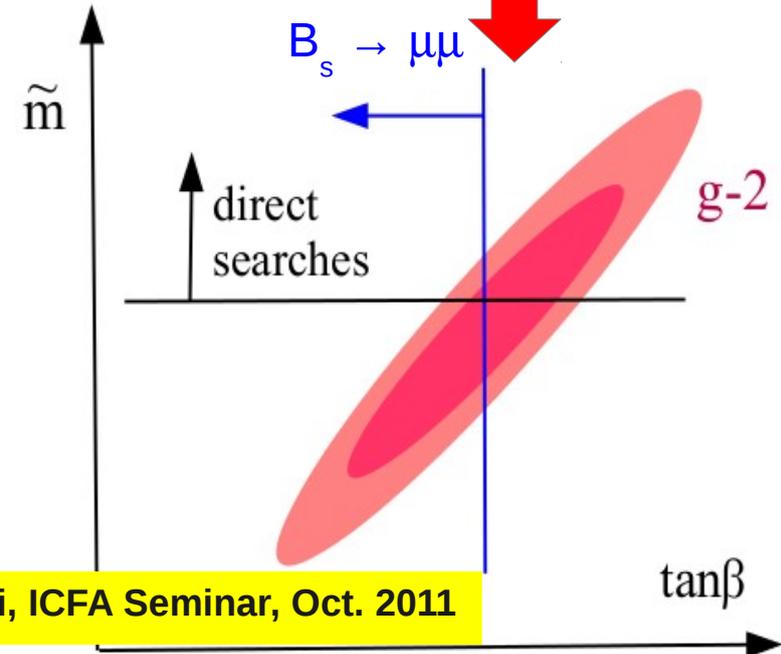
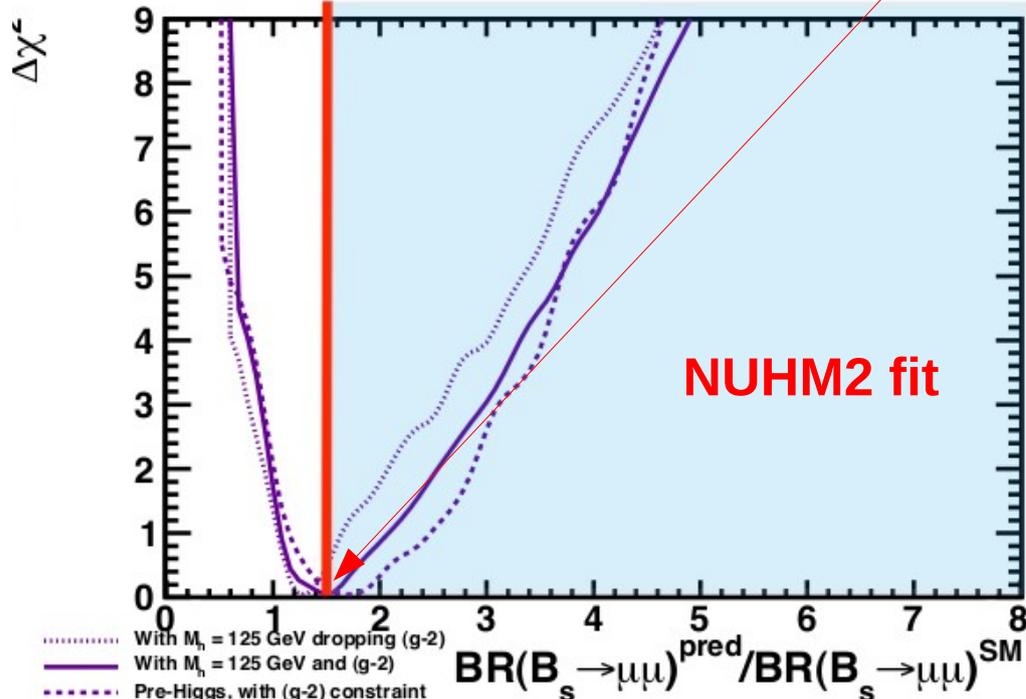
[C-MSSM + autres modèles
avec masses de \tilde{l} et \tilde{f}
corrélées]

Encore de la place pour la
NP !

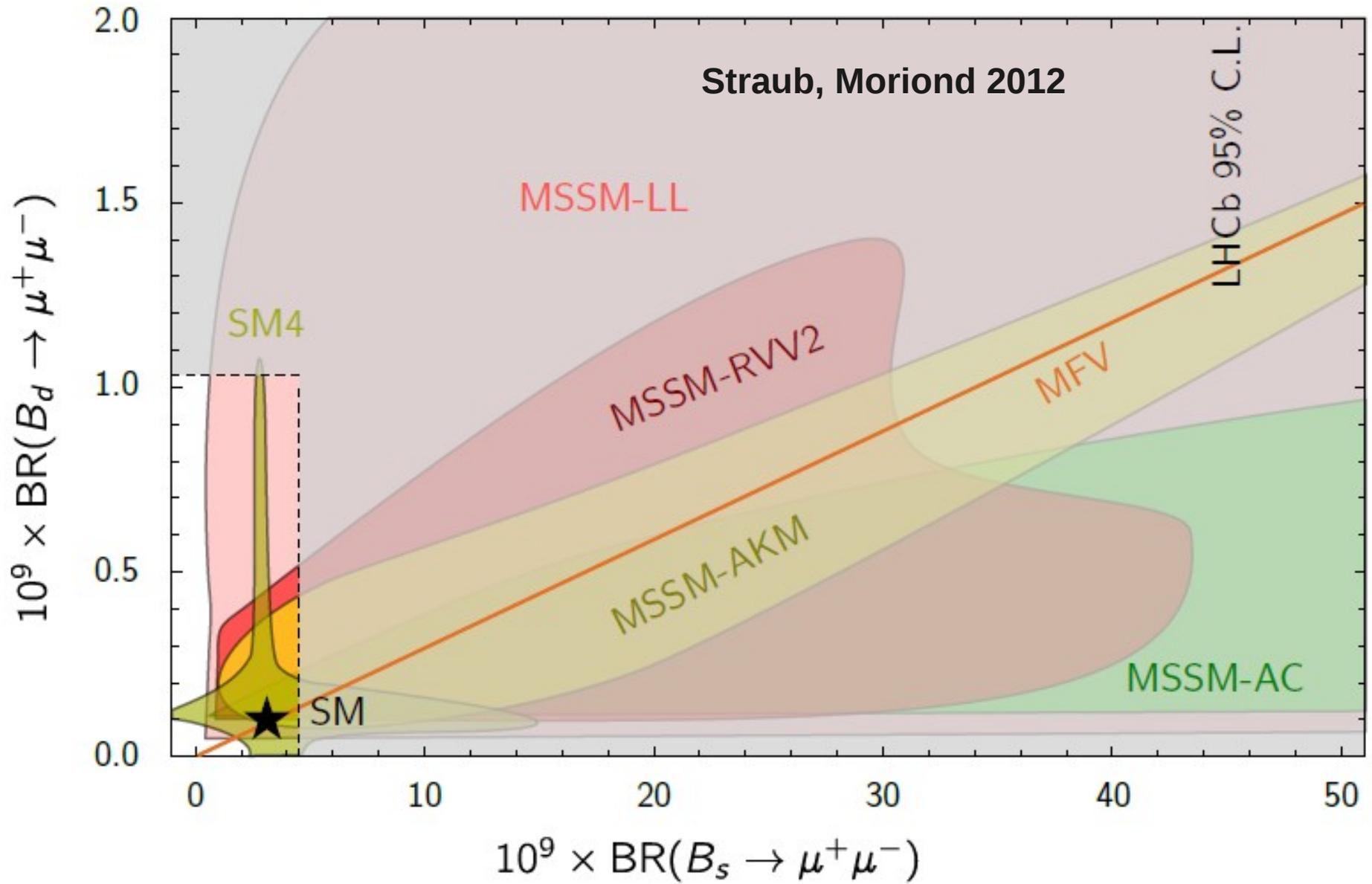
$B(B_s \rightarrow \mu\mu) < 4.5 \times 10^{-9}$ at 95% CL



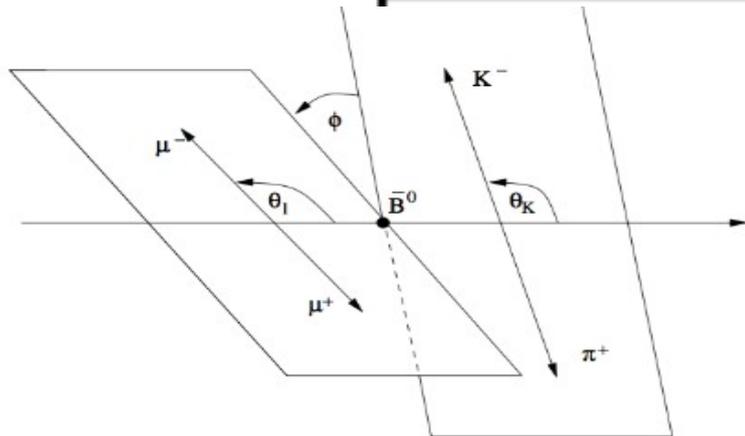
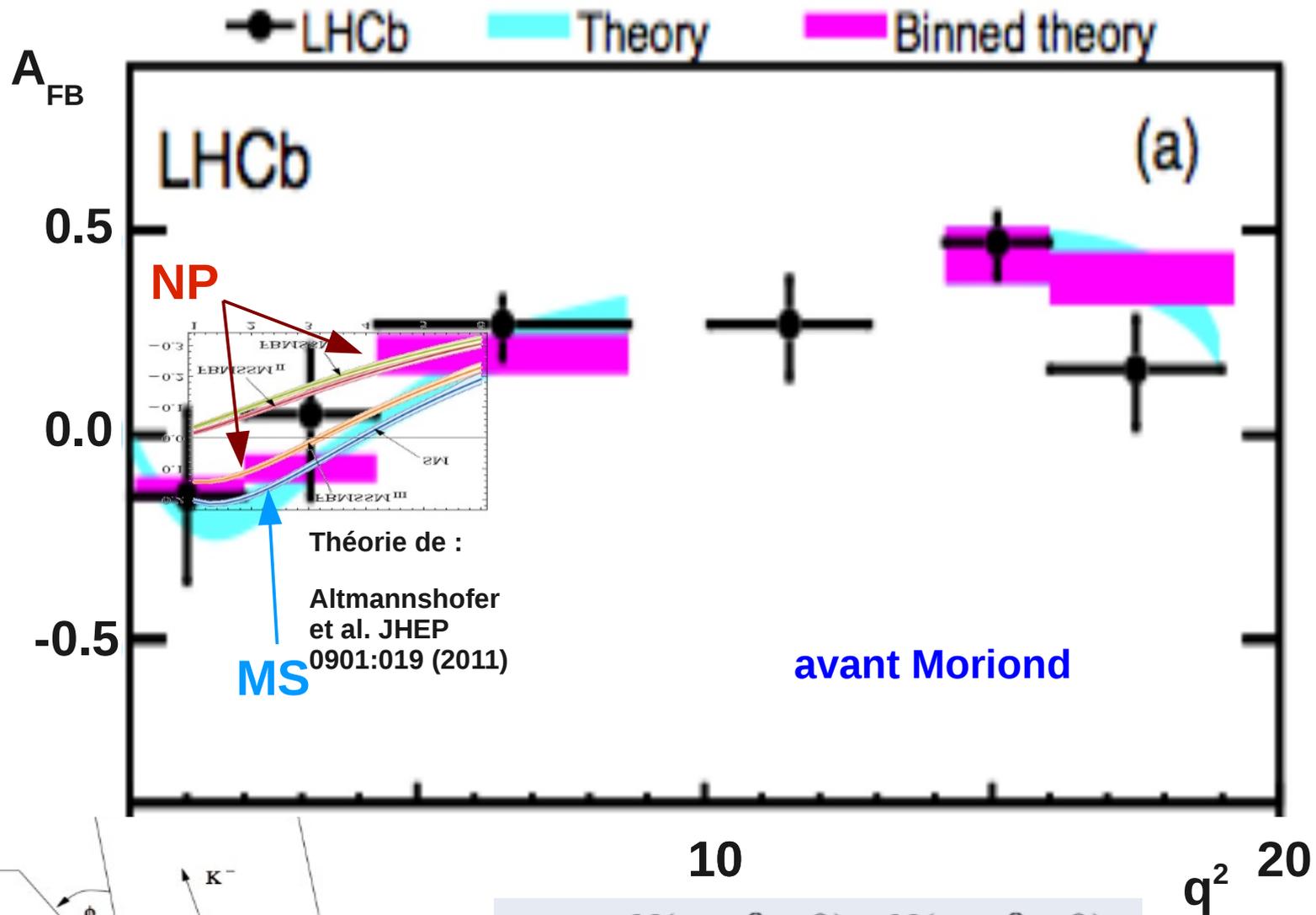
La valeur la plus
probable du modèle
NUHM2 à la limite
d'être exclue par
 $B_s \rightarrow \mu\mu$



