



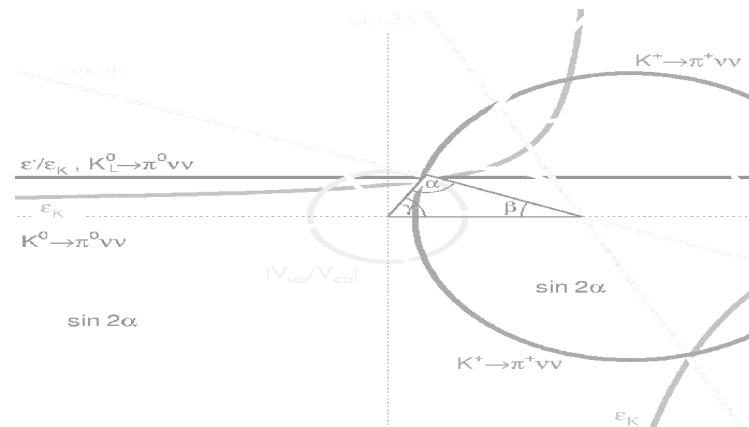
## LHCb : l'Expérience et le Programme de Physique

Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie



F. Machefert

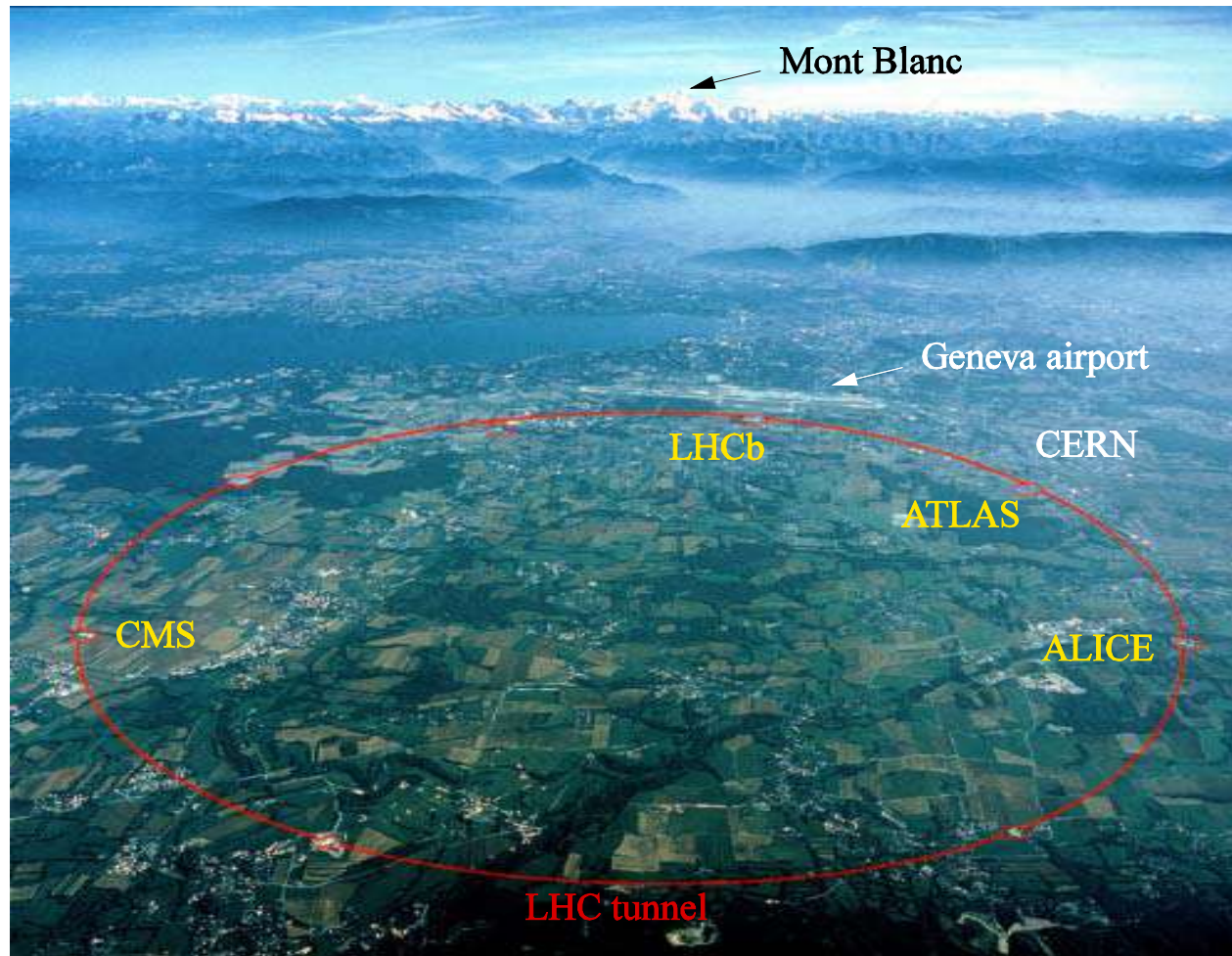
- La Violation de CP
- L'Expérience LHCb
  - Description
  - Status de la Construction du Détecteur
- Le Programme de Physique



# Introduction : Le LHC et LHCb

---

- LHCb est une expérience dédiée à l'étude de la violation de CP par la production de hadrons B ( $B^0$ ,  $B^{+/-}$ ,  $B_s$ ,  $B_c$ , b-baryons)



---

## La Violation de CP



# Pourquoi la Violation de CP

---

- L'univers actuel
    - N'est pas vide
    - Est presque vide
  - Postulat de Sakharov en 1957 pour expliquer la Baryogénèse
    - Violation du nombre baryonique
    - Violation de CP
    - Déséquilibre thermique
  - La Violation de CP à la CKM ne permet pas à elle seul d'expliquer l'asymétrie
    - 3 observables indépendantes de la violation de CP
      - Violation de CP indirect dans  $K \rightarrow \pi\pi$  et  $K \rightarrow \pi l \nu$
      - Violation de CP direct dans  $K \rightarrow \pi\pi$
      - Violation de CP dans  $B \rightarrow J/\psi K_s$
- $$\frac{\Delta n_{baryon}}{n_\gamma} = \frac{n_{baryon} - n_{\overline{baryon}}}{n_\gamma} \sim 0(10^{-10})$$
- $$\epsilon_K = (2.28 \pm 0.02) \times 10^{-3} e^{i\pi/4}$$
- $$\epsilon'/\epsilon = (1.72 \pm 0.18) \times 10^{-3}$$
- $$\beta = [23.3^{+1.6}_{-1.5}]^\circ$$
- ▶ Phase CKM : violation de CP dans les processus de basse énergie (changement de saveur)
- Violation de CP et Nouvelle Physique
    - Le mécanisme de CKM ne permet pas de rendre compte de la Baryogénèse
      - Il doit exister une autre source de Violation de CP en dehors de la phase CKM
    - Le problème de la Violation de CP forte :  $\theta \sim 0$  ? (moment dipolaire électrique)
    - Toutes les extensions au Modèle Standard sont des sources de Violation de CP

# Les Différents Aspects de la Violation de CP

- Dans le mélange (indirect) :

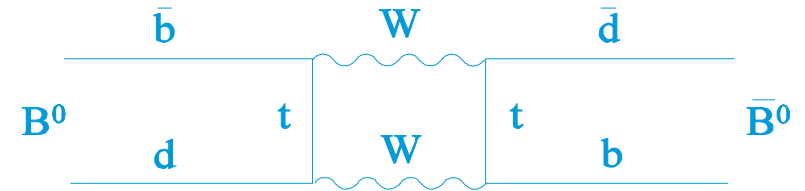
- Les états propres de masse sont des combinaisons des  $B^0(\bar{b}q)$  et  $\bar{B}^0(b\bar{q})$

- $|B_L\rangle = p|B^0\rangle + q|\bar{B}^0\rangle \quad |B_H\rangle = p|B^0\rangle - q|\bar{B}^0\rangle$

- Evolution temporelle des états propres

$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} B \\ \bar{B} \end{pmatrix} = (M - \frac{i}{2} \Gamma) \begin{pmatrix} B \\ \bar{B} \end{pmatrix}$$

- Evolution dépend de  $\Delta m$  et  $\Delta \Gamma$
- Comportement oscillant avec une fréquence  $\Delta m$
- Dans le MS, oscillations dues à des diagrammes en boîte



$$\Delta m_d = \frac{G_F^2 m_W^2 \eta_B S_0(m_t^2/m_W^2) m_{B_d} |V_{td}|^2 f_B^2 B_B}{6\pi^2}$$

$|q/p| \neq 1$

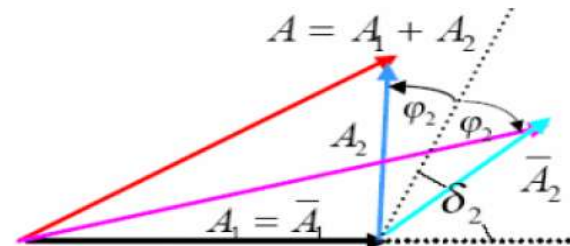
- Dans la désintégration (directe)

- Amplitudes avec des phases fortes/faibles différentes :

$$A_f = \langle f | H | B \rangle = \sum_k A_k e^{i\delta_k} e^{i\phi_k} \quad \bar{A}_{\bar{f}} = \langle \bar{f} | H | \bar{B} \rangle = \sum_k A_k e^{i\delta_k} e^{-i\phi_k}$$

- Vue par Babar et Belle : asymétrie  $A_{K\pi} = -0.11 \pm 0.02$

$|\bar{A}_{\bar{f}}/A_f| \neq 1$



# Les Différents Aspects de la Violation de CP

- Dans l'interférence entre mélange et désintégration

- Paramètre de VCP :

$$\lambda_{f_{CP}} = \eta_{f_{CP}} \frac{q}{p} \frac{\overline{A_{f_{CP}}}}{A_{f_{CP}}}$$

$\sim e^{-2i\beta}$

Valeur propre de  
CP de l'état final

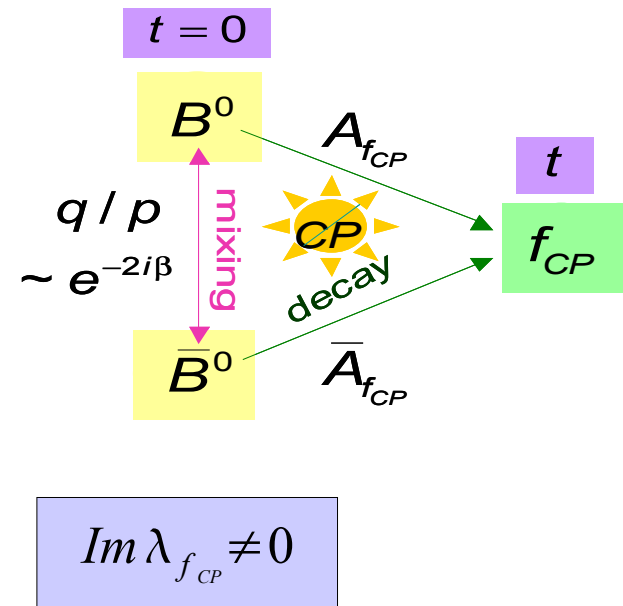
↑

Mélange

↑

Rapport des  
amplitudes

↑

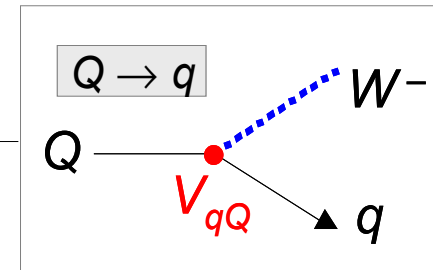
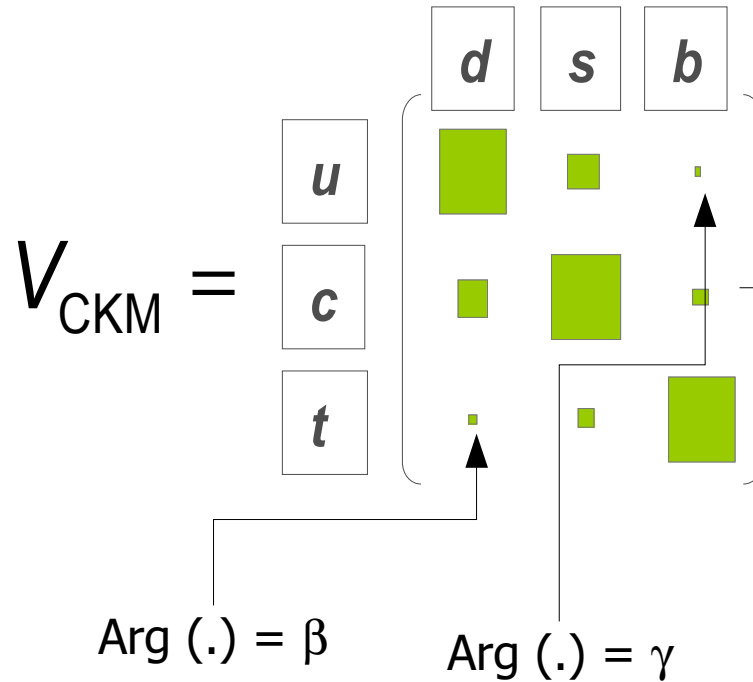


- Les différentes Violations de CP :

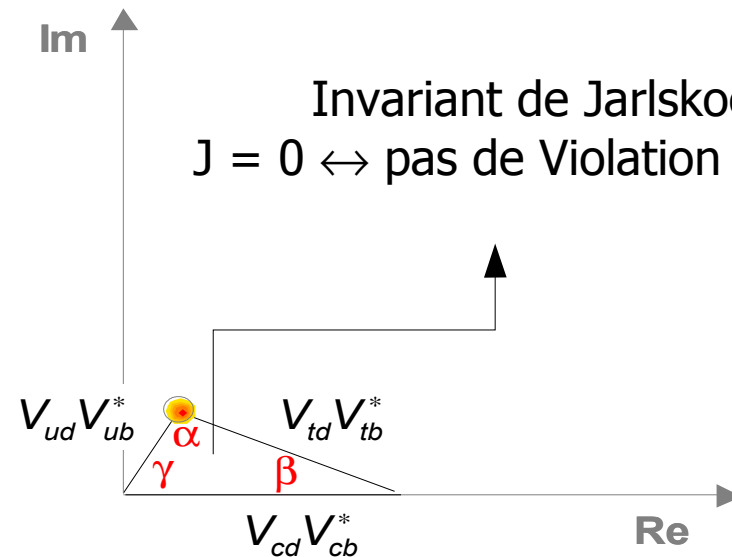
- ★ Violation de CP dans le mélange (indirecte)
  - États propres de masse neutres mélange des états propres de saveur
- ★ Violation de CP dans la désintégration (directe)
  - Amplitudes différentes pour les processus conjugués de CP (états neutres et chargés)
- ★ Violation de CP dans l'interférence entre mélange et désintégration
  - États finals de désintégration identiques pour  $B^0$  et  $\bar{B}^0$

# La Matrice CKM et le Triangle d'Unitarité

- Etats propres de l'interaction faible sont des combinaisons des états propres de saveur
- La matrice CKM contient les couplages faibles entre les quarks



Invariant de Jarlskog  
 $J = 0 \leftrightarrow$  pas de Violation de CP



Matrice CKM unitaire

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

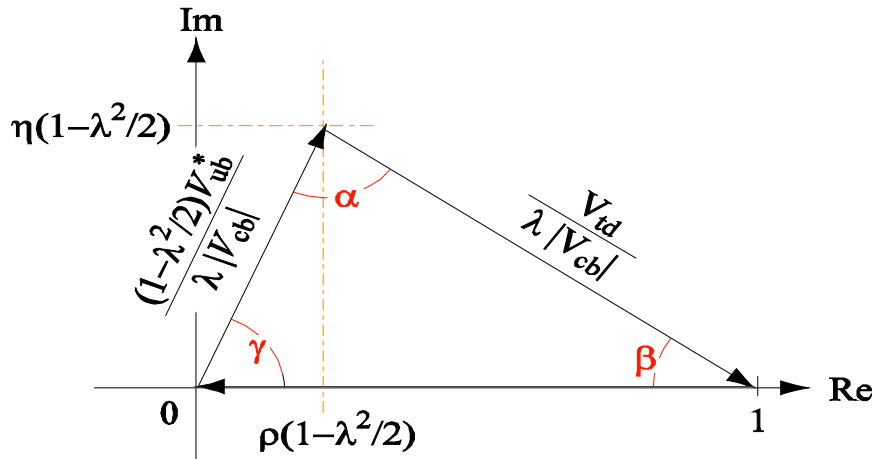
$$\propto A\lambda^3, -A\lambda^3, A\lambda^3$$



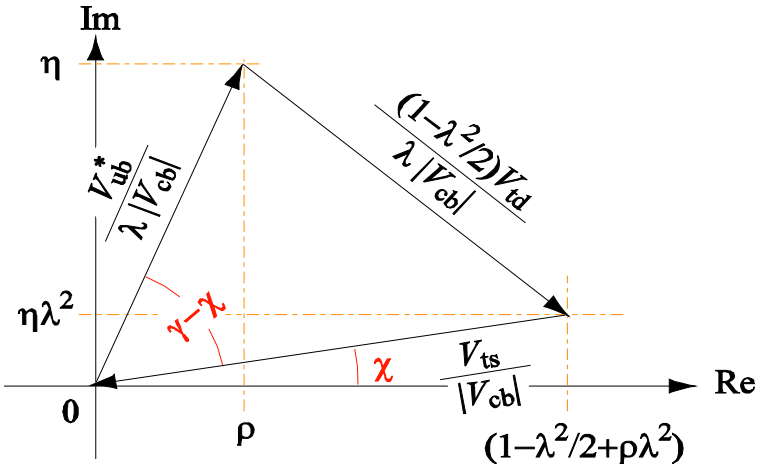
# Le Triangle d'Unitarité

- Au niveau de précision de LHCb, deux triangles d'Unitarité sont nécessaires

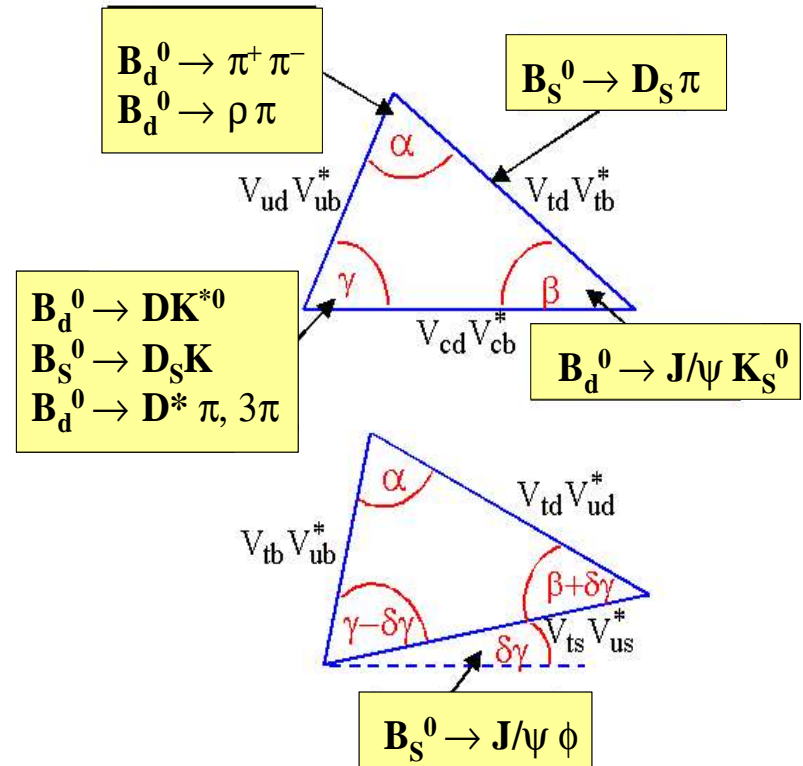
$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$$



$$V_{tb}V_{ub}^* + V_{ts}V_{us}^* + V_{td}V_{ud}^* = 0$$

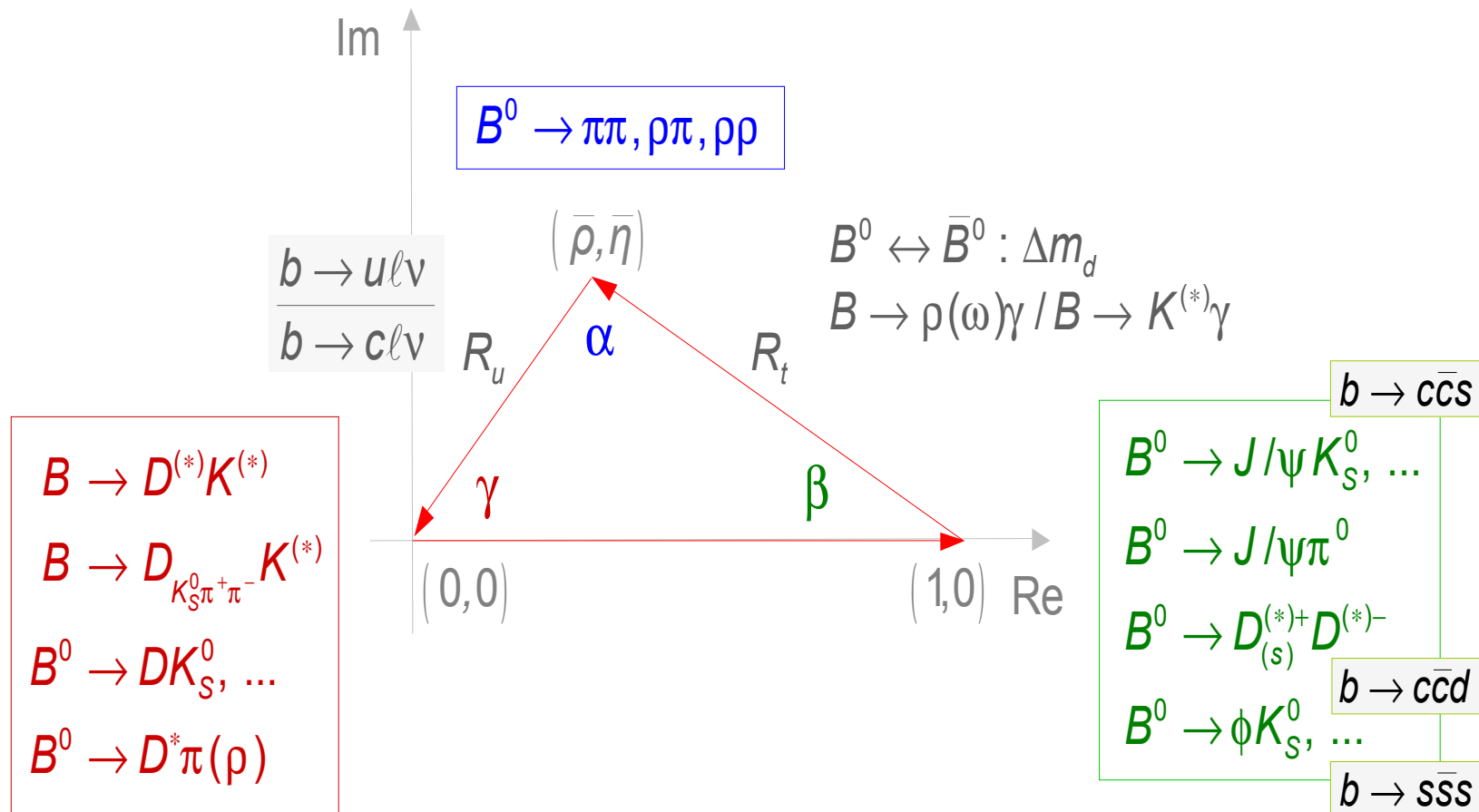


## Triangle d'unitarité



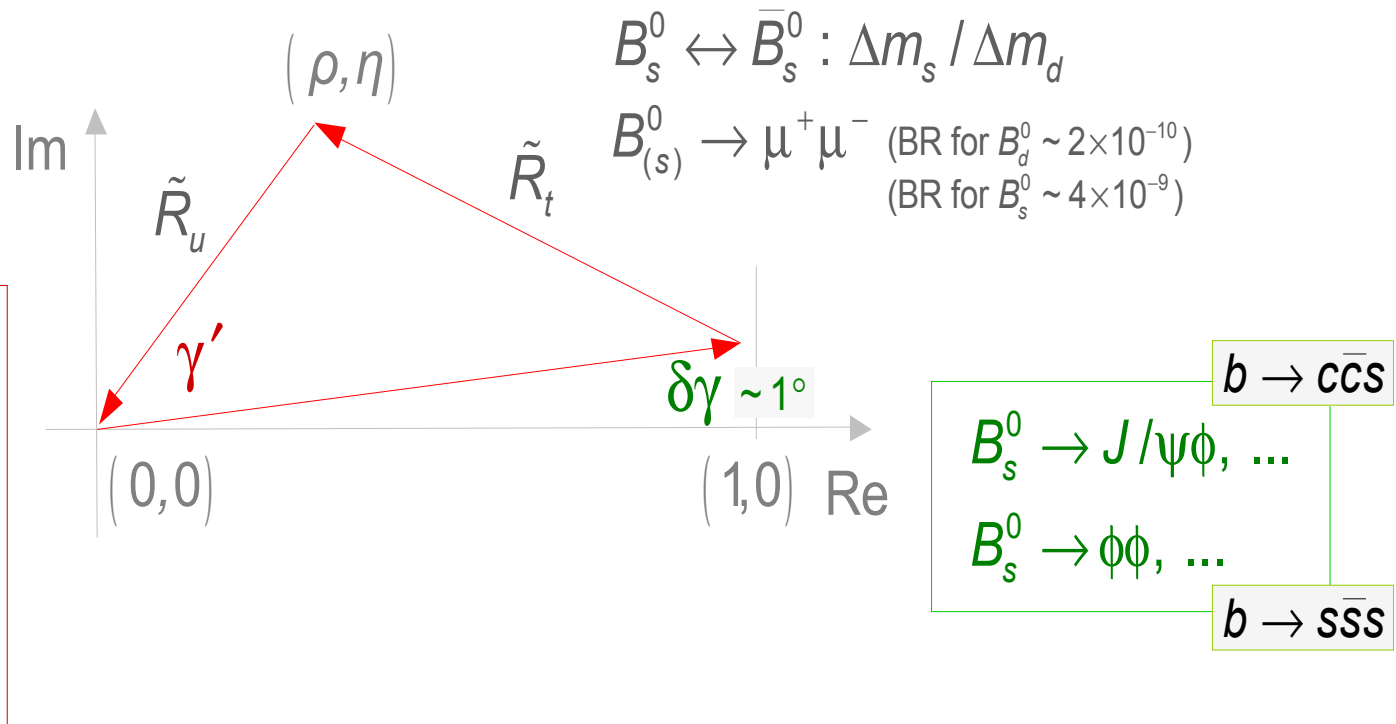
# Le Système du $B_d$

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



# Le Système du $B_s$

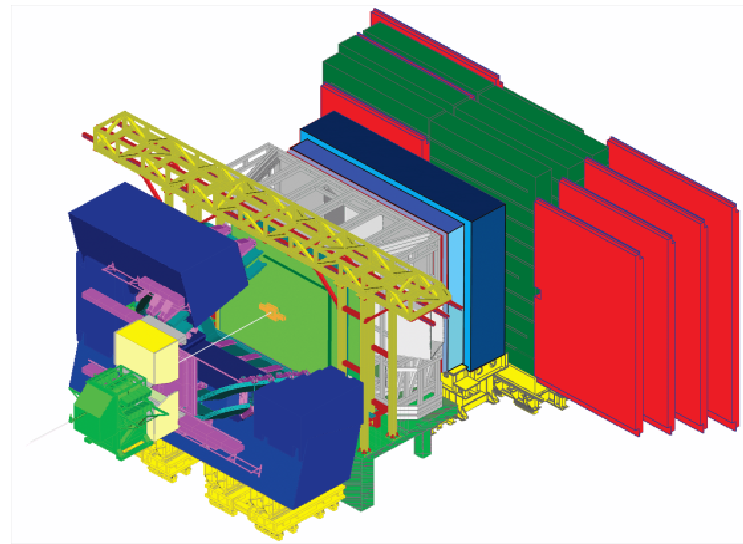
- $V_{td}V_{ud}^* + V_{ts}V_{us}^* + V_{tb}V_{ub}^* = 0$



