



LHCb : l'Expérience et le Programme de Physique

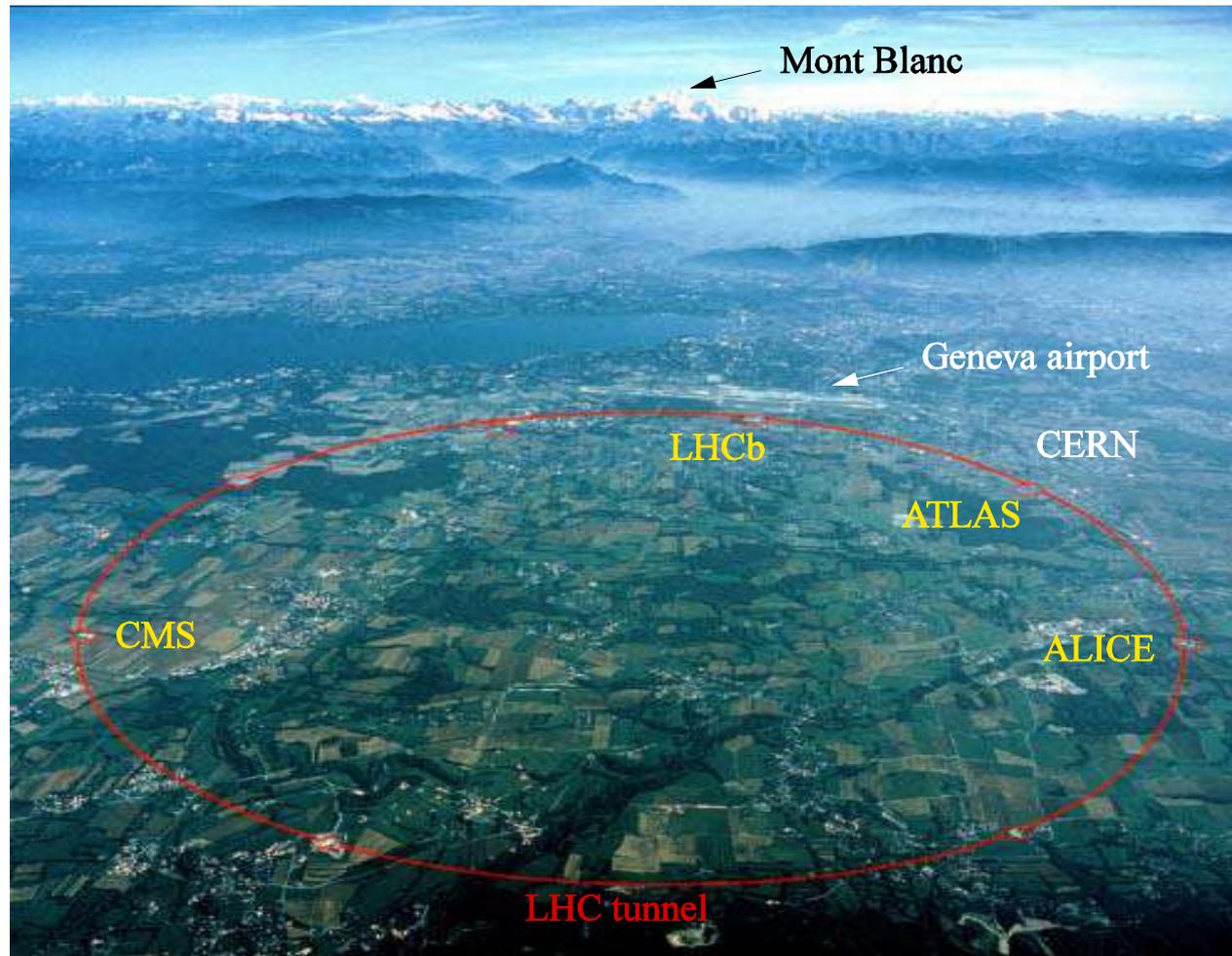
Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie



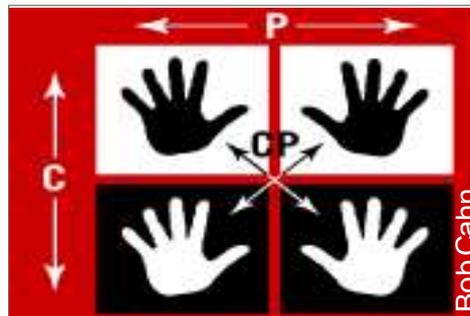
F. Machefert

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 seule 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) :

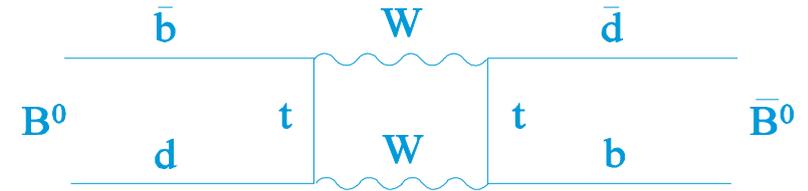
- Les états propres de masse sont des combinaisons des $B^0(\bar{b}q)$ et $\bar{B}^0(b\bar{q})$

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

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



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

$|q/p| \neq 1$

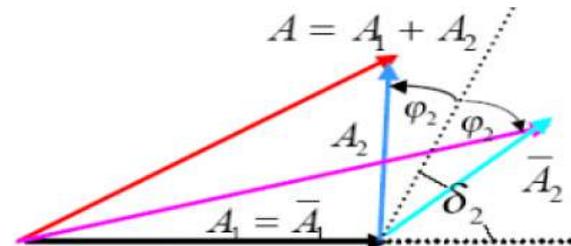
- Dans la désintégration (directe)

- 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

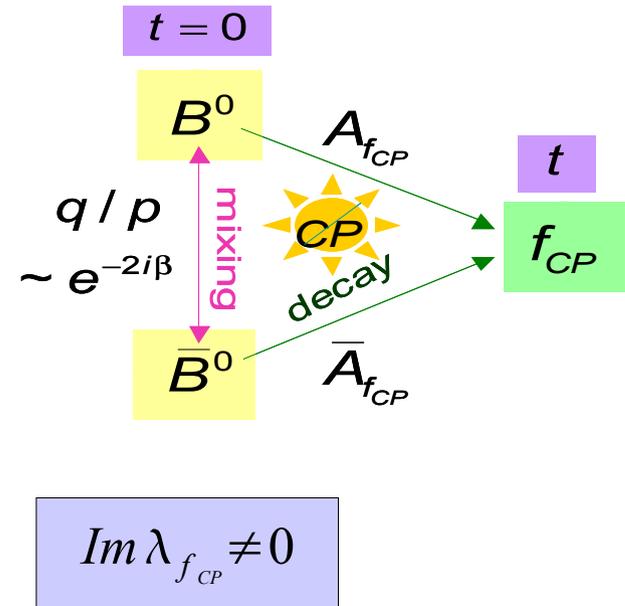
↑

Mélange

↑

Rapport des
amplitudes

↑

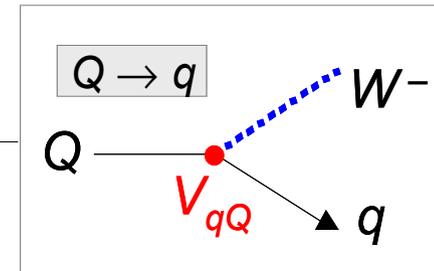
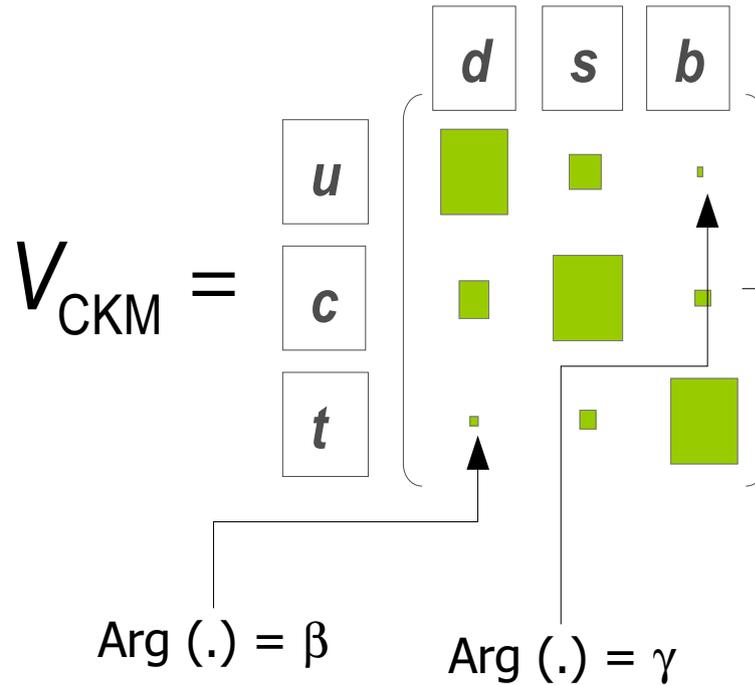


- Les différentes Violations de CP :

- ★ 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

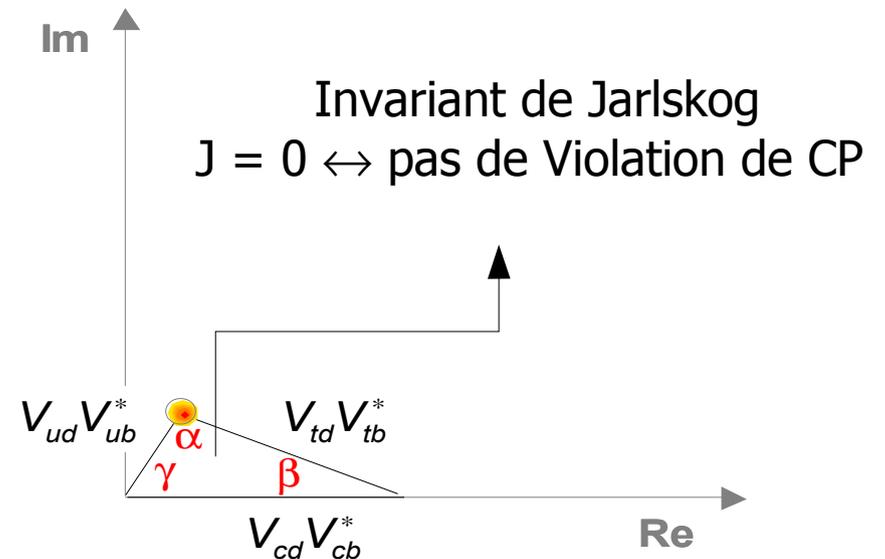
- Etats propres de l'interaction faible sont des combinaisons des états propres de saveur
- La matrice CKM contient les couplages faibles entre les quarks



Matrice CKM unitaire

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

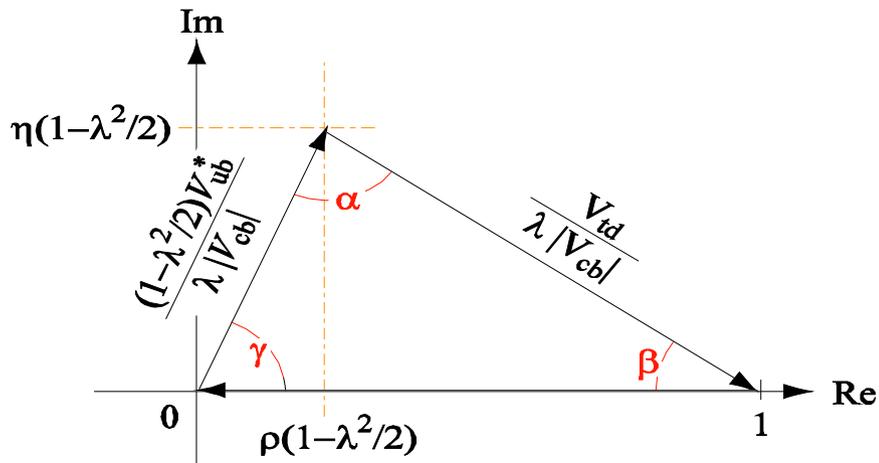
$$\propto A\lambda^3, -A\lambda^3, A\lambda^3$$



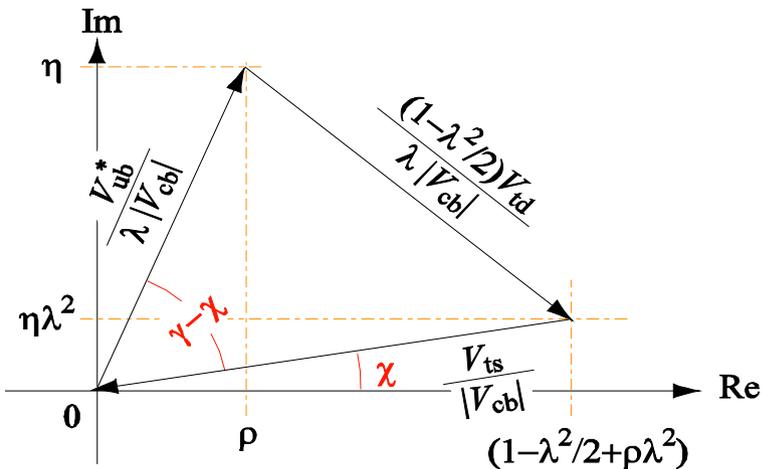
Le Triangle d'Unitarité

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

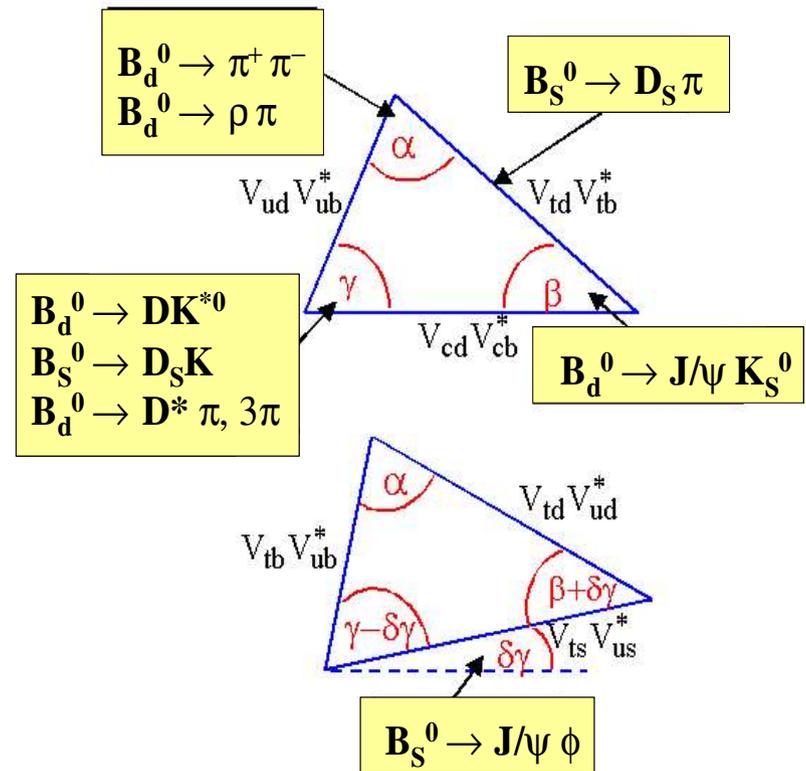
$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$$



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

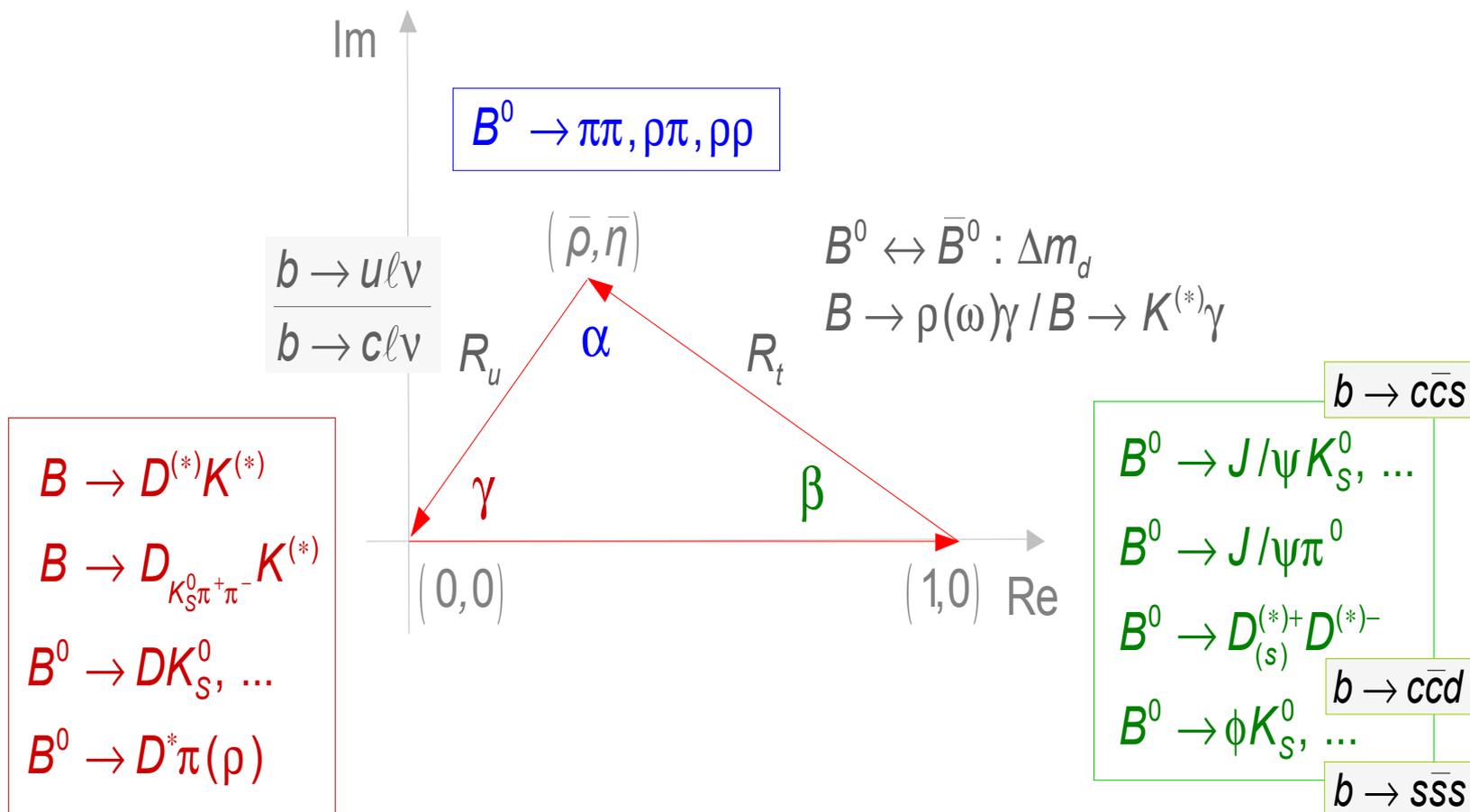


Triangle d'unitarité



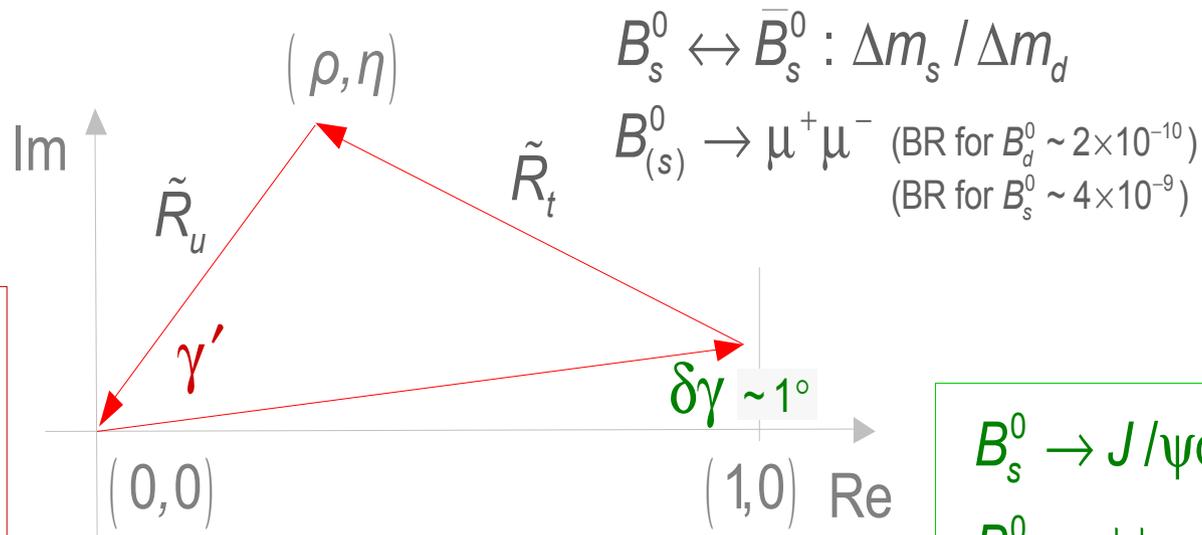
Le Système du B_d

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



Le Système du B_s

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

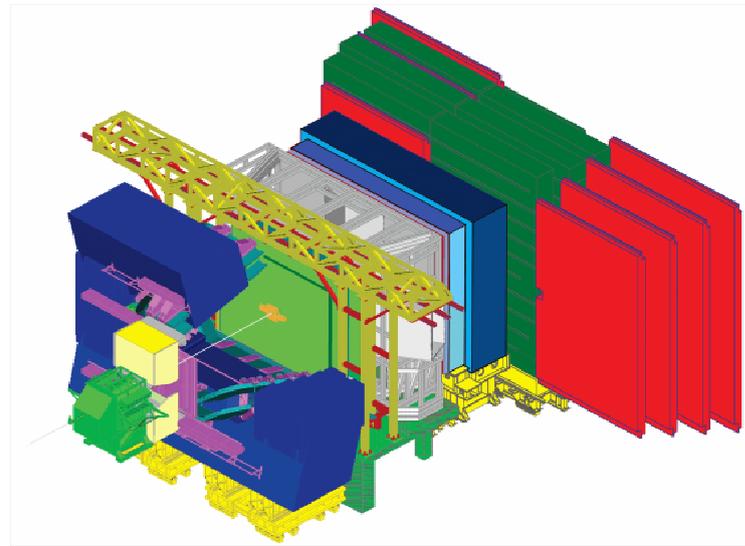


- $B_s^0 \rightarrow D_s K$
- $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$
- $B_s^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$
- $B_s^0 \rightarrow D_s^+ D_s^-, \dots$