$B_{s/d} \rightarrow \mu \mu$ vs MFV



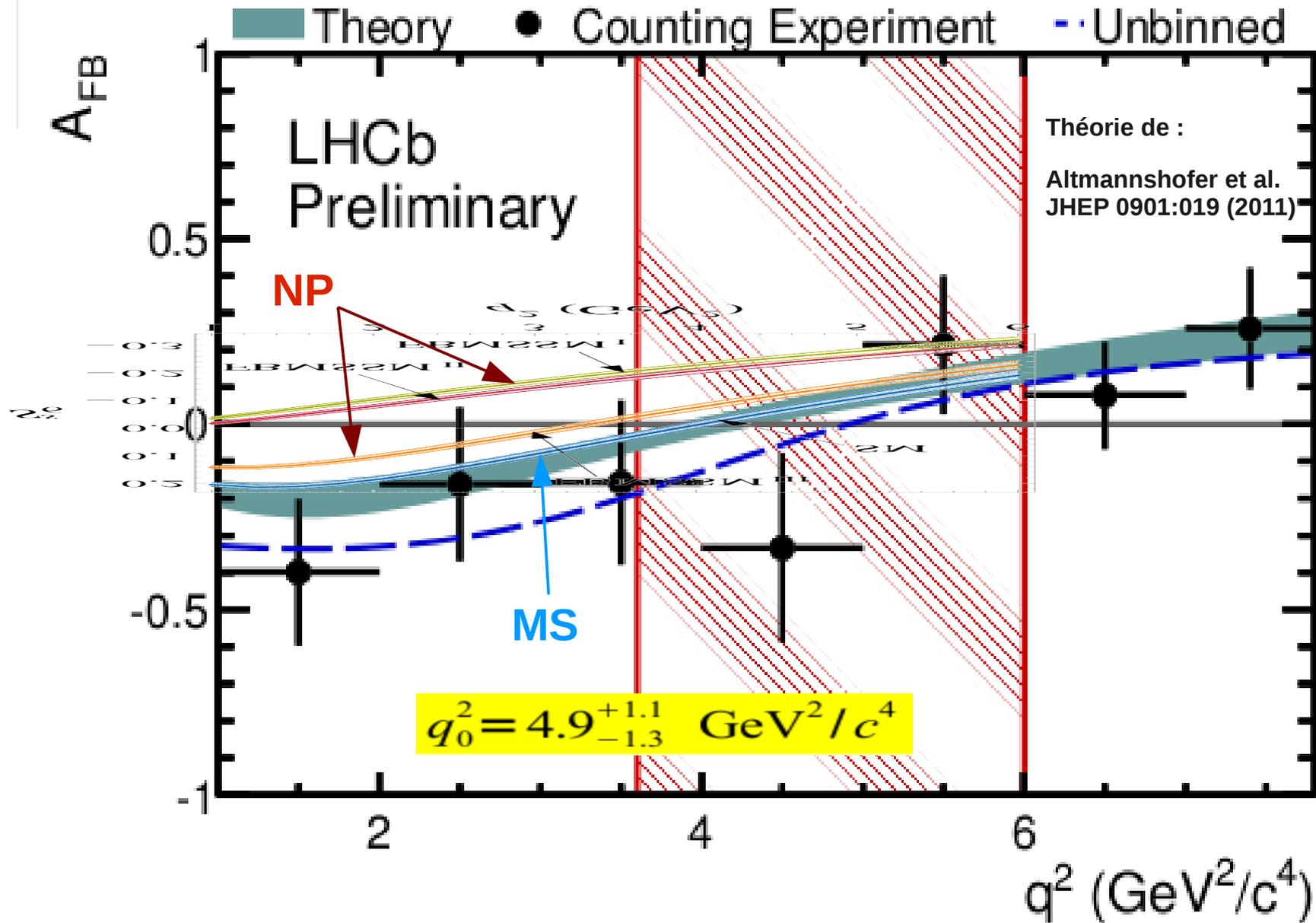
B → K* μ μ vs le MS



$$A_{FB} = \frac{N(\cos \vartheta > 0) - N(\cos \vartheta < 0)}{N(\cos \vartheta > 0) + N(\cos \vartheta < 0)}$$

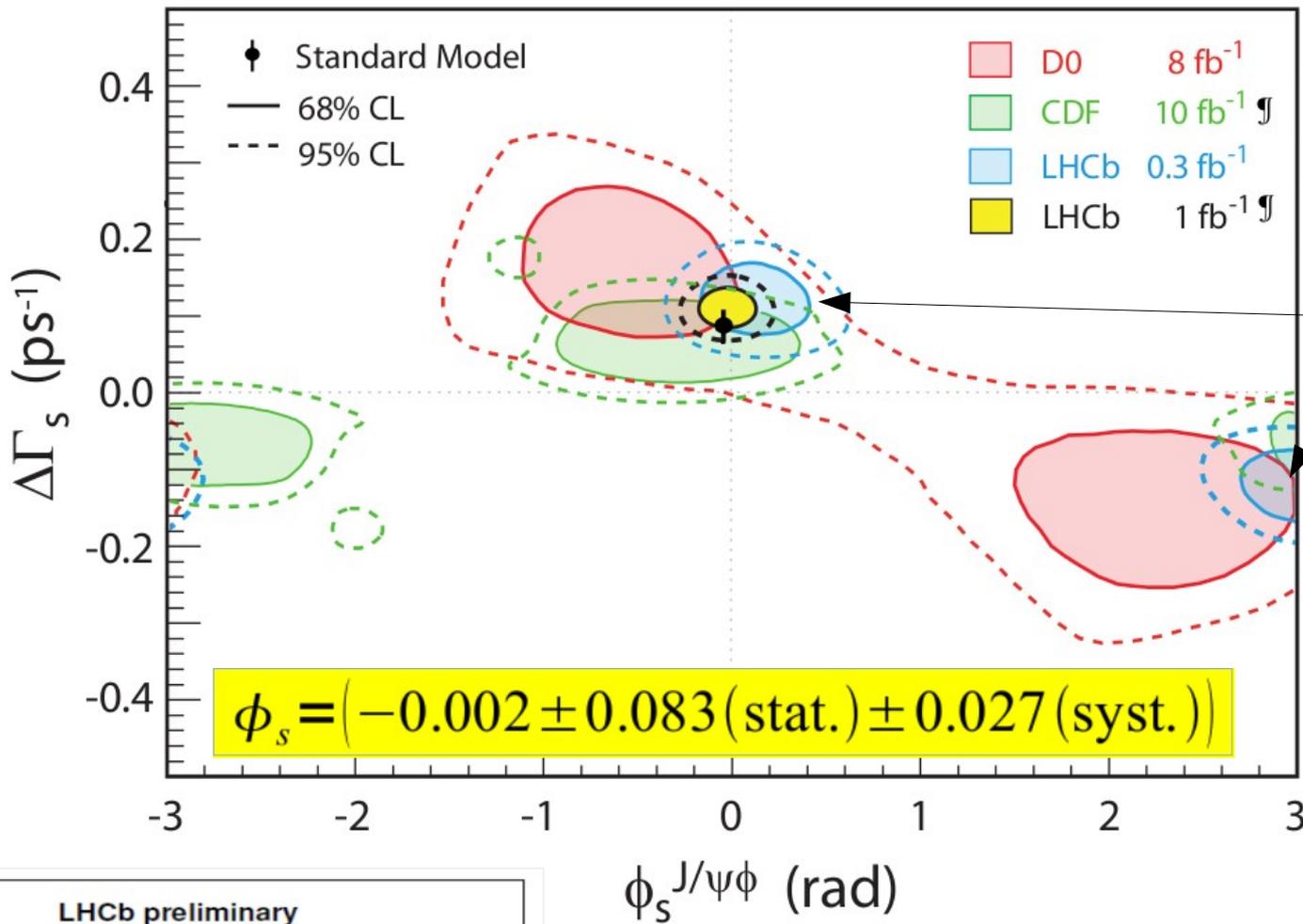
Une des variables les plus connues et sensibles à la NP