- N'est accessible qu'aux machines hadroniques

---

# Le Détecteur LHCb

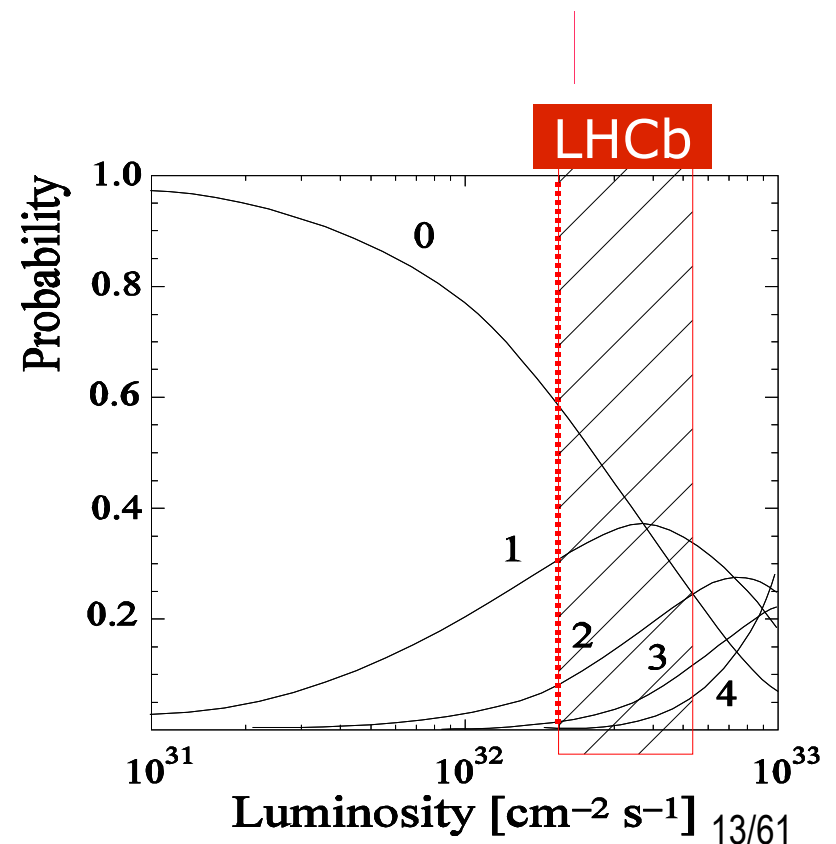


# Les Conditions du Faisceau au Point d'Interaction de LHCb

- LHC
  - Collisions pp à 14 TeV
  - Fréquence de croisement  $\sim 40\text{MHz}$  (25ns)
  - $\sigma_{\text{inel}} \sim 80\text{mb}$ 
    - ♦ Haute Lumi  $\rightarrow$  pile-up des interactions pp
  - $\sigma_{\text{bb}}$  importante  $\sim 500 \mu\text{b}$ 
    - ♦  $\sim 0.5\%$  du total
- LHCb
  - Choix d'un fonctionnement à « basse » Luminosité
  - L « par défaut » :  $L = 2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 
    - ♦ Une année effective correspond à  $10^7\text{s}$
    - ♦  $2\text{fb}^{-1}$  par an
  - L ajustable par défocalisation des faisceaux
  - Disponible dès 2007

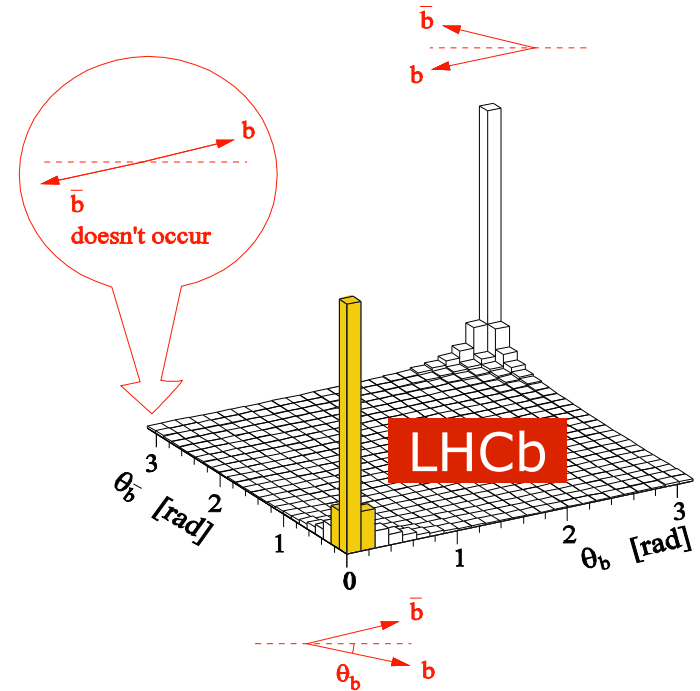
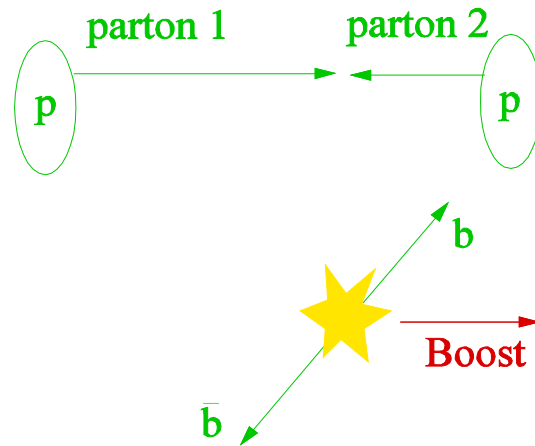
**$10^{12}$  paires  $b\bar{b}$  par an**

Problèmes de cryogénie de la ligne accélératrice résolus : premier faisceau attendu en 2007



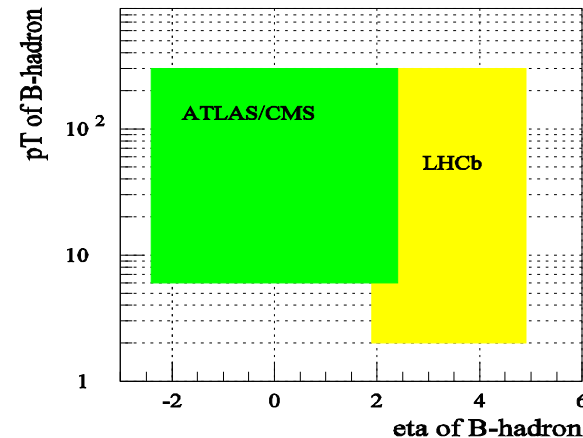
# La Production des B au Point d'Interaction

- Les B sont produits préférentiellement vers l'avant

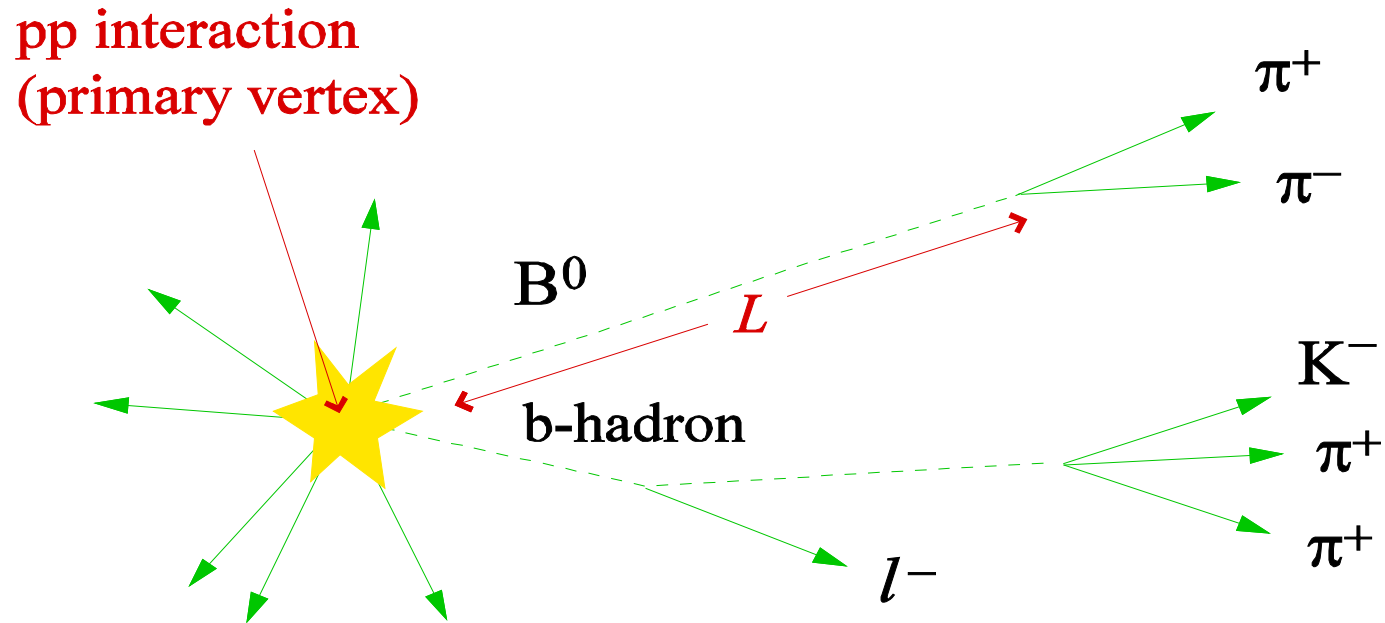


- LHCb est un spectromètre couvrant la zone angulaire 10 à 300 mrad

- Les deux B sont dans l'acceptance
  - Etiquetage de la saveur
- En terme de section efficace
  - LHCb :  $\sigma_{bb} \sim 230 \mu\text{b}$
  - ATLAS / CMS :  $\sigma_{bb} \sim 100 \mu\text{b}$

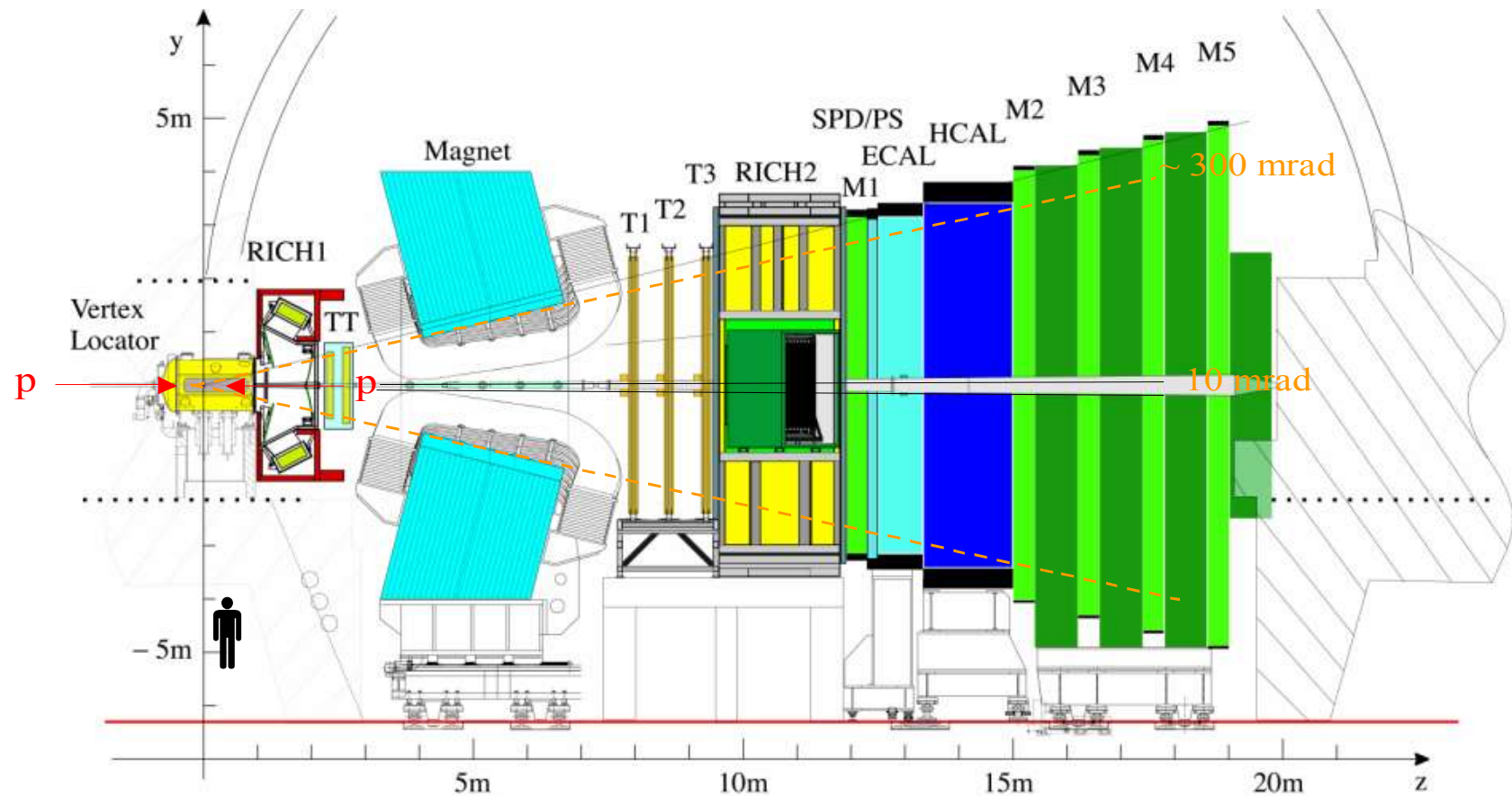


# Un Événement LHCb



- Reconstruction du B
  - Temps propre :  $t = mL/pc$
  - L typiquement de l'ordre de 1cm
  - Impulsion mesurée par les produits de désintégration (1-100GeV)
- Etiquetage du B à la production : B ou  $\bar{B}$  ?
  - Lepton produit par l'autre B ou Kaon

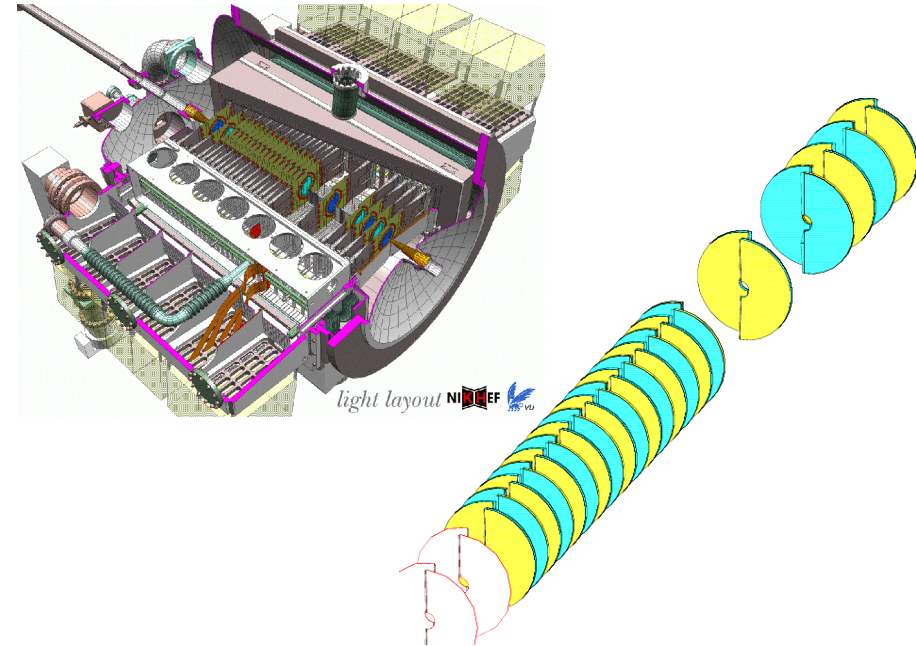
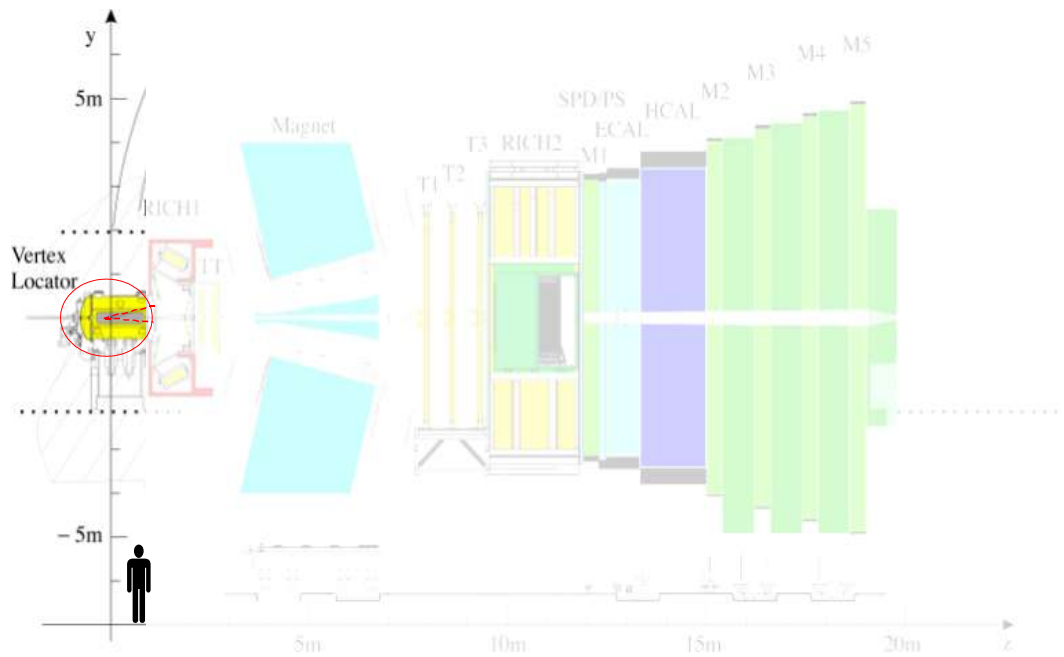
# Le Détecteur LHCb



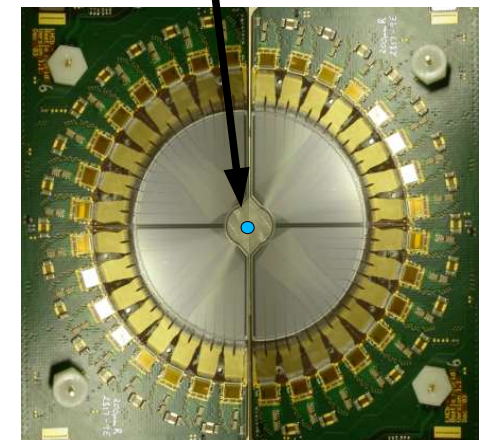
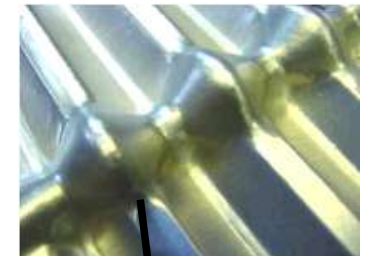
- LHCb est un spectromètre à un bras fonctionnant en mode de collisions pp
- Acceptance
  - $1.9 < |\eta| < 4.9$
  - 10 mrad autour du tube à vide (Béryllium) (radiations)
  - 300 mrad



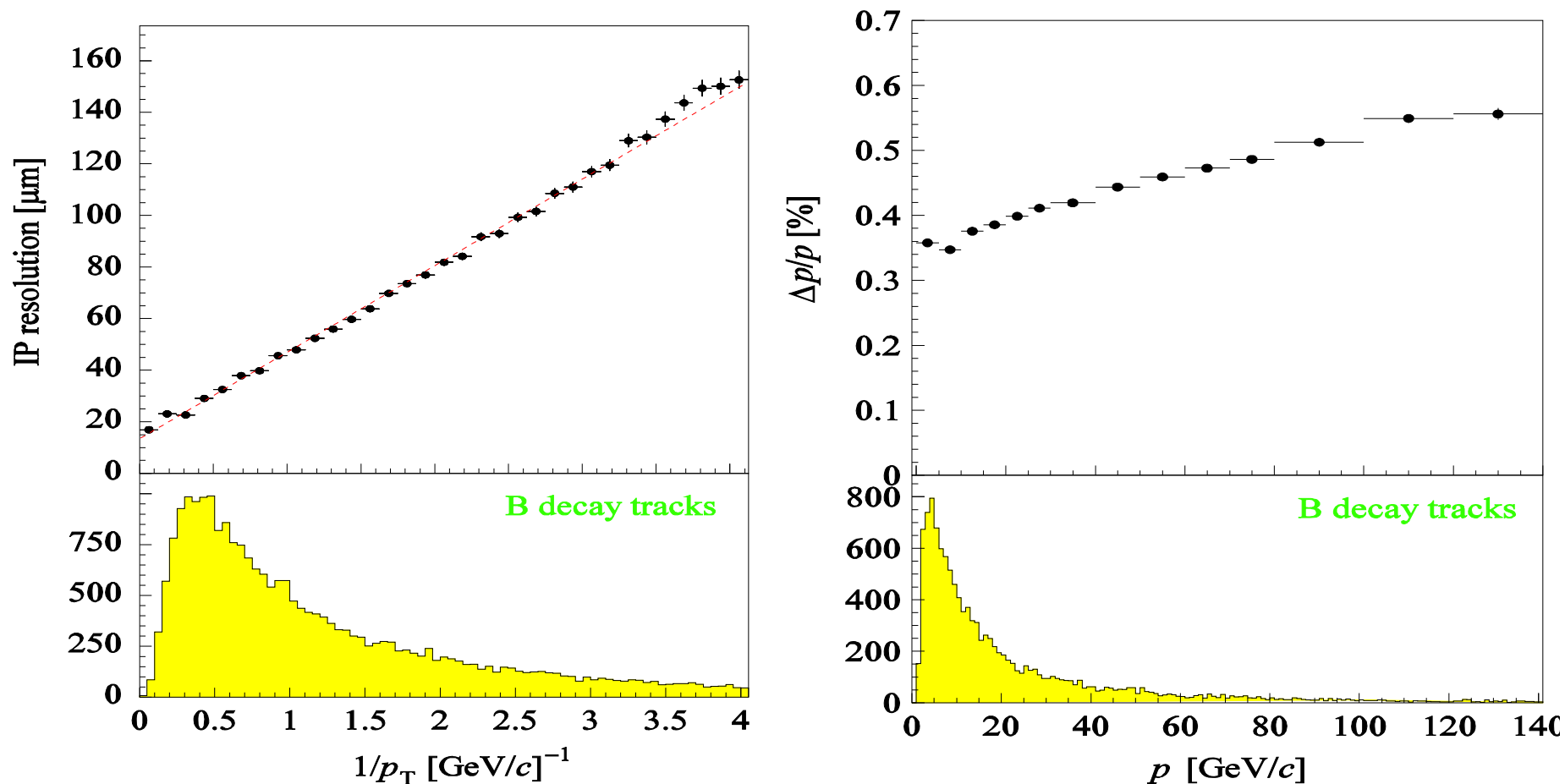
# Le Détecteur de « Vertex » (I)