- $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi, \dots$
- $B_s^0 \rightarrow \phi \phi, \dots$
- $b \rightarrow c \bar{c} s$
- $b \rightarrow s \bar{s} s$

- N'est accessible qu'aux machines hadroniques

Le Détecteur LHCb

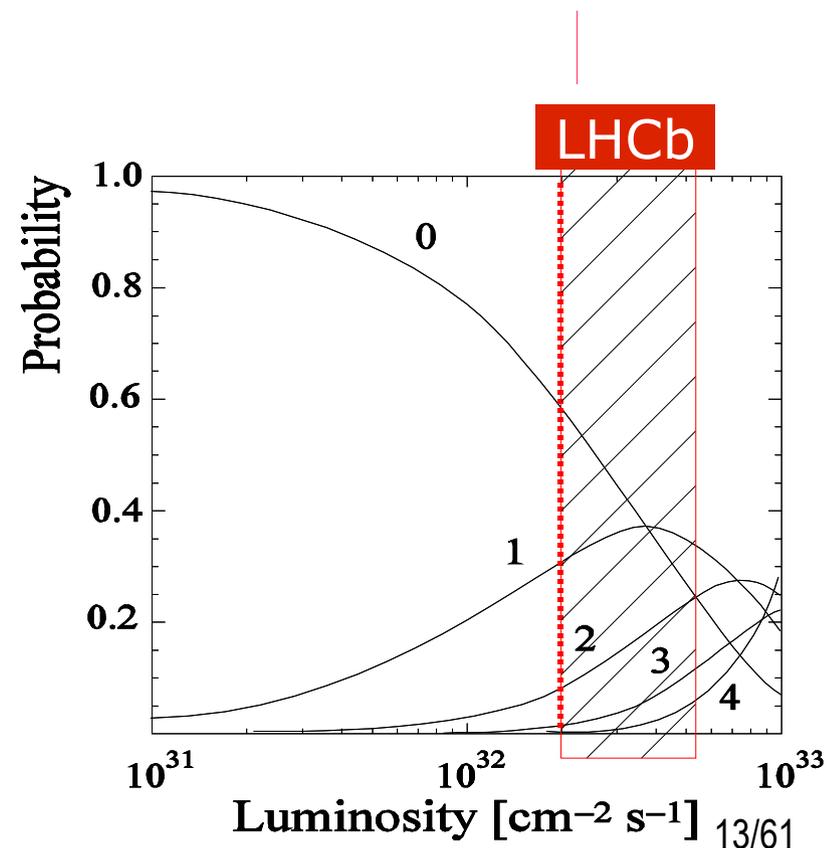


Les Conditions du Faisceau au Point d'Interaction de LHCb

- 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
 - σ_{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 10^7s
 - ♦ 2fb^{-1} par an
 - L ajustable par défocalisation des faisceaux
 - Disponible dès 2007

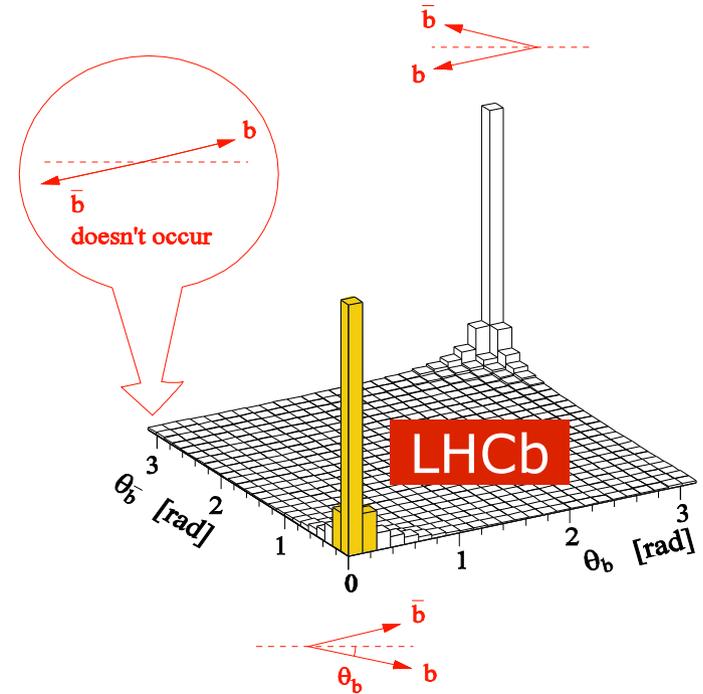
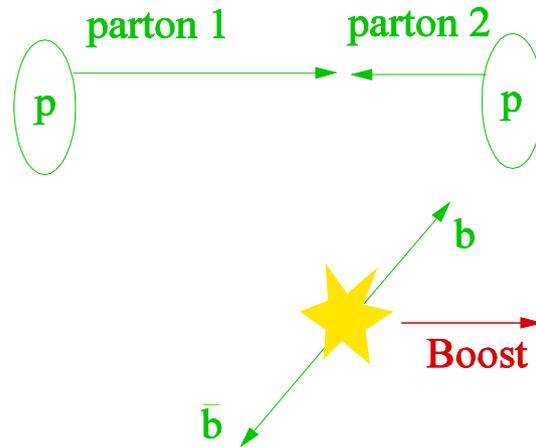
10^{12} paires $b\bar{b}$ par an

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



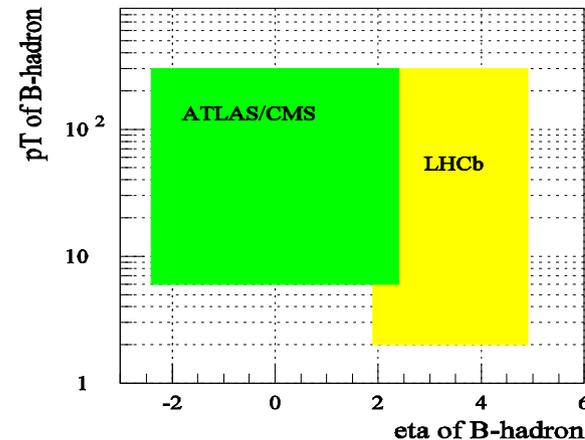
La Production des B au Point d'Interaction

- Les B sont produits préférentiellement vers l'avant

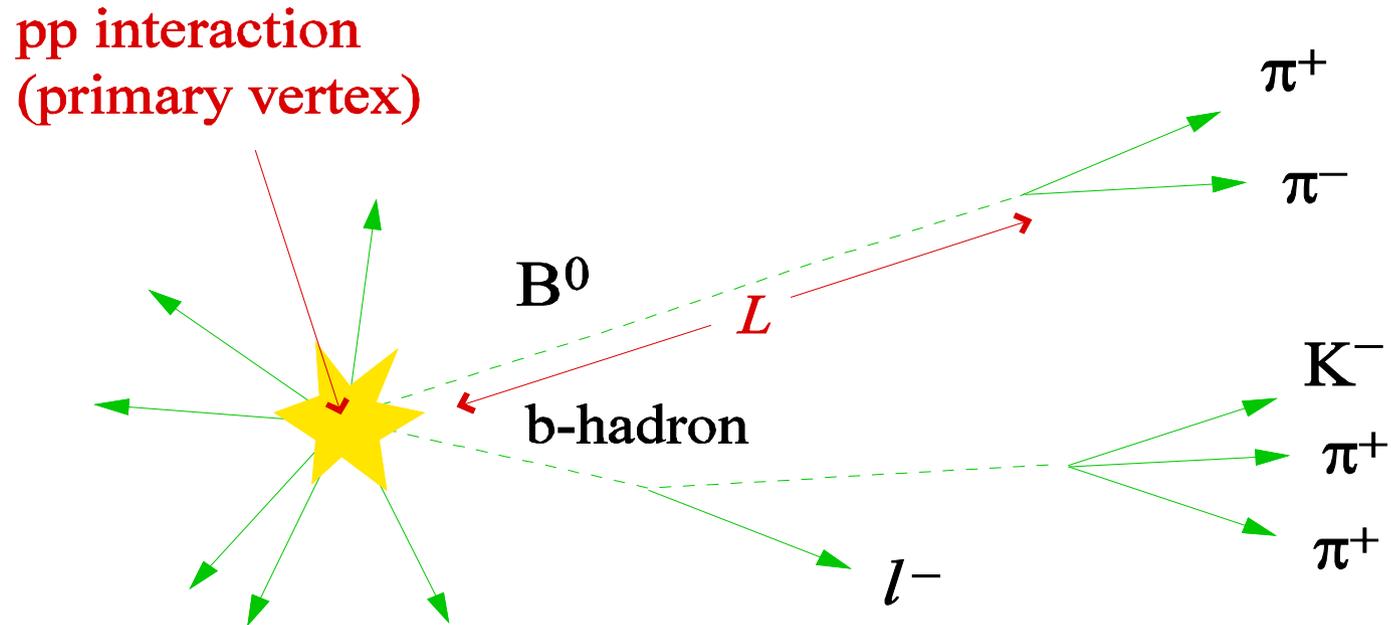


- LHCb est un spectromètre couvrant la zone angulaire 10 à 300 mrad

- 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 : $\sigma_{bb} \sim 100 \mu\text{b}$

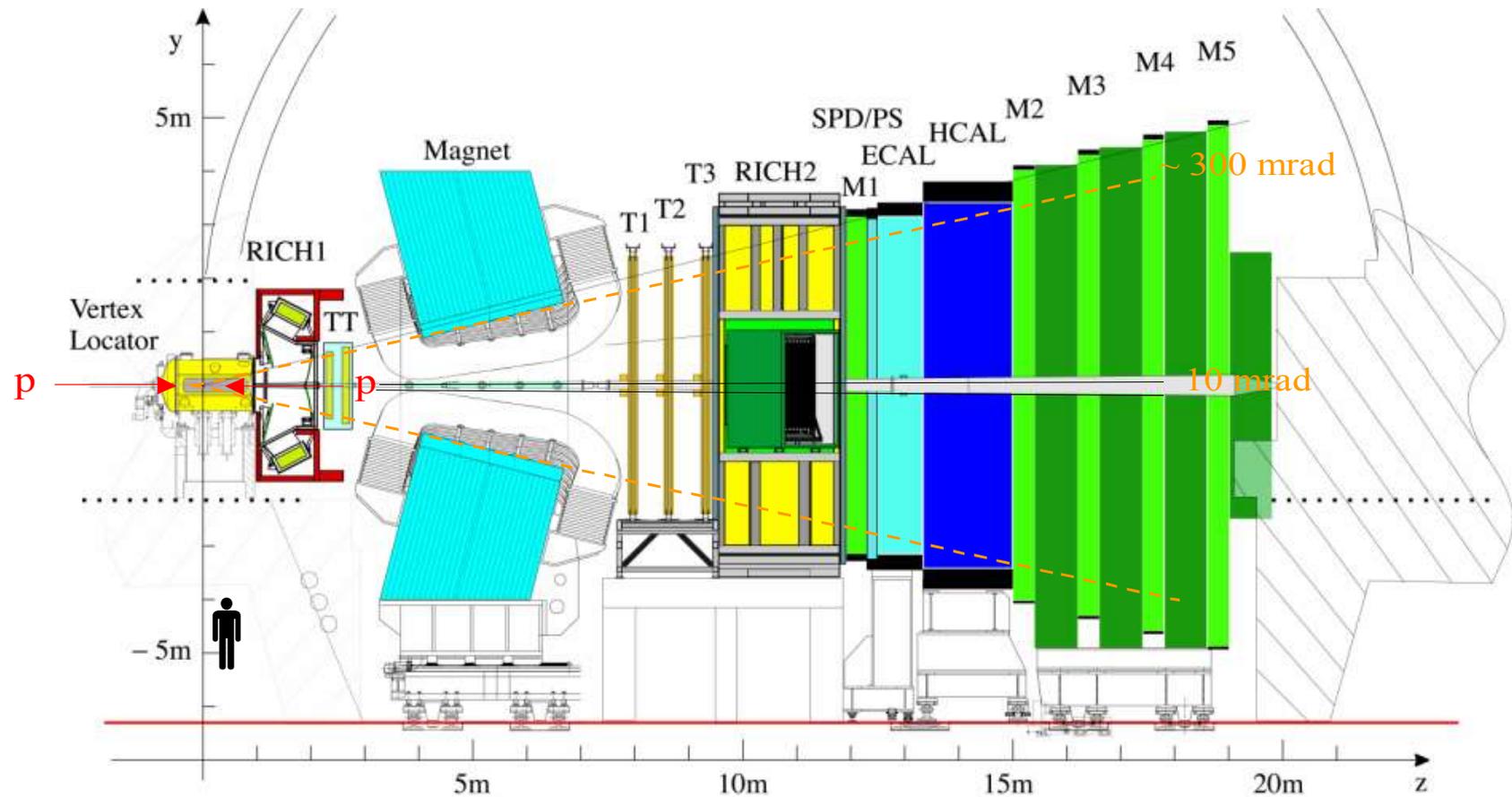


Un Événement LHCb



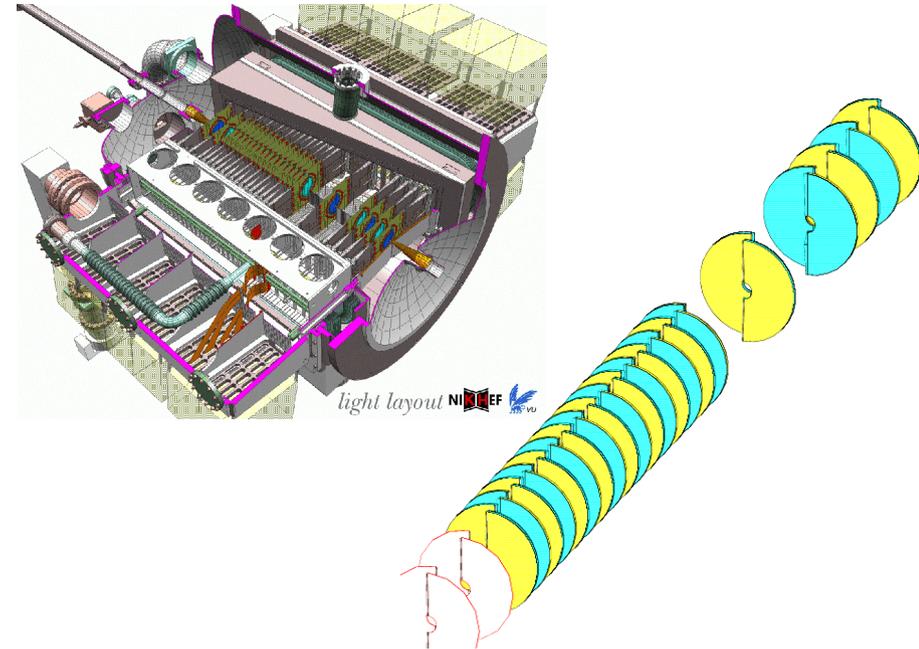
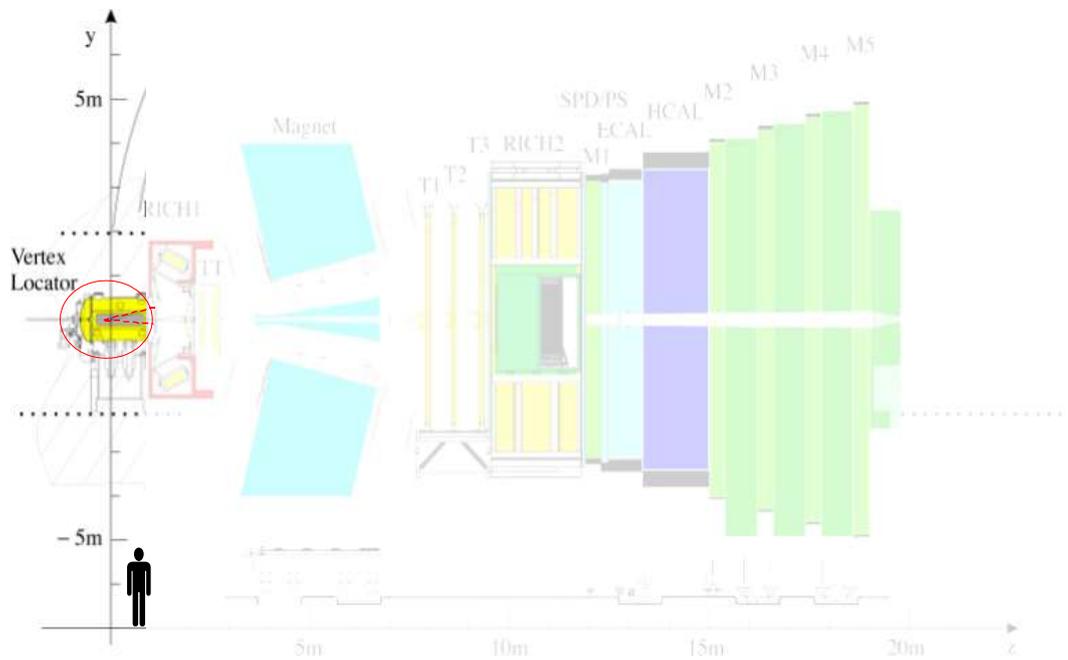
- Reconstruction du B
 - Temps propre : $t = mL/pc$
 - L typiquement de l'ordre de 1cm
 - Impulsion mesurée par les produits de désintégration (1-100GeV)
- Etiquetage du B à la production : B ou \bar{B} ?
 - Lepton produit par l'autre B ou Kaon