B → K* μ μ vs le MS

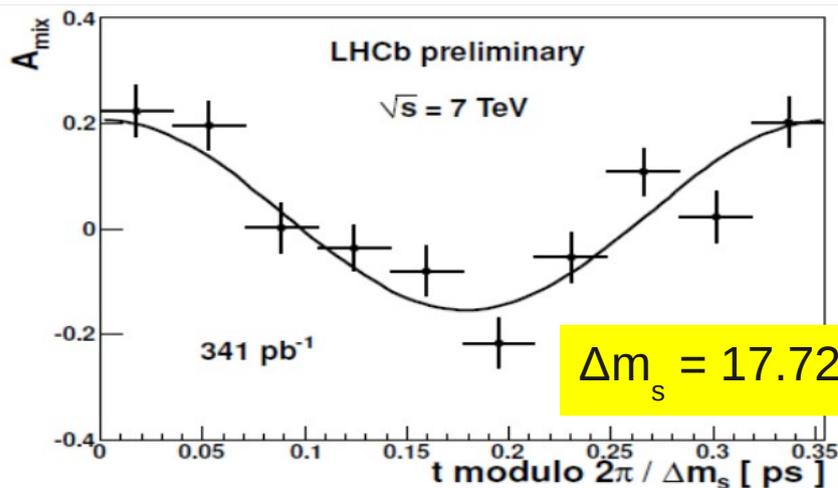


à Moriond

ϕ_s (et Δm_s) : LHCb vs FNAL



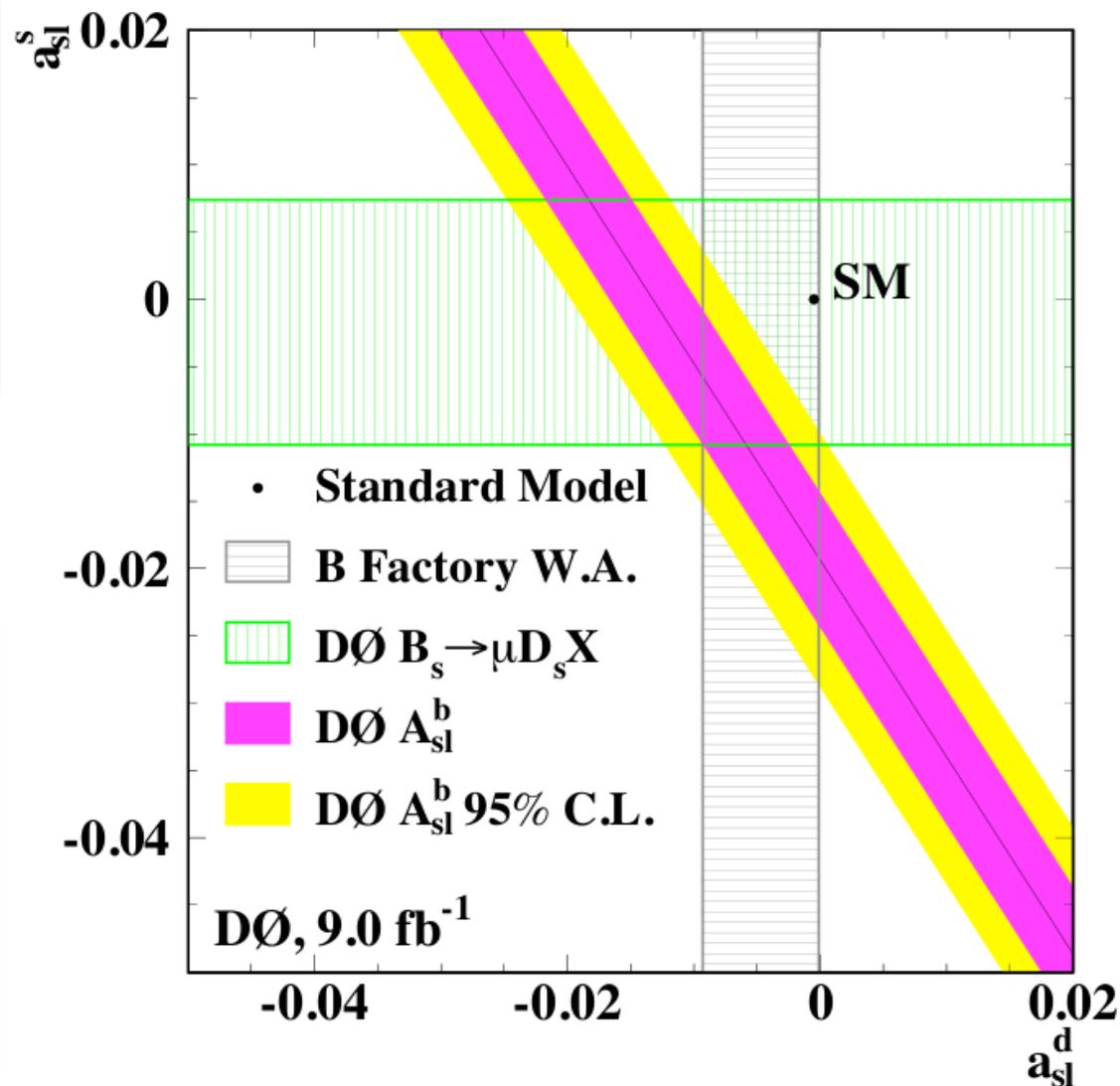
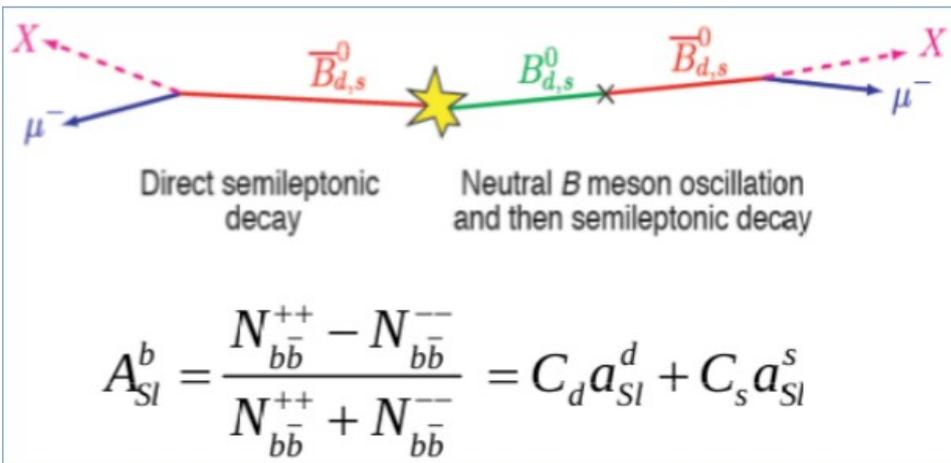
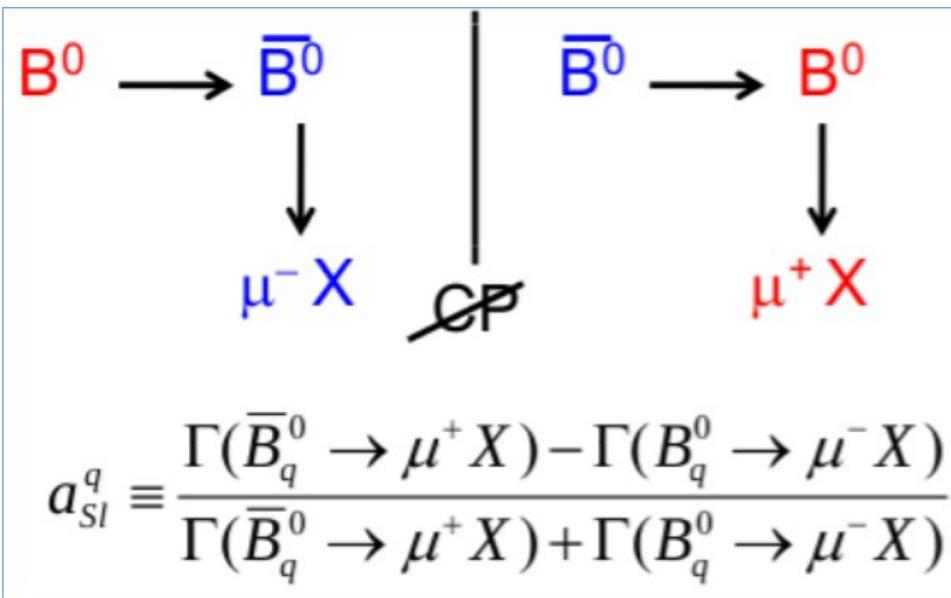
Ambiguïté éliminée à Moriond avec une analyse d'ondes partielles dans le système KK



Oscillations du B_s visibles

$\Delta m_s = 17.725 \pm 0.041 \text{ (stat)} \pm 0.026 \text{ (syst)} \text{ ps}^{-1}$

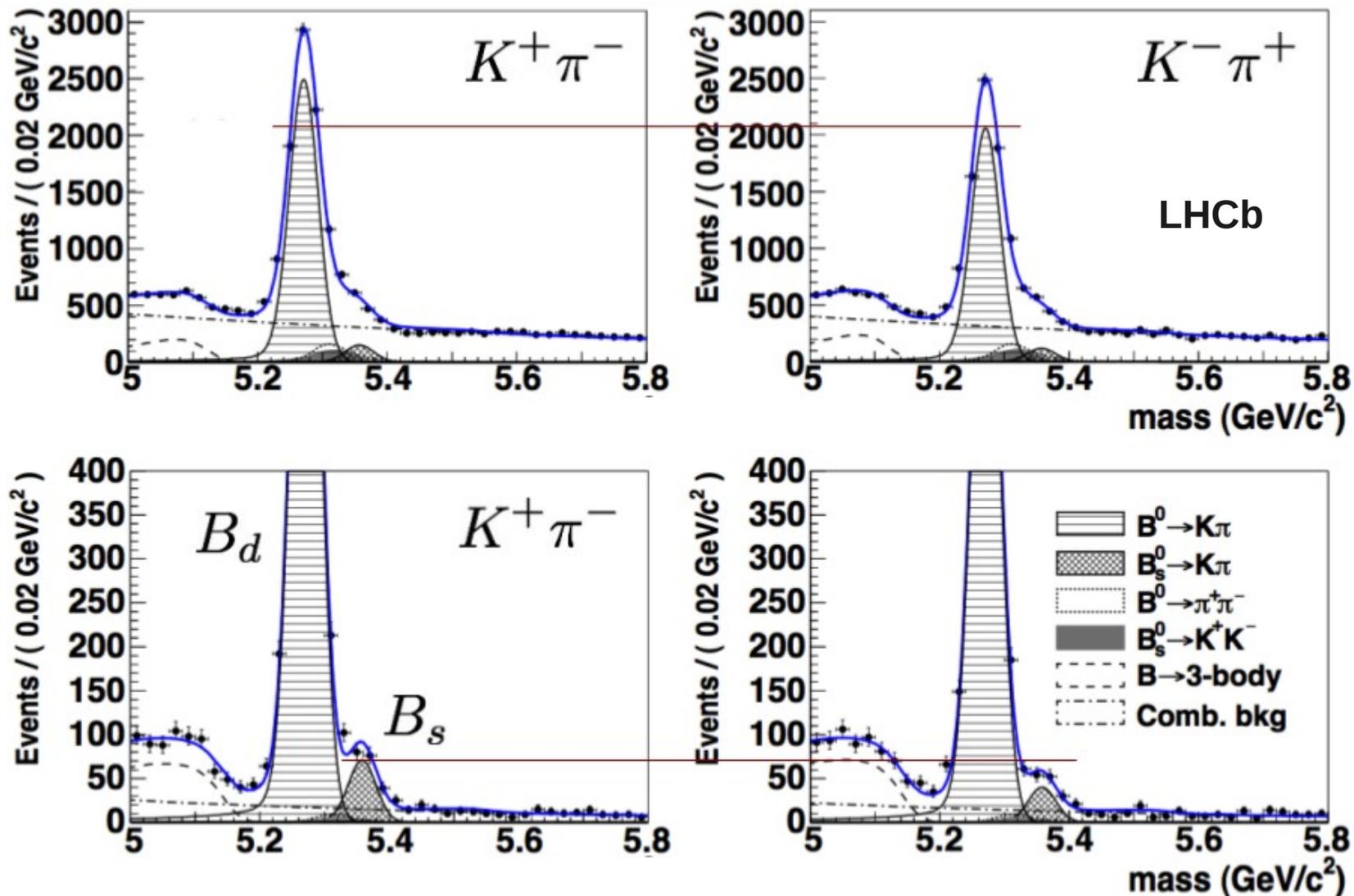
A_{sl} : D0 vs le MS



$$A_{Sl}^b = (-0.787 \pm 0.172(stat) \pm 0.093(syst))\%$$

$$A_{Sl}^b(SM) = (-0.028^{+0.005}_{-0.006})\%$$

CPV Directe dans les Mesons B



$$A_{CP}(B^0 \rightarrow K\pi) = -0.088 \pm 0.011 (\text{stat}) \pm 0.008 (\text{syst})$$

$$A_{CP}(B_s^0 \rightarrow K\pi) = 0.27 \pm 0.08 (\text{stat}) \pm 0.02 (\text{syst})$$

CPV dans le Charme vs les Théoriciens

LHCb [R. Aaij et al., 1112.0938]:

$$\Delta\mathcal{A}_{CP} = (-0.82 \pm 0.21 \pm 0.11)\%$$

CDF [La Thuile 2012]:

$$\Delta\mathcal{A}_{CP} = (-0.62 \pm 0.21 \pm 0.10)\%$$

Jusqu'à récemment la violation de CP attendue dans le cadre du MS pour le charme $< \sim 10^{-3}$