- 21 stations au Silicium tout autour de la zone d'interaction
- 2 demi-disques placés à gauche et à droite de la ligne du faisceau
- Microstrips Silicium avec géométrie en  $r\Phi$
- Approche du faisceau à 8mm
  - Enceinte à vide secondaire
  - Séparé du vide primaire par une enveloppe en béryllium



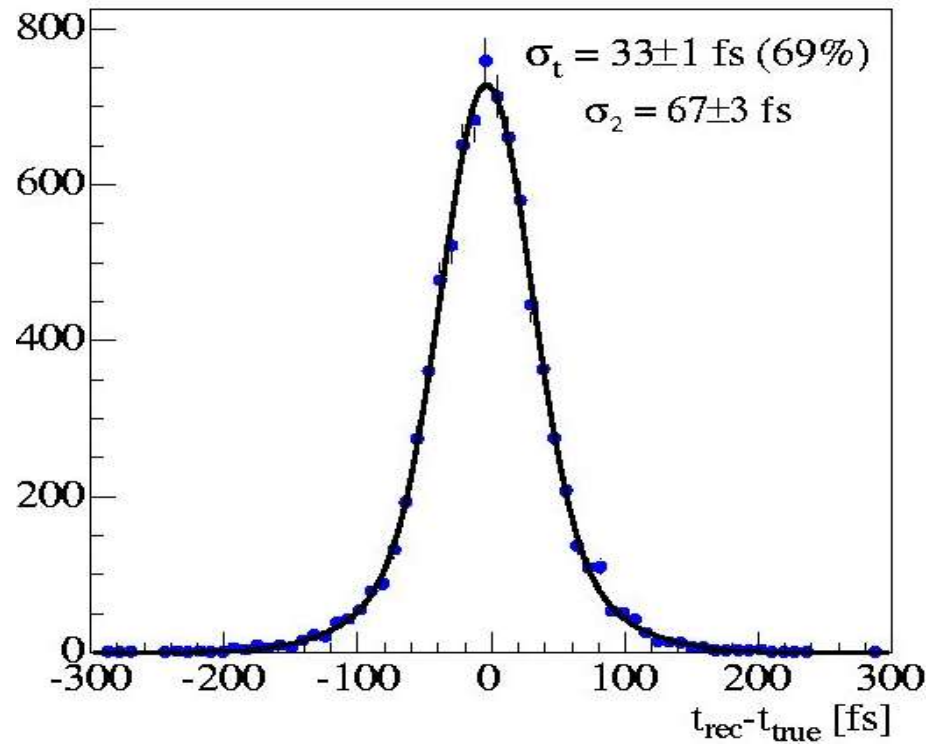
# Le Détecteur de « Vertex » (II)



- Traces produites par la désintégration d'un B :
  - Résolution sur le paramètre d'impact  $\sim 30 \mu\text{m}$
  - Résolution sur l'impulsion des traces de l'ordre de 0.4%

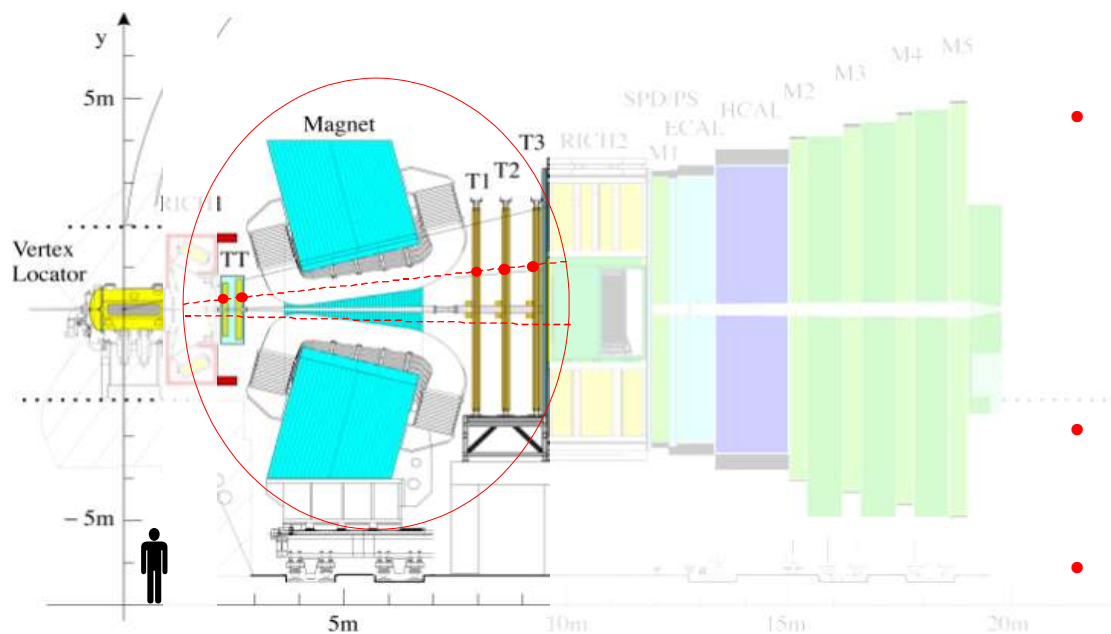
## Le Détecteur de « Vertex » (III)

---



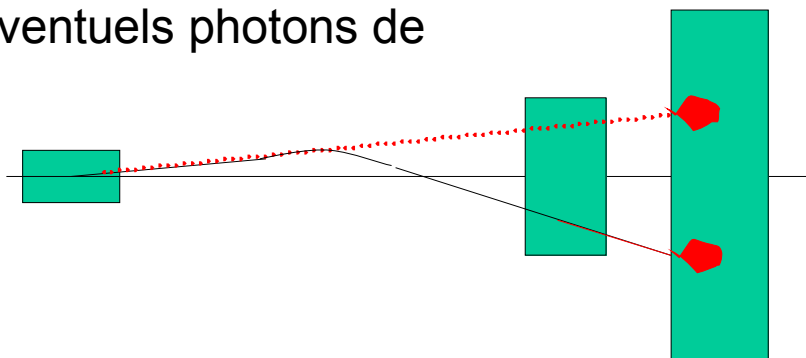
- Résolution sur le temps propre du B :  $\sim 40$  fs ( $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$ )

# La Reconstruction des Traces (I)



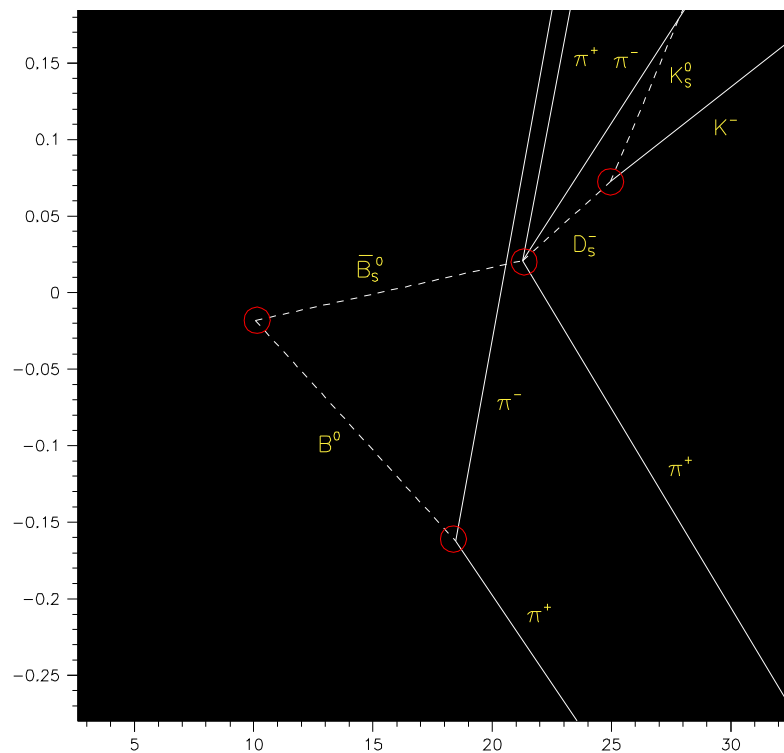
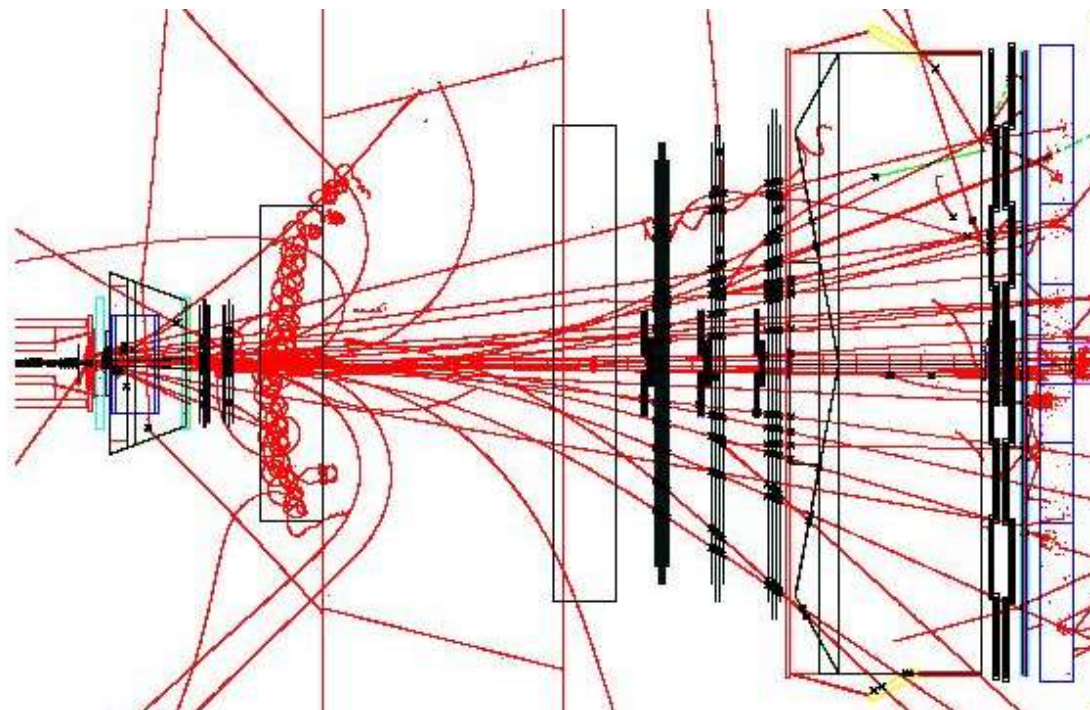
- Aimant
  - $\int B \cdot dl \sim 4 \text{ Tm}$
  - Champ magnétique régulièrement inversé pour réduire les effets systématiques
- Chambres « TT » : Trigger tracker
  - Chambres au Silicium
- Chambres T1, T2 et T3 constituées d'un
  - Inner tracker : silicium
  - Outer tracker : chambres à pailles

- Pas de matière dans le volume de l'aimant :
  - On connaît la position des éventuels photons de Bremstrahlung



# La Reconstruction des Traces (II)

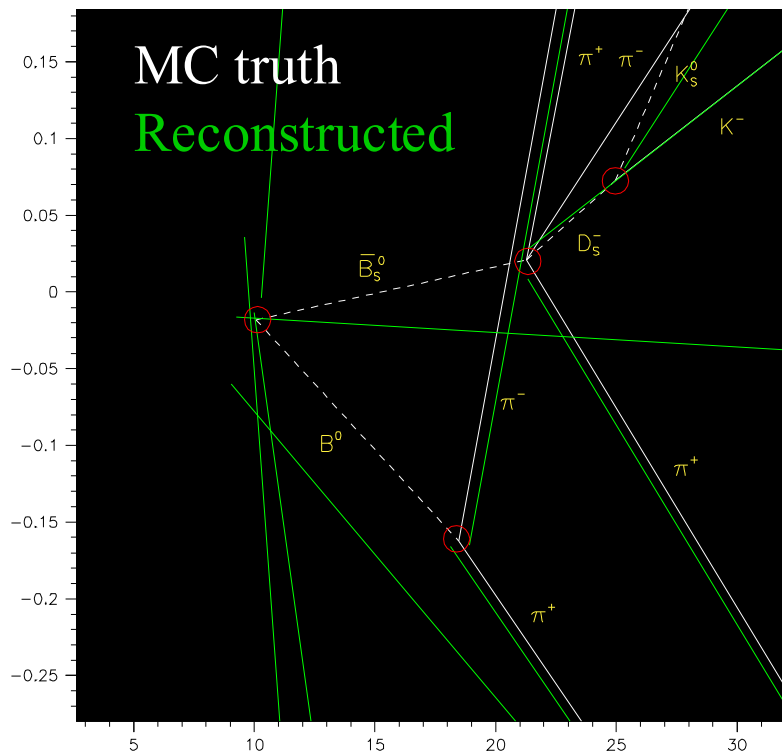
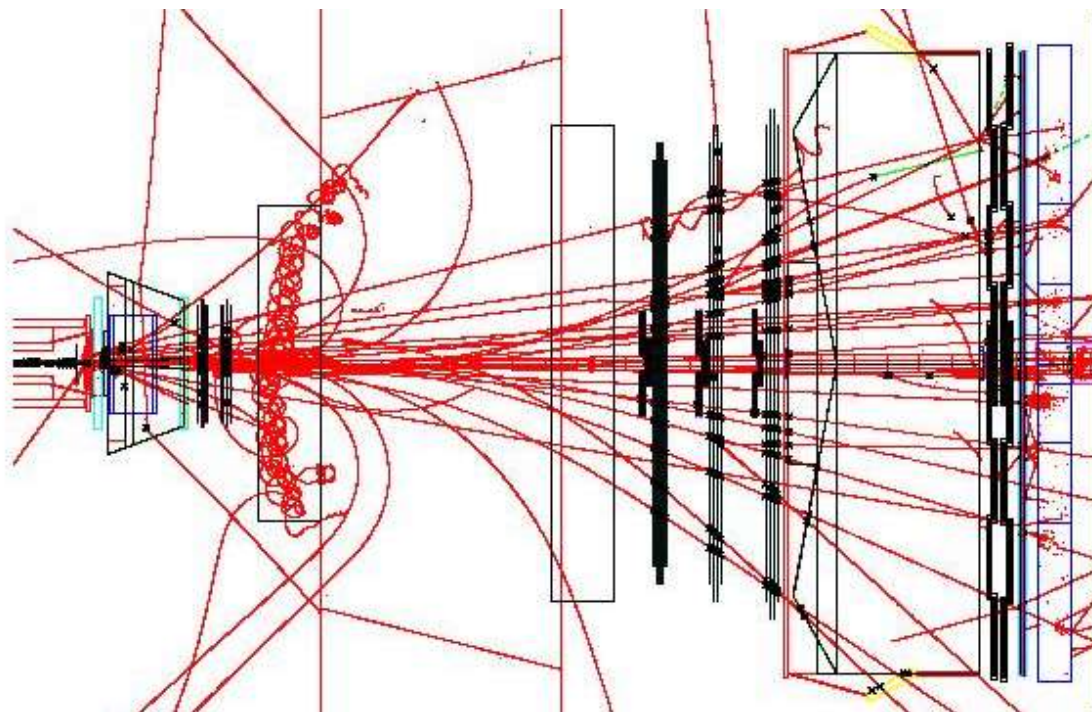
- Multiplicité typique
  - 30 traces longues par evt (full simulation : Pythia + GEANT)



- Longueur de désintégration du B  $\sim 1$  cm

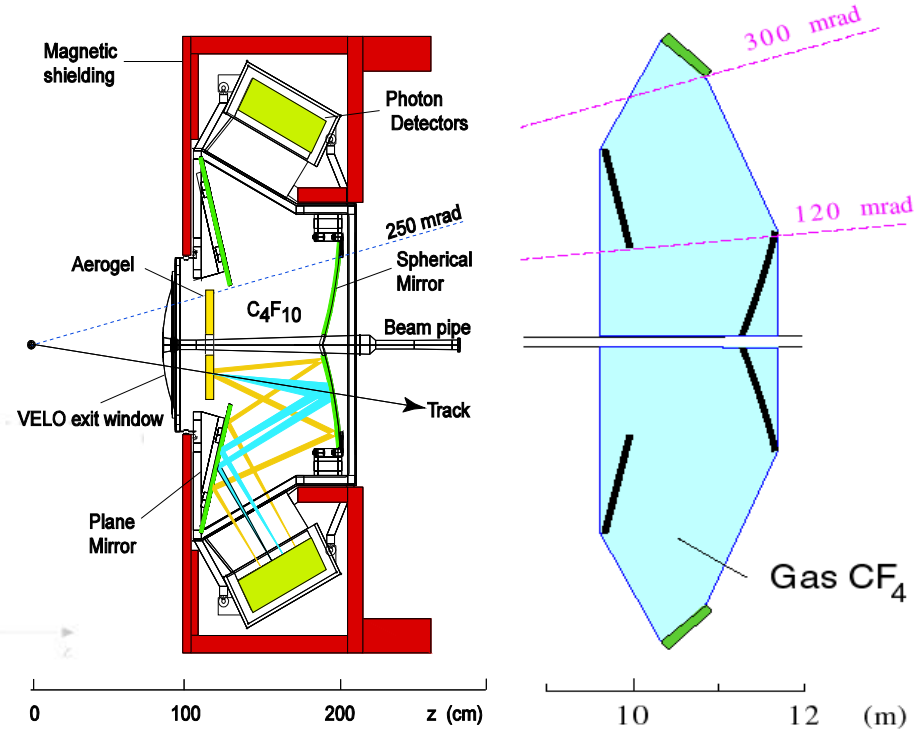
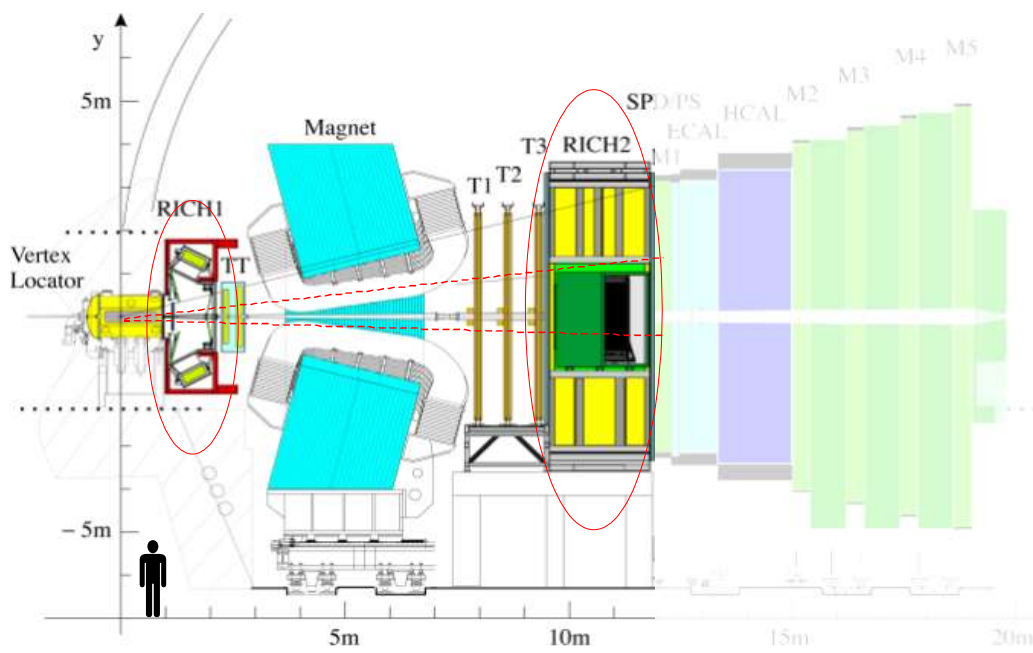
# La Reconstruction des Traces (III)

- Multiplicité typique
  - 30 traces longues par evt (full simulation : Pythia + GEANT)



- Longueur de désintégration du B  $\sim 1$  cm
- ★ Reconstruction des traces : efficacité supérieure à 95% pour les traces de B

# LHCb : L'Identification des Particules



- Photo-détection : HPD

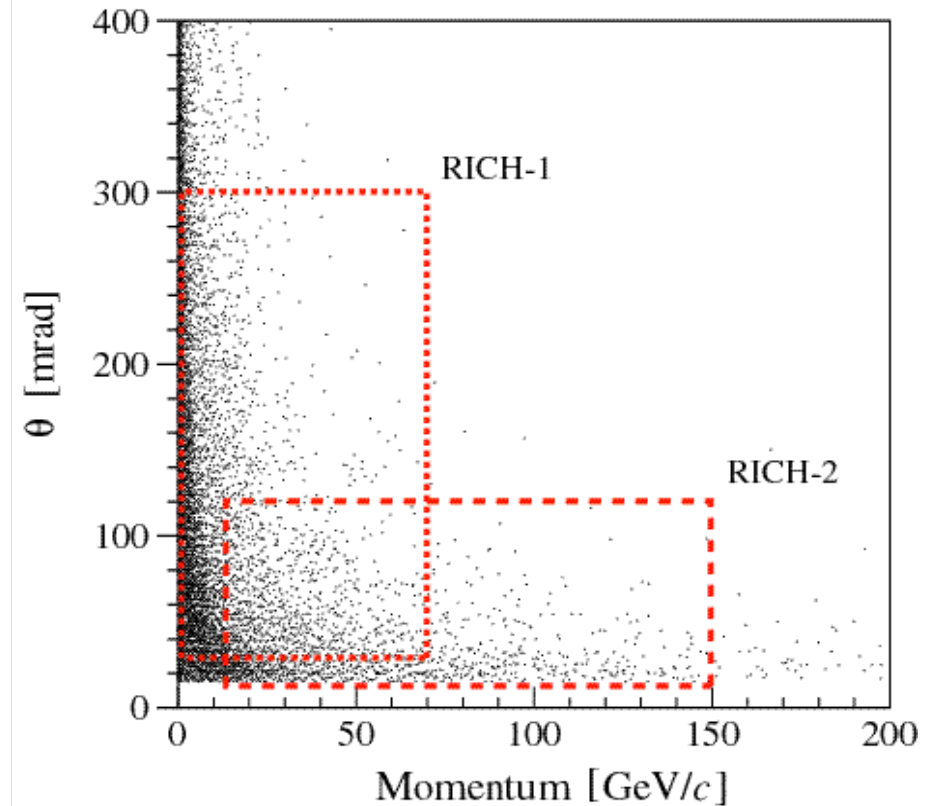
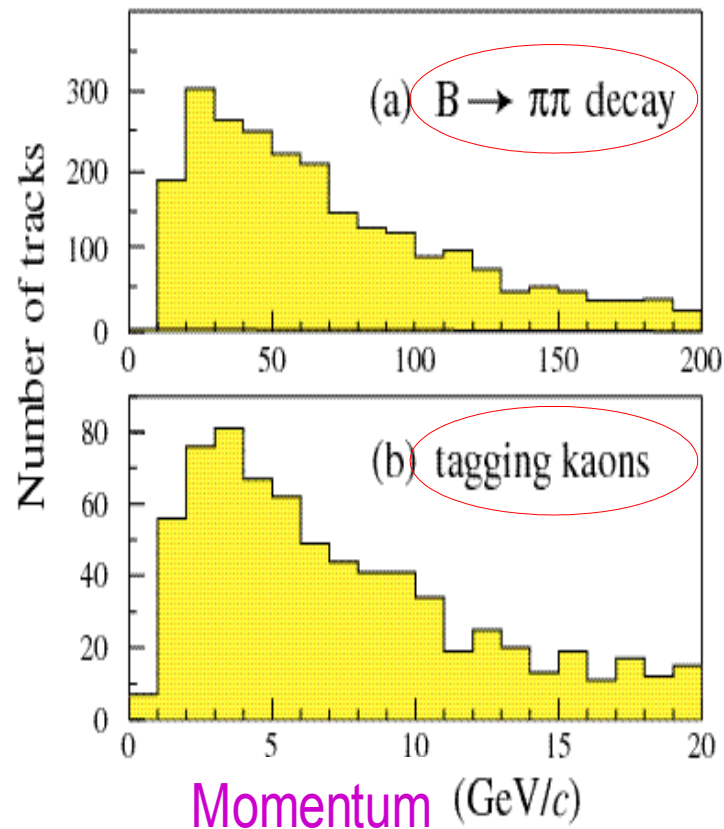
- Identification des particules réalisée par deux détecteurs Cerenkov

- Rich 1
  - ◆ 5 cm d'aerogel
  - ◆ 84 cm de  $C_4F_{10}$
- Rich 2
  - ◆ 2m de  $CF_4$