Le Détecteur LHCb

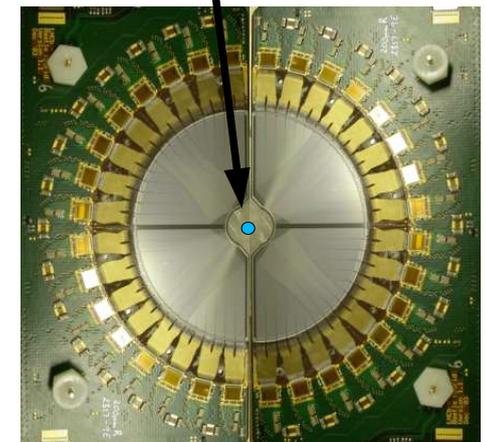
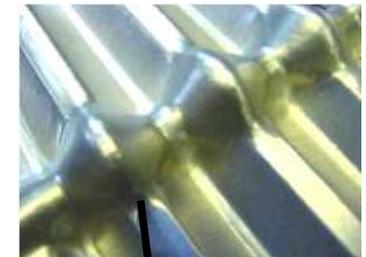


- LHCb est un spectromètre à un bras fonctionnant en mode de collisions pp
- Acceptance
 - $1.9 < |\eta| < 4.9$
 - 10 mrad autour du tube à vide (Béryllium) (radiations)
 - 300 mrad

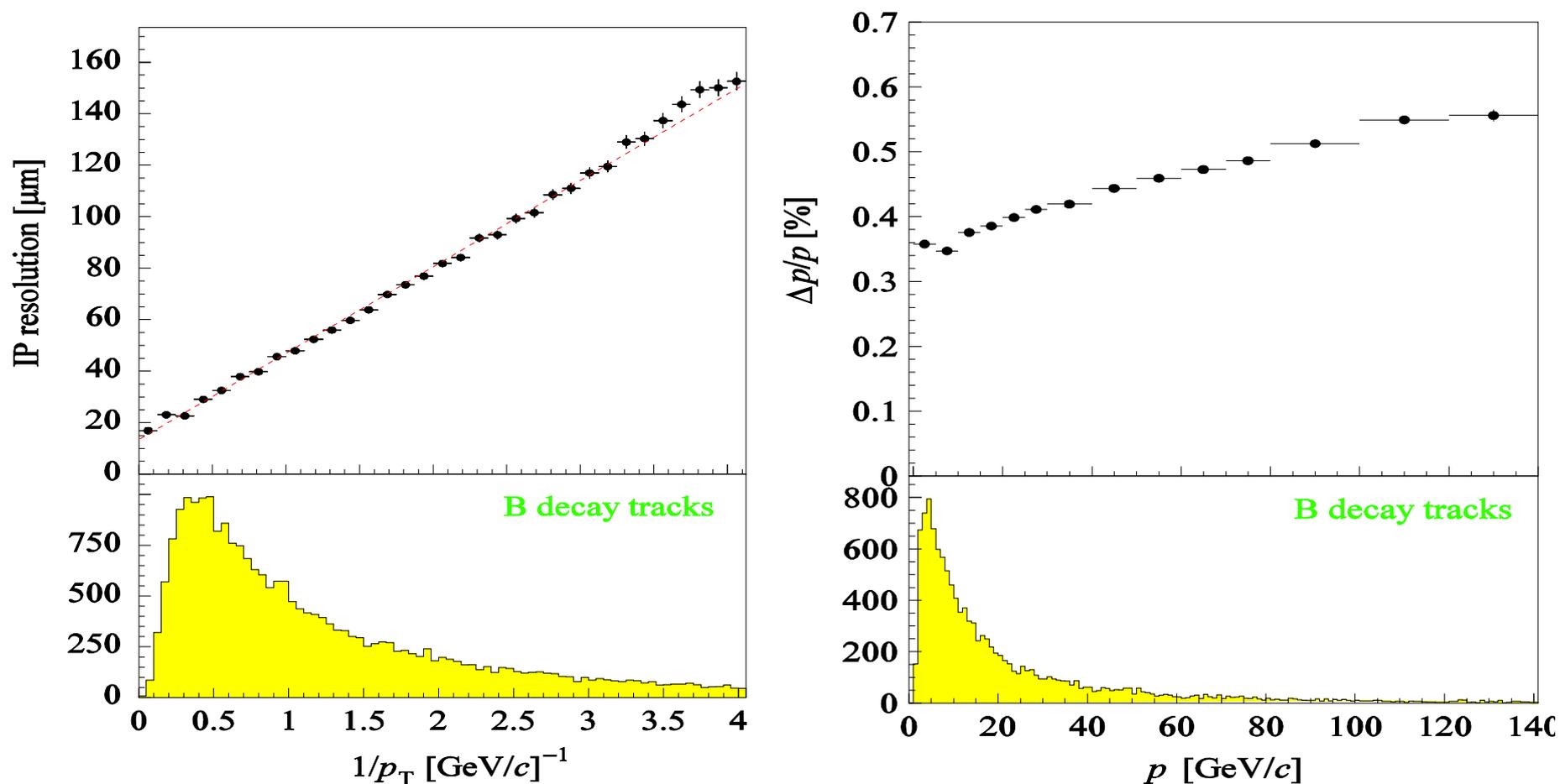
Le Détecteur de « Vertex » (I)



- 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

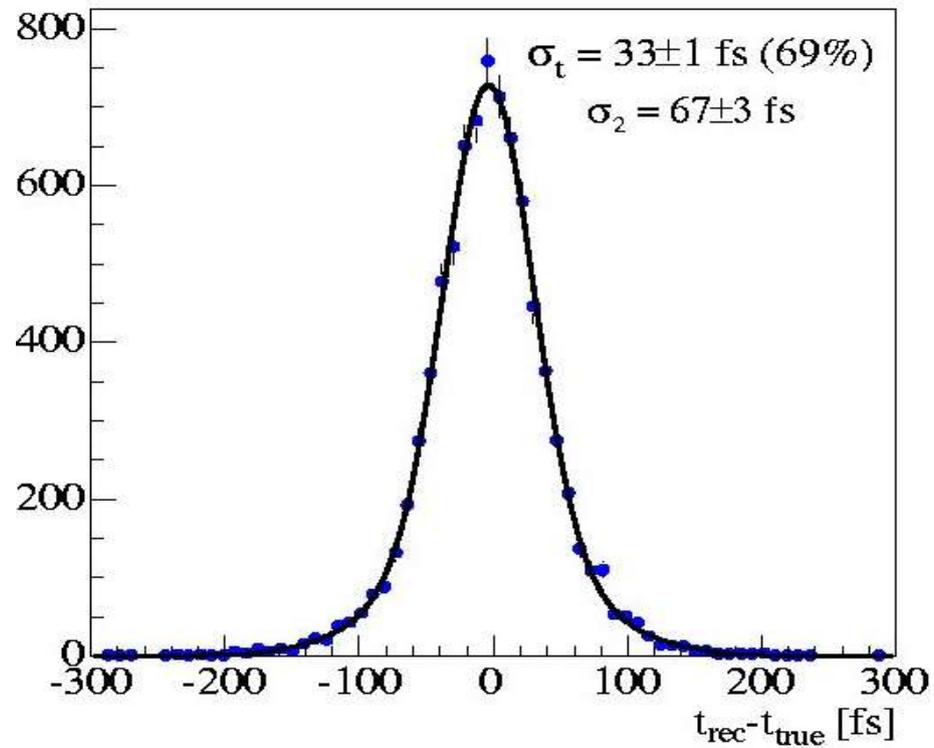


Le Détecteur de « Vertex » (II)



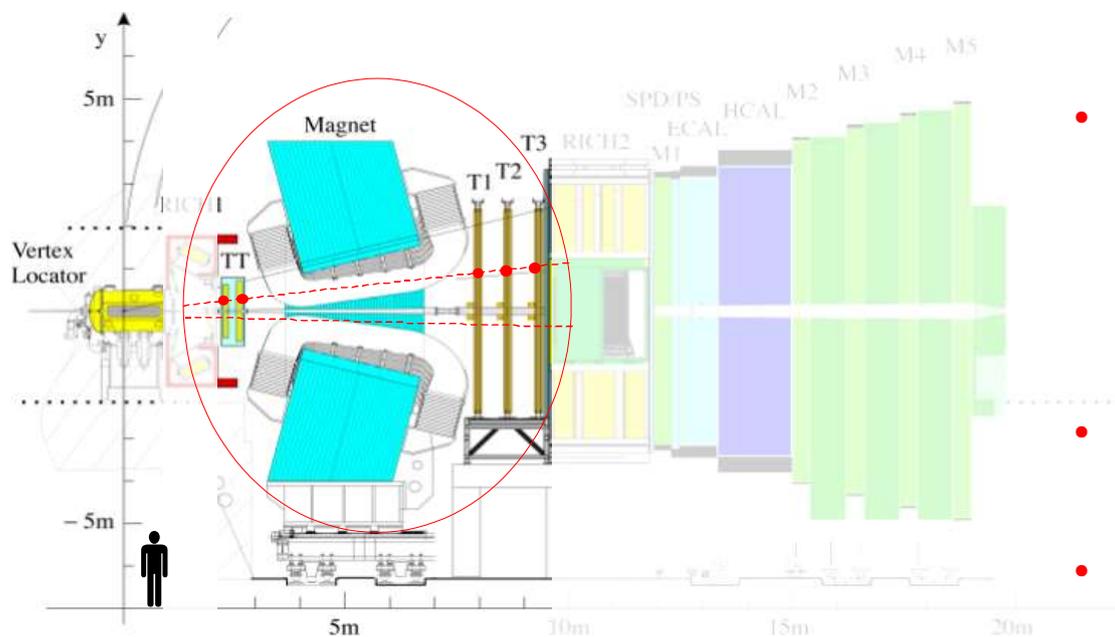
- Traces produites par la désintégration d'un B :
 - Résolution sur le paramètre d'impact $\sim 30 \mu\text{m}$
 - Résolution sur l'impulsion des traces de l'ordre de 0.4%

Le Détecteur de « Vertex » (III)



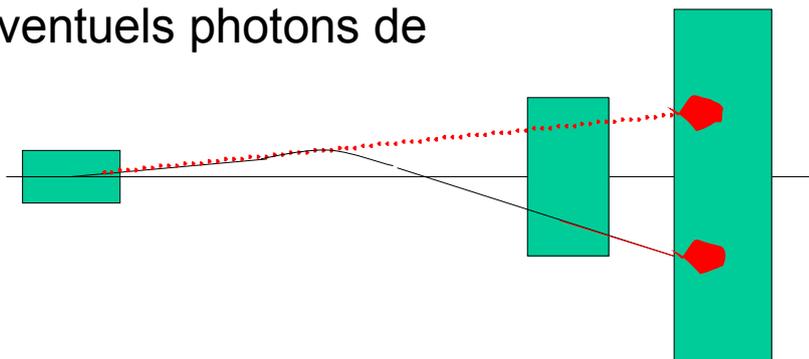
- Résolution sur le temps propre du B : ~ 40 fs ($B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$)

La Reconstruction des Traces (I)



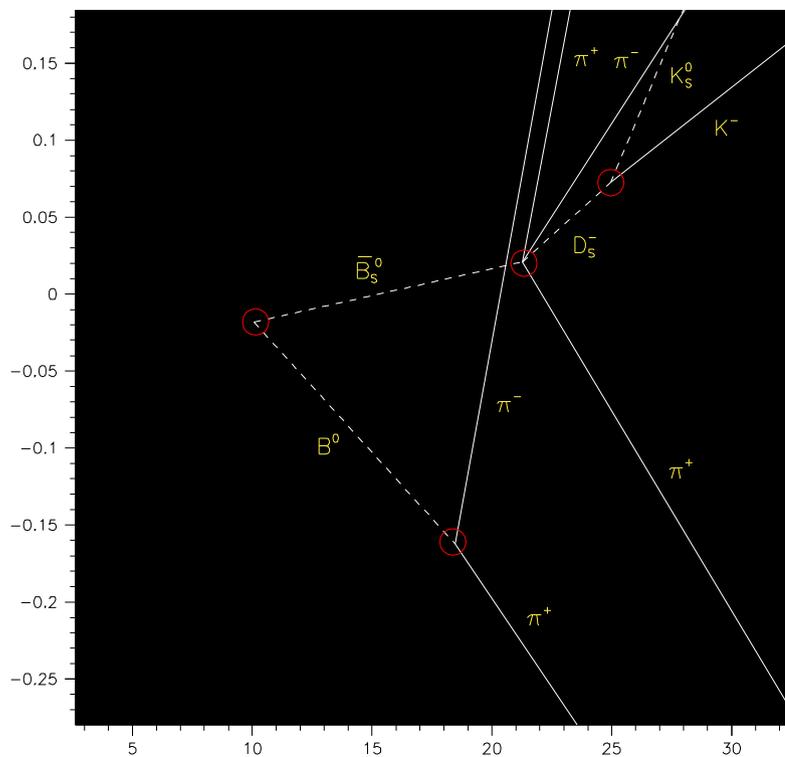
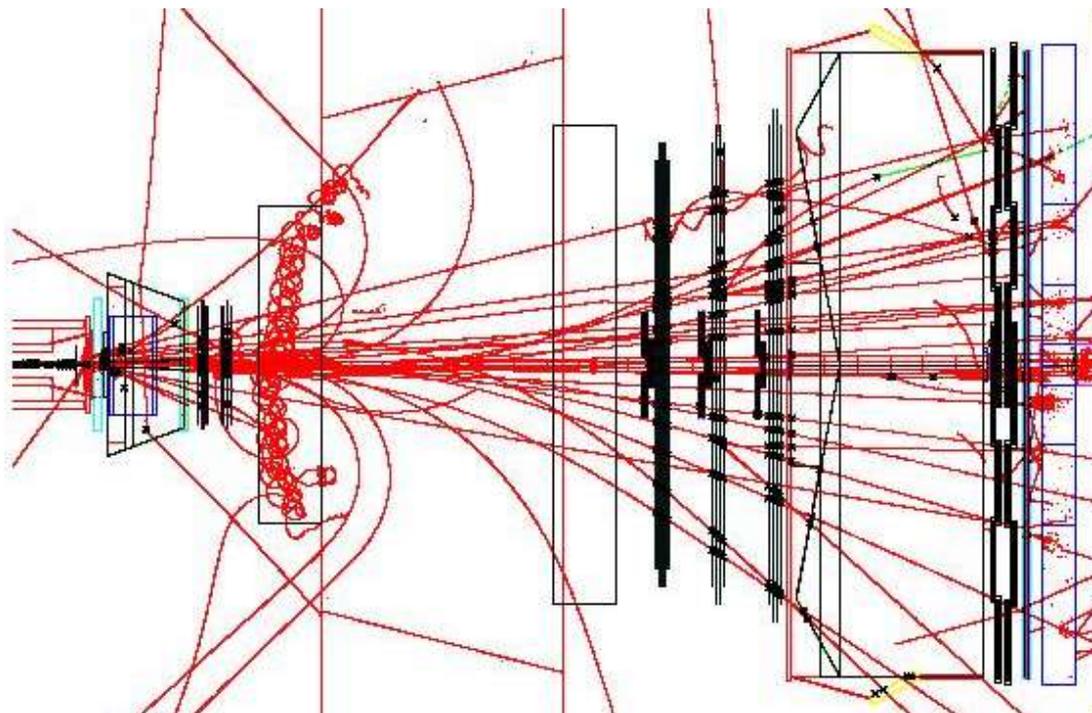
- Aimant
 - $\int B \cdot dl \sim 4 \text{ Tm}$
 - Champ magnétique régulièrement inversé pour réduire les effets systématiques
- Chambres « TT » : Trigger tracker
 - Chambres au Silicium
- Chambres T1, T2 et T3 constituées d'un
 - Inner tracker : silicium
 - Outer tracker : chambres à pailles

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



La Reconstruction des Traces (II)

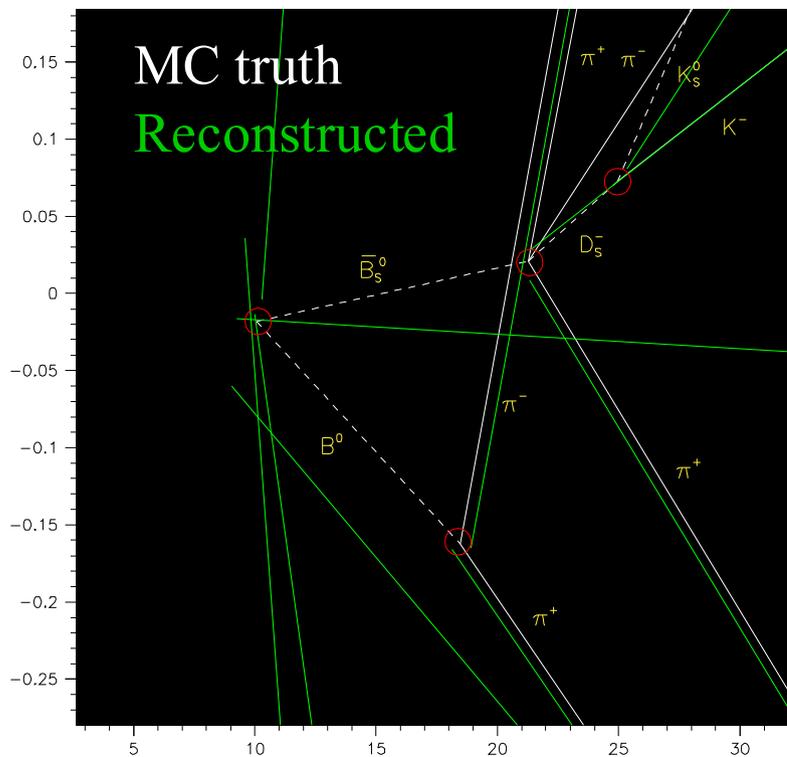
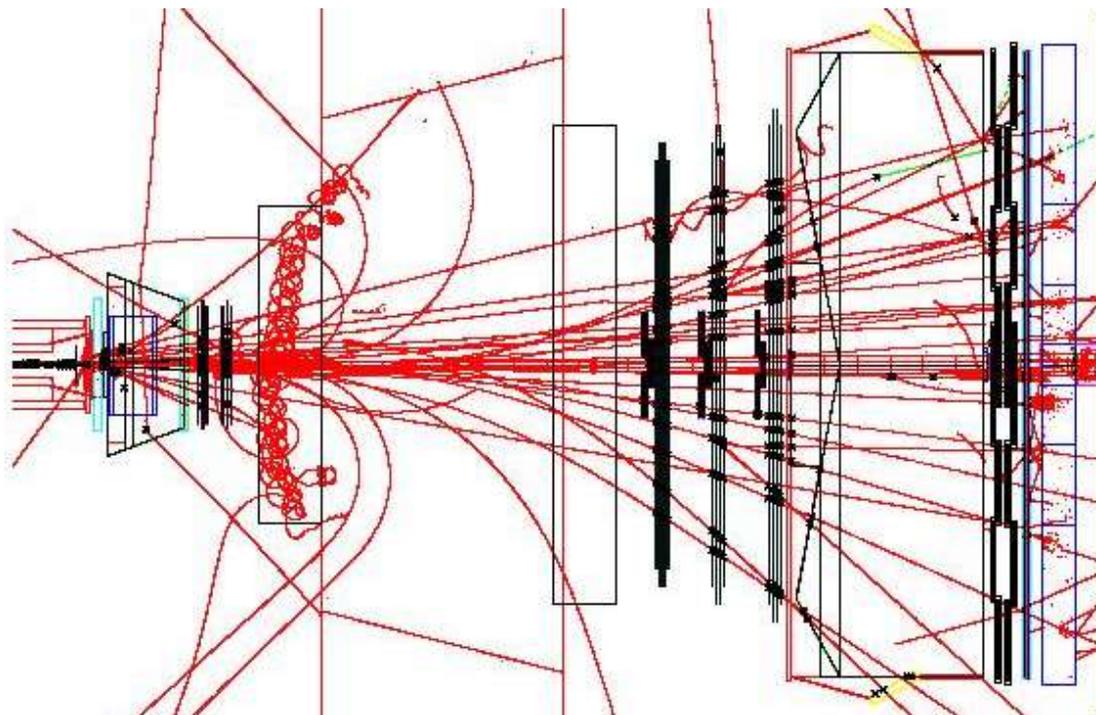
- Multiplicité typique
 - 30 traces longues par evt (full simulation : Pythia + GEANT)