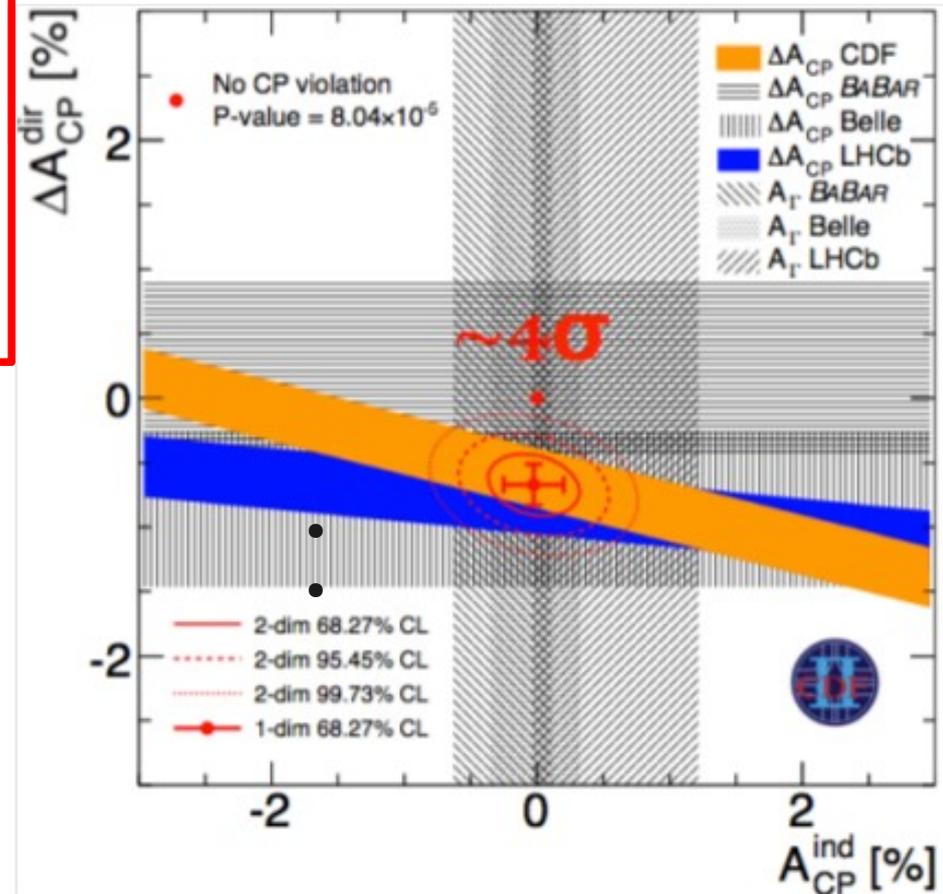
Le consensus était qu'une violation directe de CP O(1%) serait un signe de NP

Mais...

“Enhanced penguin contributions in the SM can naturally explain both $\Delta\mathcal{A}_{CP}$ and

$\text{Br}(K^+K^-) = 2.8 \times \text{Br}(\pi^+\pi^-)$ [*] “ et d'autres...

Les contributions de NP sont possibles et vont être étudiées



Résultats combinés (LHCb+CDF) :

$$\Delta\mathcal{A}_{CP} = (-0.67 \pm 0.16)\%$$

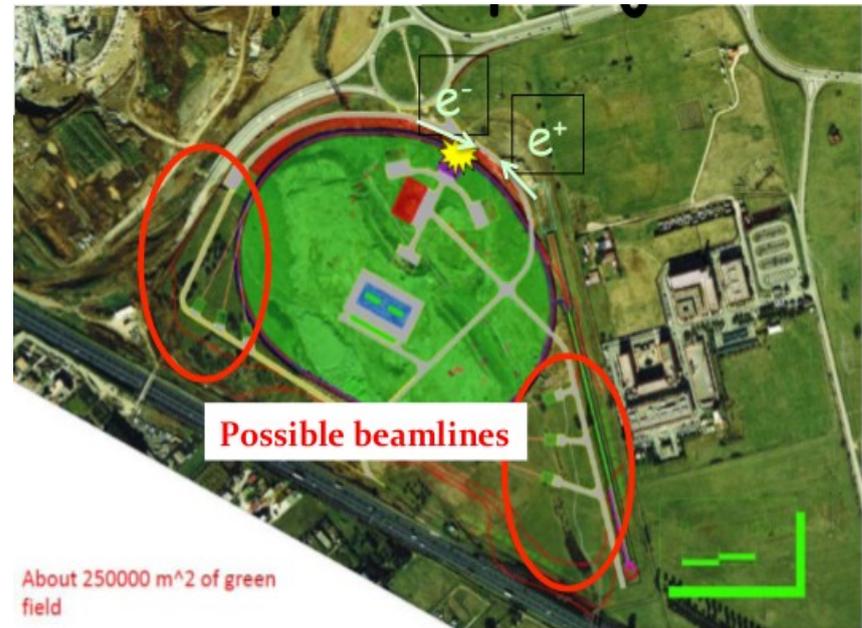
Conclusions (partielles)

- Il est clair que la Nouvelle Physique ne pointe pas le bout de son nez (si elle en a un...)
 - LHCb en train d'être rebaptisée **“the anomaly exterminator” !!!**
- Le mécanisme CKM tient toujours → MFV ?
- Aux grands maux, les grands remèdes !
 - Dans le cadre de la recherche indirecte :
 - **LHCb et son Upgrade**
 - **SuperB**

SuperB

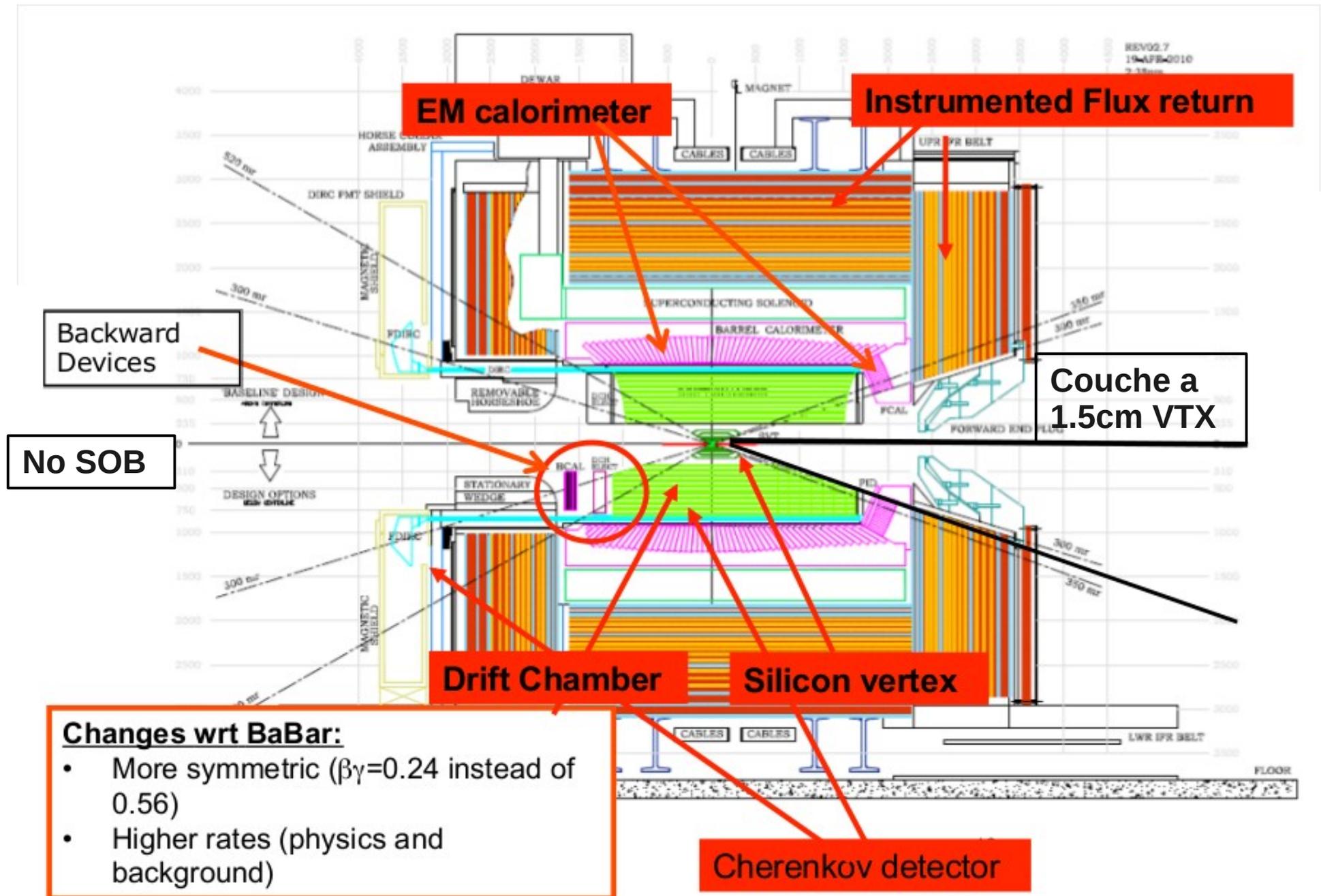
SuperB : Accélérateur

- **Projet international porté par l'Italie**
- **Machine :**
 - Design flexible et novateur
 - Deux anneaux, 4 et 7 GeV
 - Luminosité instantanée $10^{36} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ @Y(4S)
 - **Consommation électrique modérée** pour de telles performances
 - Peut tourner au seuil du **tau/charme**
 - **Polarisation longitudinale** (~80%) du faisceau d'électrons (LER)
- **Luminosité intégrée 75 ab^{-1}** en cinq ans de fonctionnement nominale



site de l'Université Tor Vergata (Rome 2)

de BaBar à SuperB

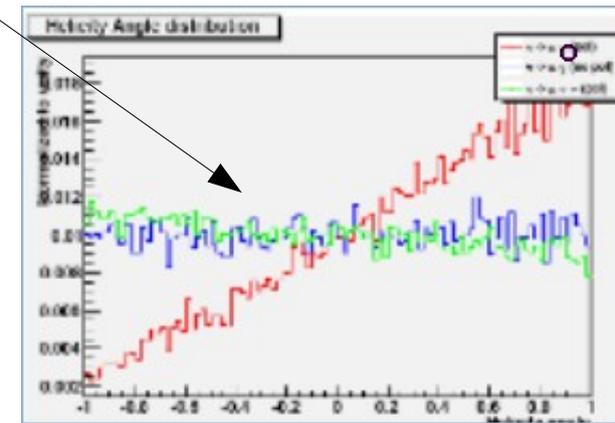


Potentiel de SuperB

- Haute Luminosité
- Bas bruit de fond
- Herméticité
 - Bonne reconstruction de particules neutres (dont **neutrinos**)
- Potentialité de tourner à une **vaste gamme d'énergie**
 - Production d'un très grand nombre de
 - B_d
 - D
 - τ
 - Υ
- Systèmes de déclenchement adaptables
- **Polarisation** du faisceau d'électrons
- 3-10 lignes de lumière synchrotron

Polarisation aide la discrimination signal/bdf

Signal (pol)
Signal (no pol)
Bruit de fond



Potentiel de SuperB

Observable/mode	H^+ high $\tan\beta$	MFV	non-MFV	NP Z penguins	Right-handed currents	LTH	SUSY				
							AC	RVV2	AKM	δLL	FBMSSM
✓ $\tau \rightarrow \mu\gamma$							***	***	*	***	***
✓ $\tau \rightarrow \ell\ell$						***					
✓ $B \rightarrow \tau\nu, \mu\nu$	*** (CKM)										
✓ $B \rightarrow K^{(*)+}\nu\bar{\nu}$			*	***			*	*	*	*	*
✓ S in $B \rightarrow K_S^0\pi^0\gamma$					***						
✓ S in other penguin modes			*** (CKM)		***		***	**	*	***	***
✓ $A_{CP}(B \rightarrow X_s\gamma)$			***		**		*	*	*	***	***
✓ $BR(B \rightarrow X_s\gamma)$		***	*		*						
✓ $BR(B \rightarrow X_s\ell\ell)$			*	*	*						
✓ $B \rightarrow K^{(*)}\ell\ell$ (FB Asym)							*	*	*	***	***
$B_s \rightarrow \mu\mu$							***	***	***	***	***
β_s from $B_s \rightarrow J/\psi\phi$							***	***	***	*	*
✓ a_{sl}						***					
✓ Charm mixing							***	*	*	*	*
✓ CPV in Charm	**									***	

✓ = SuperB can measure this

arXiv1009.6178 , arXiv:1007.4241 , arXiv:1109.5028,
arXiv:1008.1541 , arXiv0909.1333 , arXiv:0810.1312

+ ISR, physique $\gamma\gamma$, physique électrofaible, exotics...