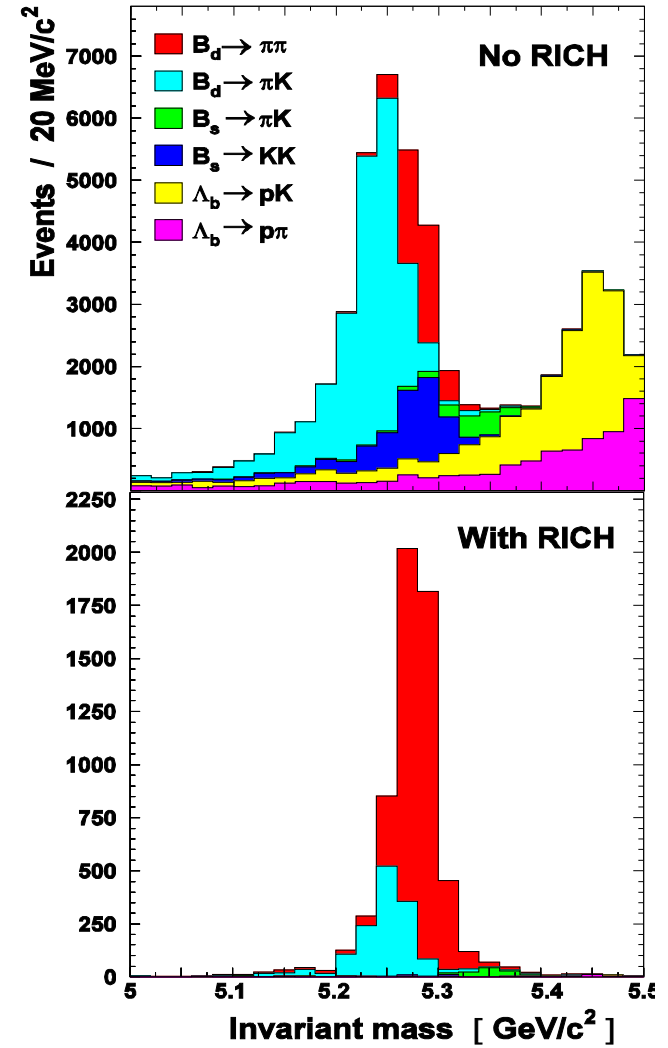
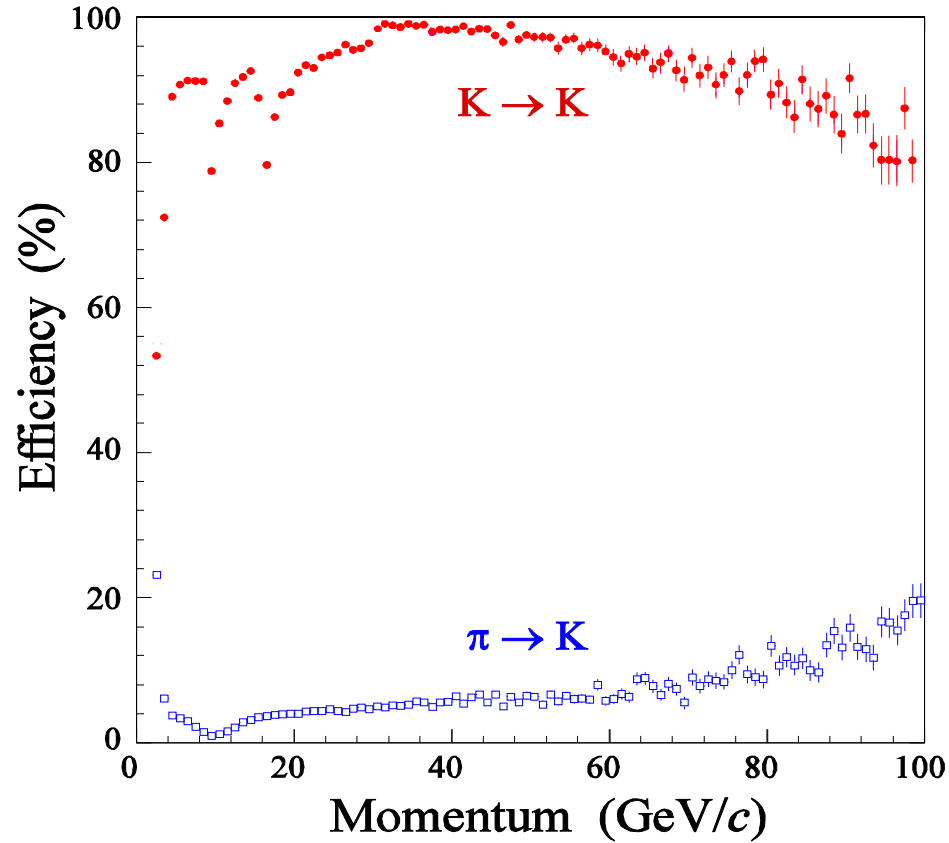
# Complémentarité des RICH1 et RICH2

- Nécessité d'identifier des particules avec des impulsions très différentes

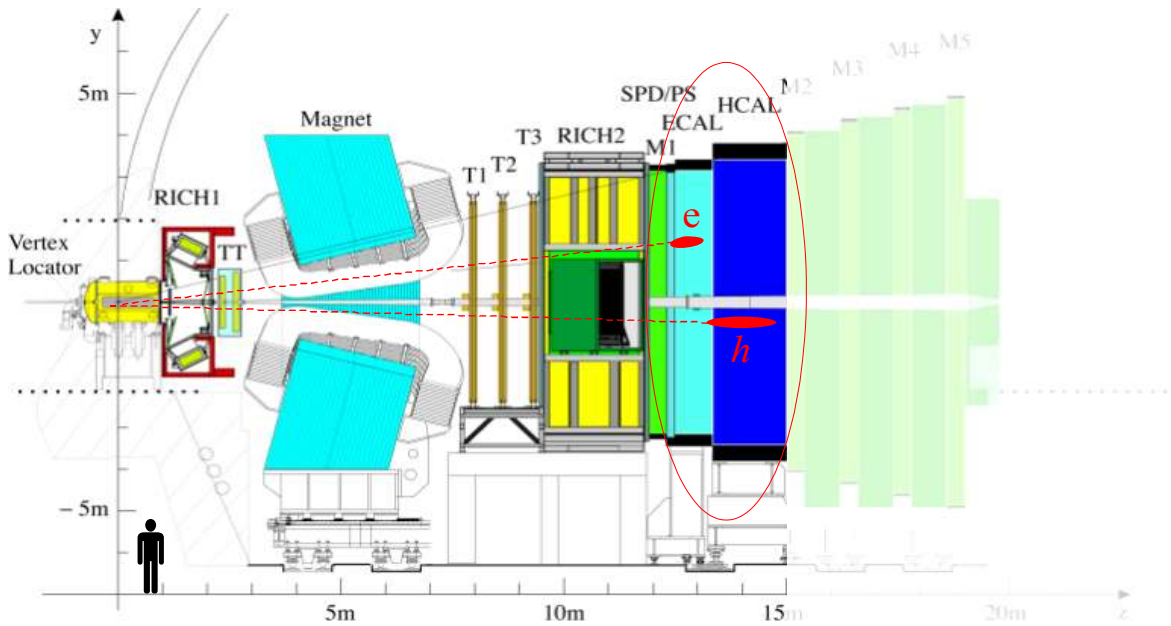




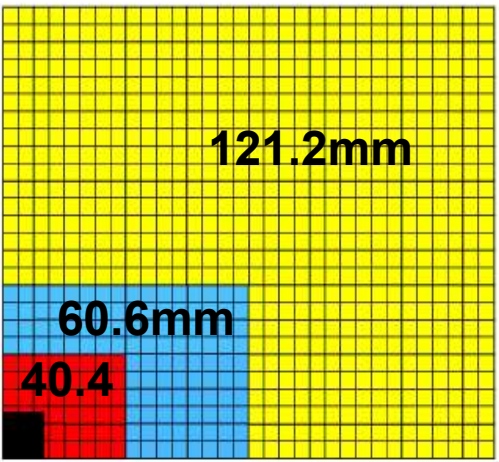
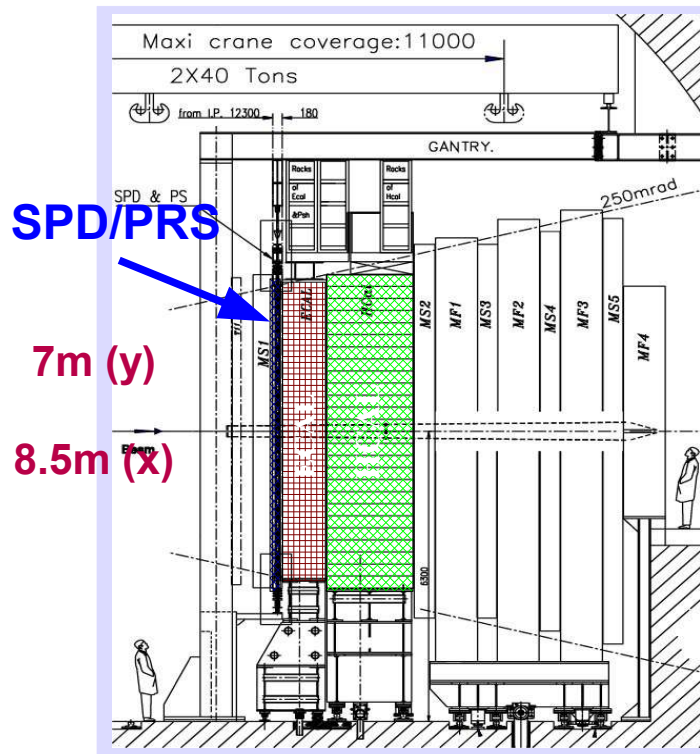
# Identification des Particules



# LHCb : Calorimétrie (I)

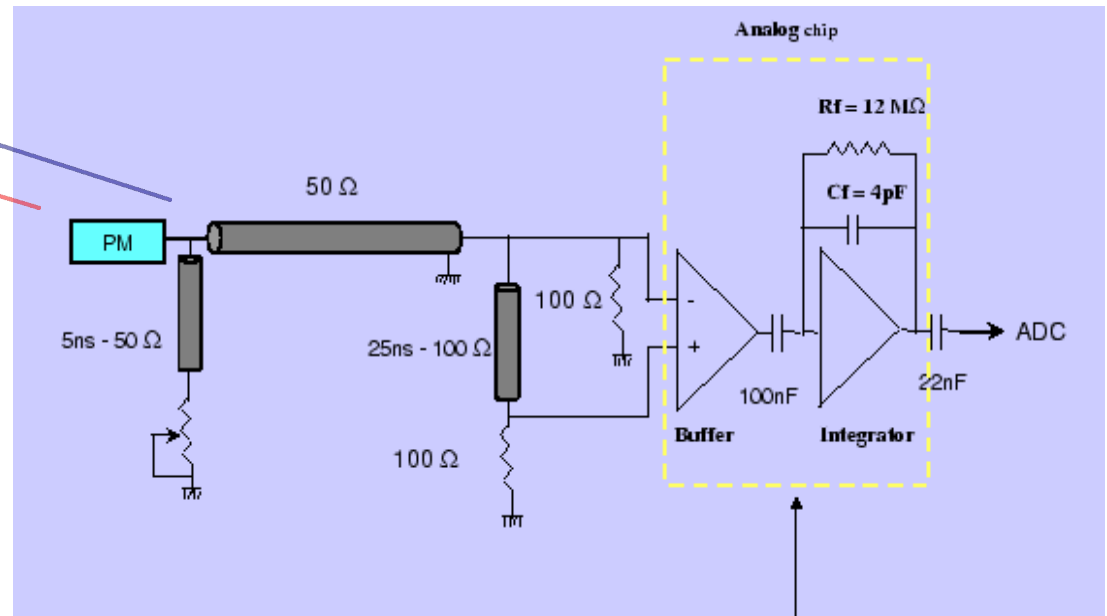
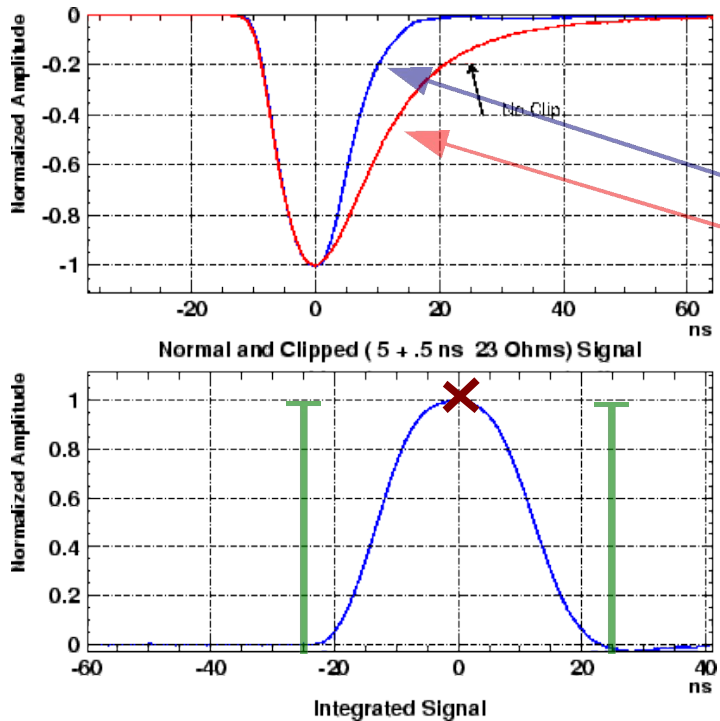
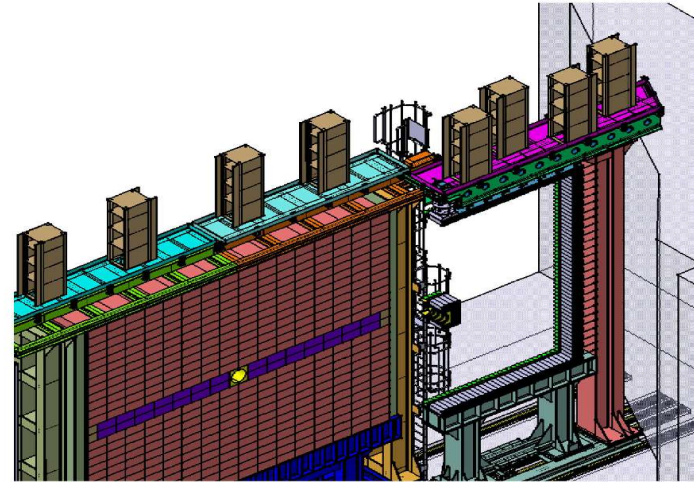


- Identification des hadrons, électrons,  $\gamma$ ,  $\pi^0$
- Mesures des Energies/Positions (impact)
- Déclenchement de Premier niveau
  - Sensible
  - Rapide (40MHz)
- SPD (état de charge)
- PRS (pied de gerbe)
  - Séparation
    - ♦  $\gamma$  / chargés (SPD)
    - ♦ Electron,  $\gamma$  /  $\pi$  (PRS)
    - ♦ Multiplicité chargée (SPD)
- ECAL
  - Et des électrons,  $\gamma$
  - Reconstruction offline des  $\pi^0$
- HCAL
  - Et des Hadrons
  - Identification



# LHCb : Calorimétrie (II)

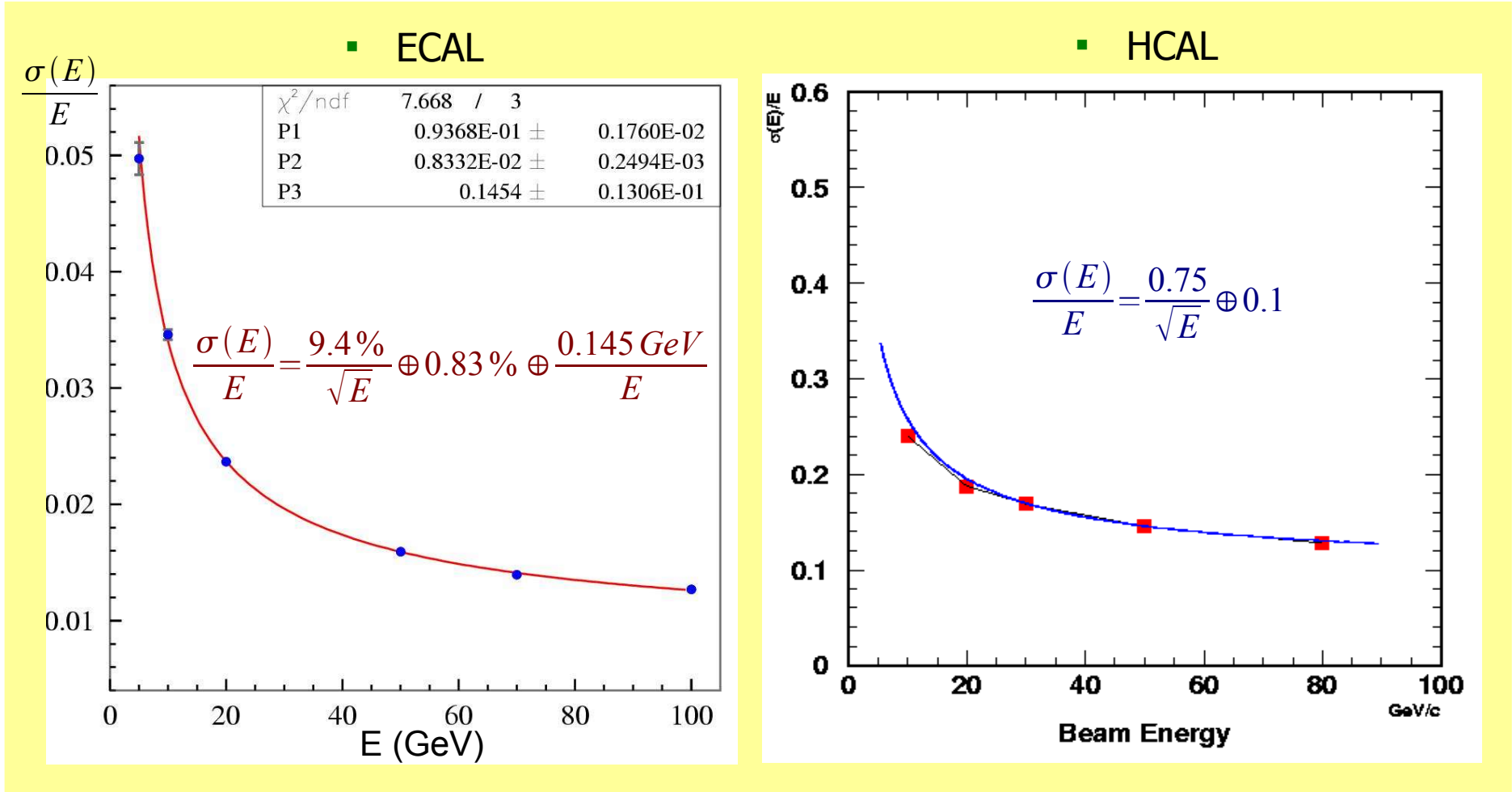
- ECAL : technologie Shashlik
  - Résistant aux radiations
  - Rapide
  - 66 couches : 2mm Pb + 6mm Sc
- HCAL : tuiles
  - Fer + Scintillateur
- Electroniques ECAL/HCAL identiques



BiCMOS 0.8 $\mu$ m Integrated Circuit 27/61  
4 Channels per chip

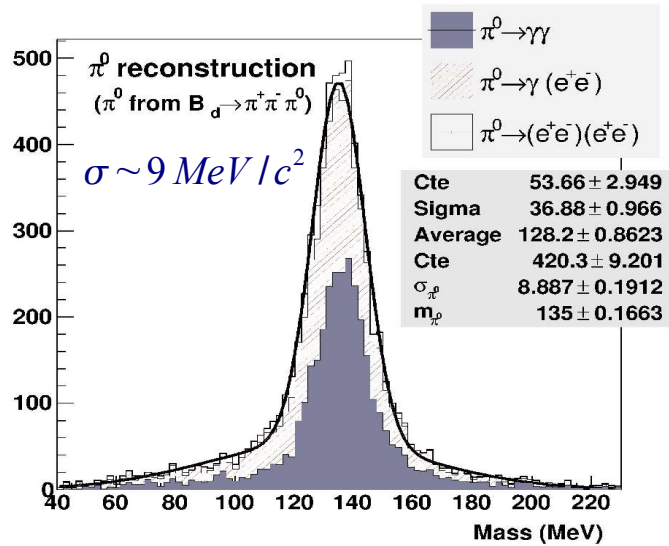
# Résolution des Calorimètres

- Résolution en énergie des modules de série (Faisceau test)

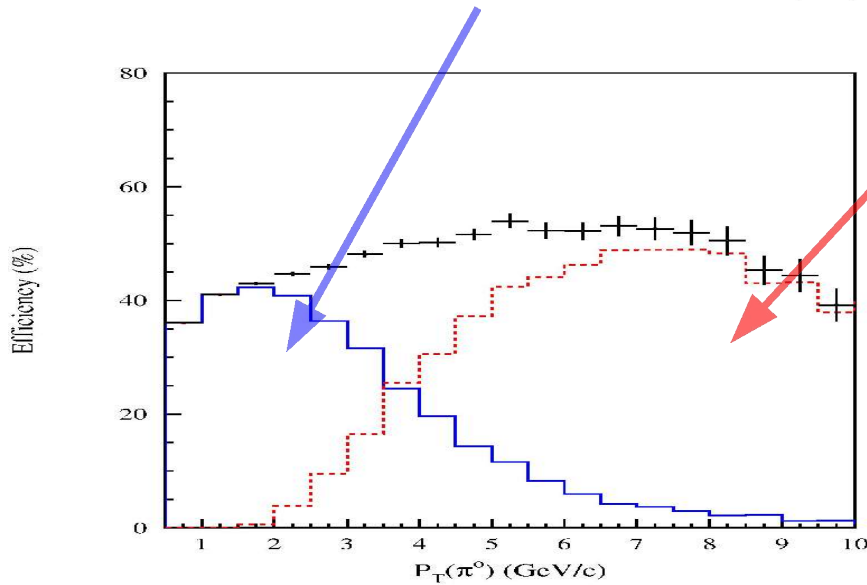
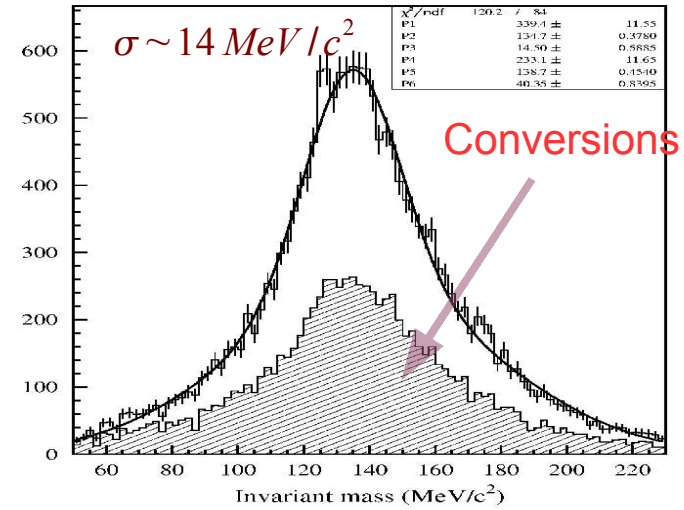


# Reconstruction des Neutres

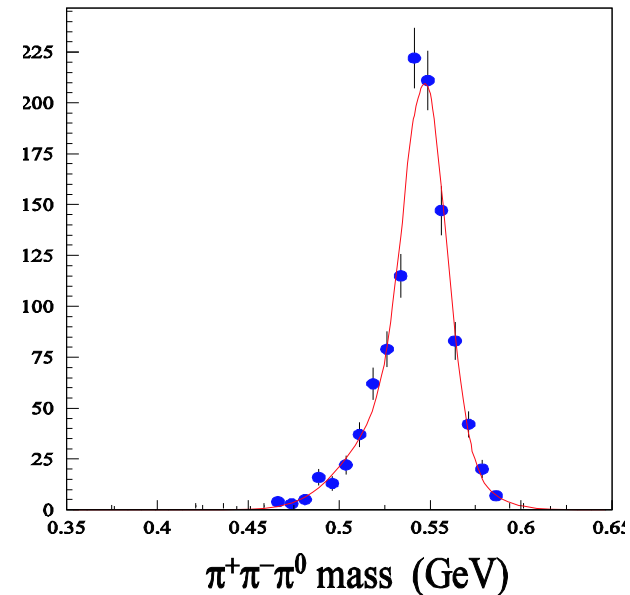
- $\pi^0$  résolus (2 clusters)