- Longueur de désintégration du B ~ 1 cm

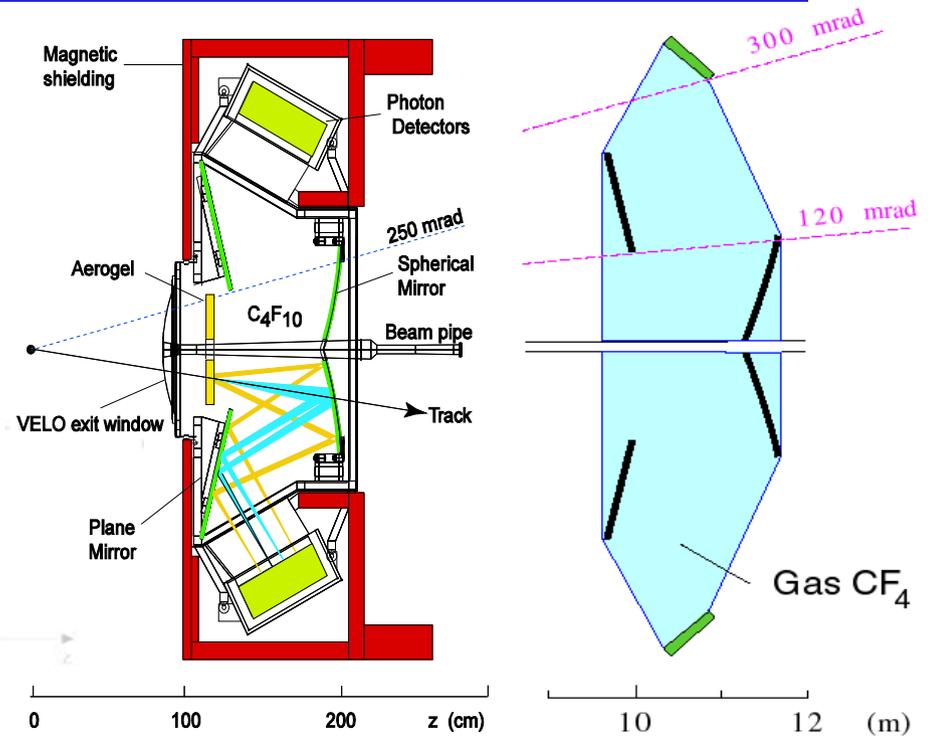
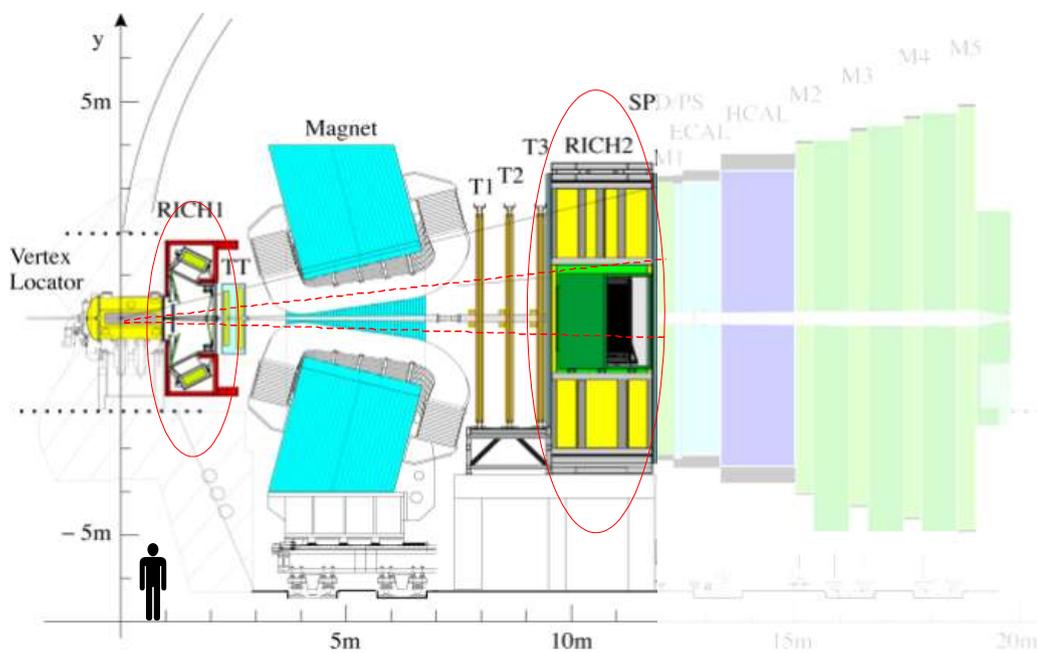
La Reconstruction des Traces (III)

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



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

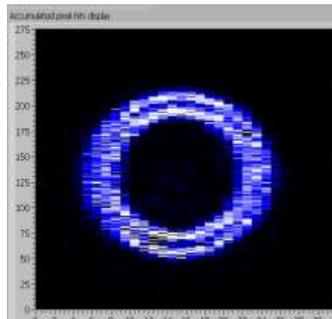
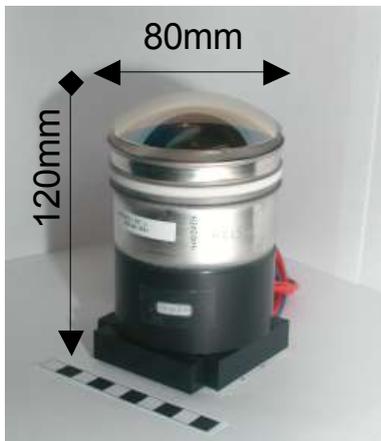
LHCb : L'Identification des Particules



- Photo-détection : HPD

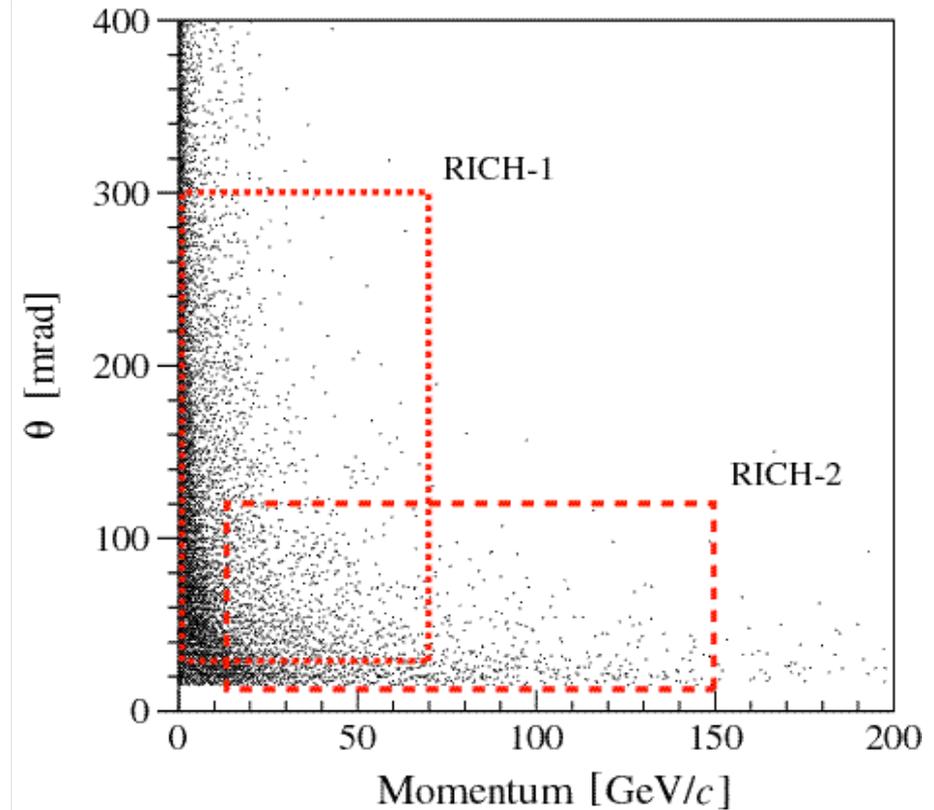
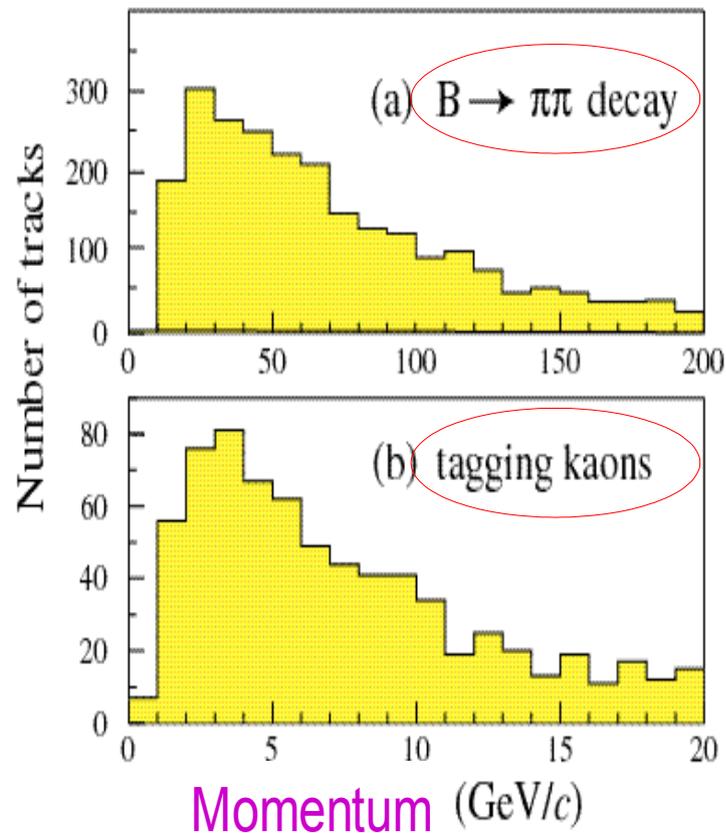
- Identification des particules réalisée par deux détecteurs Cerenkov

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

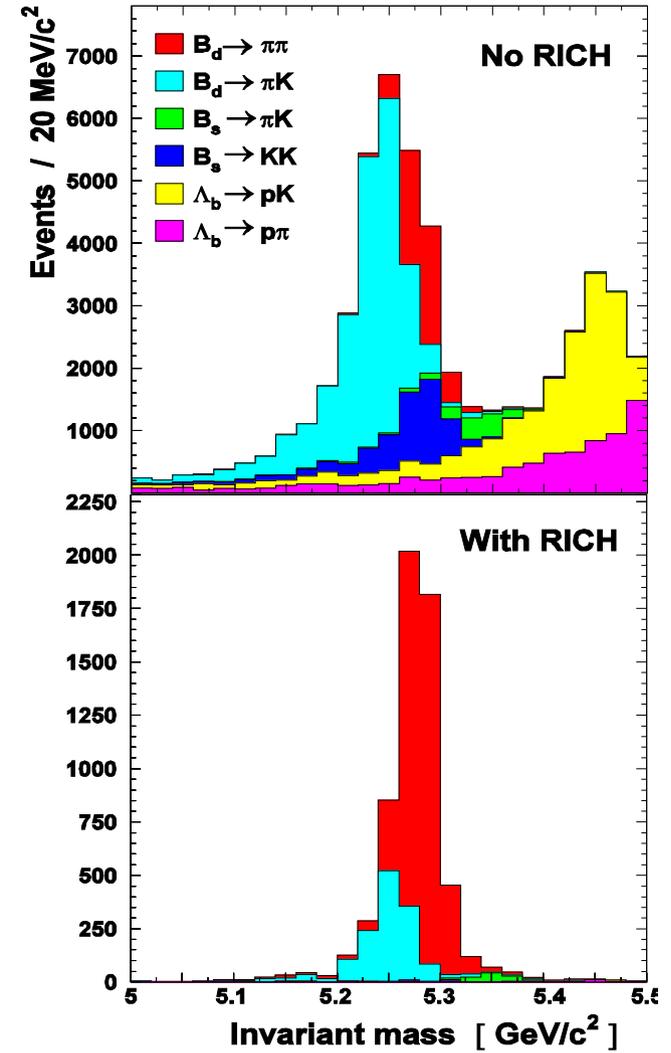
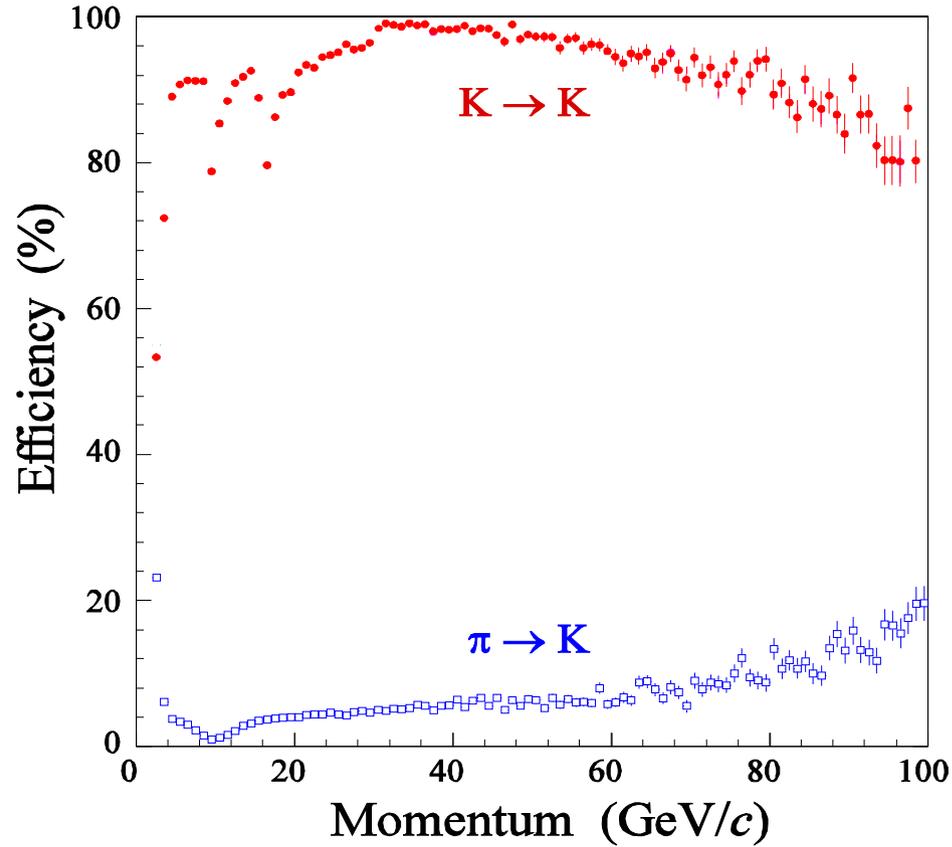


Complémentarité des RICH1 et RICH2

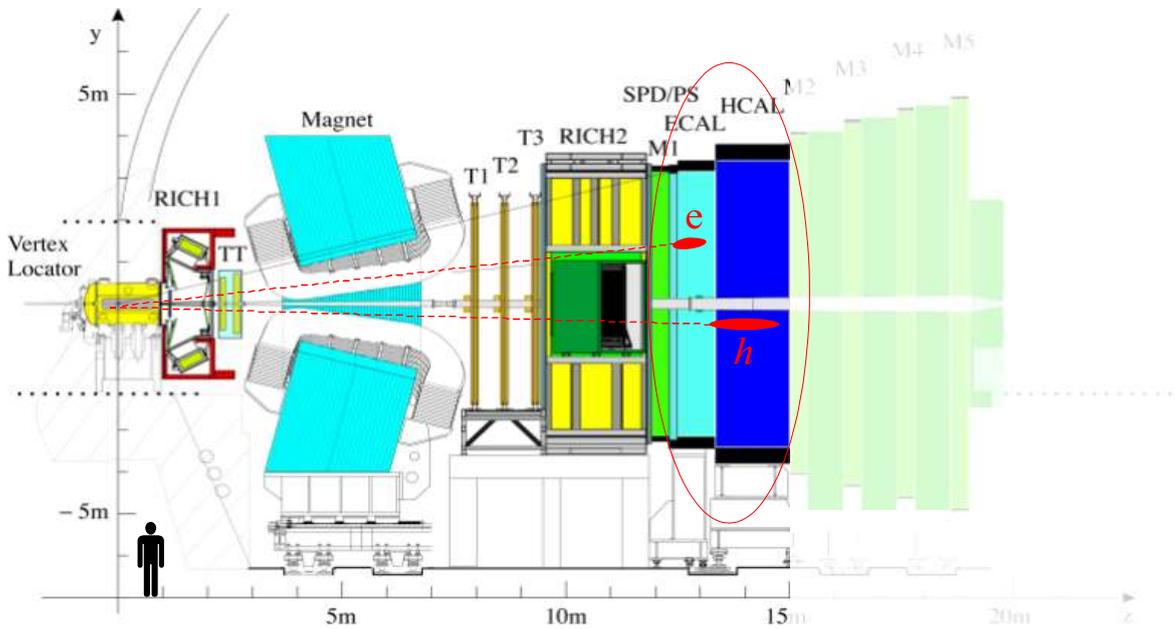
- Nécessité d'identifier des particules avec des impulsions très différentes



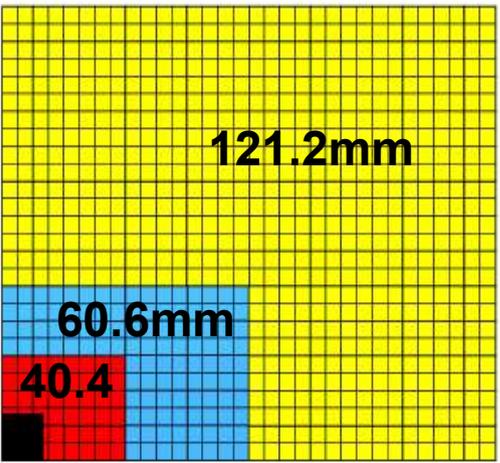
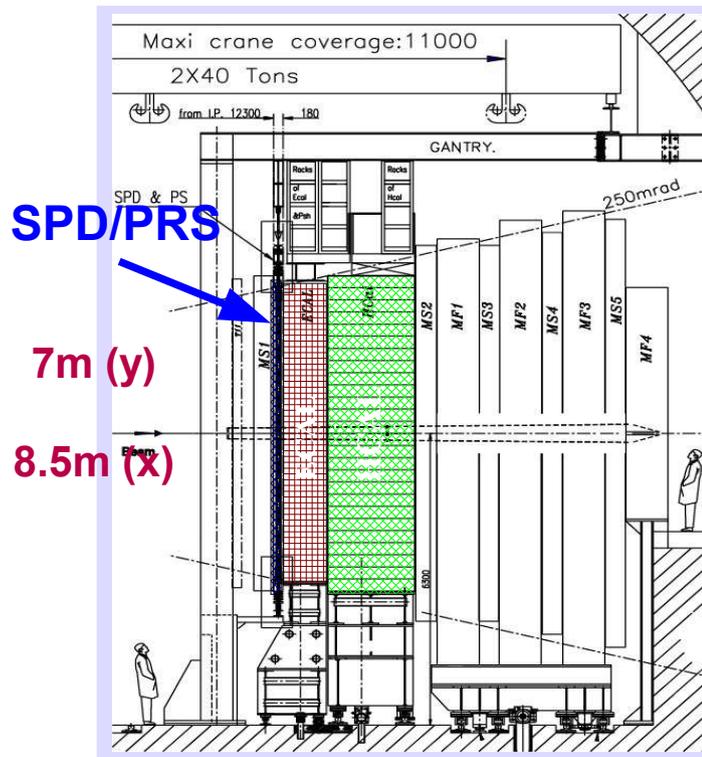
Identification des Particules