Potentiel de SuperB

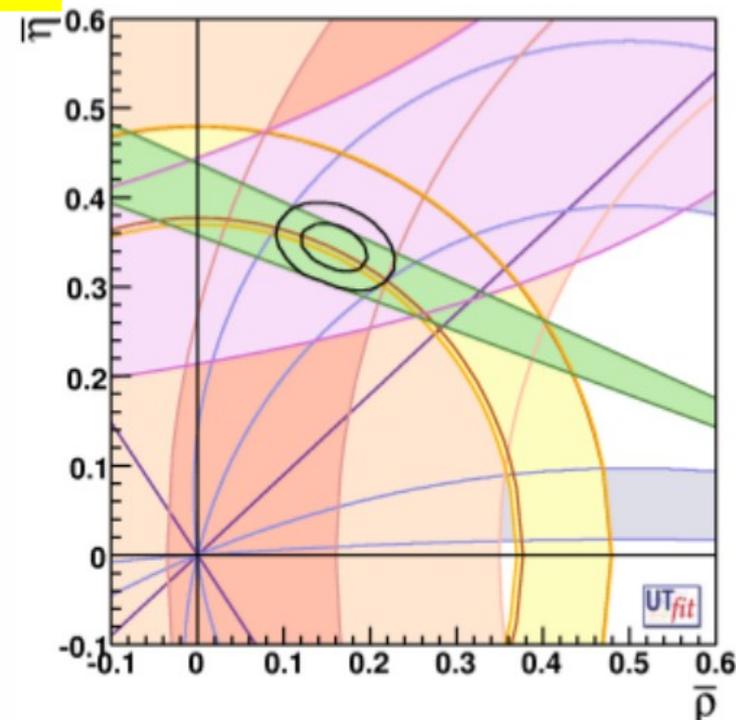
Angles du Triangle d'Unitarité

- $\sigma(\alpha) = 1-2^\circ$
- $\sigma(\beta) = 0.1^\circ$
- $\sigma(\gamma) = 1-2^\circ$

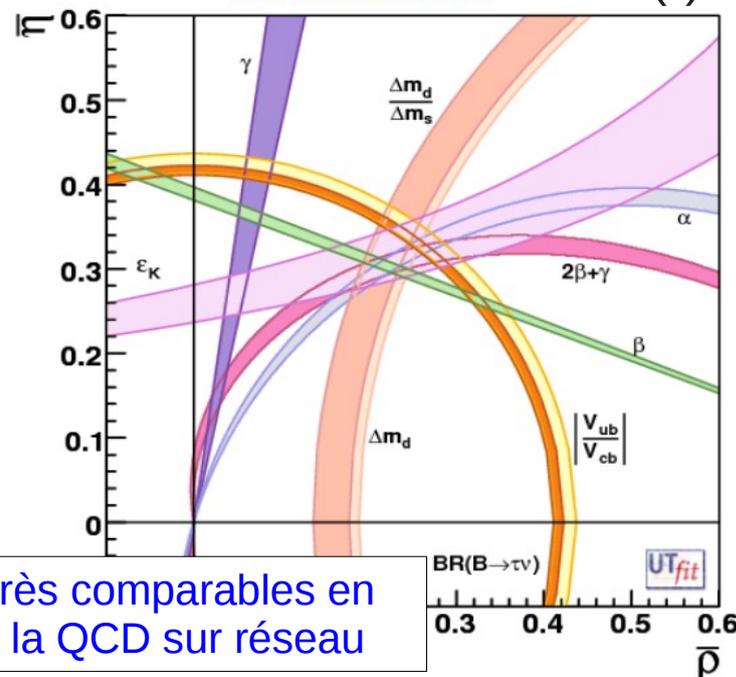
Éléments de la matrice CKM

- $|V_{ub}|$
 - inclusif $\sigma = 2\%$, exclusif $\sigma = 3\%$
- $|V_{cb}|$
 - inclusif $\sigma = 1\%$, exclusif $\sigma = 1\%$
- $|V_{us}|$
 - mesuré précisément avec les désintégrations du τ
- $|V_{cd}|$ et $|V_{cs}|$
 - mesurés au seuil du charme

Aujourd'hui



Le scénario de rêve avec 75 ab-1(*)



(*) avec des progrès comparables en précision pour la QCD sur réseau

SuperB *Schedule*

- SuperB **approuvé** en 2010 dans le plan de recherche italien
- Choix du **site** en mai 2011
- Actuellement, mise en place de la **collaboration internationale**
- Debut **génie civil** en 2012
- **TDRs** pour la Machine et le Détecteur : 2012
- Début d'**installation** de la machine : début 2013
- Demarrage du **Commissioning** : 2016
- Démarrage des **prises des données** : 2017 (jusqu'à 2022 au minimum)

SuperB : Participation Française

Participation française

- ~12 physiciens et ~15 ingénieurs

Accélérateur

- **le LAL, le LAPP et le LPSC** sont principalement intéressés par trois projets :
 - la source de positrons
 - la polarisation du faisceau d'électrons
 - les aspects d'interface machine-détecteur

Détecteur

- **IPHC, LAL, LPNHE et LPSC** :
 - l'identification des particules chargées (PID)
 - la partie *Electronics Trigger & Data acquisition*
 - activités R&D sur la couche L0 du SVT ont démarré (IPHC)
 - SuperB souhaite que la France participe au *computing* de l'expérience, en particulier via le CC-IN2P3

SuperB : Ressources

Ressources humaines :

- Objectif : doublement de la participation actuelle (détecteur+accélérateur) au pic de la phase construction
 - **40 physiciens (permanents, post-docs, doctorants) et 30 ingénieurs**

Ressources financières :

- Machine ~500 M€ (y compris la partie dédiée à la lumière)
 - **Demande française <1 M€**
- Détecteur (total) ~50 M€
 - **Demande française ~5 M€**

LHCb Upgrade

LHCb Upgrade

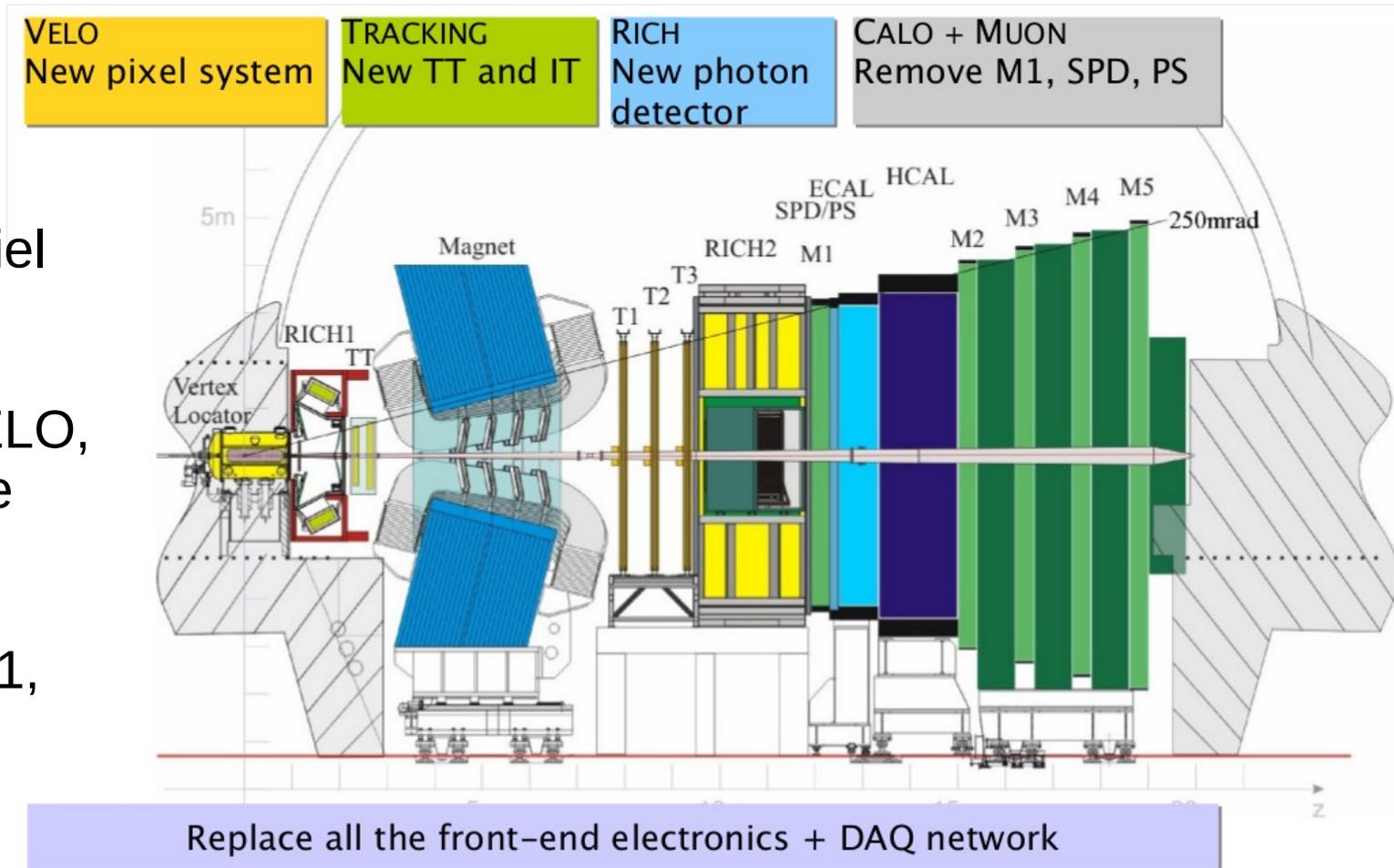
En **2017**, LHCb aura accumulé environ **5 fb⁻¹** (2011 ~1.1 fb⁻¹)

- **Sensibilités** sur les observables phares seront **comparables** aux valeurs attendues du Modèle Standard.
- **Modification du détecteur est nécessaire :**

- Système de déclenchement complètement logiciel

- Nouveaux trajectographes (VELO, TT, IT), détecteur de photons (RICH)

- Suppression de M1, SPD, PS



LHCb Upgrade

- **Luminosité instantanée : $1-2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$**
 - **Lire l'ensemble du détecteur** à la fréquence de croisements des faisceaux (**40 MHz**)
 - Utiliser un **système de déclenchement uniquement logiciel**
- Augmentation du nombre d'événements leptoniques d'un facteur 5 par an et d'un facteur 10 pour les canaux hadroniques
- **Nombre d'interactions / croisements de faisceau ~ 2.3**
 - Déjà beaucoup d'expertise dans le running de LHCb dans ces conditions
- Il est prévu d'accumuler de 5 à 10 fb^{-1} par an pour atteindre une **luminosité intégrée de 50 fb^{-1}**

Potentiel de l'Upgrade du LHCb

Précision expérimentale attendue comparable ou meilleure que les incertitudes théoriques pour la physique au cœur du programme LHCb et upgrade, par exemple :

φ_s :

- Précision attendue : $\sigma \approx 0.006$ (17% de la valeur du MS)

Désintégrations hadroniques des mésons B sans charme :

- Mesures de précision de CPV dépendant du temps dans canaux dominés par les pingouins ($B_s \rightarrow K^{*0} K^{*0}$, $B_s \rightarrow \varphi \varphi$)

$B_{s/d} \rightarrow \mu^+ \mu^-$:

- **Corrélation entre $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ et $B_d \rightarrow \mu^+ \mu^-$ (test du MFV)**

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

- **Analyse angulaire complète de haute précision**

Potentiel de l'Upgrade du LHCb

... et encore...