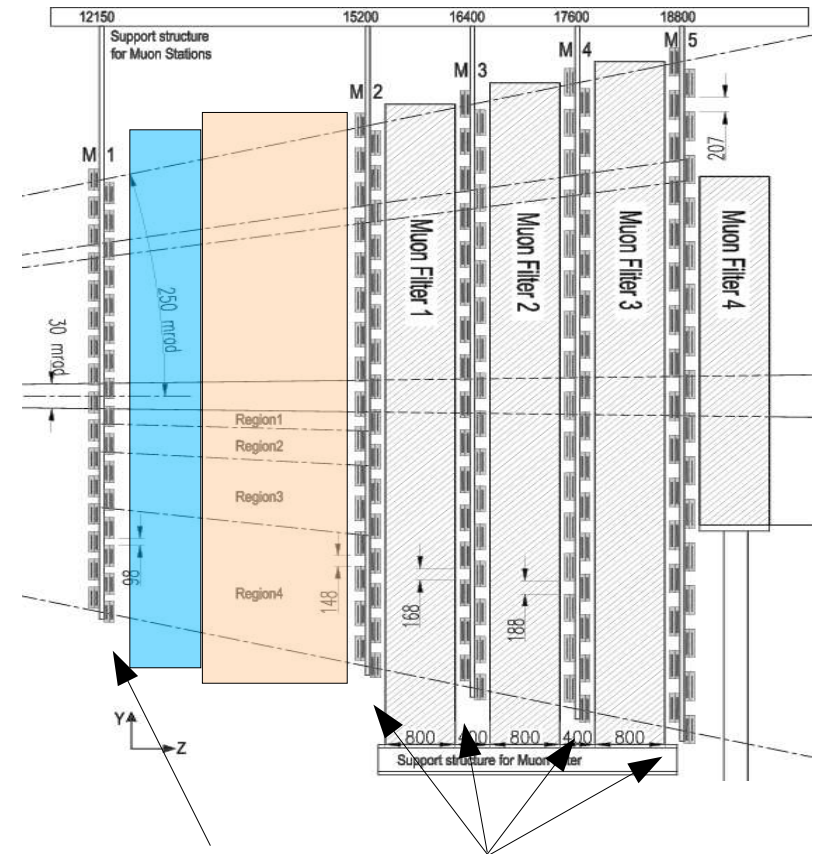
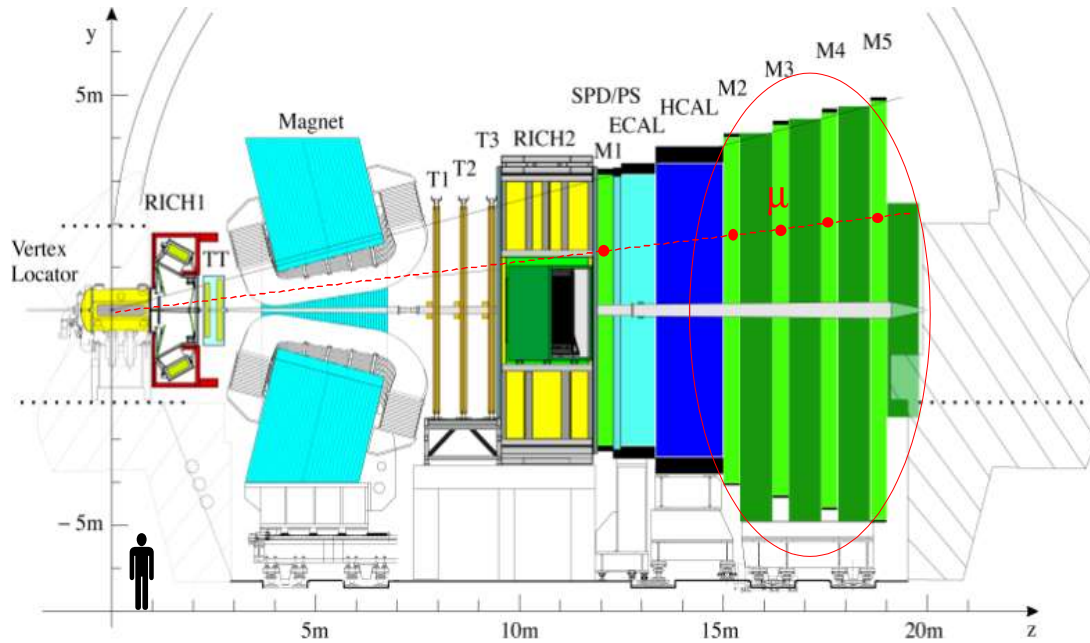
- $\pi^0$  non résolus (1 cluster)



- $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  : résolution  $\sim 12 \text{ MeV}$



# LHCb : Détection et Reconstruction des muons (I)



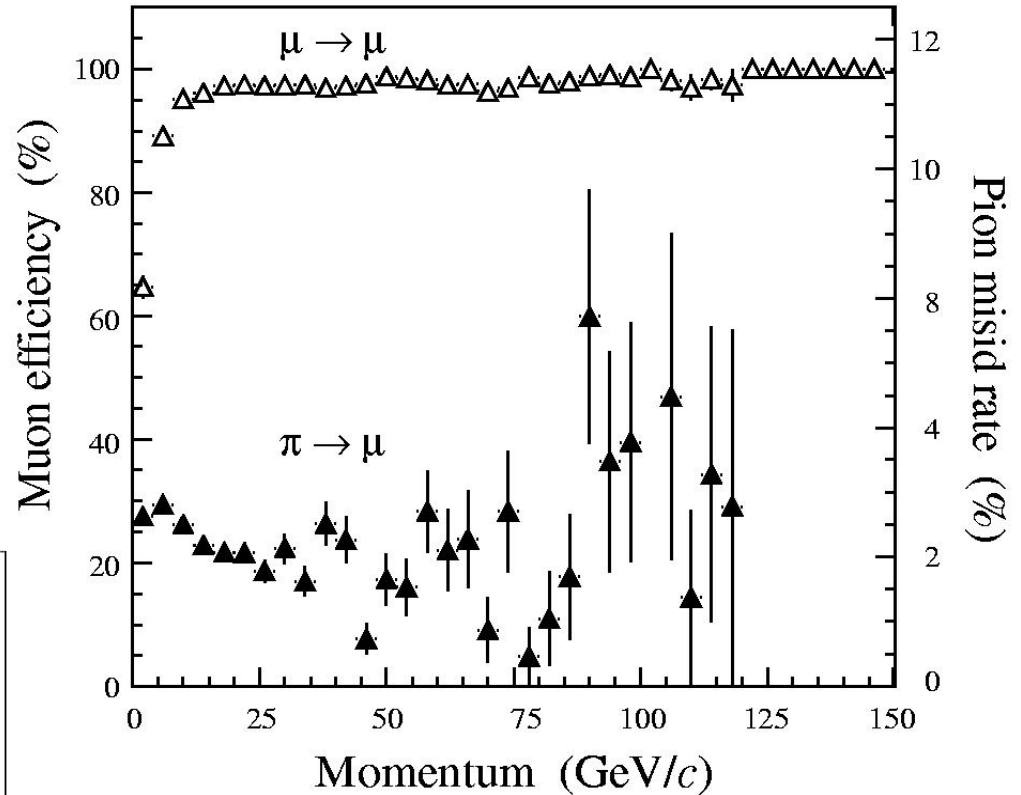
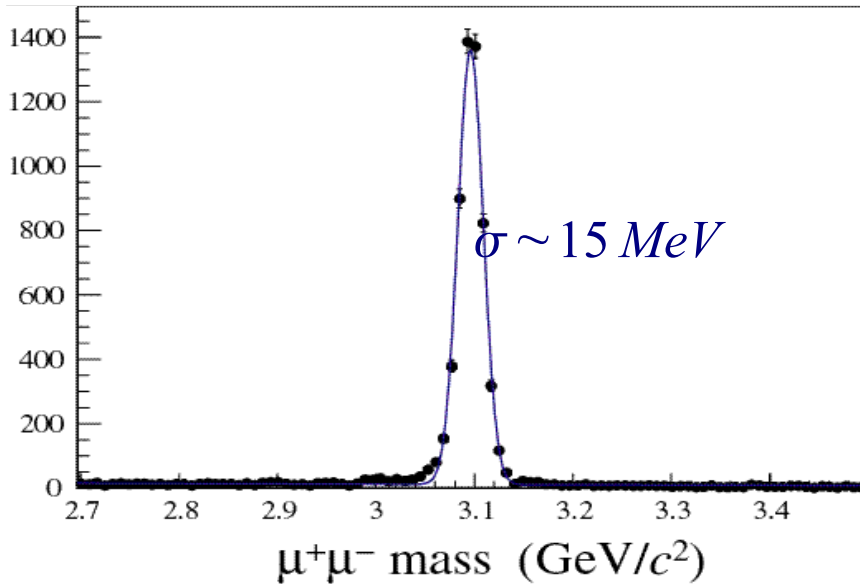
- Contraintes
  - Rapide (déclenchement)
  - Excellente efficacité (à des  $p < 5\text{GeV}/c$ )
  - Résolution  $P_t > 20\%$  (L0)
  - Offline :
    - ♦ Efficacité  $> 90\%$
    - ♦ Mistag  $< 1.5\%$

- Chambres MWPC (Triple GEM : centre)
- Géométrie :
  - 5 Chambres, projectives
  - 1x2 et 4x4 couches de détection

# LHCb : Détection et Reconstruction des muons (II)

- Performances (Muons seuls)
  - $\epsilon(\mu)=94.3\%$
  - $\epsilon(\pi\rightarrow\mu)=2.9\%$
- Combinaison Muons+Calo+Rich
  - $\epsilon(\mu)=93\%$
  - $\epsilon(\pi\rightarrow\mu)=1\%$

$J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$       ( $B_s^0 \rightarrow J/\Psi \Phi$ )



# Déclenchement

40 MHz

Level-0 :  
 $\mu, e, \gamma, h$  de Gd Pt  
 Pile-up veto  
 Déclenchement « Hardware » (4 $\mu$ s)

1 MHz

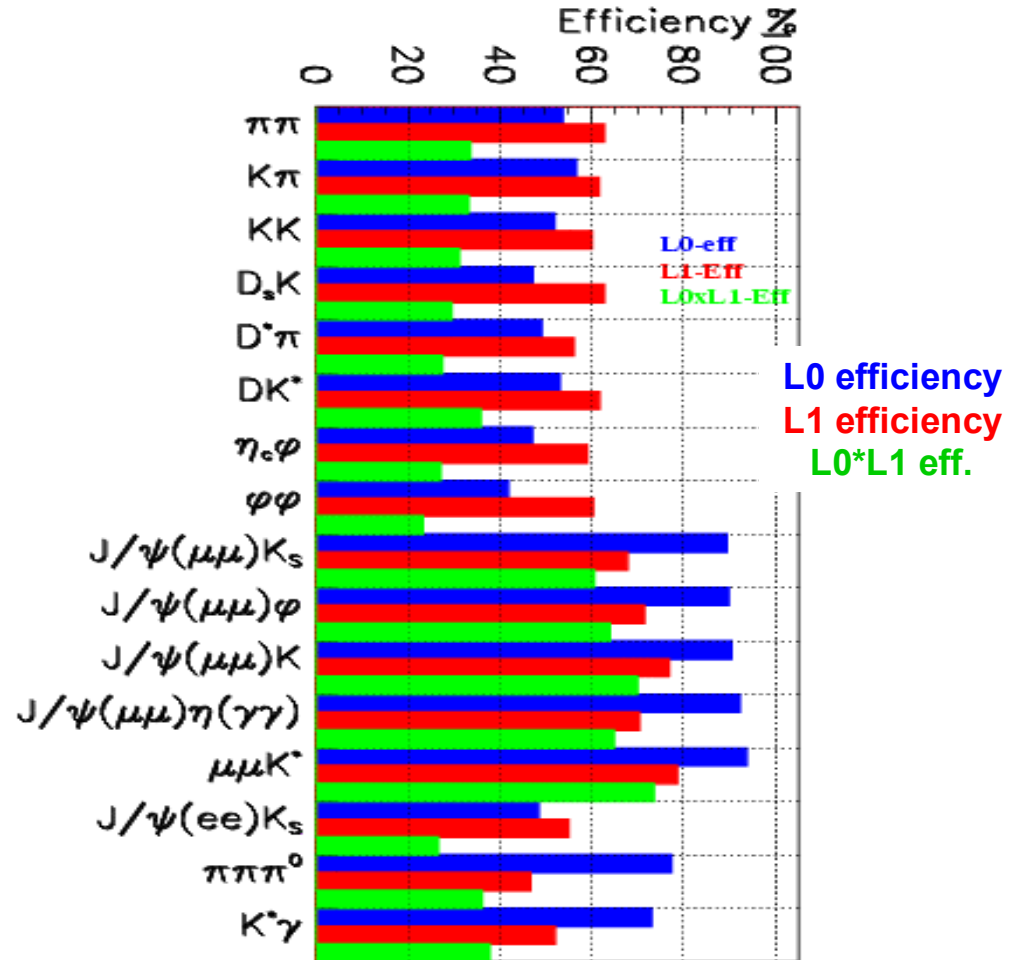
Level-1 :  
 Gd Paramètre d'impact  
 Gd Pt  
 Déclenchement « Software » (1ms)

40 kHz

HLT (High Level Trigger) :  
 Événement complet  
 Déclenchement « Software » (10ms)

200 Hz + 1.8kHz

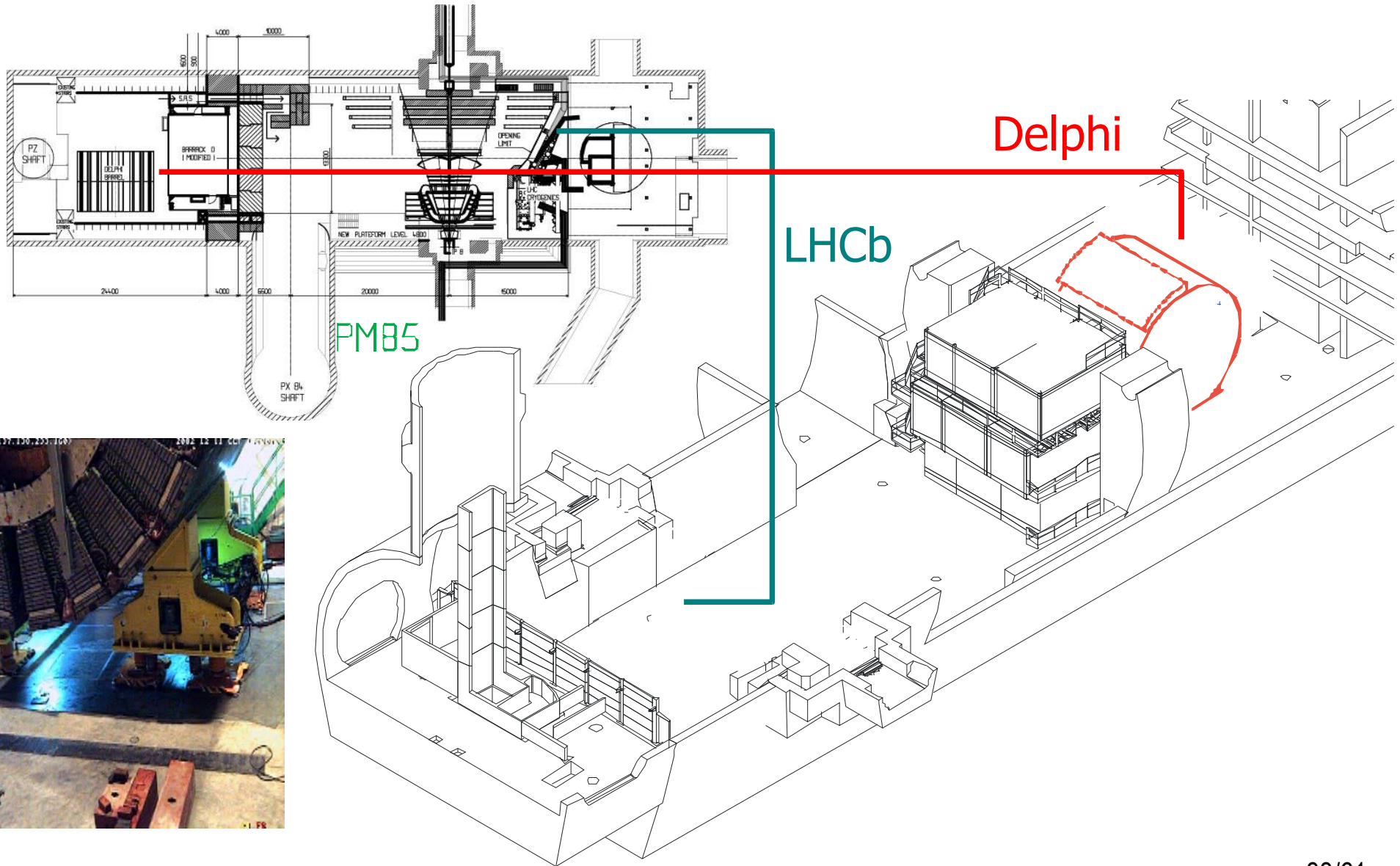
Bande passante HLT	Type d'événement	Calibration	Physique
200 Hz	Candidats B (exclusif)	Etiquetage	Programme de physique du B
600 Hz	Di-muons de grande masse	Tracking	$J/\psi, b \rightarrow J/\psi X$ (non biaisé)
300 Hz	Candidats $D^*$	PID	Physique du Charme (mixing, CPV)
900 Hz	B inclusif (par ex. $b \rightarrow \mu$ )	Déclenchement	Physique du B





# Installation de l'Expérience (I)

- LHCb installé dans le puits de l'expérience Delphi

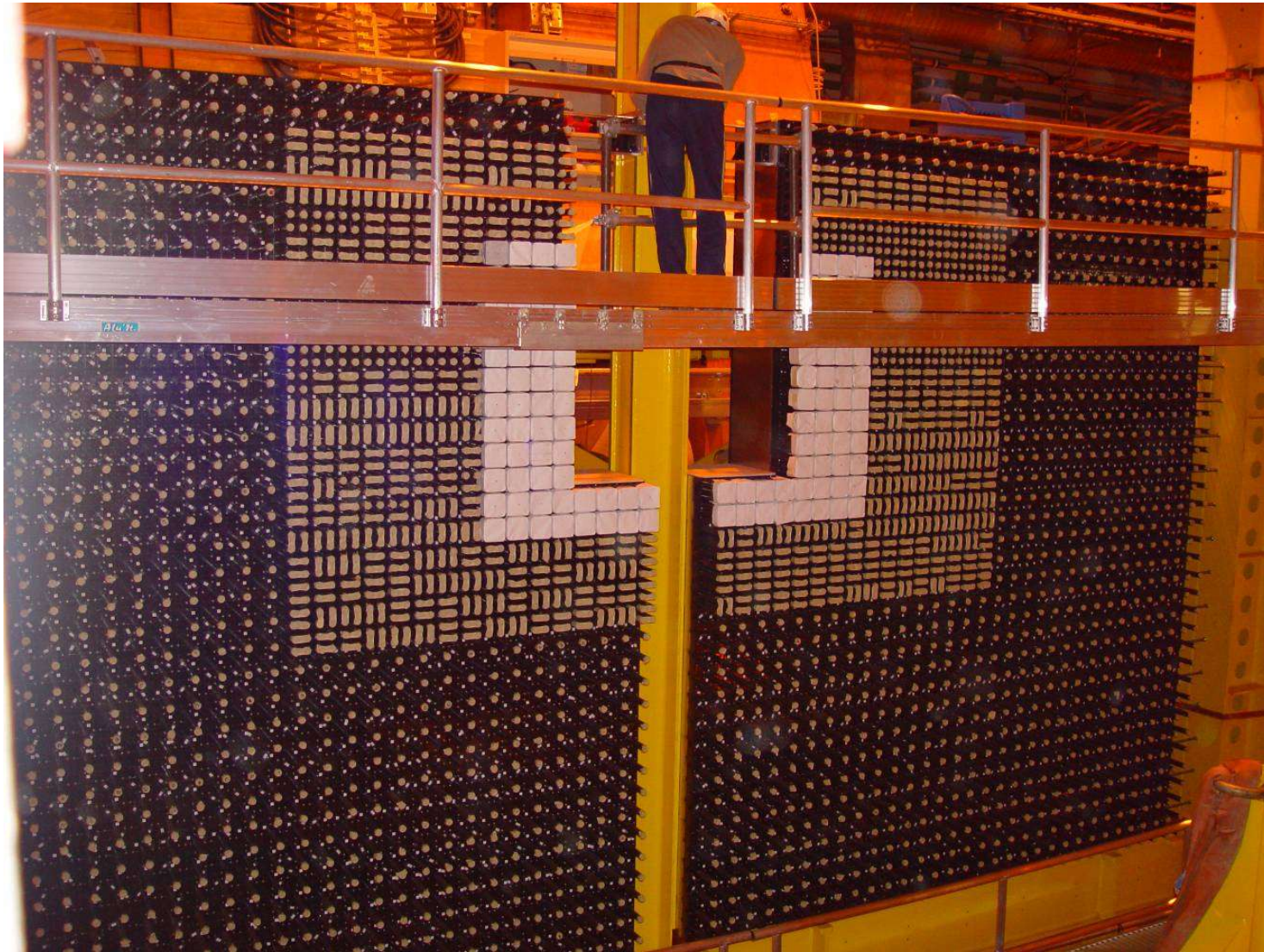


# Installation de l'Expérience (II) : 4 mars 2005



# Installation de l'Expérience (III) : ECAL

---



# Installation de l'Expérience (IV) : ECAL

---



# Installation de l'Expérience (V) : HCAL

---



# Installation de l'Expérience : Vendredi 29 Avril

---



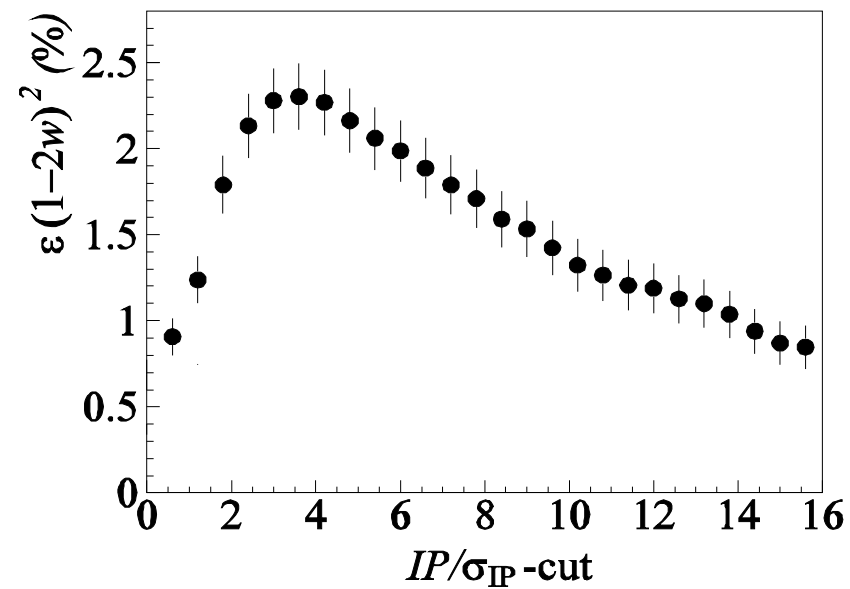
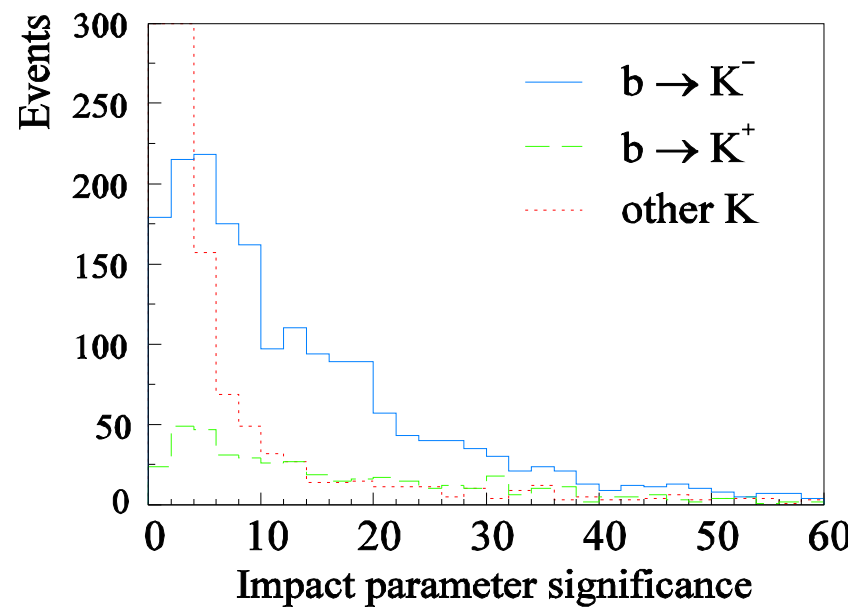
# Etiquetage de la Saveur

Tagging power  $\epsilon D^2 = \epsilon(1-2w)^2$  (in %)

- Etiquetage
  - « opposite side »
    - ♦ Lepton, K+/- : chaîne  $b \rightarrow c \rightarrow s$ , charge
  - « same side »

Tag	$\epsilon D^2 = \epsilon(1-2w)^2$ (%)
Muon	1.0
Electron	0.4
Kaon	2.4
Jet/Vertex charge	1.0
« Same side »	2.1

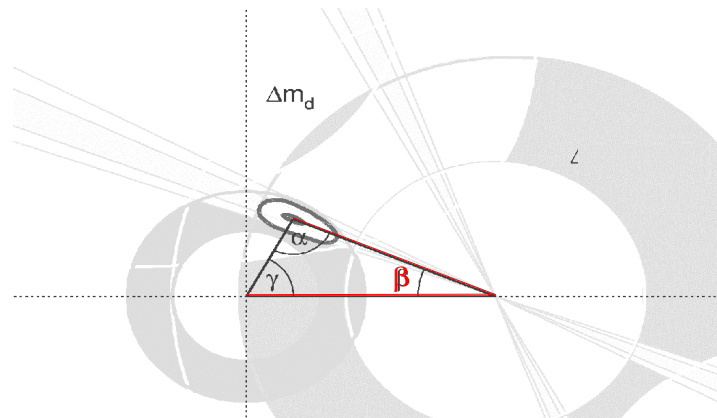
- Etiquetage « Same side » pour le  $B_s$  :  $\epsilon_{\text{eff}} \sim 6\%$ 
  - CDF/D0 :  $\epsilon_{\text{eff}} \sim 1\%$
  - B Factories :  $\epsilon_{\text{eff}} \sim 30\%$
- Etiquetage pour le  $B_d \sim 4\%$
- Nouvelle méthode « Neural net » :  $\epsilon_{\text{eff}}(B_s) \sim 9\%$