LHCb : Calorimétrie (I)

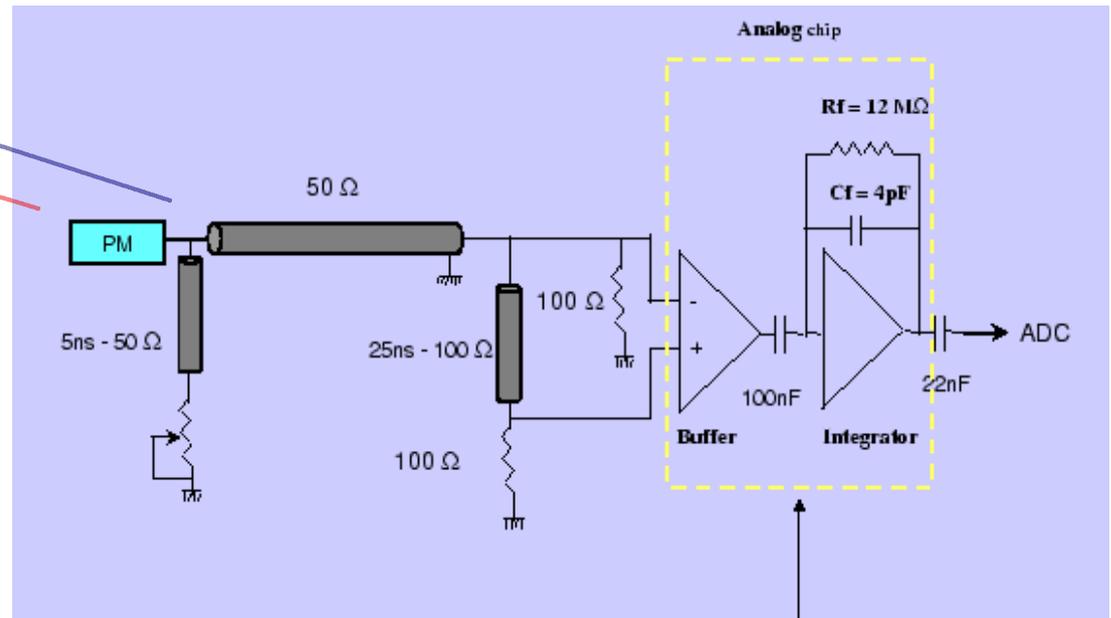
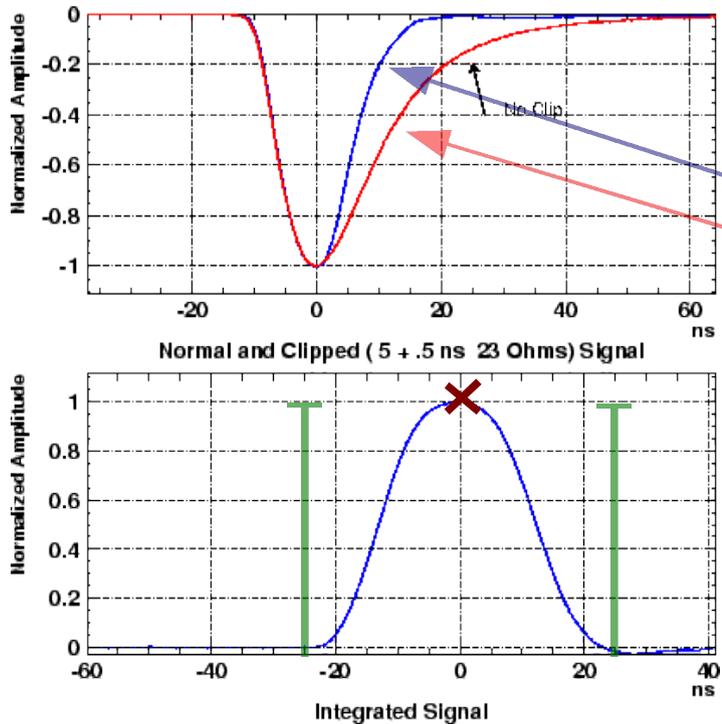
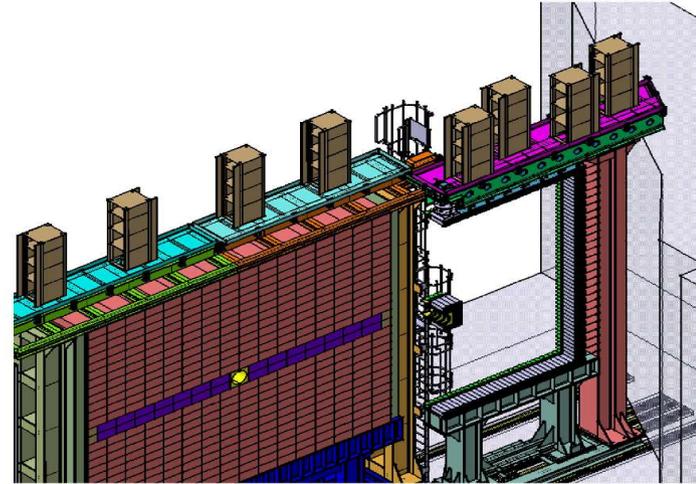


- Identification des hadrons, électrons, γ , π^0
- Mesures des Energies/Positions (impact)
- Déclenchement de Premier niveau
 - Sensible
 - Rapide (40MHz)
- SPD (état de charge)
- PRS (pied de gerbe)
 - Séparation
 - ♦ γ / chargés (SPD)
 - ♦ Electron, γ / π (PRS)
 - ♦ Multiplicité chargée (SPD)
- ECAL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



LHCb : Calorimétrie (II)

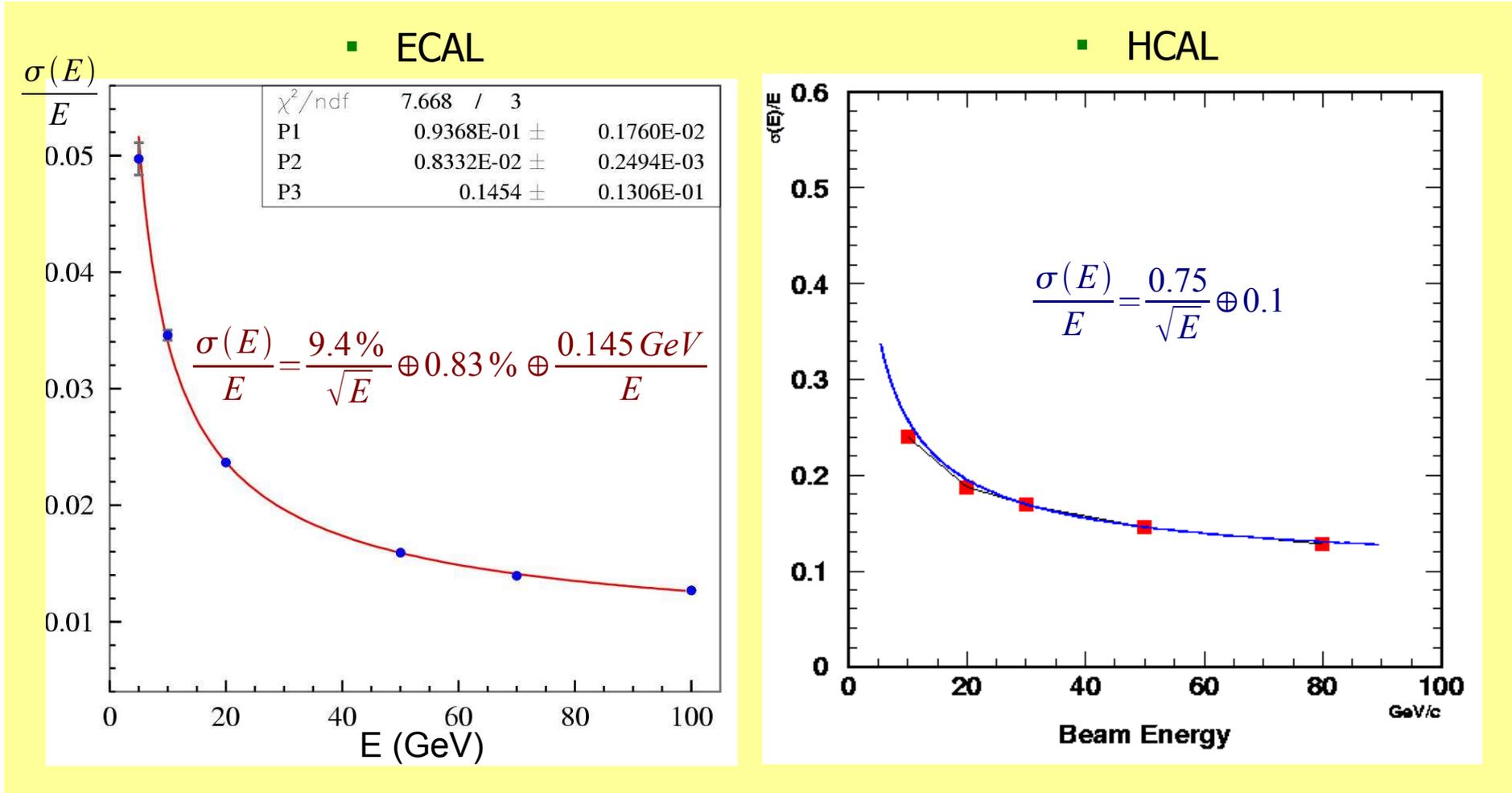
- ECAL : technologie Shashlik
 - Résistant aux radiations
 - Rapide
 - 66 couches : 2mm Pb + 6mm Sc
- HCAL : tuiles
 - Fer + Scintillateur
- Electroniques ECAL/HCAL identiques



BiCMOS 0.8 μ m Integrated Circuit 27/61
4 Channels per chip

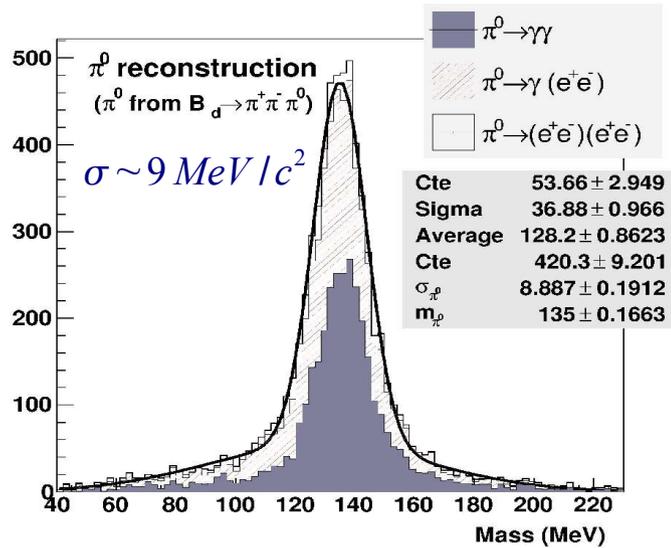
Résolution des Calorimètres

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

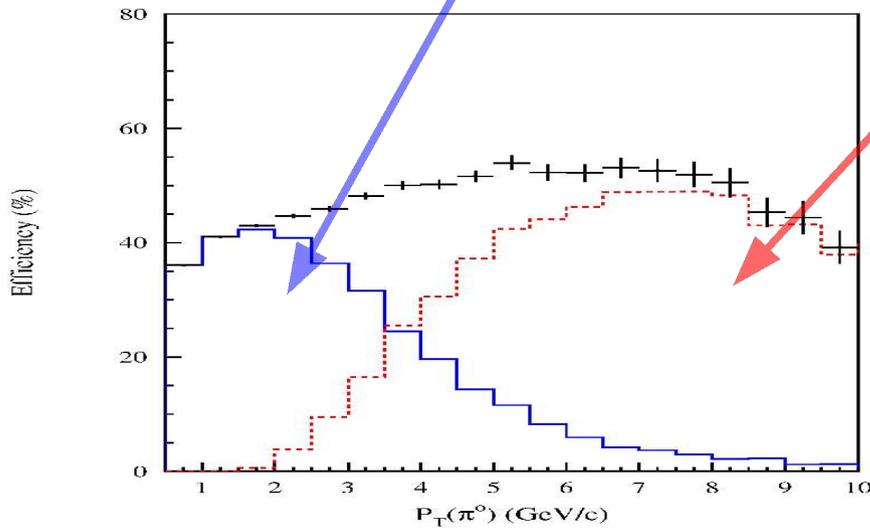
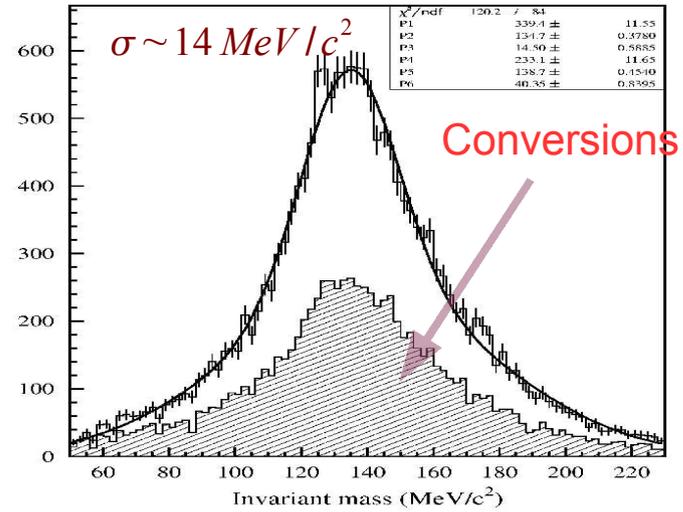


Reconstruction des Neutres

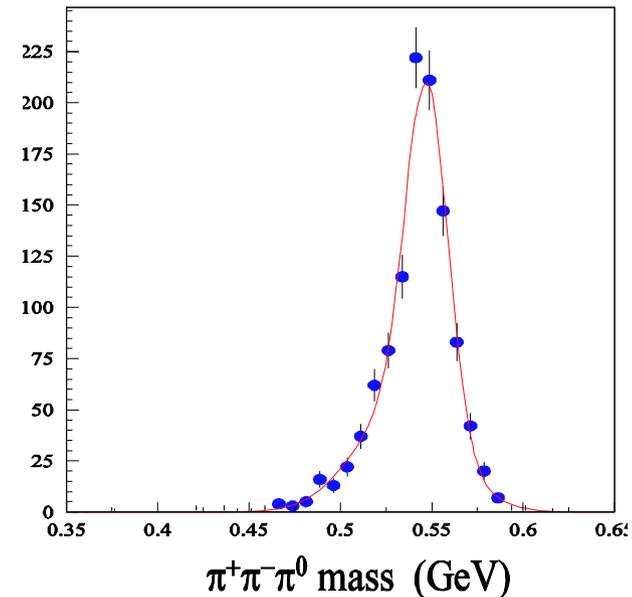
- π^0 résolus (2 clusters)



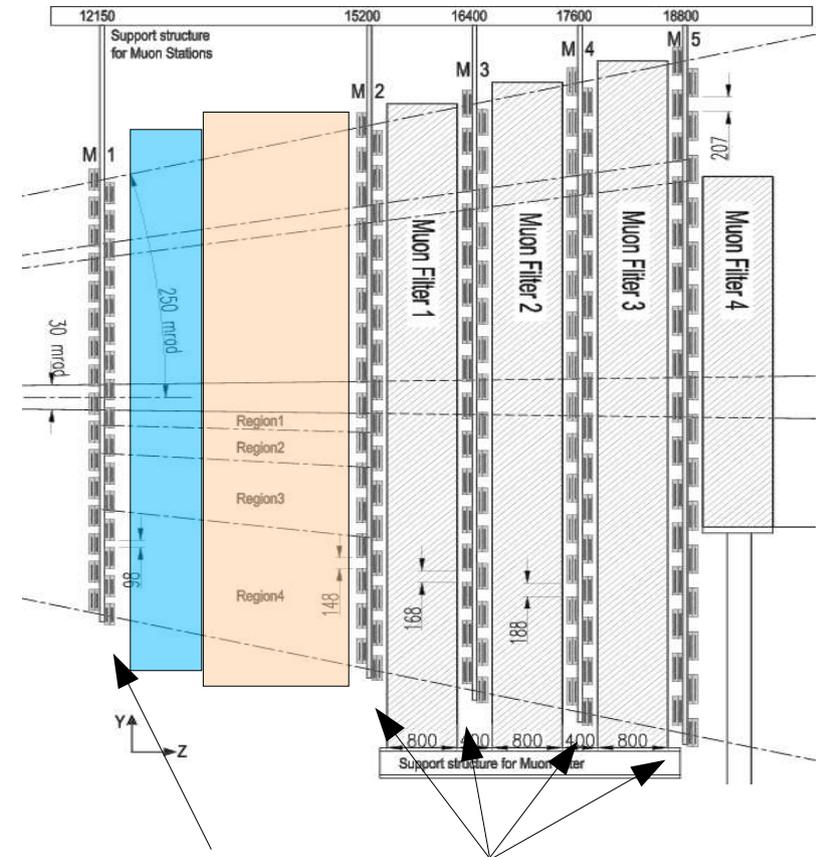
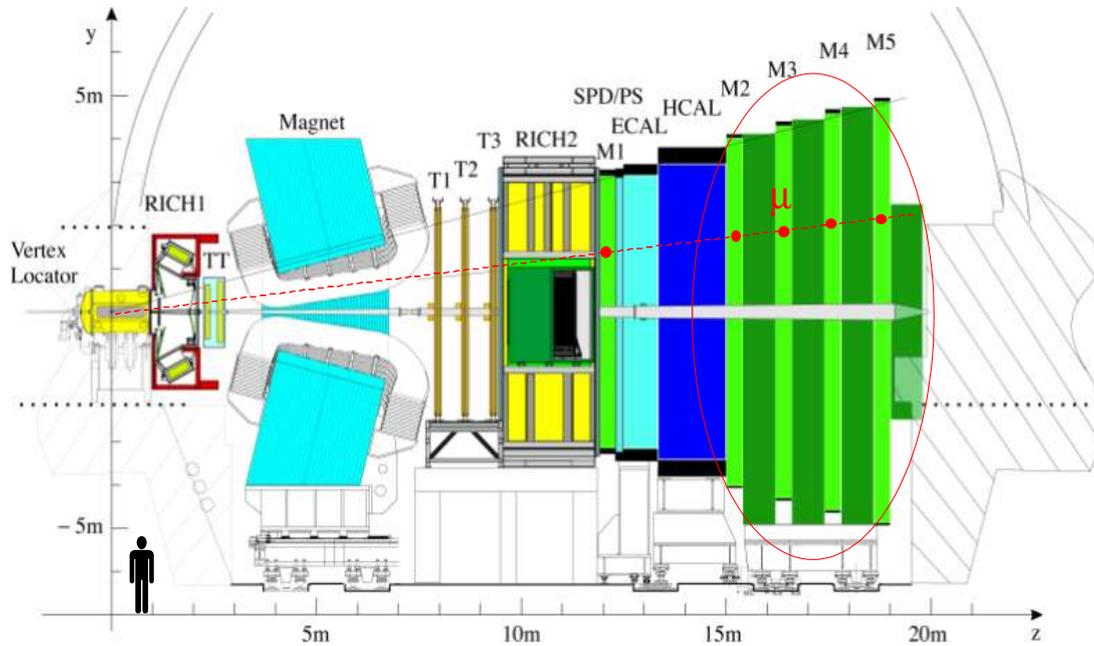
- π^0 non résolus (1 cluster)



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



LHCb : Détection et Reconstruction des muons (I)