- **Désintégrations radiatives :**
 - $b \rightarrow s \gamma$:
 - $B_s \rightarrow \varphi \gamma$
 - $B_d \rightarrow K^* \gamma$
- **Angle γ (précision de ~ 1 degré)**
- **Physique du charme**
- **Ce programme va être enrichi par d'autres sujets :**
 - **Physique de la saveur pour les leptons** [Neutrinos Majorana, LFV dans les désintégrations des τ^\pm]
 - **Physique électrofaible** [$\sin 2\theta_{\text{eff}}^{\text{lept}}$, M_w]
 - Recherche des **états exotiques** [*hidden valleys*,...]
 - **QCD** [central exclusive production]

Potentiel de l'Upgrade du LHCb

Type	Observable	Current precision	LHCb (5 fb ⁻¹)	Upgrade (50 fb ⁻¹)	Theory uncertainty
Gluonic penguin	$S(B_s \rightarrow \phi\phi)$	-	0.08	0.02	0.02
	$S(B_s \rightarrow K^{*0}K^{\bar{*}0})$	-	0.07	0.02	< 0.02
	$S(B^0 \rightarrow \phi K_S^0)$	0.17	0.15	0.03	0.02
B_s mixing	$2\beta_s (B_s \rightarrow J/\psi\phi)$	0.35	0.019	0.006	~ 0.003
Right-handed currents	$S(B_s \rightarrow \phi\gamma)$	-	0.07	0.02	< 0.01
	$A^{\Delta\Gamma_s}(B_s \rightarrow \phi\gamma)$	-	0.14	0.03	0.02
E/W penguin	$A_T^{(2)}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	-	0.14	0.04	0.05
	$s_0 A_{FB}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	-	4%	1%	7%
Higgs penguin	$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+\mu^-)$	-	30%	8%	< 10%
	$\frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)}{\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+\mu^-)}$	-	-	~ 35%	~ 5%
Unitarity triangle angles	$\gamma (B \rightarrow D^{(*)}K^{(*)})$	~ 20°	~ 4°	0.9°	negligible
	$\gamma (B_s \rightarrow D_s K)$	-	~ 7°	1.5°	negligible
	$\beta (B^0 \rightarrow J/\psi K^0)$	1°	0.5°	0.2°	negligible
Charm CPV	A_Γ	2.5×10^{-3}	2×10^{-4}	4×10^{-5}	-
	$A_{CP}^{dir}(KK) - A_{CP}^{dir}(\pi\pi)$	4.3×10^{-3}	4×10^{-4}	8×10^{-5}	-

LHCb Upgrade : *Schedule*

- L'upgrade de LHCb est **planifié lors de l'arrêt du LHC d'une année, en 2018.**
- La **lettre d'intention** a été soumise en Mars 2011
 - Le projet scientifique est pleinement soutenu par le LHCC
 - La lecture du détecteur à 40MHz est un défi majeur mais atteignable
- Le **Framework TDR** va être soumis en Juin 2012
 - Il définit les coûts, les enjeux et les intérêts scientifiques des laboratoires
- **TDR(s)** en 2013
- **Production et contrôle « qualité »** en 2014 – 2017
- **Installation et *commissioning*** en 2018
- Début des **prises de données** en 2019

LHCb : Participation Française

- Cinq laboratoires français y participent : **LAPP, LPC, CPPM, LAL, LPNHE**
 - Environ 38 physiciens (chercheurs CNRS, enseignants-chercheurs et post-docs)
 - 22 ITAs (majoritairement CNRS)
 - Une douzaine de doctorants
- Nombre équivalent PhD correspondant à **12% de la collaboration**
- **Contribution française à la construction du détecteur LHCb environ 12%**
 - Mécanique et électronique de lecture des calorimètres
 - Conception et réalisation du processeur a muons, acteur principal du système de déclenchement de premier niveau
 - Initiation du projet DIRAC, interface utilisateur pour le traitement et l'analyse de données (grilles de calcul)
- Budget annuel de l'ordre de 700 k€ dont 320 k€ en *Maintenance & Operation*

LHCb Upgrade Ressources

Ressources humaines : les groupes LHCb France

- **Points stratégiques, savoir-faire des laboratoires :**
 - Électronique de lecture des calorimètres et des détecteur de traces a fibres scintillantes
 - Conception et réalisation de la carte électronique de lecture à 40 MHz
 - Migration du système de déclenchement de premier niveau dans la nouvelle architecture
 - Optimisation des algorithmes de tracking

Ressources financières :

- Upgrade détecteur ~40 M€
 - **Demande française ~5 M€**
- Contributions françaises également de l'ordre de 12% du coût total de l'upgrade de LHCb

Conclusions

Recommandations

LHCb UPGRADE

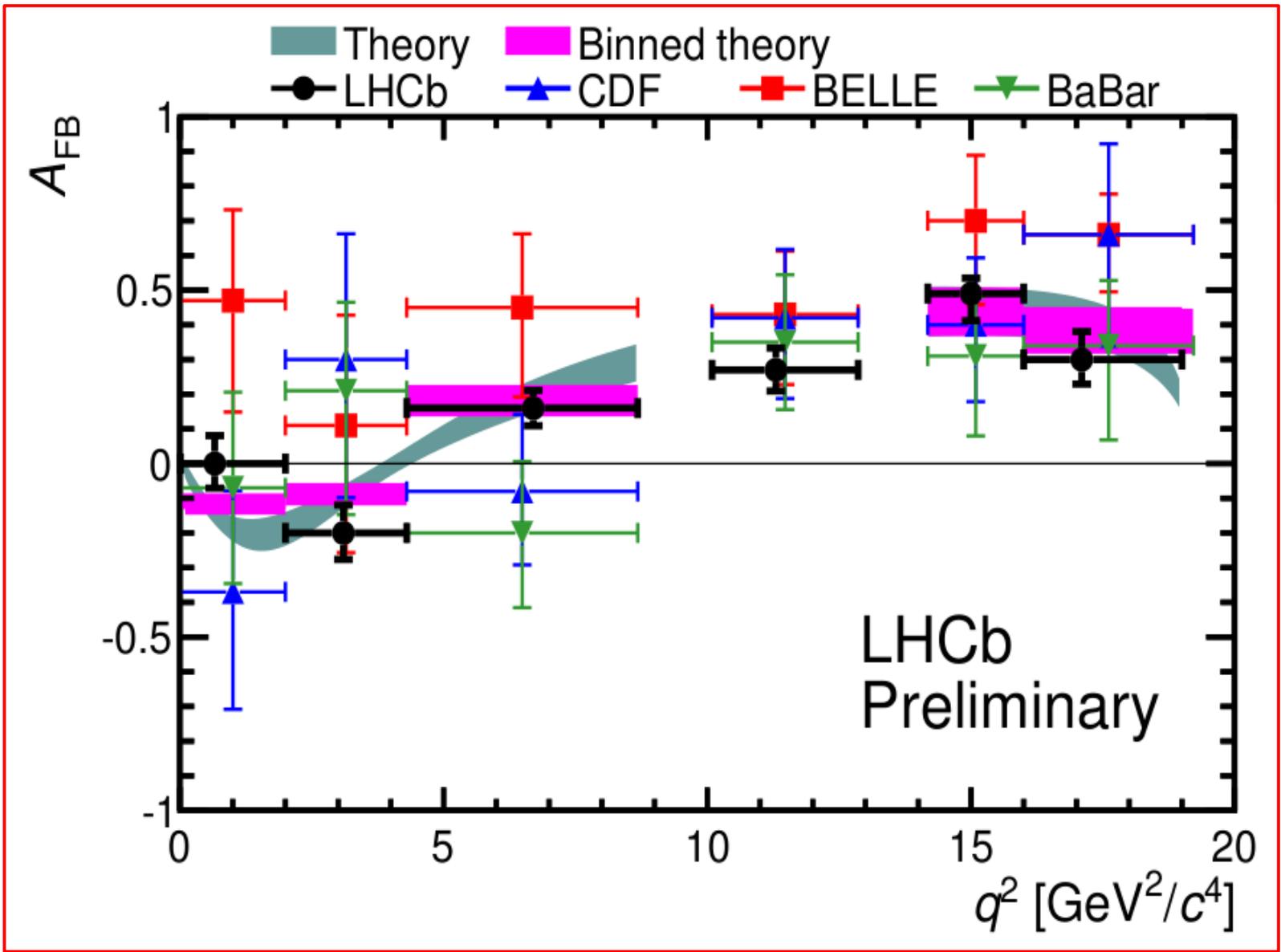
Nous recommandons de soutenir l'upgrade de LHCb pour son potentiel unique notamment à travers la très grande statistique de mésons B_s et l'accès à des désintégrations exclusives extrêmement rares, son enracinement dans la communauté et la très grande visibilité des équipes françaises.

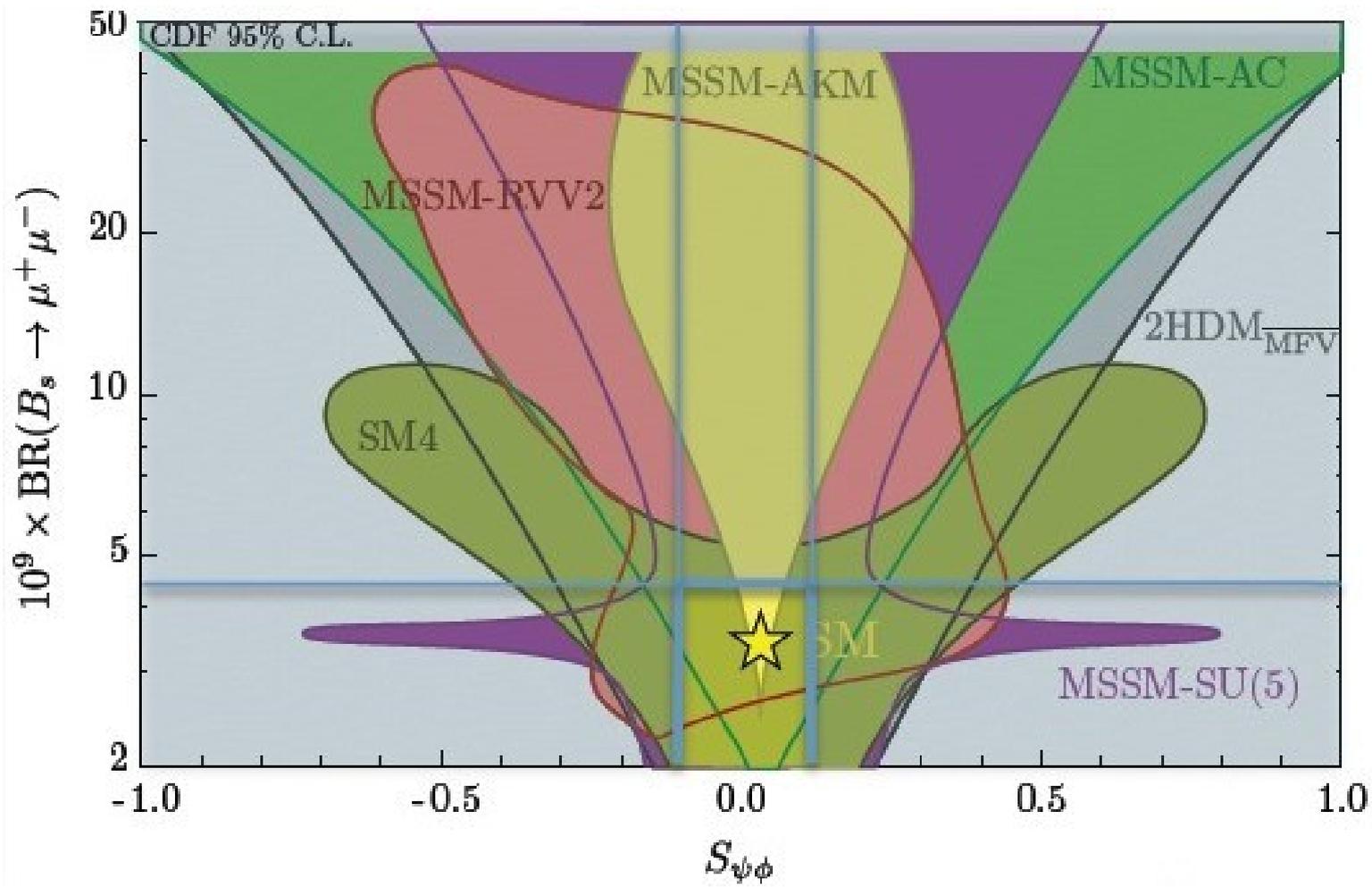
SUPERB

Suite à l'approbation récente par le gouvernement italien du projet SuperB, nous recommandons d'approuver la participation d'équipes françaises dans ce programme, au vu de la capacité du laboratoire Nicola Cabibbo de le conduire dans le calendrier prévu et de la capacité des groupes français à agréger de nouveaux collaborateurs autour du noyau qui y participe depuis l'origine. Nous soulignons la complémentarité du potentiel de physique des super usines à B avec celui des expériences sur machine hadronique et leur potentiel unique pour les états finaux contenant des particules neutres.