---

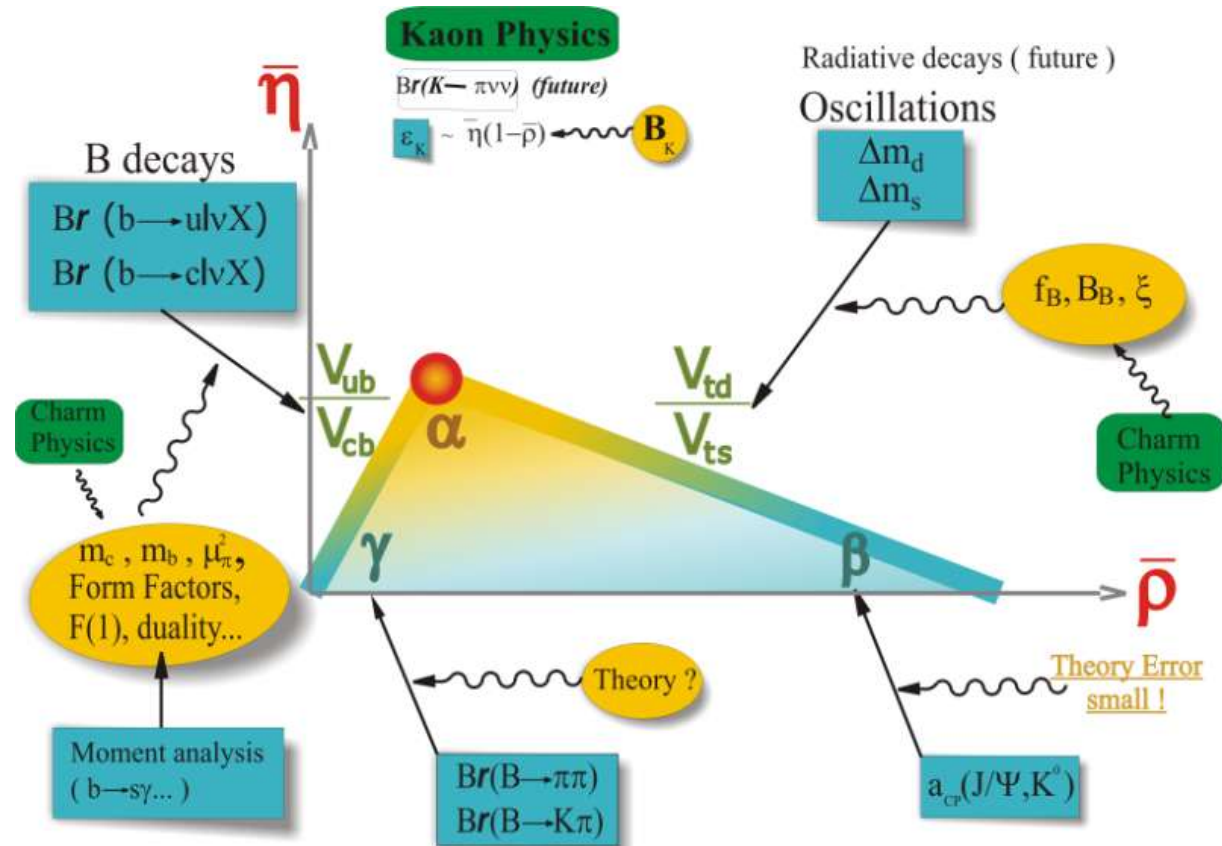
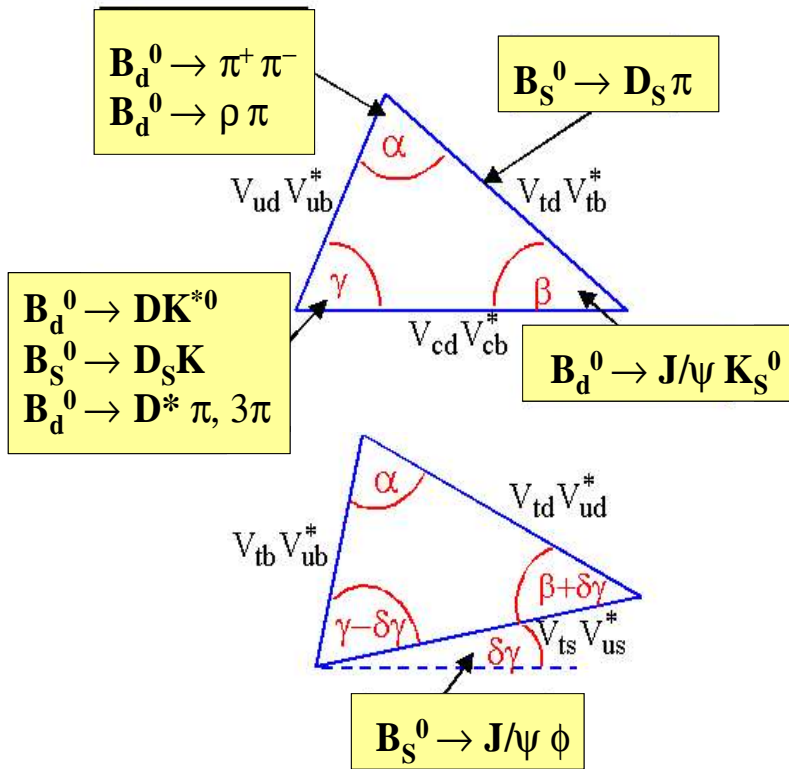
# Le Programme de Physique

- Oscillations du  $B_s$
- Mesure précise du Triangle d'Unitarité
- Recherche de Nouvelle Physique dans les canaux rares



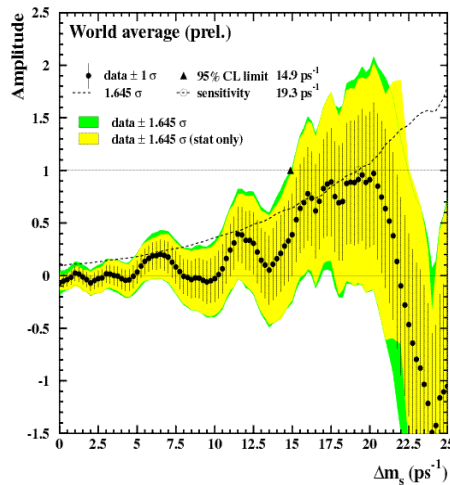


# Triangle d'unitarité



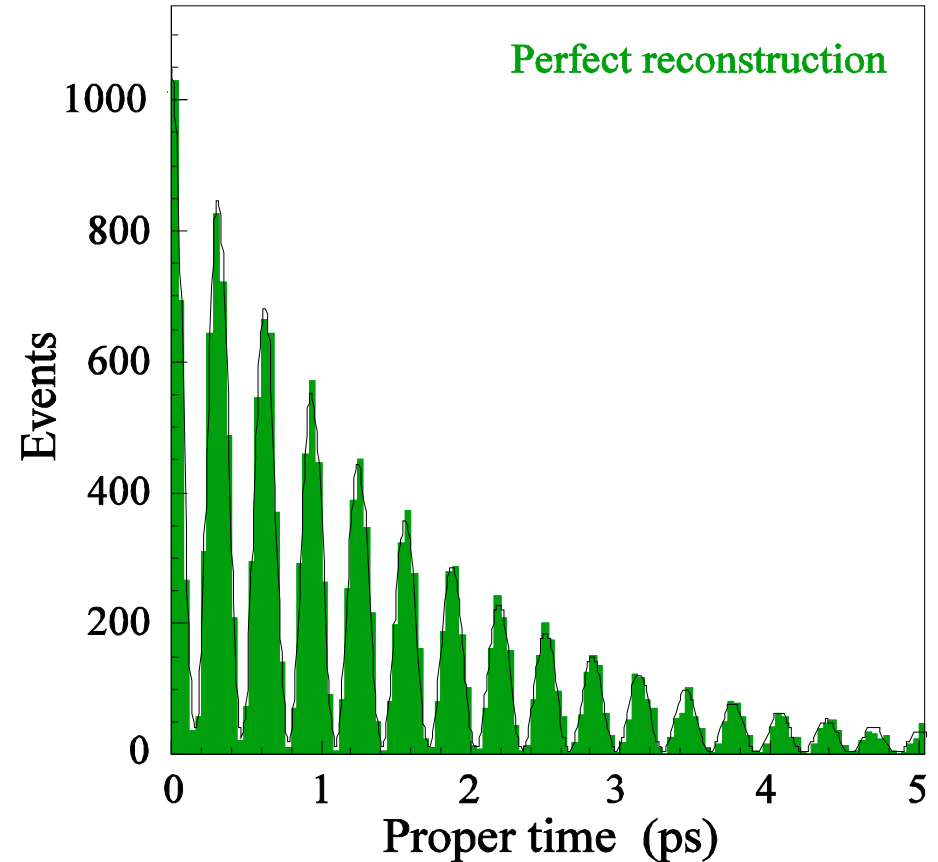
# Oscillation du $B_s$

- Sur LHCb toutes les types de « B » sont produits :
  - $B^0$ ,  $B^{+/-}$ ,  $B_s$ ,  $B_c$ , b-baryons
  - Fractions : 40, 40, 10, 0.1 et 10%
- La mesure des oscillations des  $B_s$  est l'un des premiers buts
  - LEP + SLD :  $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



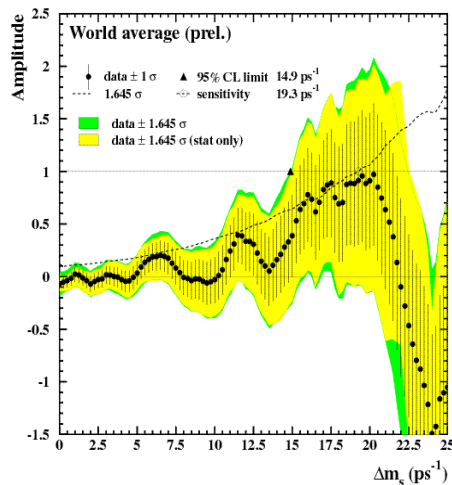
- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple  $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$ 
  - ♦  $D_s^- \rightarrow \phi \pi^-$ ,  $\phi \rightarrow K^+ K^-$
  - ♦ 80000 evts, B/S  $\sim 0.32$

1 année,  $\Delta m_s = 20 \text{ ps}^{-1}$



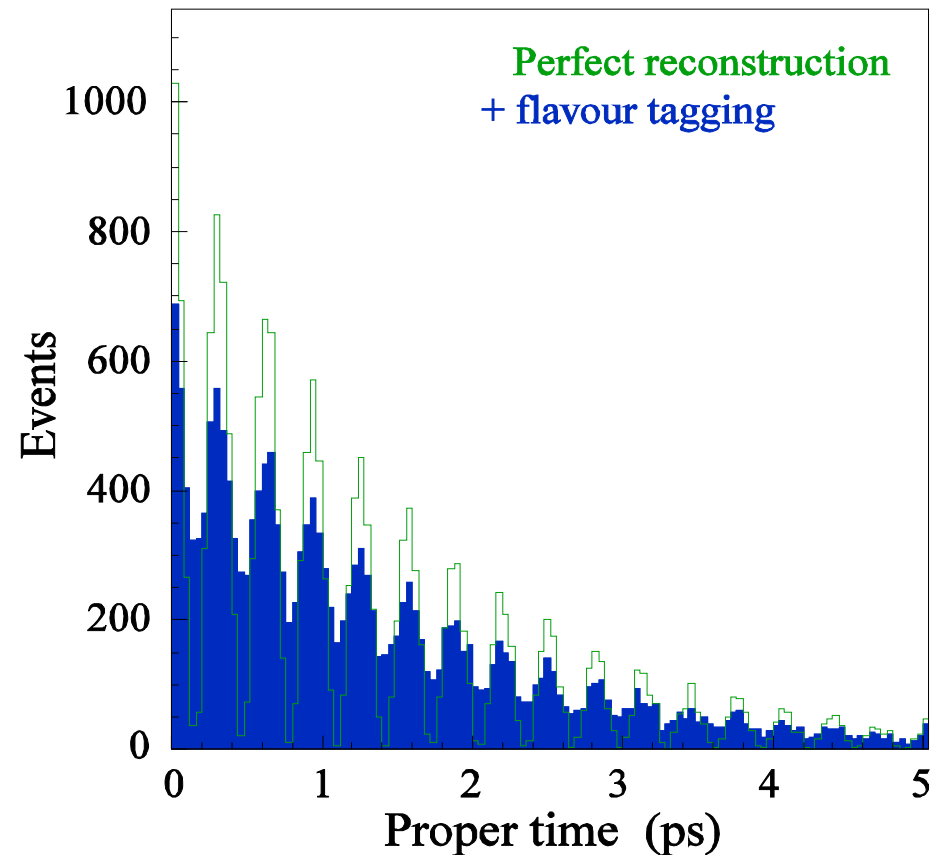
# Oscillation du $B_s$

- Sur LHCb toutes les types de « B » sont produits :
  - $B_0, B^{+/-}, B_s, B_c, b$ -baryons
  - Fractions : 40, 40, 10, 0.1 et 10%
- La mesure des oscillations des  $B_s$  est l'un des premiers buts
  - LEP + SLD :  $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



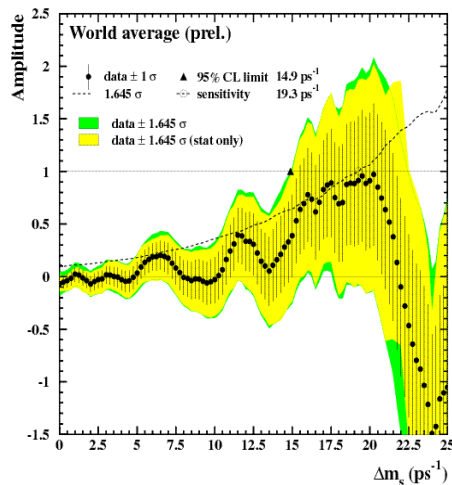
- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple  $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$ 
  - ♦  $D_s \rightarrow \phi \pi^-, \phi \rightarrow K^+ K^-$
  - ♦ 80000 evts, B/S  $\sim 0.32$

1 année,  $\Delta m_s = 20 \text{ ps}^{-1}$



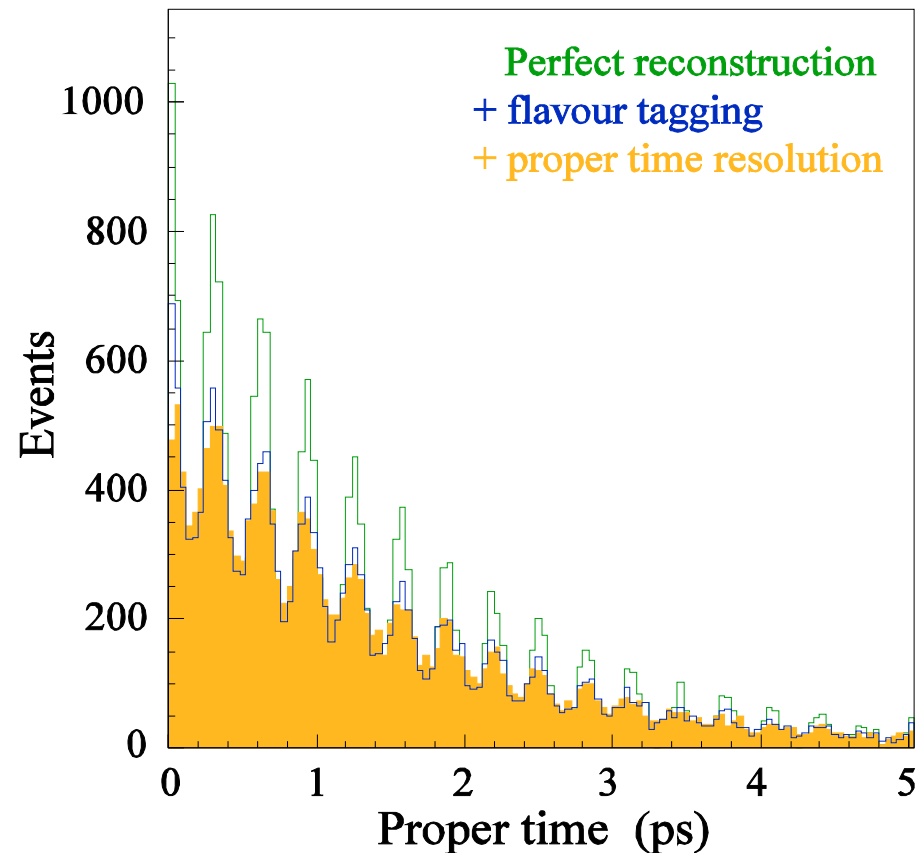
# Oscillation du $B_s$

- Sur LHCb toutes les types de « B » sont produits :
  - $B_0, B^{+/-}, B_s, B_c, b$ -baryons
  - Fractions : 40, 40, 10, 0.1 et 10%
- La mesure des oscillations des  $B_s$  est l'un des premiers buts
  - LEP + SLD :  $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



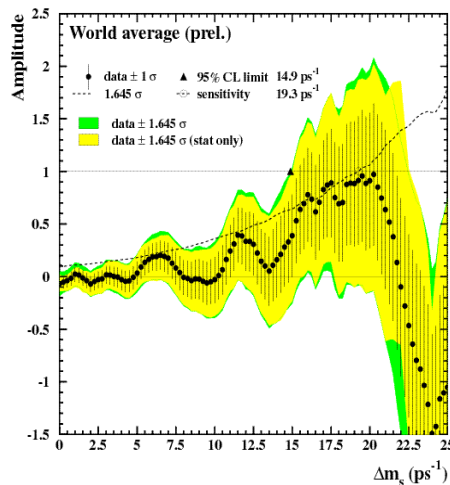
- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple  $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$ 
  - ♦  $D_s \rightarrow \phi \pi^-, \phi \rightarrow K^+ K^-$
  - ♦ 80000 evts,  $B/S \sim 0.32$

1 année,  $\Delta m_s = 20 \text{ ps}^{-1}$



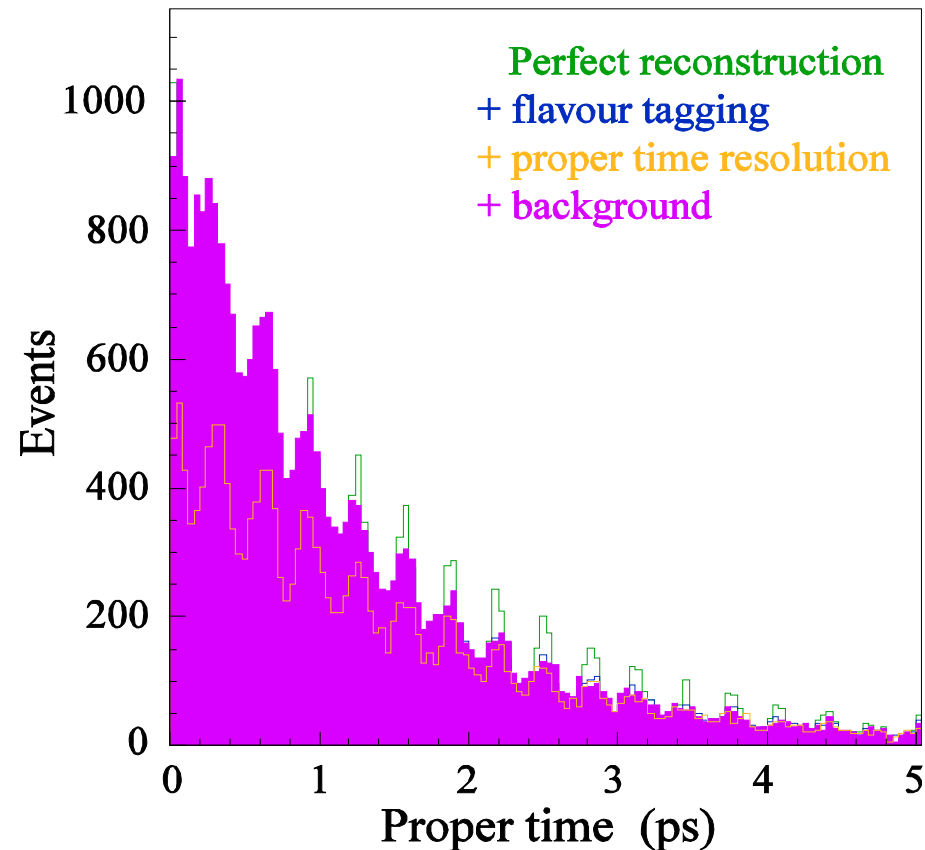
# Oscillation du $B_s$

- Sur LHCb toutes les types de « B » sont produits :
  - $B_0, B^{+/-}, B_s, B_c, b$ -baryons
  - Fractions : 40, 40, 10, 0.1 et 10%
- La mesure des oscillations des  $B_s$  est l'un des premiers buts
  - LEP + SLD :  $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



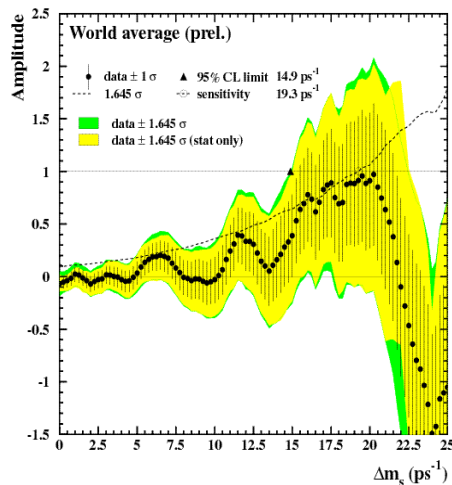
- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple  $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$ 
  - ♦  $D_s \rightarrow \phi \pi^-, \phi \rightarrow K^+ K^-$
  - ♦ 80000 evts, B/S  $\sim 0.32$

1 année,  $\Delta m_s = 20 \text{ ps}^{-1}$



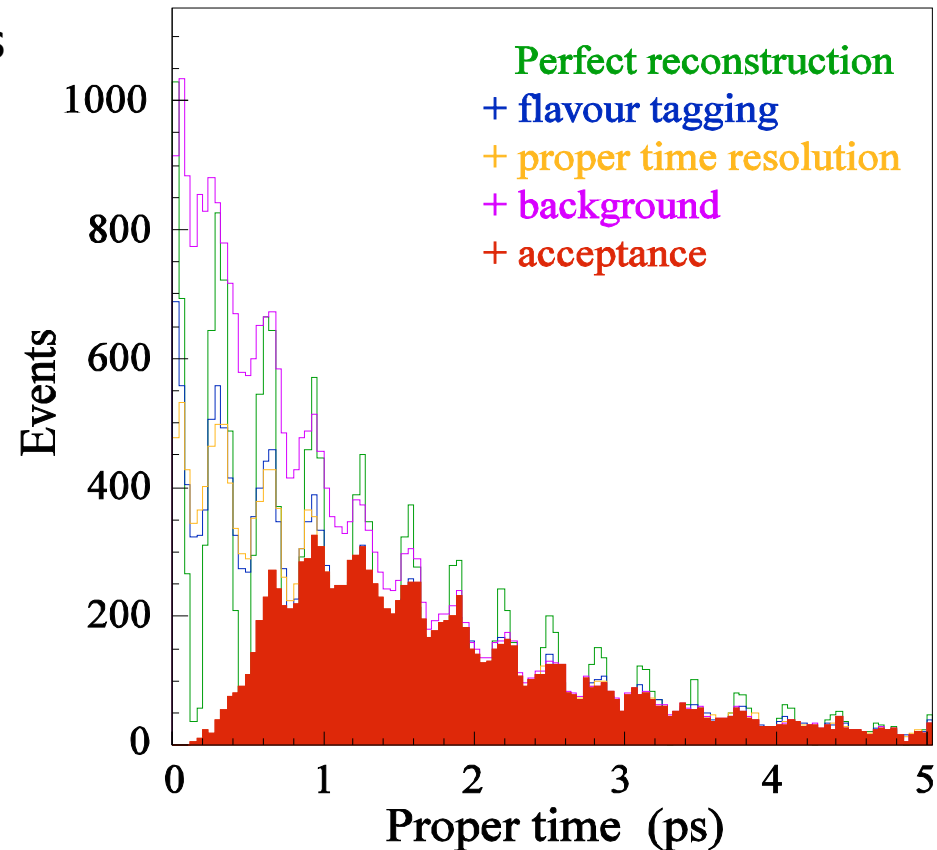
# Oscillation du $B_s$

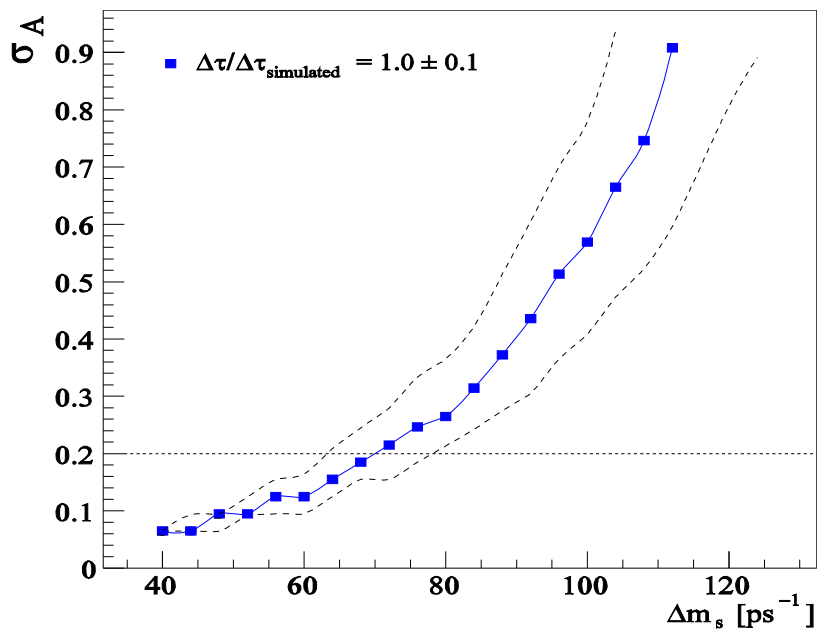
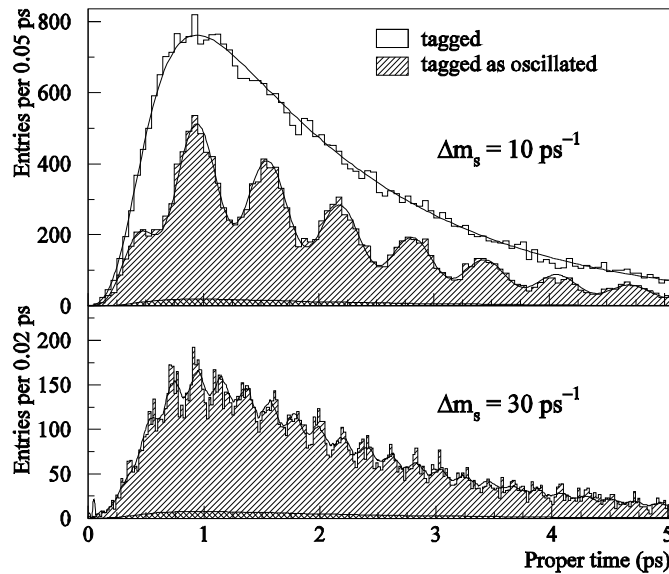
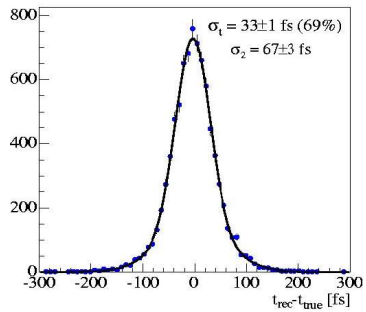
- Sur LHCb toutes les types de « B » sont produits :
  - $B_0, B^{+/-}, B_s, B_c, b$ -baryons
  - Fractions : 40, 40, 10, 0.1 et 10%
- La mesure des oscillations des  $B_s$  est l'un des premiers buts
  - LEP + SLD :  $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple  $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$ 
  - ♦  $D_s \rightarrow \phi \pi^-, \phi \rightarrow K^+ K^-$
  - ♦ 80000 evts, B/S  $\sim 0.32$