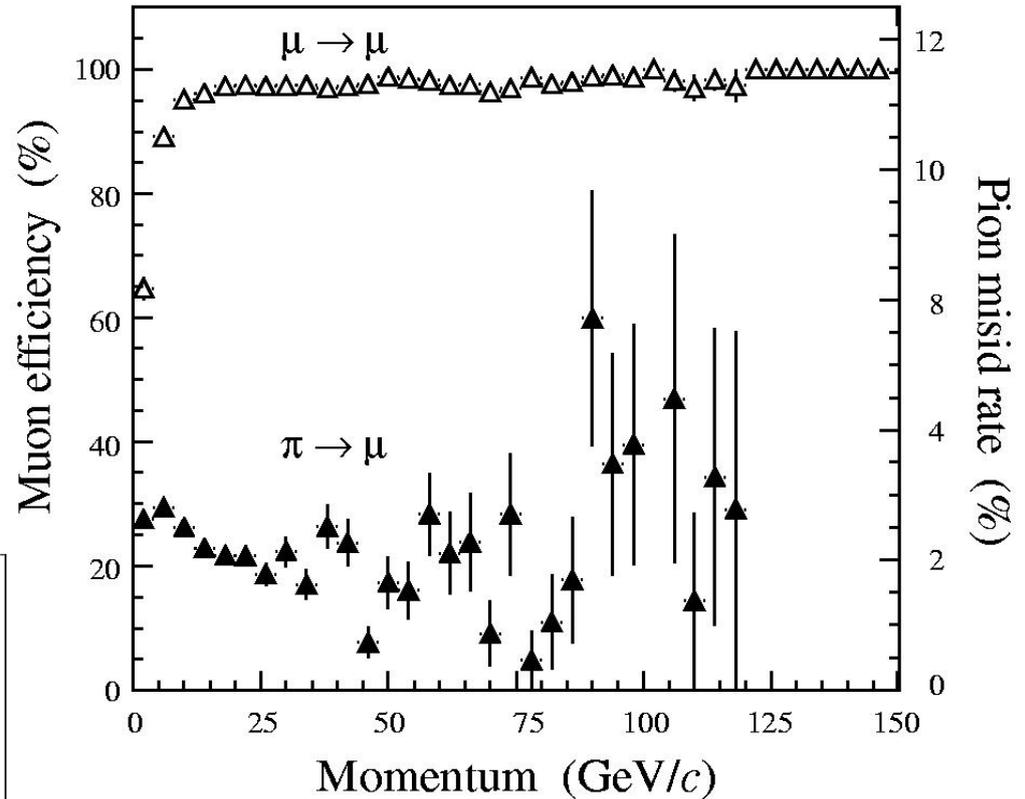
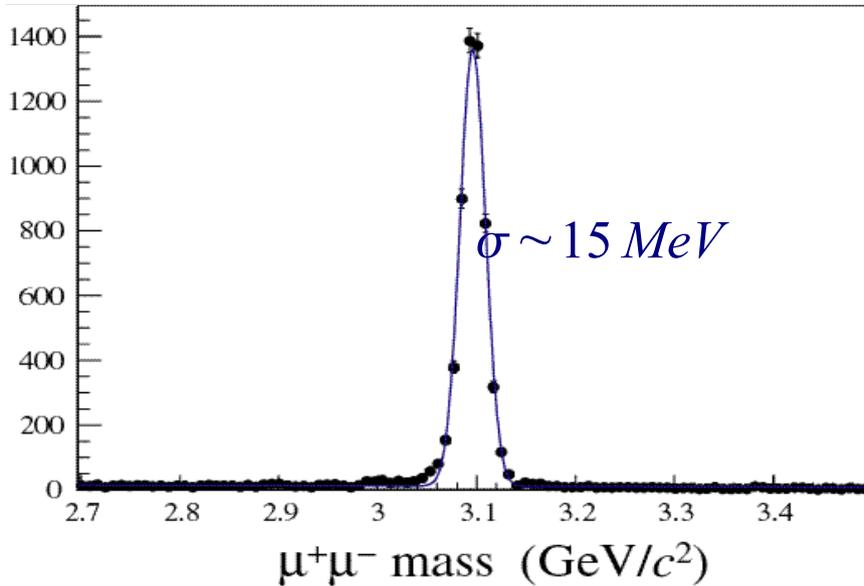
- Contraintes
 - Rapide (déclenchement)
 - Excellente efficacité (à des $p < 5\text{GeV}/c$)
 - Résolution $P_t > 20\%$ (L0)
 - Offline :
 - ♦ Efficacité $> 90\%$
 - ♦ Mistag $< 1.5\%$

- 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
 - $\epsilon(\mu)=93\%$
 - $\epsilon(\pi\rightarrow\mu)=1\%$

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



Déclenchement

40 MHz

Level-0 :
 μ, e, γ, h de Gd Pt
 Pile-up veto
 Déclenchement « Hardware » (4 μ s)

1 MHz

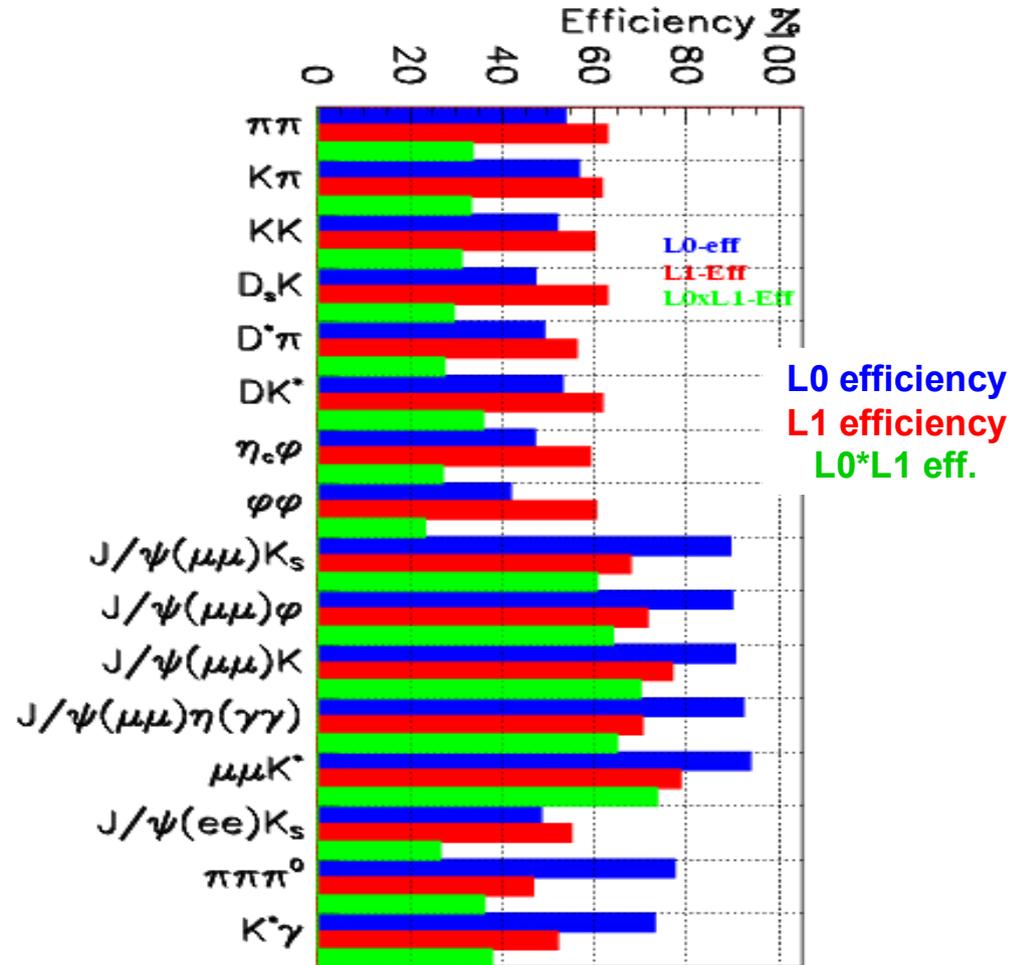
Level-1 :
 Gd Paramètre d'impact
 Gd Pt
 Déclenchement « Software » (1ms)

40 kHz

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

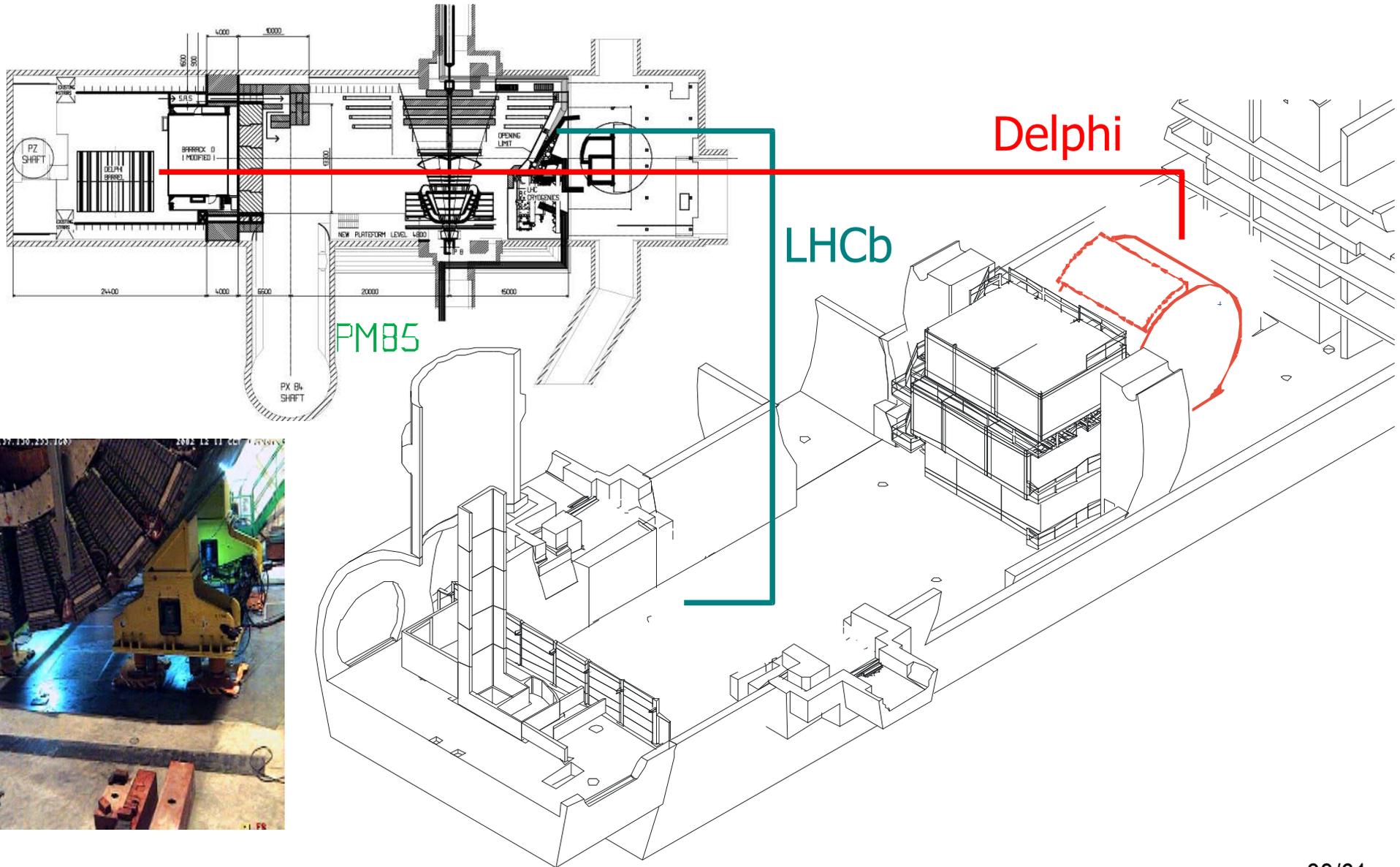
200 Hz + 1.8kHz

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)

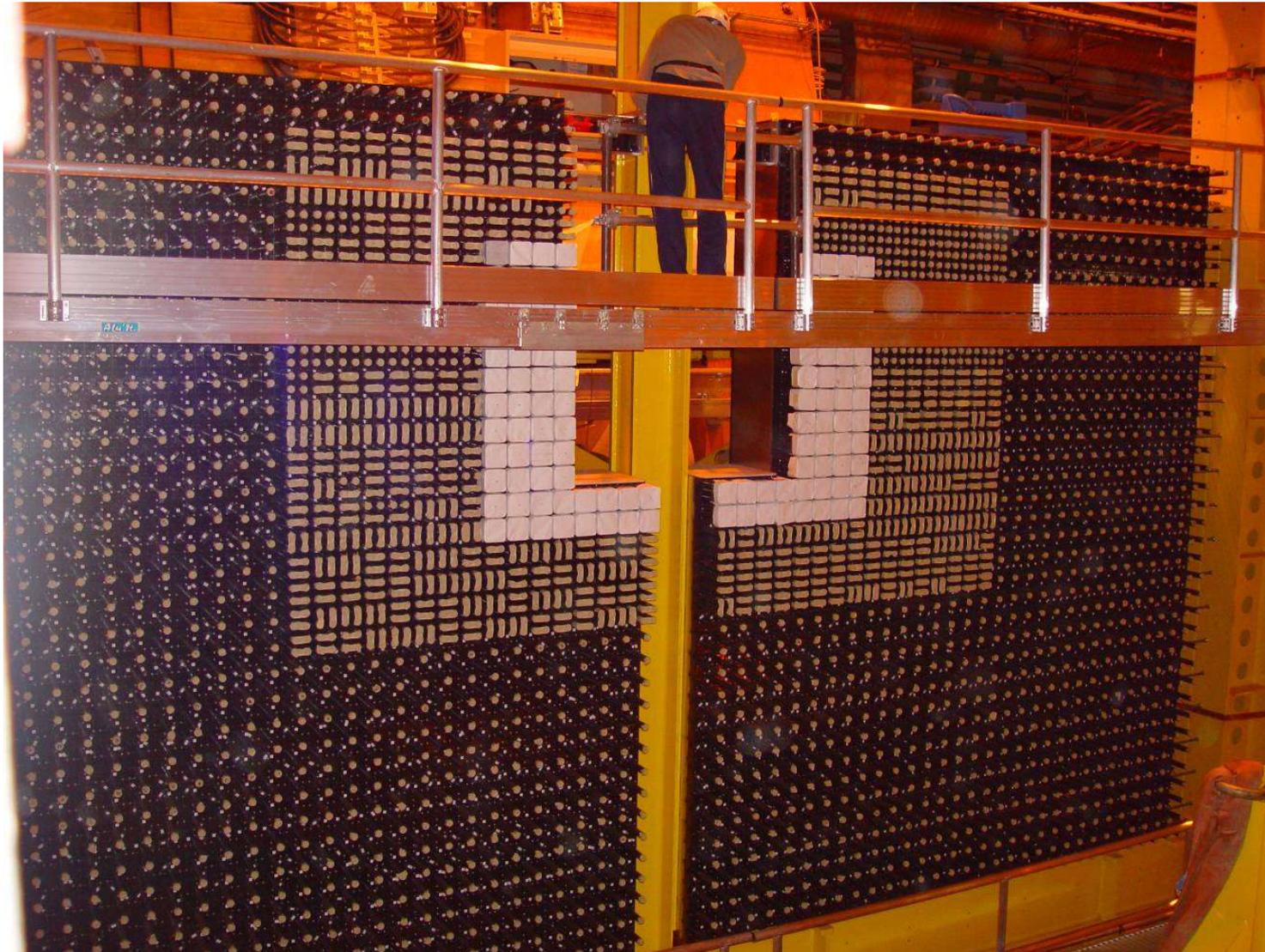
- LHCb installé dans le puits de l'expérience Delphi



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



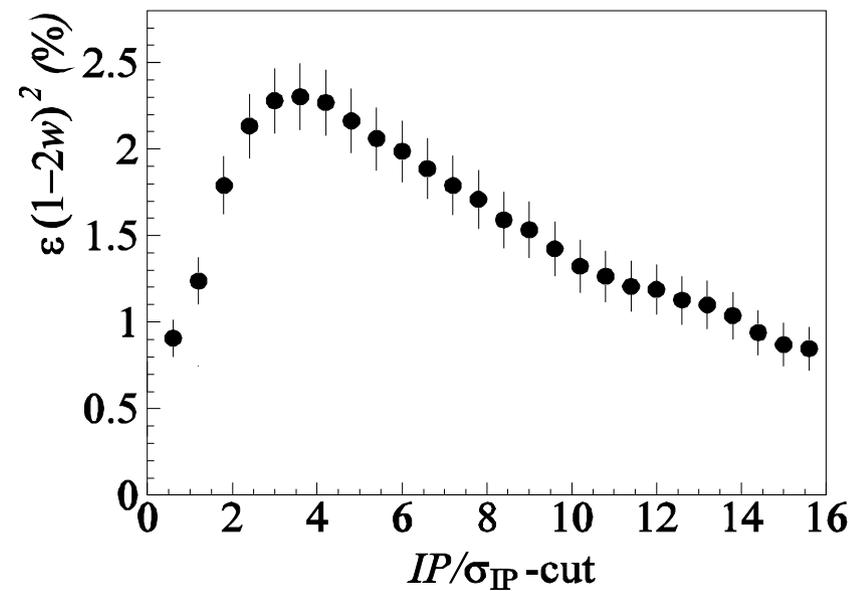
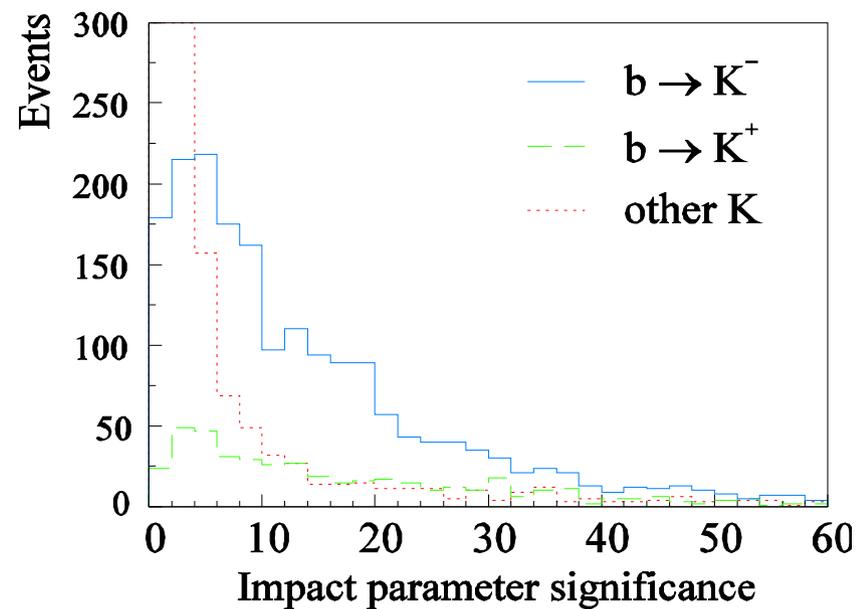
Etiquetage de la Saveur

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

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

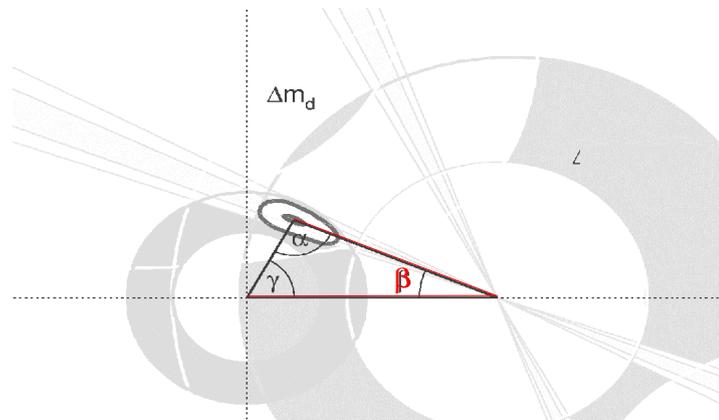
Tag	$\epsilon D^2 = \epsilon(1-2w)^2$ (%)
Muon	1.0
Electron	0.4
Kaon	2.4
Jet/Vertex charge	1.0
« Same side »	2.1

- 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 » : $\epsilon_{\text{eff}}(B_s) \sim 9$ %