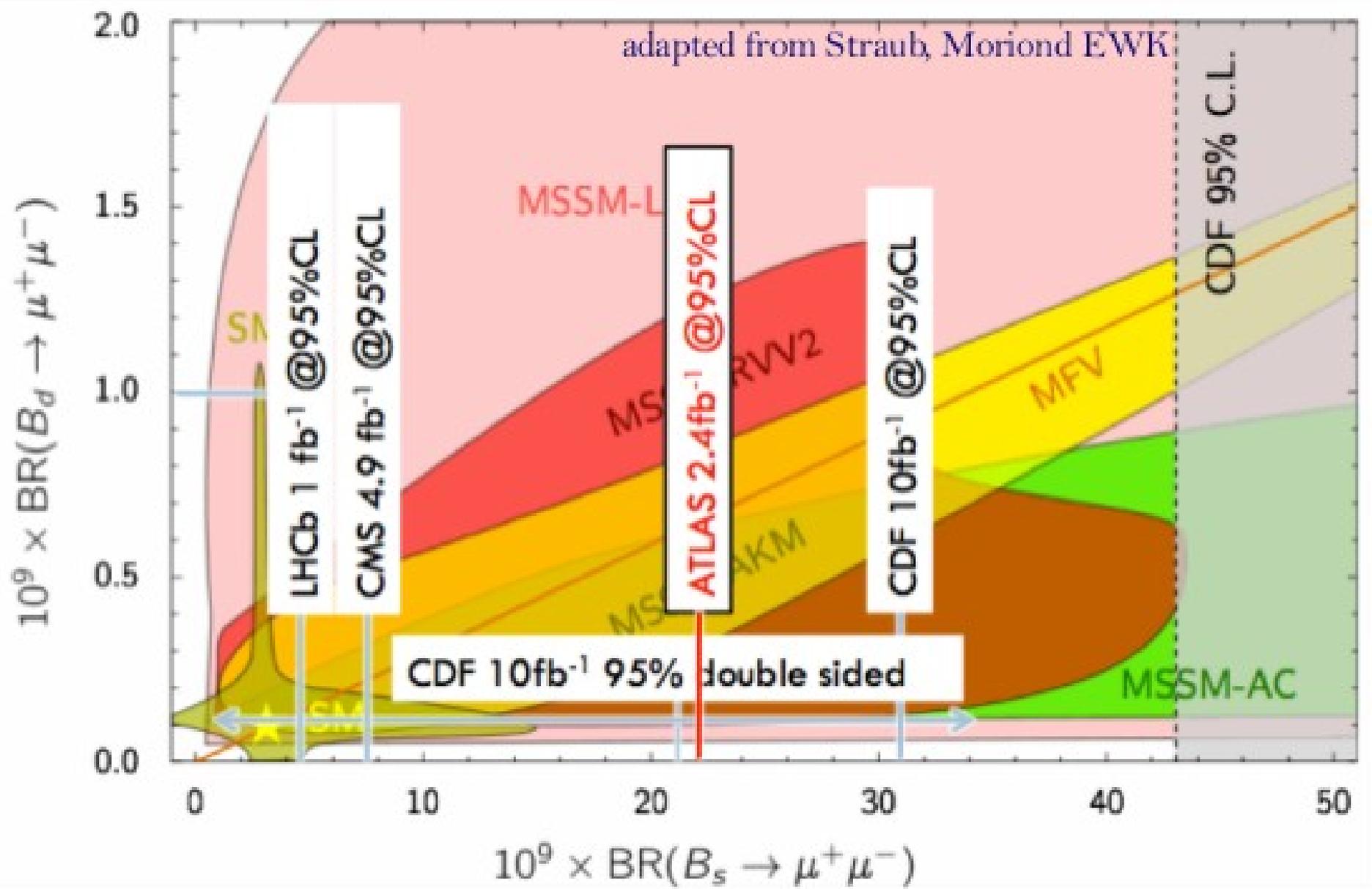


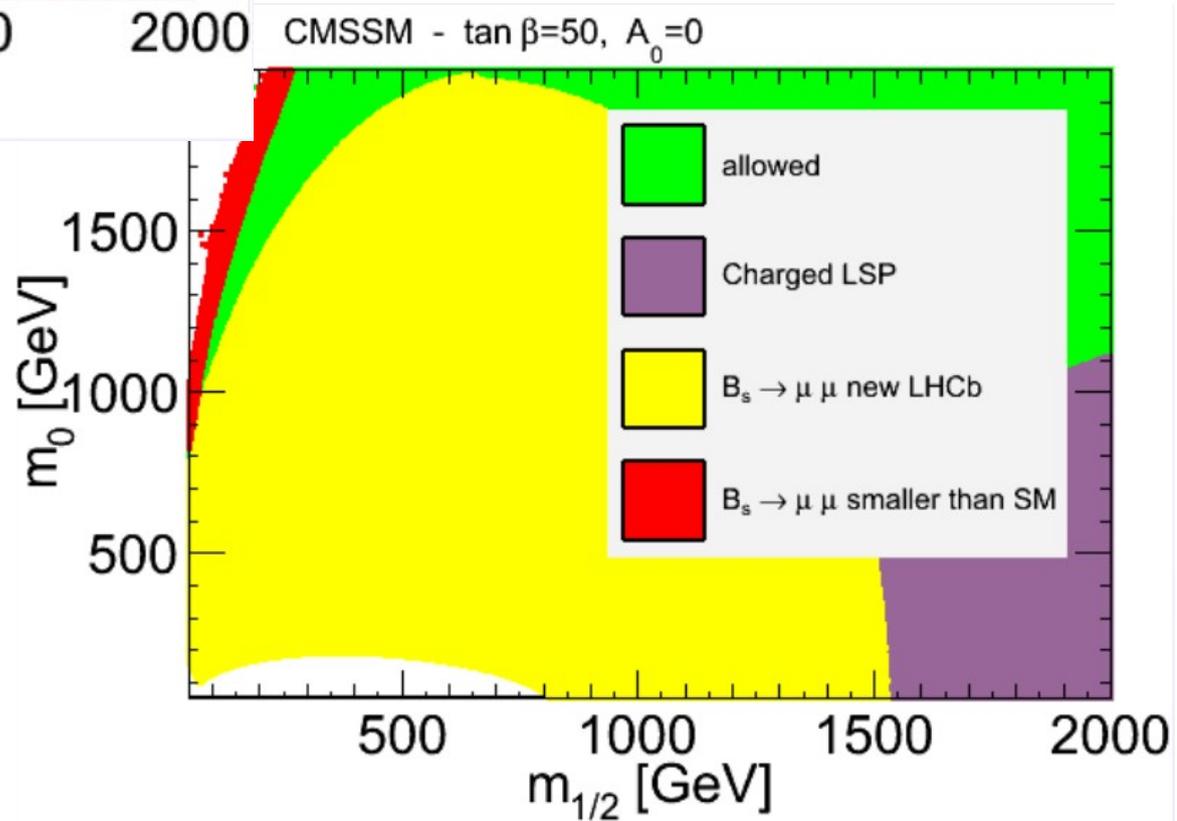
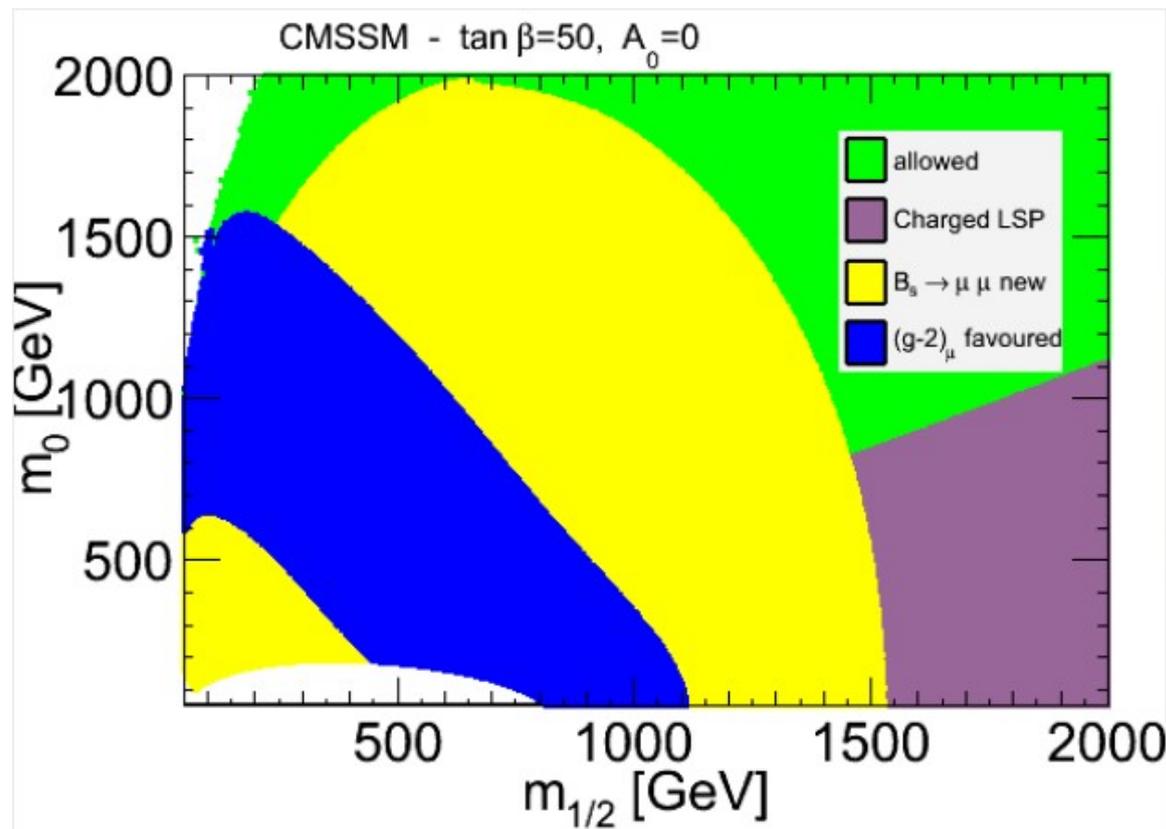
Back-ups