1 année,  $\Delta m_s = 20 \text{ ps}^{-1}$

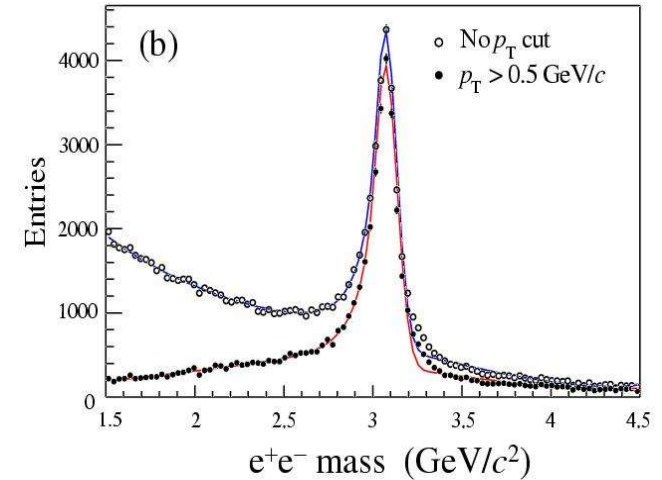




- Résolution temps propre  $\sim 40$ fs
- Etiquetage de l'état de production
  - Efficacité  $\sim 55$  %
  - Mistag  $\sim 30$  %
- Incertitude sur l'amplitude des oscillation vs  $\Delta m_s$ 
  - En 1 an :
    - Observation à  $5\sigma$  des oscillations pour  $\Delta m_s < 68$  ps $^{-1}$
    - LHCb doit scanner le domaine permis par le Modèle Standard
    - Si l'oscillation est vue, elle est précisément mesurée
      - $\sigma_{\text{stat}}(\Delta m_s) \sim 0.01$  ps $^{-1}$

# $\sin(2\beta) : B^0 \rightarrow J/\psi K_s$

- Bien mesuré par les usines à B (Babar, Belle)
  - En 2006 probablement  $\sigma_{2006}(\sin 2\beta) \sim 0.02$
- Il ne s'agit pas d'un point très important pour LHCb
  - Contrôle important des analyses de violation de CP
  - Recherche d'un terme de violation directe en  $\cos \Delta m_d t$



$$A_{f_{CP}} = \frac{\Gamma(\overline{B}^0 \Rightarrow f_{CP}) - \Gamma(B^0 \Rightarrow f_{CP})}{\Gamma(\overline{B}^0 \Rightarrow f_{CP}) + \Gamma(B^0 \Rightarrow f_{CP})}$$

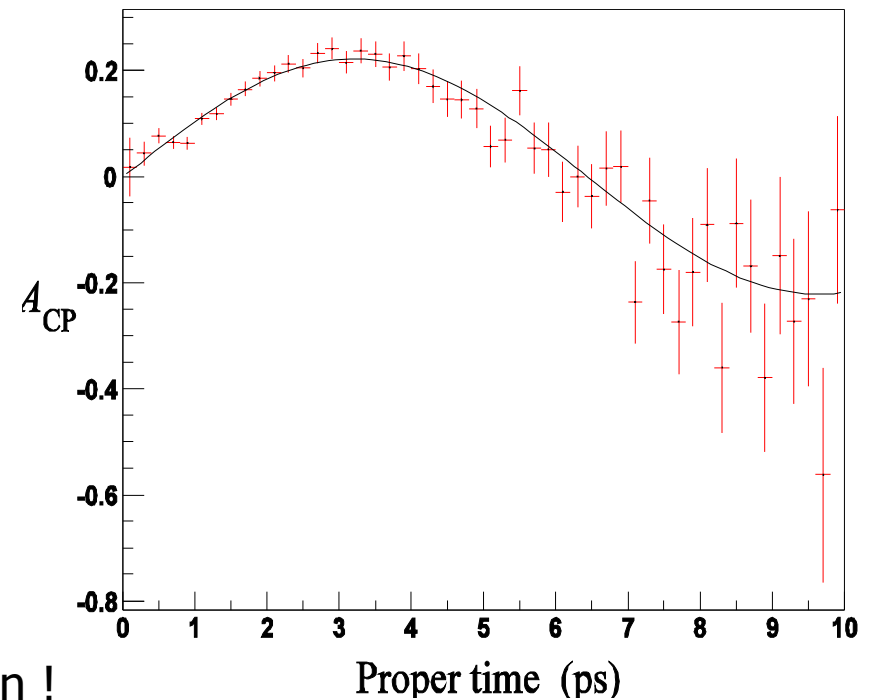
$$A_{f_{CP}} = S_{f_{CP}} \sin(\Delta m_d t) + C_{f_{CP}} \cos(\Delta m_d t)$$

$$S_{f_{CP}} = \frac{2\Im\lambda_f}{1+|\lambda_f|^2}$$

↓  
Sin (2β)

$$C_{f_{CP}} = \frac{1-|\lambda_f|^2}{1+|\lambda_f|^2}$$


↓  
=0

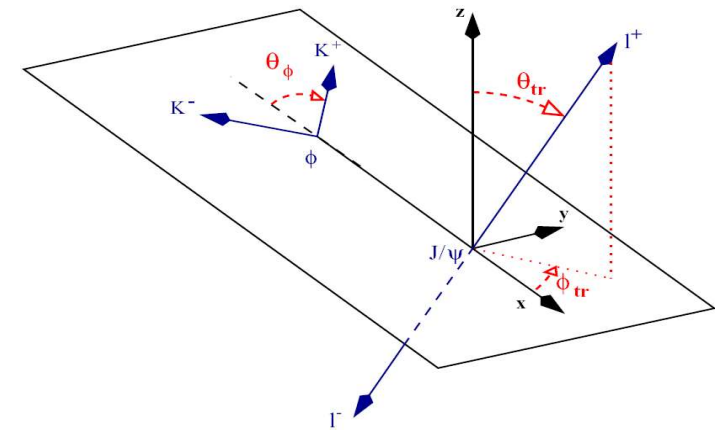
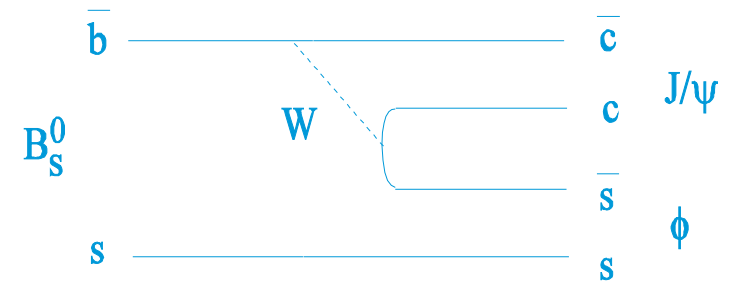


- 240000 événements par an sur LHCb
- Précisions attendues :  $\sigma(\sin 2\beta) \sim 0.02 \dots$  en 1 an !



# $\Phi_s$ et $\Delta\Gamma_s$ : mode $B_s \rightarrow J/\psi \Phi$

- Canal équivalent au mode  $B_d \rightarrow J/\psi K_s$  pour le  $B_s$ 
  - Asymétrie CP due à l'interférence
    - $B_s \rightarrow J/\psi \Phi$  et  $B_s \rightarrow \bar{B}_s \rightarrow J/\psi \Phi$
- Mesure  $\Phi_s$ , phase de l'oscillation du  $B_s$  ( $V_{ts}$ )
- Dans le modèle standard est petit  $\Phi_s$ 
  - $\Phi_s \sim -2\lambda^2\eta \sim -0.04$
  - Sensible à une nouvelle physique
- Reconstruction en  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-/e^+e^-$ ,  $\Phi \rightarrow K^+K^-$
- 120000 événements (signal) / an
- Etat final est un mélange d'amplitude CP +/- 1
  - Analyse angulaire requise
  - Fit global : extraction de  $\sin(\Phi_s)$  et  $\Delta\Gamma_s/\Gamma_s$ 
    - ( $\Delta\Gamma_s = \Gamma(B_s^L) - \Gamma(B_s^H)$ ),  $\Delta\Gamma_s/\Gamma_s \sim 10\%$  (Modèle Standard)
  - En 1 an et en supposant  $\Delta m_s \sim 20 \text{ ps}^{-1}$  
- Sensibilités similaires en  $B_s \rightarrow J/\psi \eta$  ( $B_s \rightarrow \eta_c \Phi$ )
  - Seulement 7000 événements/an ... mais pur CP



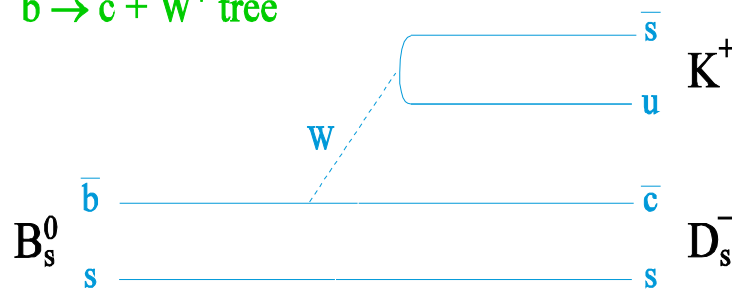
$\sigma(\sin\phi_s)$	$\sigma(\Delta\Gamma_s/\Gamma_s)$
0.06	0.02

# $\gamma$ par le mode $D_s K$ (I)

- La Violation de CP apparaît par l'interférence entre deux diagrammes (arbre) et le mélange

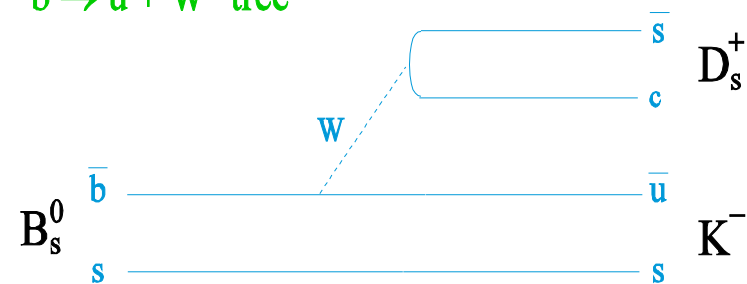
- $B_s \rightarrow D_s(KK\pi) K$

$\bar{b} \rightarrow \bar{c} + W^+$  tree



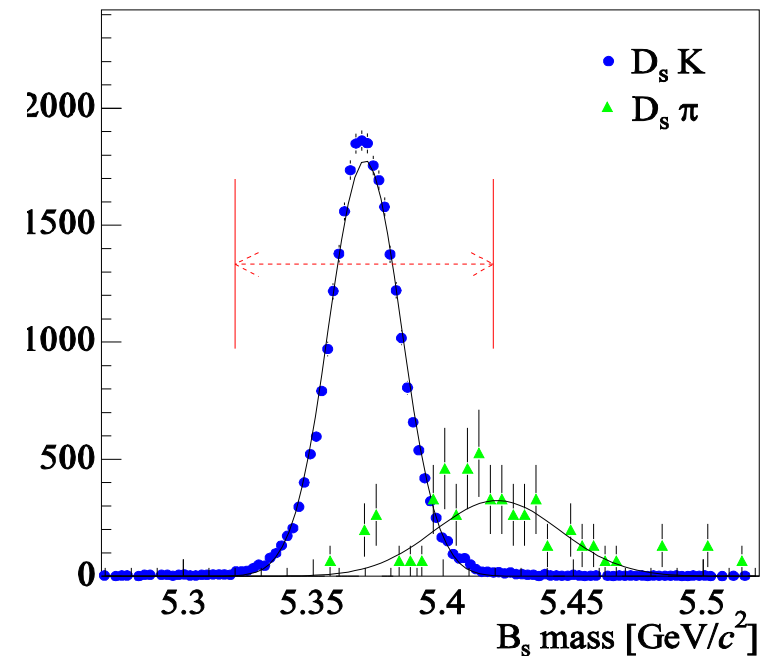
$BR \sim 20 \times 10^{-5}$

$\bar{b} \rightarrow \bar{u} + W^+$  tree



$BR \sim 3 \times 10^{-5}$

- L'asymétrie permet de mesurer  $\gamma + \Phi_s$ 
  - Peut d'incertitude théorique
  - Peu sensible à une nouvelle physique (boucles)
  - $\Phi_s$  extrait par  $B_s \rightarrow J/\psi \Phi$
- Principal bruit de fond
  - $B_s \rightarrow D_s \pi$  ( $BR(D_s K) \times 12$ )
  - Suppression (PID)  $\rightarrow$  final contamination de 10 %
- 5400 événements Signal / an avec  $S/B > 1$  (@90CL)

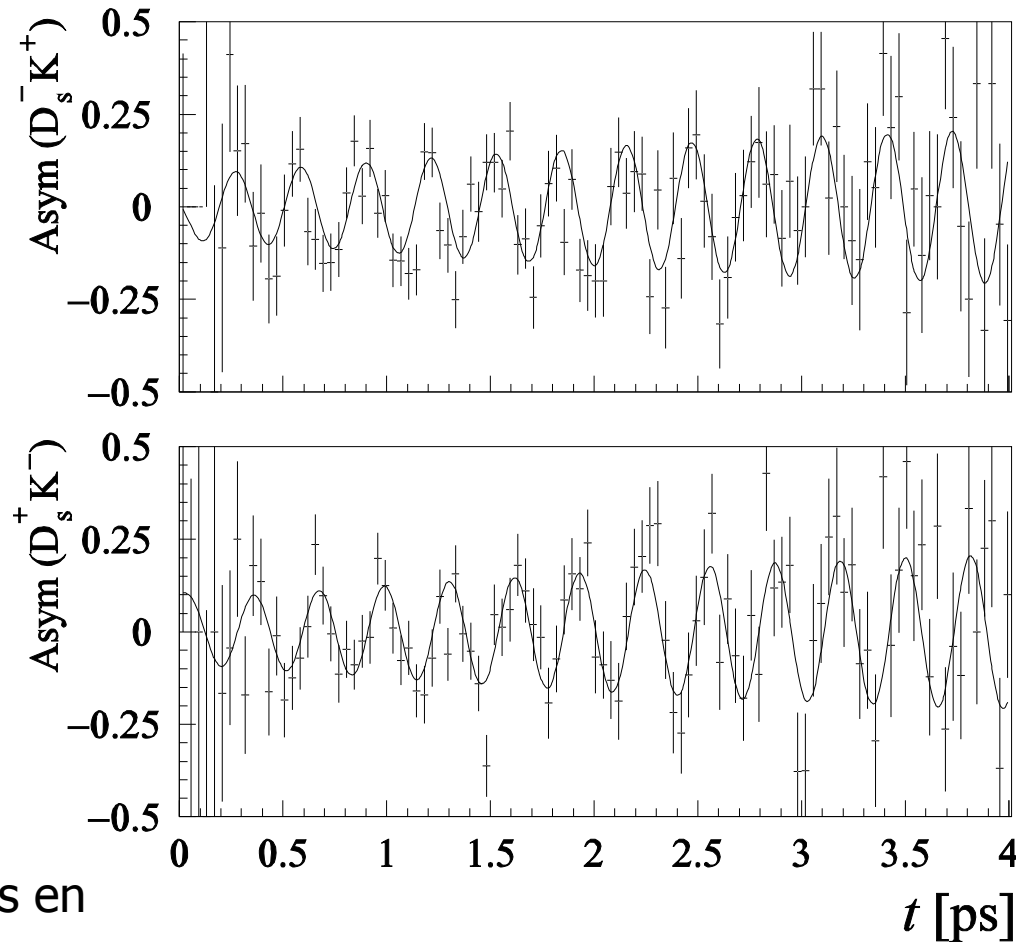


# $\gamma$ par le mode $D_s K$ (II)

- Phase de
  - $D_s^+ K^- : \Delta - (\gamma + \Phi_s)$
  - $D_s^- K^+ : \Delta + (\gamma + \Phi_s)$
  - Extraction de  $\Delta$  et  $\gamma + \Phi_s$
- $\sigma(\gamma) \sim 15^\circ$  en 1 an

$\Delta m_s$	20 ps <sup>-1</sup>	25 ps <sup>-1</sup>	30 ps <sup>-1</sup>
$\sigma(\gamma)$	14.2°	16.2°	18.3°

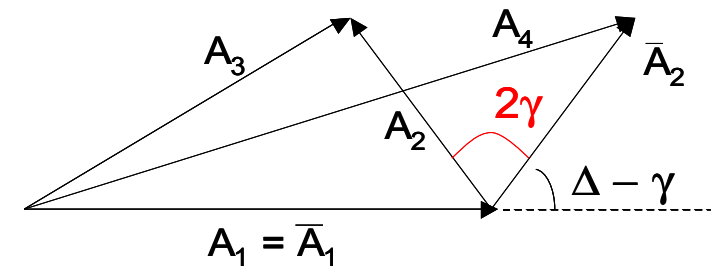
Asymétrie mesurée en 5 années



- Les ambiguïtés sur  $\gamma$  peuvent être levées en utilisant  $B^0 \rightarrow D^{(*)} \pi$  et la symétrie U-spin (échange de d et s)

# $\gamma$ par le mode $B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$

- Mesure de 6 taux de désintégrations
  - $B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}, \bar{D}^0 K^{*0}$  et  $D_{CP} K^{*0}$  + conjugués de CP
  - $D_{CP} \rightarrow K^+ K^- / \pi^+ \pi^-$  : méson reconstruit dans un état propre de CP
- Amplitudes permettent l'extraction de  $\gamma$  et de la phase forte  $\Delta$ 
  - $A(B^0 \rightarrow D_{CP} K^{*0}) = 1/\sqrt{2} (A(\bar{B}^0 \rightarrow D^0 K^{*0}) + A(B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}))$
  - $A_3 / \sqrt{2} = 1/\sqrt{2} (|A_1| + |A_2| e^{i(\Delta + \gamma)})$
- Étiquetage simple (self-tagging) par  $K^{*0} \rightarrow K^+ \pi^-$



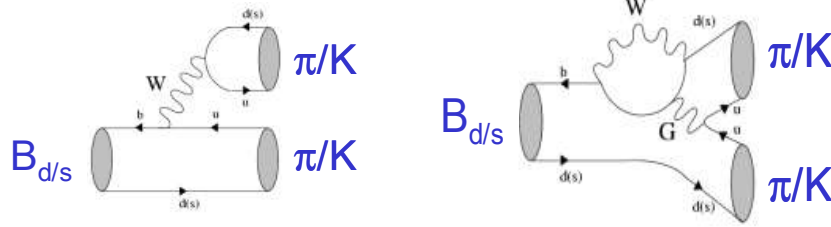
Mode	Evts	S/B
$B^0 \rightarrow D^0 (K^+ \pi^-) K^{*0}$	3400	> 3.3
$B^0 \rightarrow D^0 (K^- \pi^+) K^{*0}$	500	> 0.6
$B^0 \rightarrow D_{CP}^0 (K^+ K^-) K^{*0}$	600	> 0.7

- Statistique obtenue en 1 an par LHCb
  - $55 < \gamma < 105^\circ$
  - $-10 < \Delta < 20^\circ$

►  $\sigma(\gamma) \sim 7 \text{ à } 8^\circ$

# $\gamma$ par $B_{(s)} \rightarrow h^+ h^-$

- A l'origine  $\alpha$  par  $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  ... mais forte contribution pingouin



- Mesure les asymétries CP de

- $B_s \rightarrow K^+ K^-$  et  $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$
- $A_{CP}(t) = A_{dir} \cos(\Delta mt) + A_{mix} \sin(\Delta mt)$
- 4 termes :  $A_{dir}$  (x2) et  $A_{mix}$  (x2) dépendent de
  - $\gamma, \Phi_s, \Phi_d$
  - Ratio des contributions Arbre/pingouin  $\sim d e^{i\theta}$

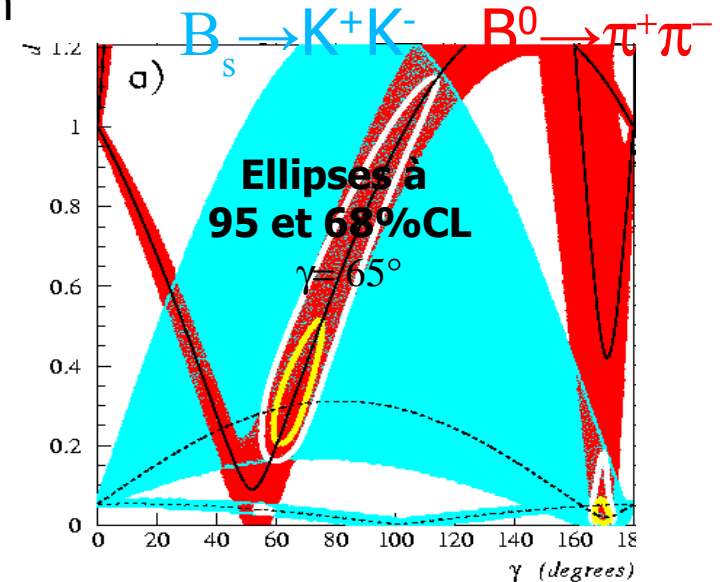
- Symétrie U-spin (échange d et s)

- $d_{KK} = d_{\pi\pi}$  et  $\Theta_{KK} = \Theta_{\pi\pi}$
- 4 mesures et 3 inconnues (2 extraites par ailleurs)
- Extraction de  $\gamma$

- Incertitudes liées à la symétrie U-Spin

- Sensible à une nouvelle physique par pingouins:

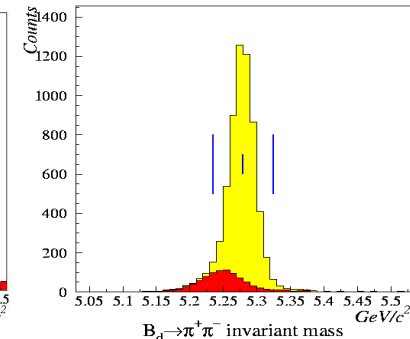
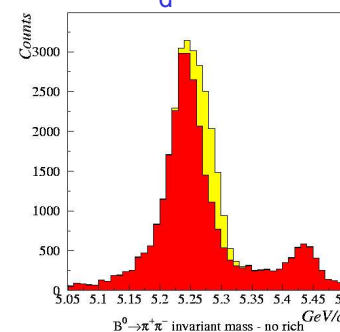
	evts/an	B/S
$B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	26 k	<0.7
$B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$	135 k	0.16
$B_s \rightarrow K^+ K^-$	37 k	0.31



Séparation K/pi avec le Rich

$B_d \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Sans Rich



$\sigma(\gamma) = 4^\circ - 6^\circ$  (1 an)  
+ $\sigma$ (theorie)

# Contraintes imposées sur $\gamma$

$B_s \rightarrow D_s K$   
 $\sigma(\gamma) \sim 14 \text{ à } 15^\circ$

$B_{(s)} \rightarrow h^+ h^-$   
 $\sigma(\gamma) \sim 4 \text{ à } 6^\circ$

$B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$   
 $\sigma(\gamma) \sim 7 \text{ à } 8^\circ$