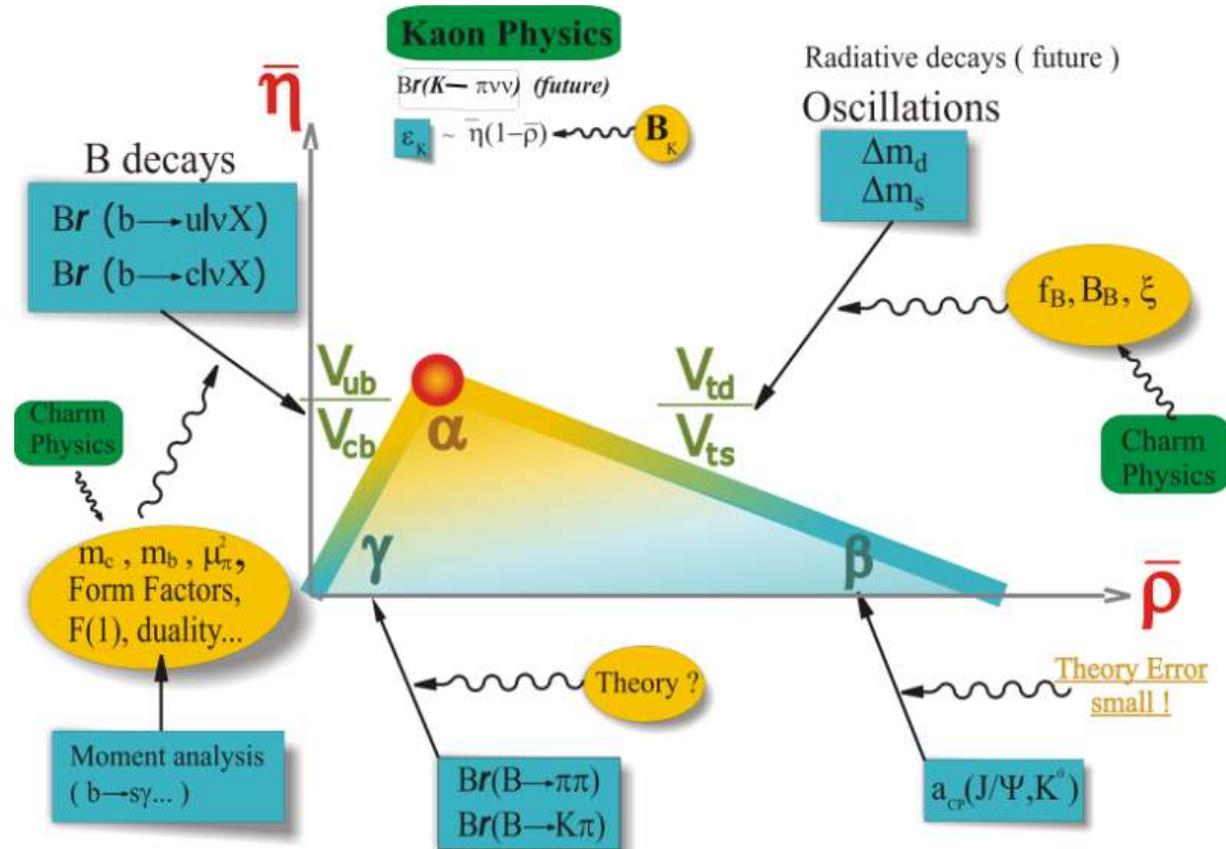
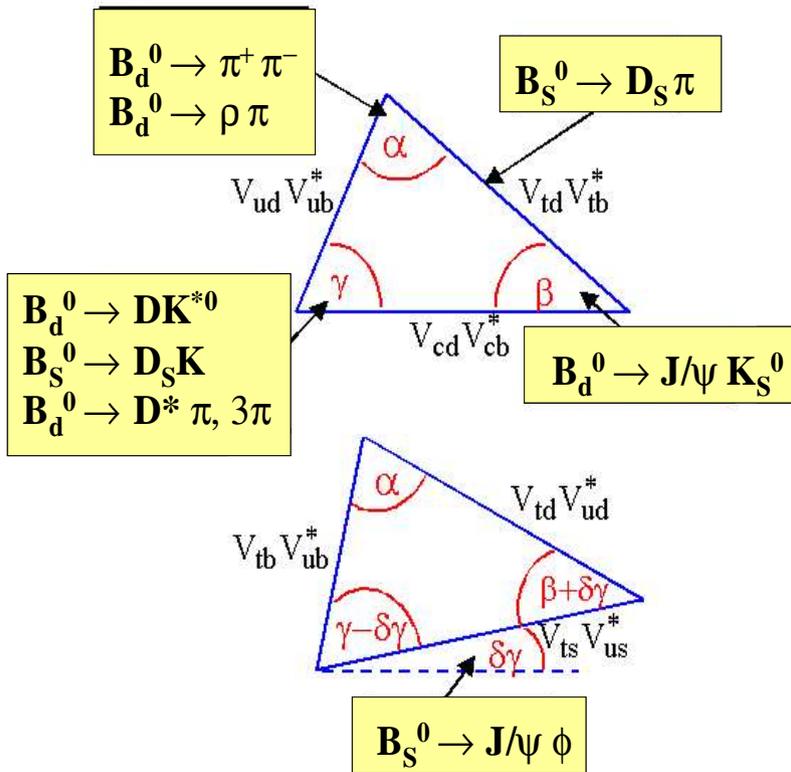


Le Programme de Physique

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

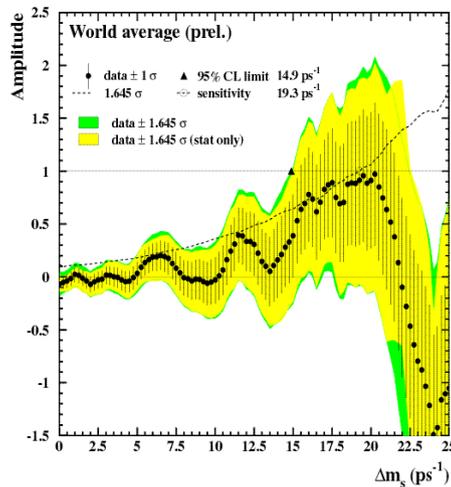


Triangle d'unitarité



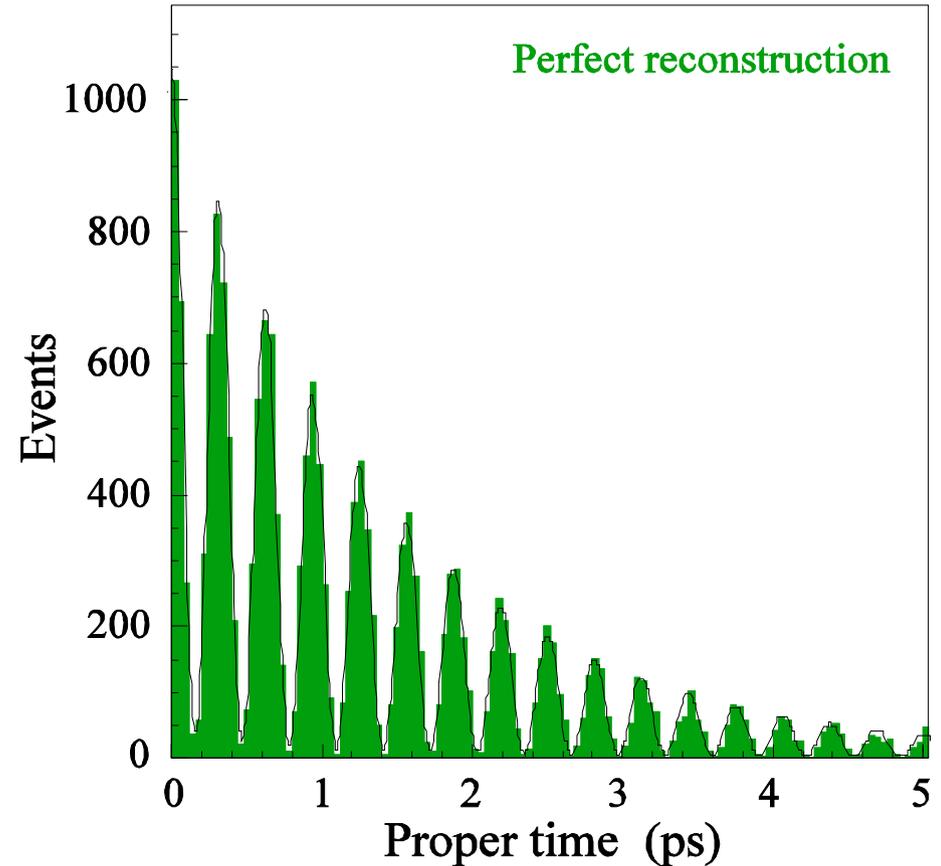
Oscillation du B_s

- 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 : $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



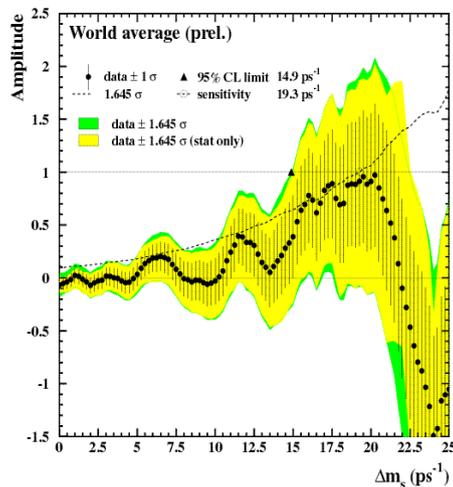
- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$
 - ♦ $D_s^- \rightarrow \phi \pi^-$, $\phi \rightarrow K^+ K^-$
 - ♦ 80000 evts, B/S ~ 0.32

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



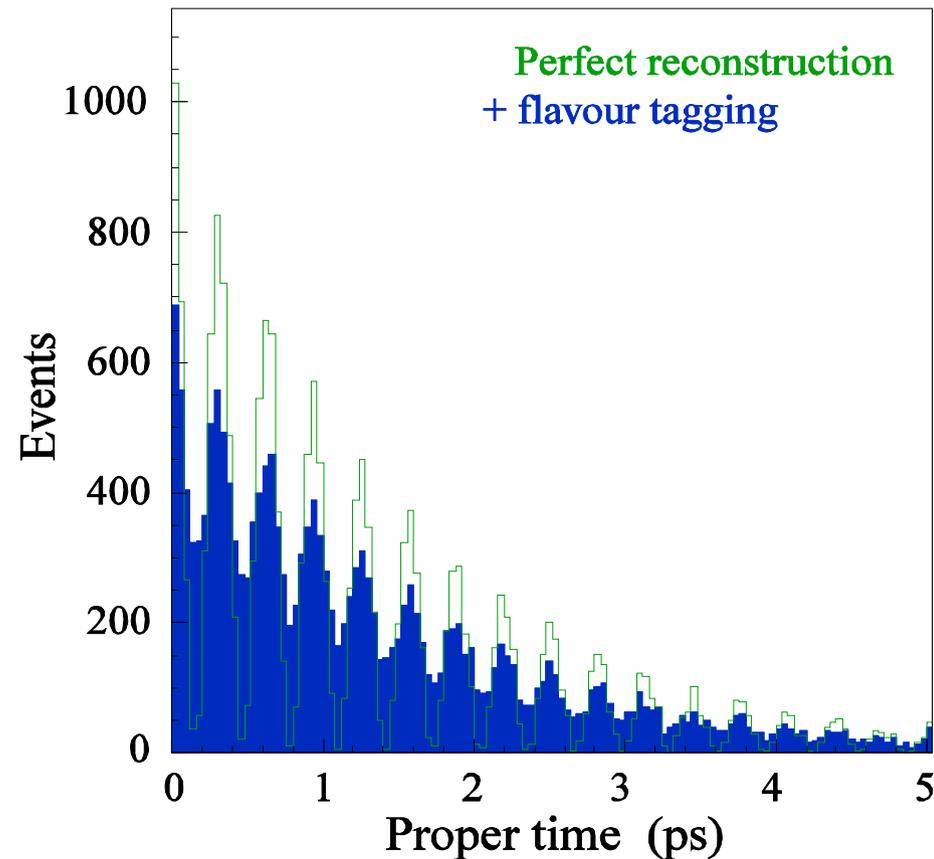
Oscillation du B_s

- 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 : $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



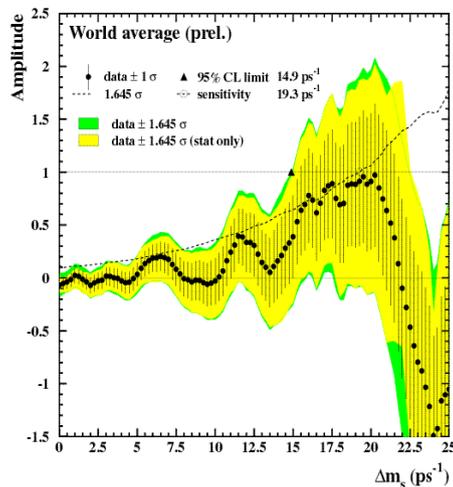
- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$
 - ♦ $D_s \rightarrow \phi \pi^-, \phi \rightarrow K^+ K^-$
 - ♦ 80000 evts, B/S ~ 0.32

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



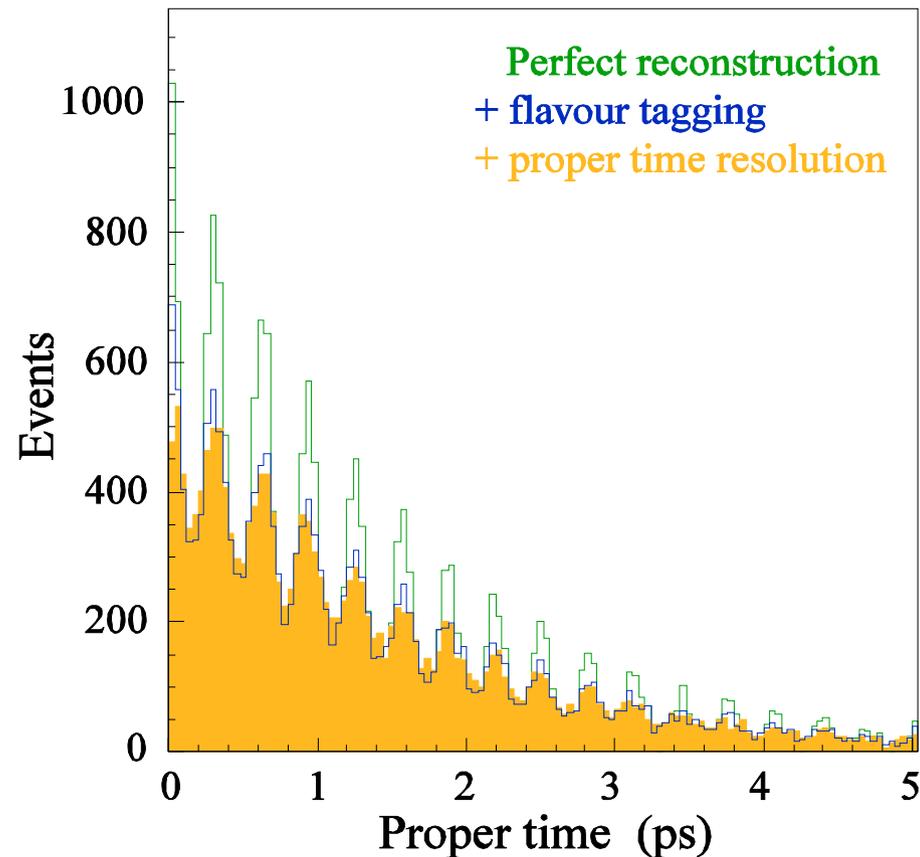
Oscillation du B_s

- 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 : $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



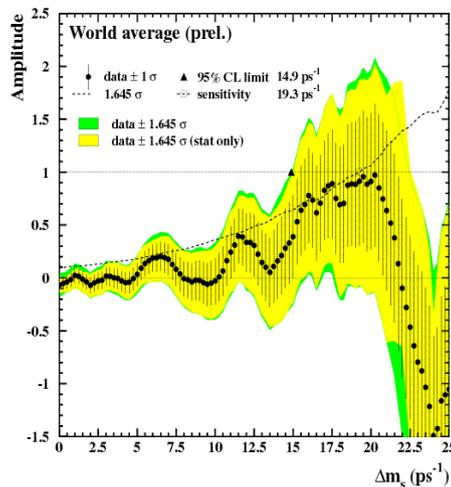
- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$
 - ♦ $D_s \rightarrow \phi \pi^-, \phi \rightarrow K^+ K^-$
 - ♦ 80000 evts, B/S ~ 0.32

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



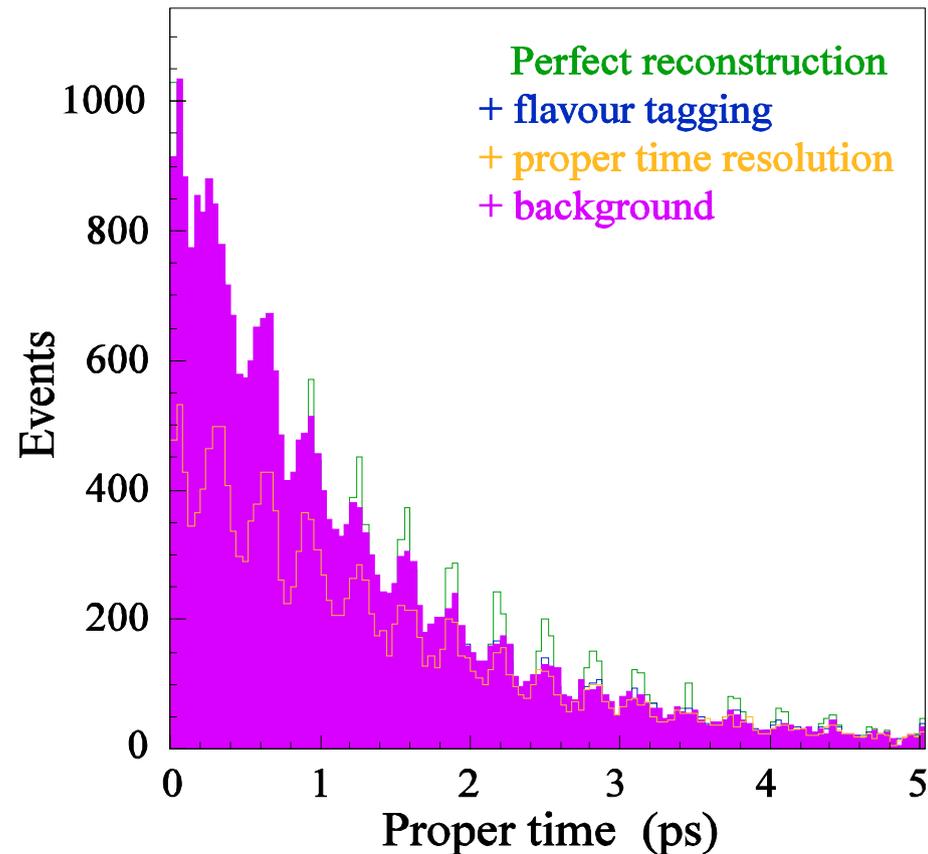
Oscillation du B_s

- 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 : $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



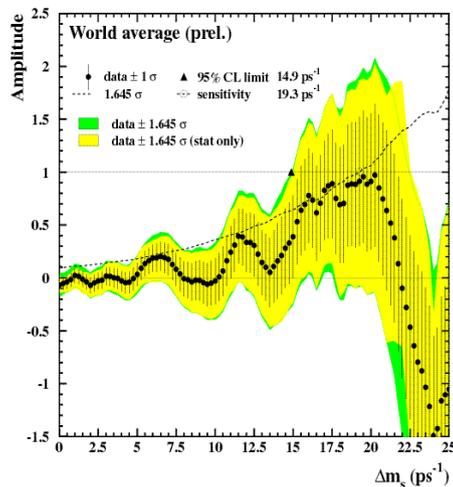
- CDF/D0 ?
- Le mode le plus simple $B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$
 - ♦ $D_s \rightarrow \phi \pi^-, \phi \rightarrow K^+ K^-$
 - ♦ 80000 evts, B/S ~ 0.32