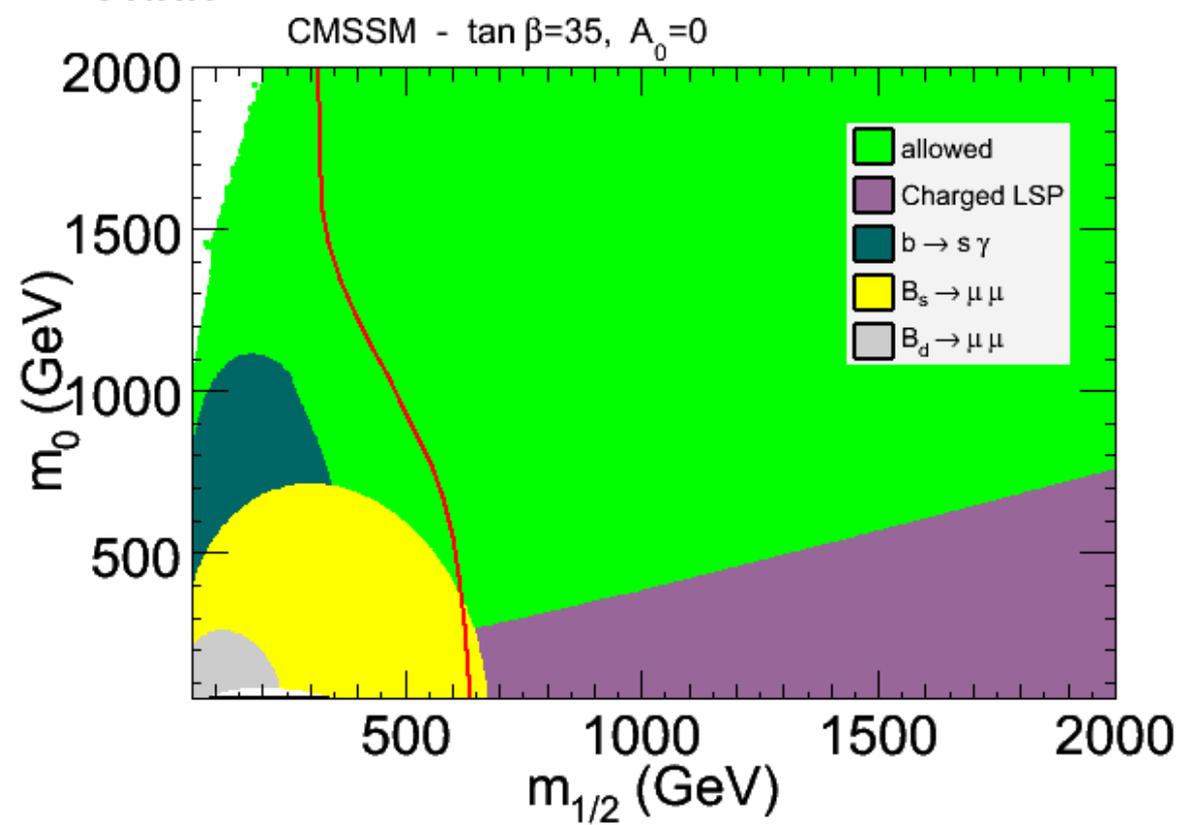
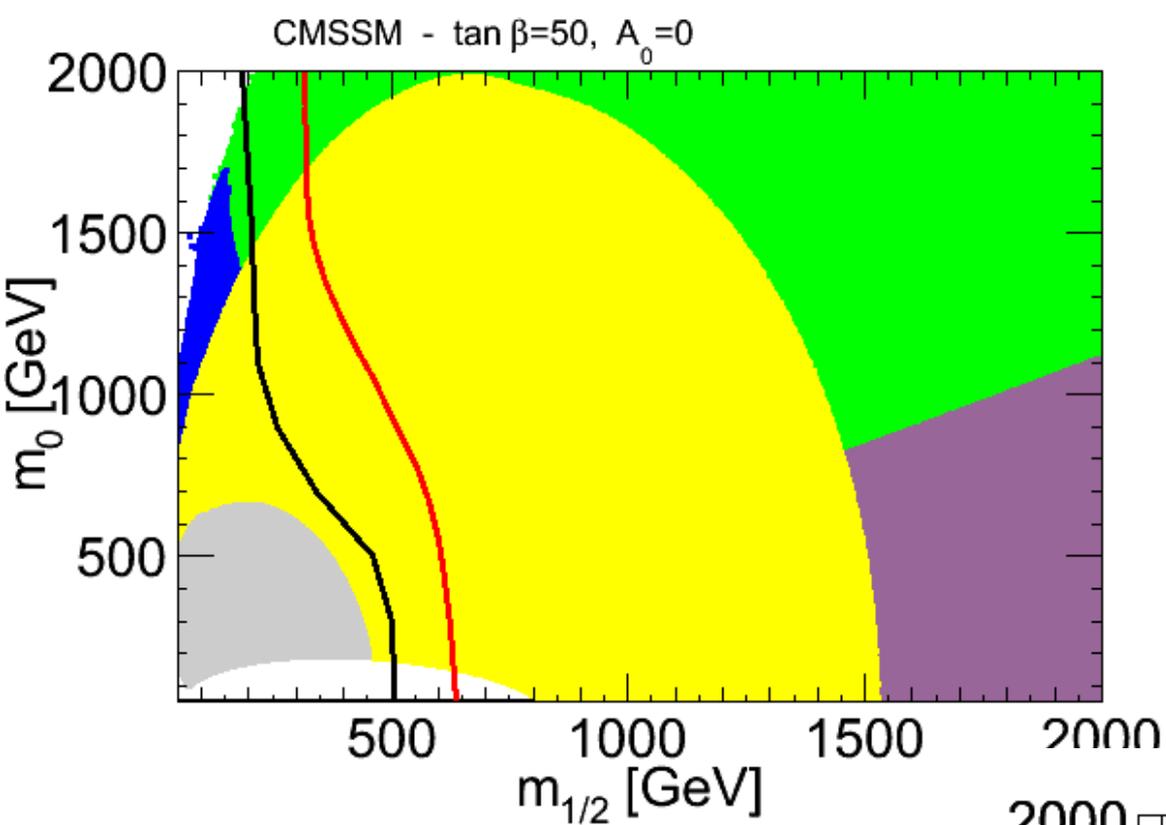




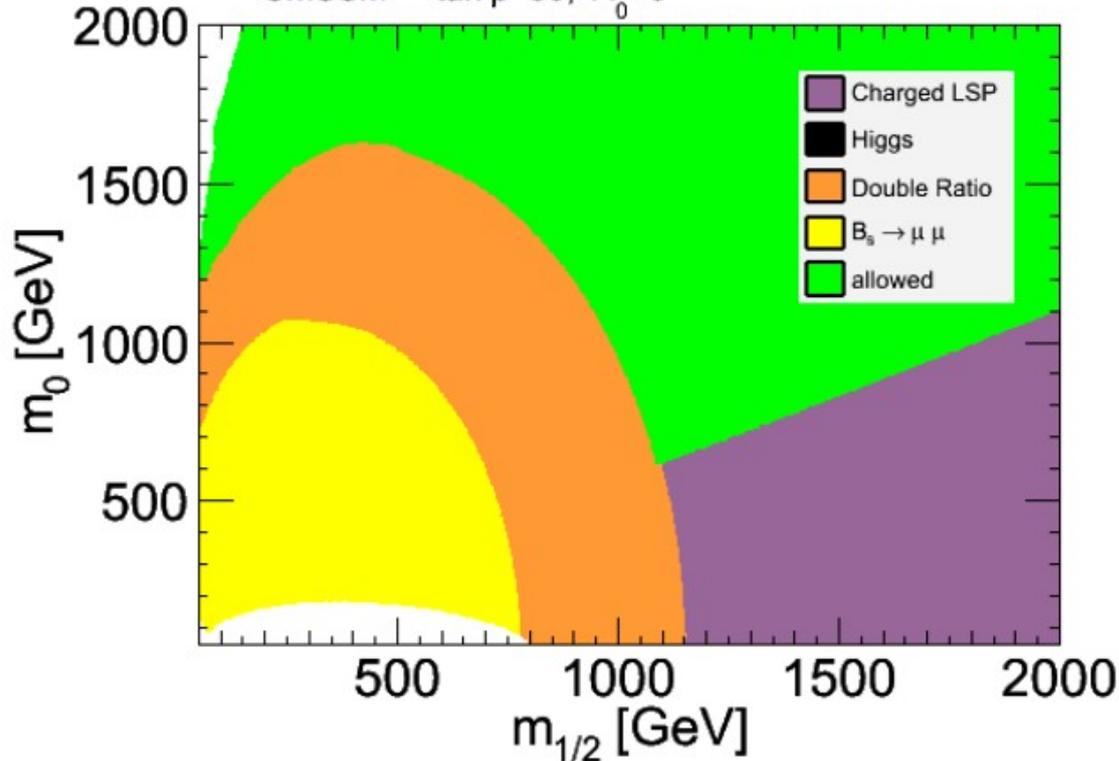
adapted from Straub, Moriond EWK



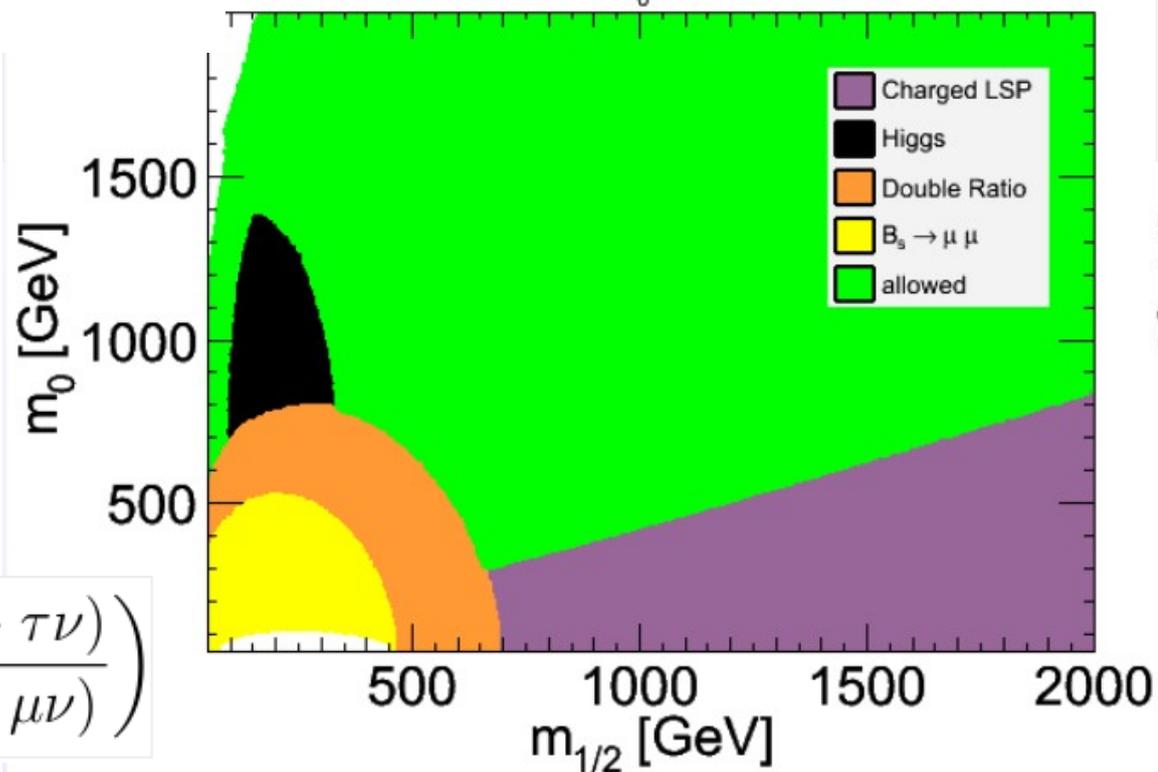




CMSSM - $\tan \beta=50, A_0=0$



CMSSM - $\tan \beta=40, A_0=0$



Après EPS 2011

$$\left(\frac{\text{BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)}{\text{BR}(B_u \rightarrow \tau \nu)} \right) / \left(\frac{\text{BR}(D_s \rightarrow \tau \nu)}{\text{BR}(D \rightarrow \mu \nu)} \right)$$