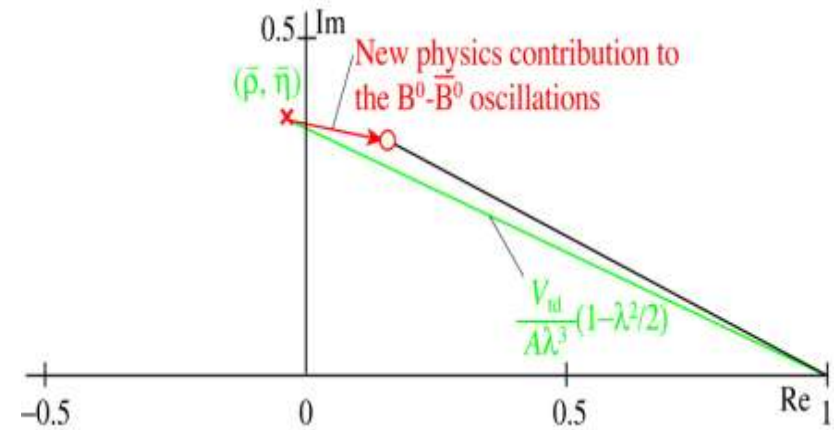
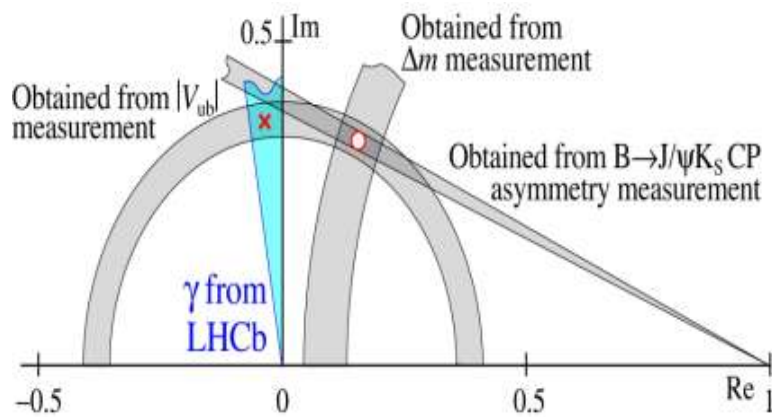
Indépendant de nouvelle physique (arbre)

Mesure de  $\gamma$  affectée par la nouvelle physique (pingouin)

Mesure de  $\gamma$  affectée par nouvelle physique dans le mélange des D

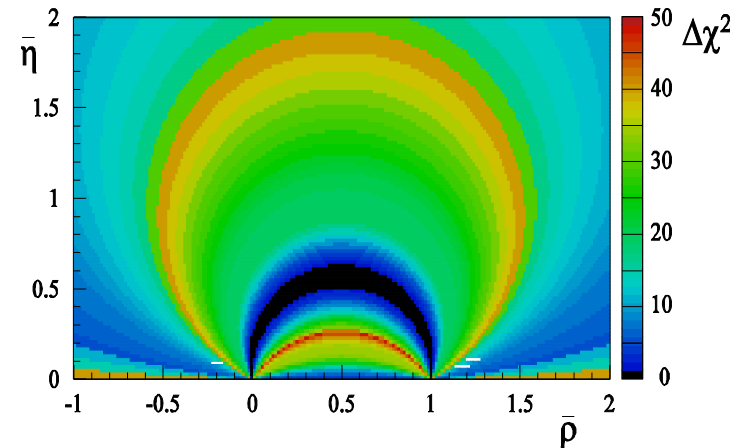
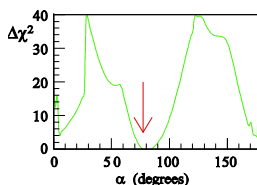
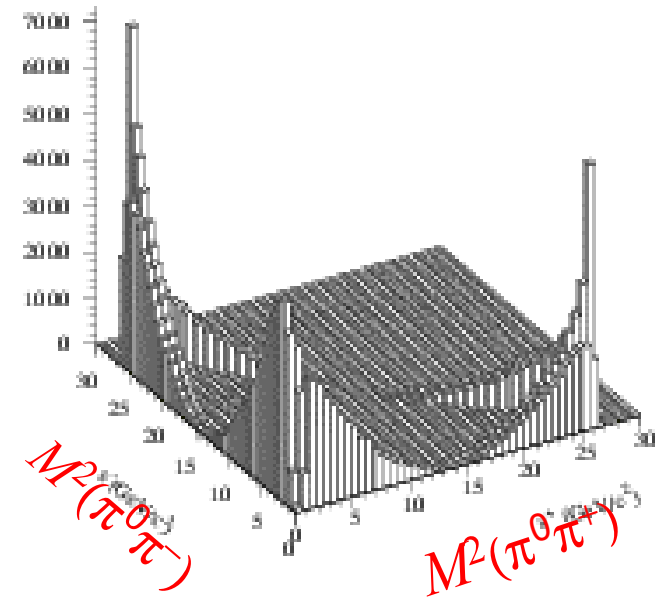
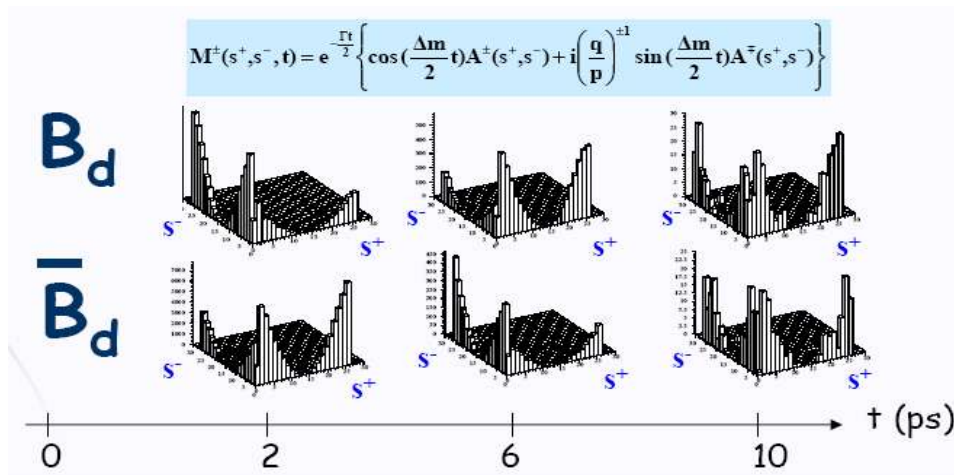
Détermination des paramètres CKM :  $A, \rho, \eta$

Extraction de la contribution liée à nouvelle physique



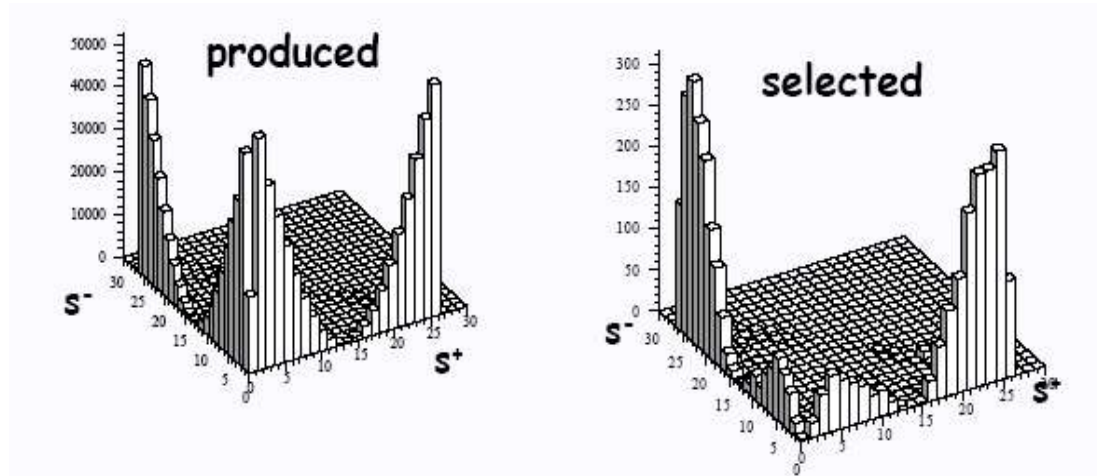
# $\alpha$ par le mode $B \rightarrow \rho\pi (\pi^+\pi^-\pi^0)$ (I)

- Analyse par plot de Dalitz dépendant du temps de  $B^0 \rightarrow \rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ 
  - Mesure des amplitudes et des phases des contributions
    - $A_{3\pi}$ 
      - include  $A^{+-}, A^{+0}$  et  $A^{00}$
      - $A^{ij} = e^{-i\alpha} T^{ij} + P^{ij}$
    - Ajustement à 11 paramètres
      - Extraction de  $\alpha$

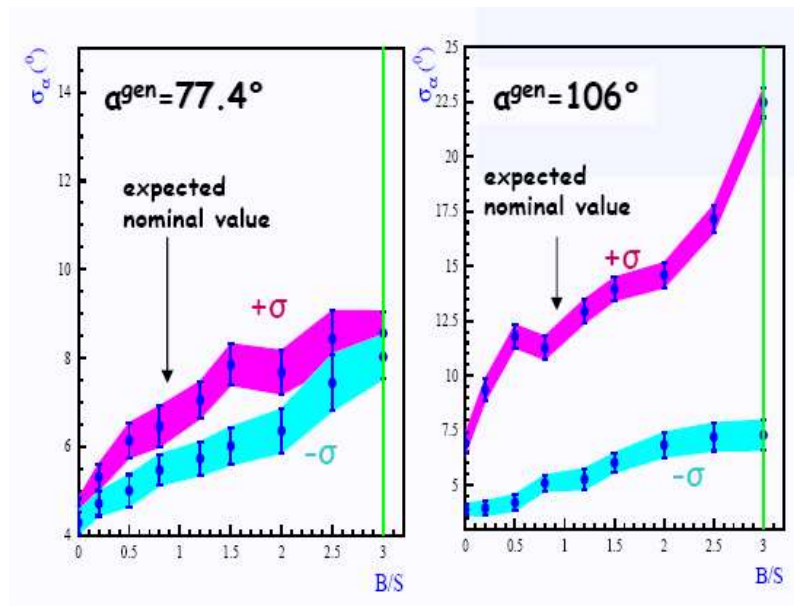


# $\alpha$ par le mode $B \rightarrow \rho\pi$ ( $\pi^+\pi^-\pi^0$ ) (II)

- La région des bas Pt du  $\pi^0$  est dépeuplée
  - $\rho^{+/-} \pi^{+/-}$
  - Efficacité  $\pi^0$  (relatif au total)
    - ♦ Résolus  $\sim 33\%$
    - ♦ Non résolus  $\sim 20\%$
    - ♦ Total  $\sim 53\%$
    - ♦ Prépondérance des non résolus



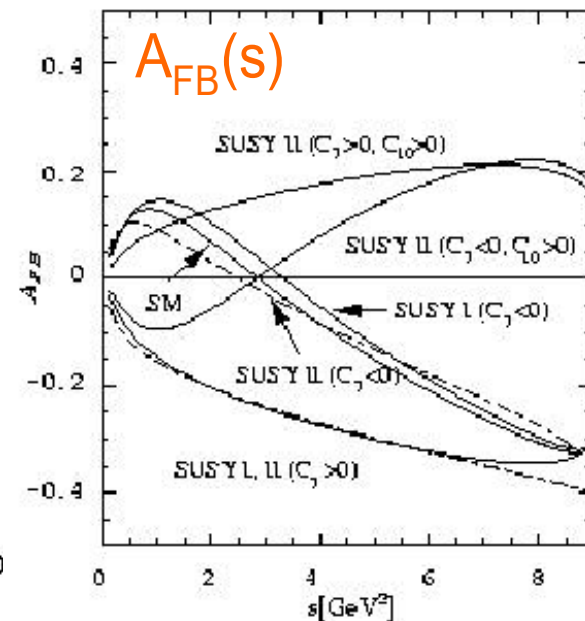
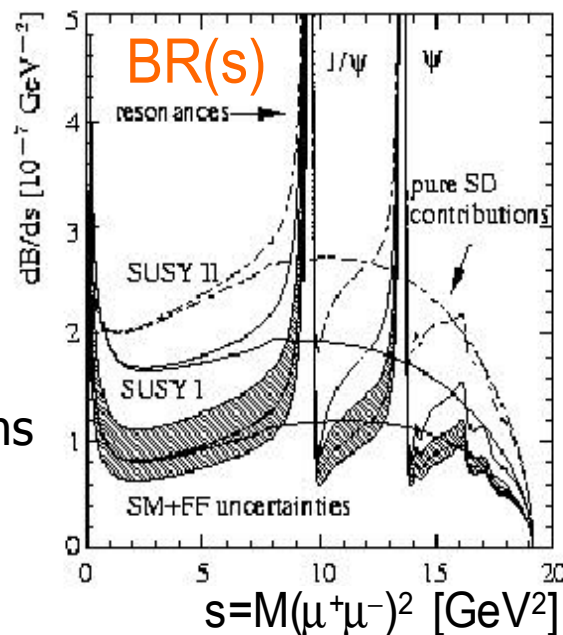
- 14000 événements par an avec S/B  $\sim 1.3$
- Pour B/S = 3 (<3 @ 90CL)
  - $\alpha(\text{gen})=77.4^\circ \rightarrow \langle\sigma(\alpha)\rangle +8^\circ/-8^\circ$
  - $\alpha(\text{gen})=106.0^\circ \rightarrow \langle\sigma(\alpha)\rangle +22^\circ/-7^\circ$





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

- Faible BR
  - $BR(B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-)_{SM} \sim 10^{-6}$
  - $A_{CP}^{SM} < 0.05\%$
- $A_{FB}(s)$ 
  - asymétrie Forward-backward dans le référentiel  $\mu\mu$
  - $A_{FB}(s)$  en zéro connu à 5% (MS)
  - Sensible à la nouvelle physique (SUSY)



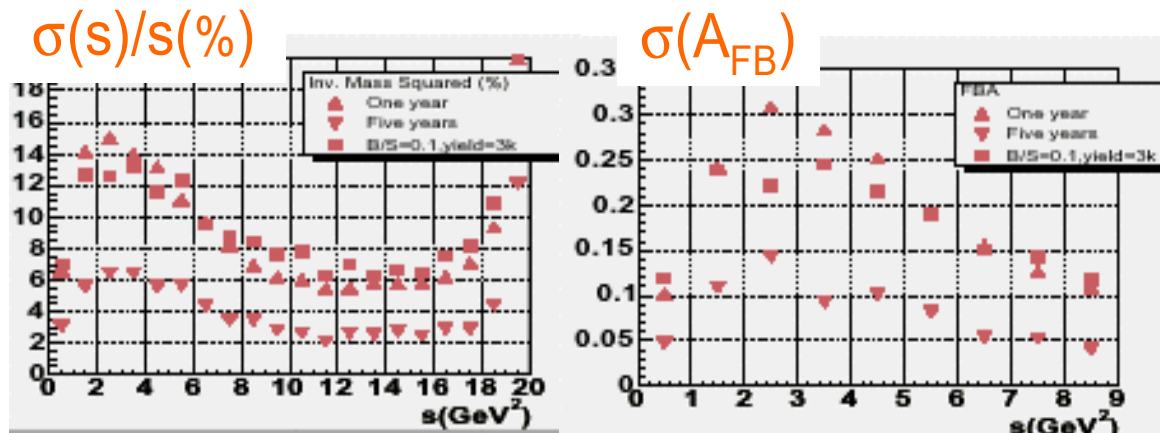
LHCb: 4400 evts/an  $B/S < 2.6$

$$\sigma(BR) \sim 2\%$$

$$\sigma(A_{CP}) \sim 2\%$$

- Difficulté liée au bruit de fond
- En 5 ans :

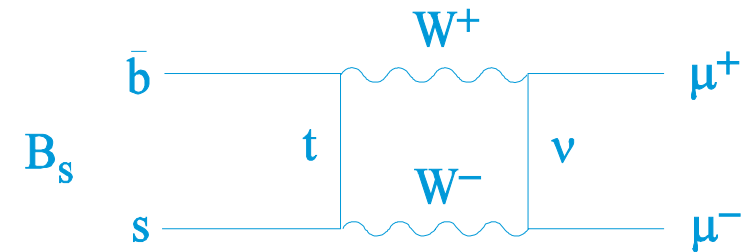
- $\sigma(A_{FB}) \sim 0.12$ , ajustement à zéro  $\sigma(s_0)$  à 2%



# $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

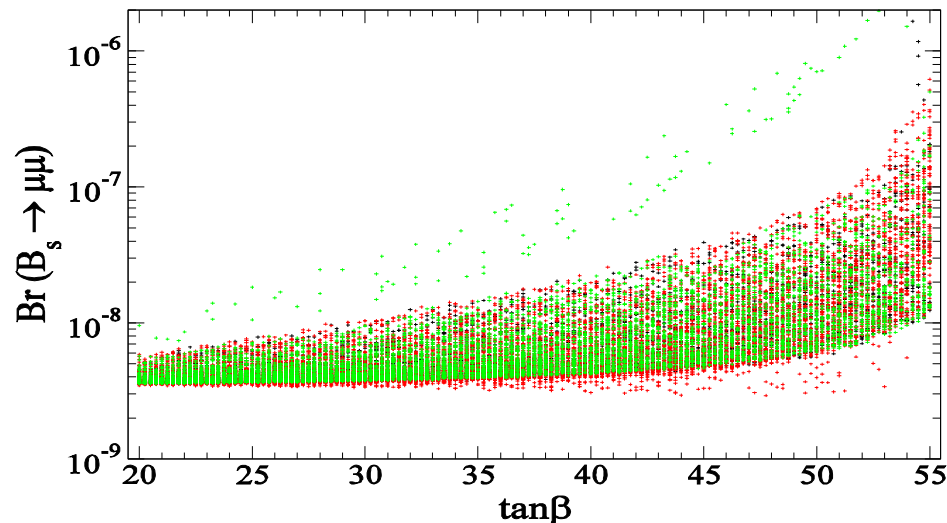
- Il s'agit d'une désintégration rare ( $\Delta B=1$  FCNC)

- $\text{BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)^{\text{SM}} = (3.5 \pm 0.1) \times 10^{-9}$



- Forte sensibilité à nouvelle physique (SUSY)

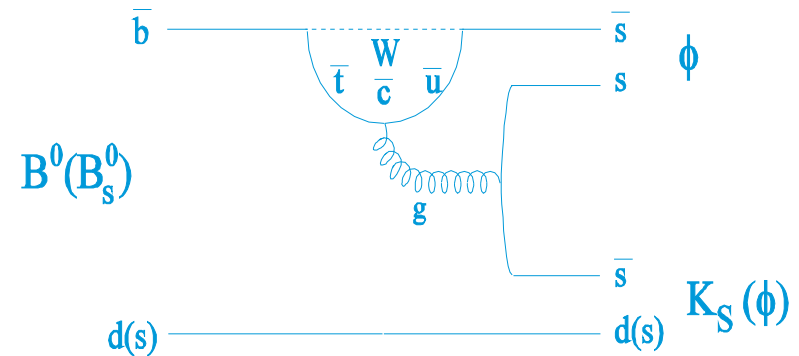
- $\text{BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) \sim (\tan\beta)^6$  aux grandes valeurs de  $\tan\beta$



- En une année LHCb devrait enregistrer 17 événements (MS)
- Mais difficultés dans l'estimation du bruit de fond
  - ♦ TROP faible statistique MC : aucun événement bruit de fond sélectionné ... correspond à  $S/\sqrt{B} > 2$

# Autres modes...

- $B_d \rightarrow \Phi K_s$  difficile (déclenchement)
  - Asymétrie (SM)  $\sim \sin(2\beta)$
  - $\sim 1000$  événement/an
- Si la nouvelle physique apparaît dans ce secteur LHCb doit pouvoir reconstruire d'autres modes du même type ( $b \rightarrow s$ , pingouin)
  - $B_s \rightarrow \Phi\Phi, KK, \Phi\gamma$
- La bande passante du HLT doit permettre
  - Physique du Charme :
    - ♦ Plus de  $10^8$   $D^*$  par an
- Physique du  $B_c$  et des baryons  $b$



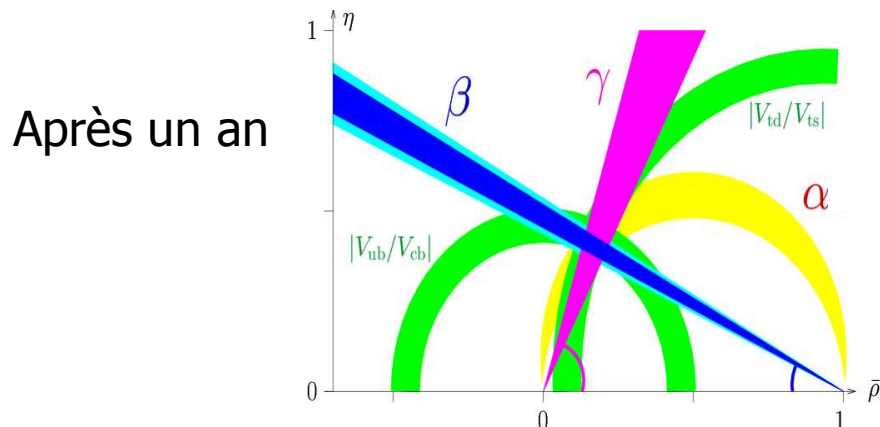
# Récapitulatif : Signal et Bruits de Fond

	Det. eff. (%)	Rec . eff. (%)	Sel. eff. (%)	Trig. eff. (%)	Tot. eff. (%)	Vis. BR (10 <sup>-6</sup> )	Annua l signal yield	B/S from bb bkg.
$B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	12.2	91.6	18.3	33.6	<b>0.69</b>	4.8	<b>26k</b>	<b>&lt; 0.7</b>
$B_s \rightarrow K^+ K^-$	12.0	92.5	28.6	36.7	<b>0.99</b>	18.5	<b>37k</b>	<b>0.3</b>
$B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$	5.4	80.6	25.0	31.1	<b>0.34</b>	120.	<b>80k</b>	<b>0.3</b>
$B_s \rightarrow D_s^- K^+$	5.4	82.0	20.6	29.5	<b>0.27</b>	10.	<b>5.4k</b>	<b>&lt; 1.0</b>
$B^0 \rightarrow D^{*0} (K\pi) K^{*0}$	5.3	81.8	22.9	35.4	<b>0.35</b>	1.2	<b>3.4k</b>	<b>&lt; 0.5</b>
$B^0 \rightarrow J/\psi(\mu\mu) K_S^0$	6.5	66.5	53.5	60.5	<b>1.39</b>	20.	<b>216k</b>	<b>0.8</b>
$B^0 \rightarrow J/\psi(ee) K_S^0$	5.8	60.8	17.7	26.5	<b>0.16</b>	20.	<b>26k</b>	<b>1.0</b>
$B_s \rightarrow J/\psi(\mu\mu) \phi$	7.6	82.5	41.6	64.0	<b>1.67</b>	31.	<b>100k</b>	<b>&lt; 0.3</b>
$B_s \rightarrow J/\psi(ee) \phi$	6.7	76.5	22.0	28.0	<b>0.32</b>	31.	<b>20k</b>	<b>0.7</b>
$B^0 \rightarrow \rho \pi$	6.0	65.5	2.0	36.0	<b>0.03</b>	20.	<b>4.4k</b>	<b>&lt; 7.1</b>
$B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma$	9.5	86.8	5.0	37.8	<b>0.16</b>	29.	<b>35k</b>	<b>&lt; 0.7</b>
$B_s \rightarrow \phi \gamma$	9.7	86.3	7.6	34.3	<b>0.22</b>	21.	<b>9.3k</b>	<b>&lt; 2.4</b>

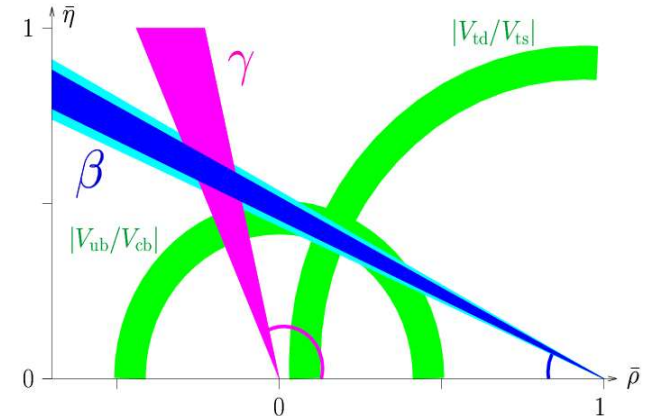
- Une année =  $10^7$ s,  $L=2 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,  $\sigma_{bb}=500 \mu\text{b} \rightarrow 10^{12}$  paires bb

# Conclusion

- LHCb est une expérience de seconde génération pour la Physique du B
  - Les usines à B ont ouvert la voie
  - LHCb : un pas supplémentaire par rapport à BaBar et Belle
  - Très grande statistique au LHC
  - Accès à de nouvelles espèces de hadrons B
- Pour cela LHCb
  - Détecteur de Vertex et Identification de Particules
  - Un déclenchement flexible
  - Large spectre de processus peut être étudié
    - ♦ Redondance et sensibilité à une nouvelle physique variable



ou bien ...



# Au Programme de la Physique du B et des Saveurs