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



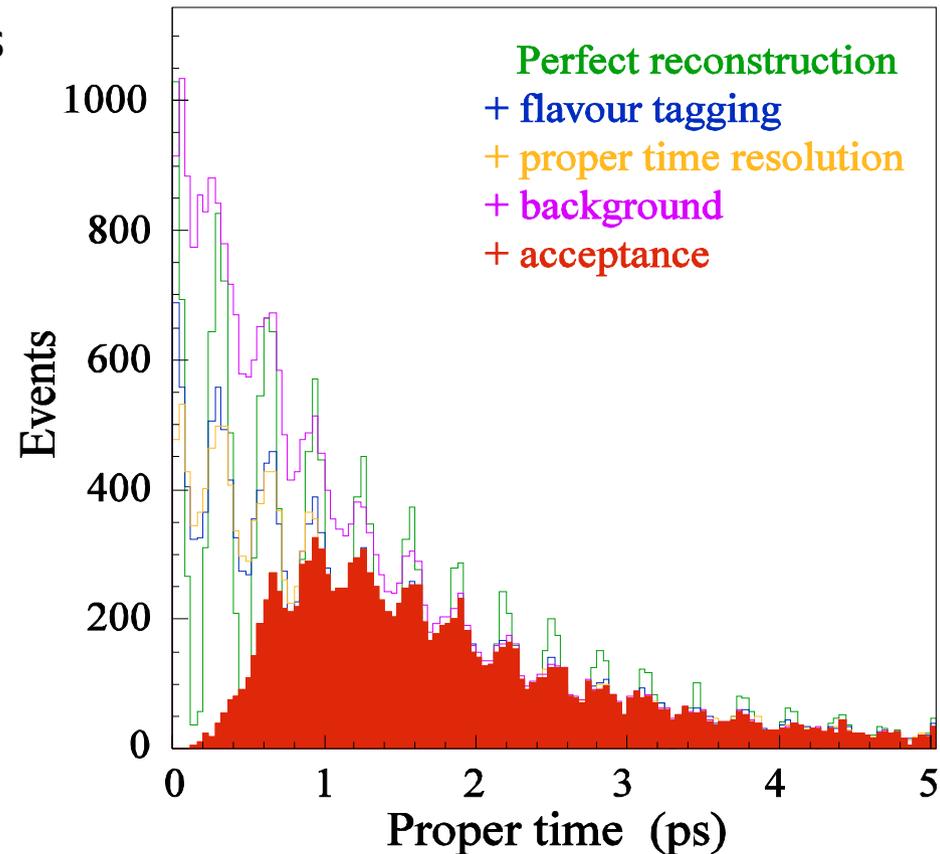
Oscillation du B_s

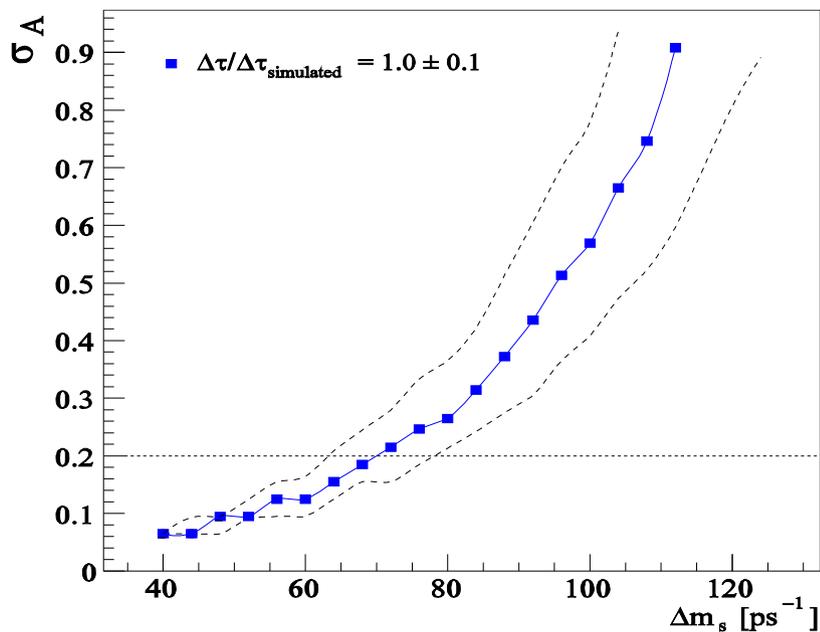
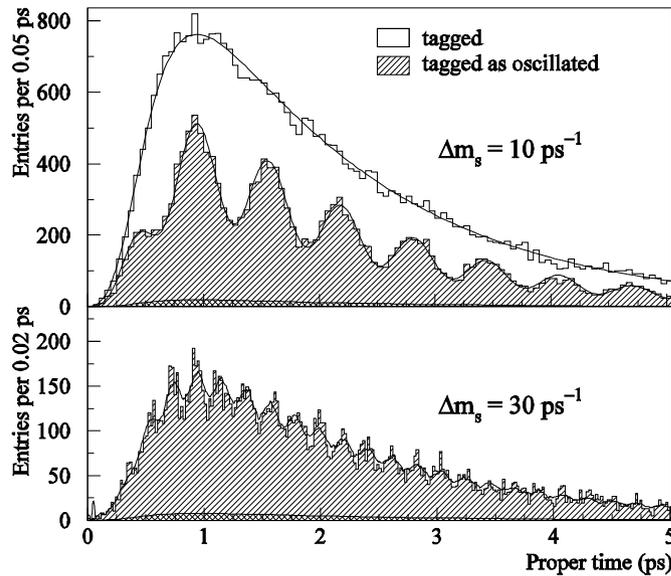
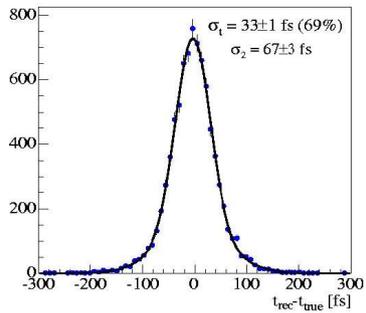
- Sur LHCb toutes les types de « B » sont produits :
 - $B_0, B^{+/-}, B_s, B_c, b$ -baryons
 - Fractions : 40, 40, 10, 0.1 et 10%
- La mesure des oscillations des B_s est l'un des premiers buts
 - LEP + SLD : $\Delta m_s > 14.4 \text{ ps}^{-1}$



- 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 ~ 0.32

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

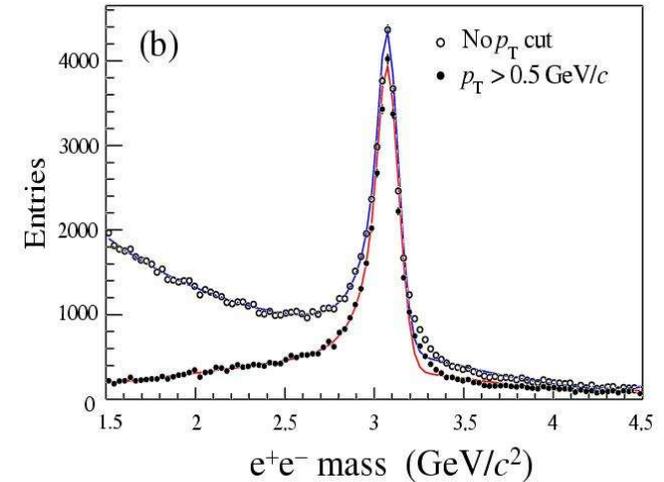




- Résolution temps propre ~ 40 fs
- Etiquetage de l'état de production
 - Efficacité ~ 55 %
 - Mistag ~ 30 %
- Incertitude sur l'amplitude des oscillation vs Δm_s
 - En 1 an :
 - Observation à 5σ des oscillations pour $\Delta m_s < 68$ ps $^{-1}$
 - LHCb doit scanner le domaine permis par le Modèle Standard
 - 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 $\cos \Delta m_d t$



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

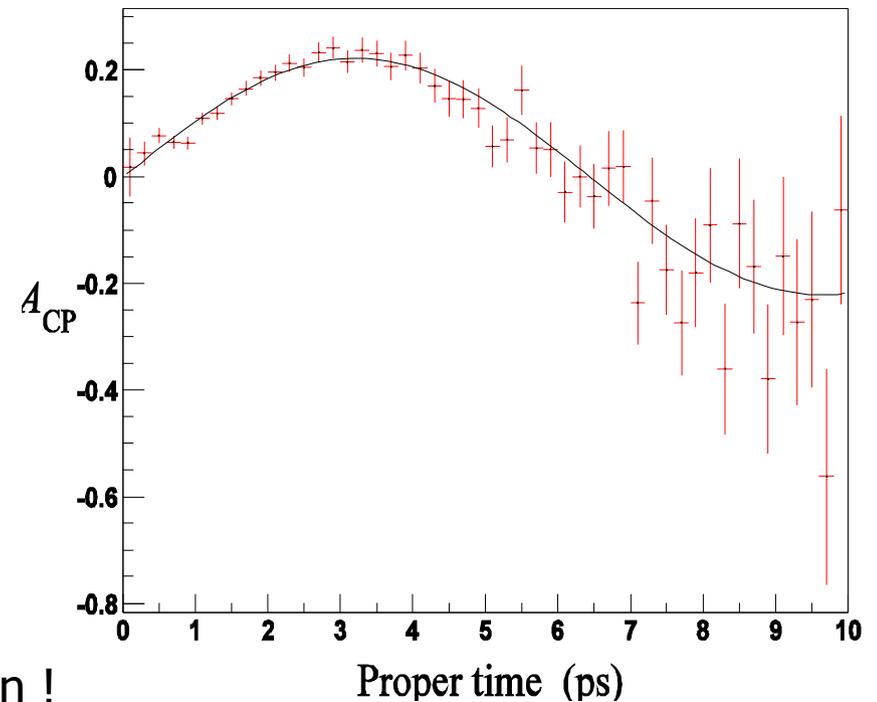
$$A_{f_{CP}} = S_{f_{CP}} \sin(\Delta m_d t) + C_{f_{CP}} \cos(\Delta m_d t)$$

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

↓
Sin (2β)

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

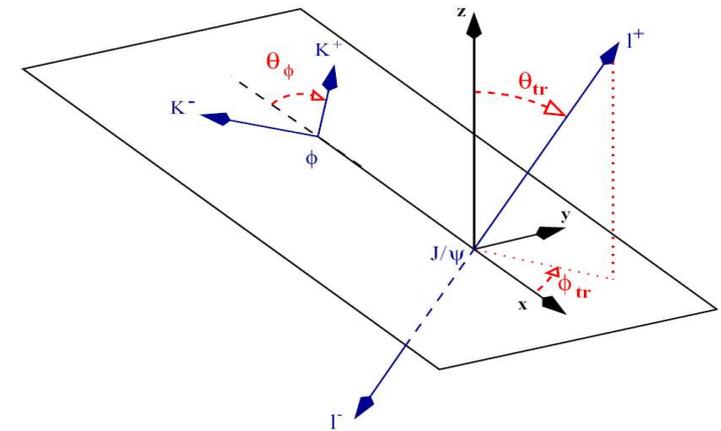
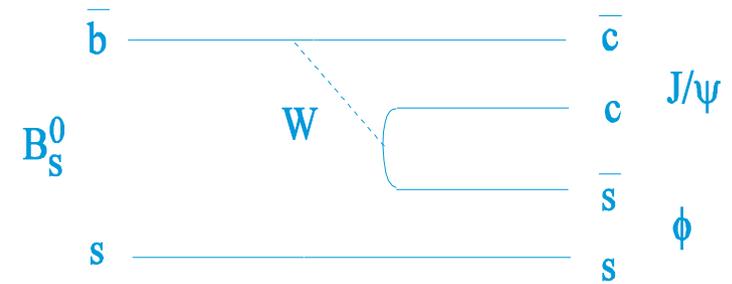
↓
=0



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

Φ_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 Φ_s , phase de l'oscillation du B_s (V_{ts})
- Dans le modèle standard est petit Φ_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



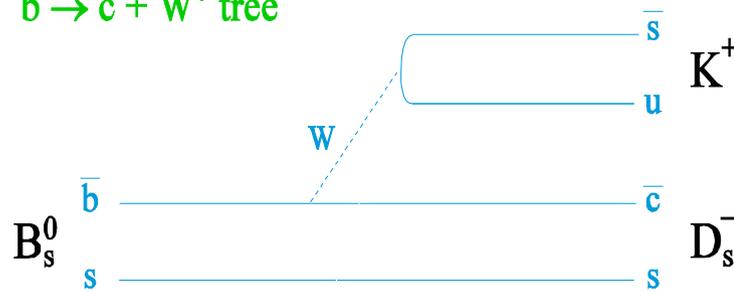
$\sigma(\sin\phi_s)$	$\sigma(\Delta\Gamma_s/\Gamma_s)$
0.06	0.02

γ par le mode $D_s K$ (I)

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

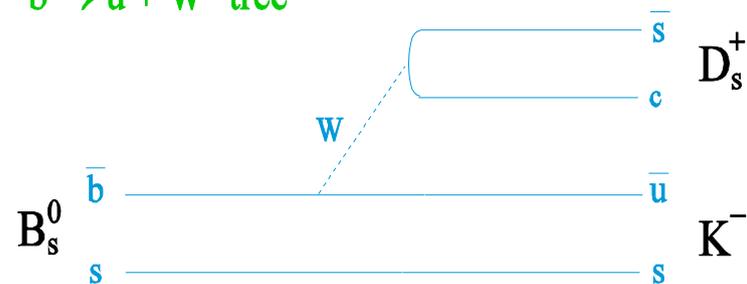
- $B_s \rightarrow D_s(KK\pi) K$

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



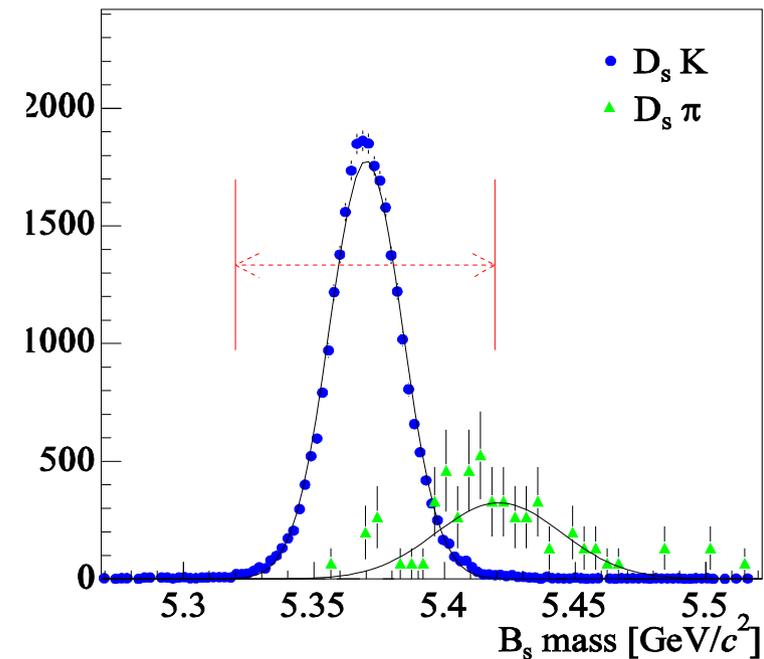
$BR \sim 20 \times 10^{-5}$

$\bar{b} \rightarrow \bar{u} + W^+$ 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)
 - Φ_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)



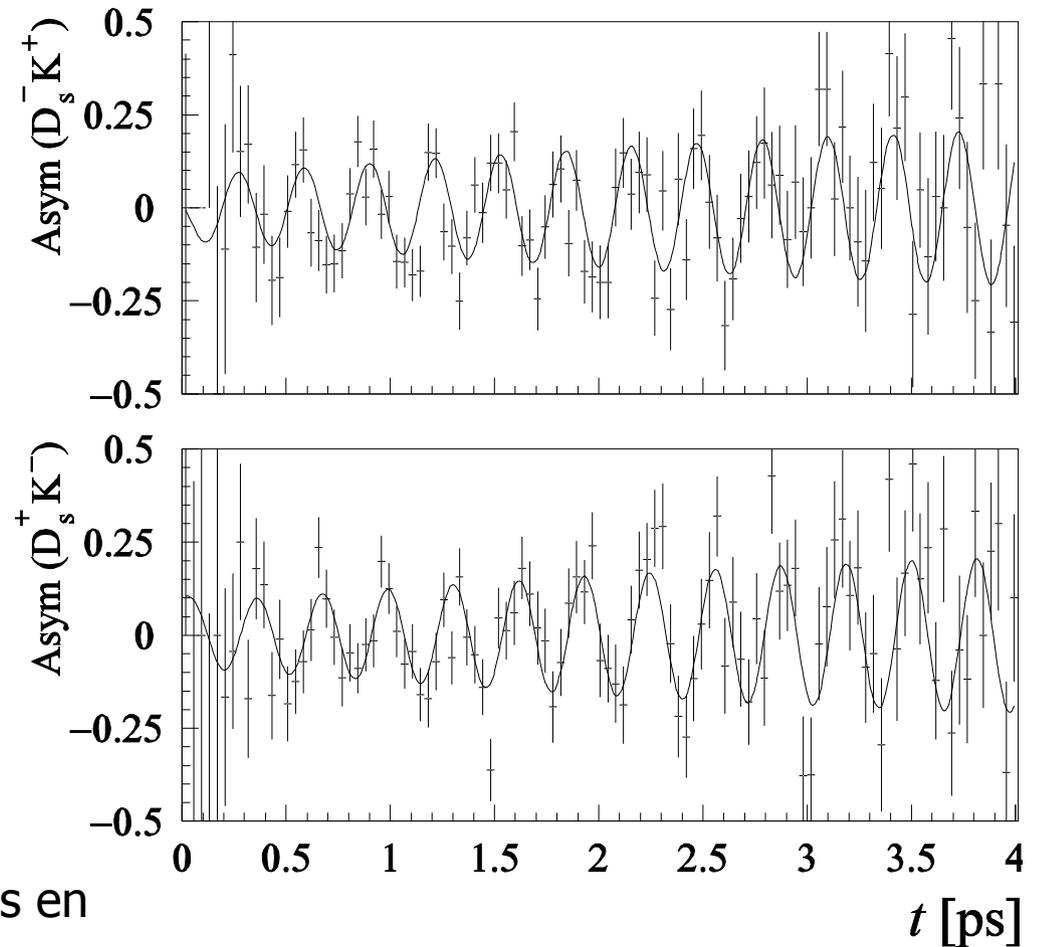
γ par le mode $D_s K$ (II)

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

Δm_s	20 ps ⁻¹	25 ps ⁻¹	30 ps ⁻¹
$\sigma(\gamma)$	14.2°	16.2°	18.3°

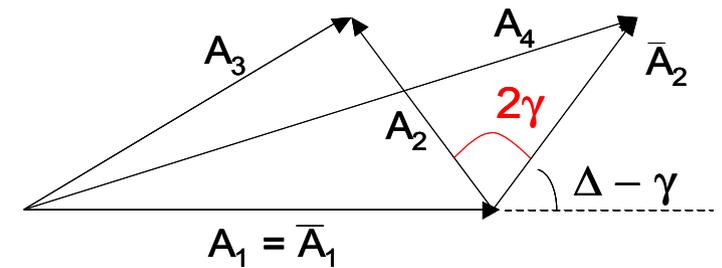
- Les ambiguïtés sur γ peuvent être levées en utilisant $B^0 \rightarrow D^{(*)} \pi$ et la symétrie U-spin (échange de d et s)

Asymétrie mesurée en 5 années



γ 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 γ et de la phase forte Δ
 - $A(B^0 \rightarrow D_{CP} K^{*0}) = 1/\sqrt{2} (A(\bar{B}^0 \rightarrow D^0 K^{*0}) + A(B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}))$
 - $A_3 / \sqrt{2} = 1/\sqrt{2} (|A_1| + |A_2| e^{i(\Delta + \gamma)})$
- Étiquetage simple (self-tagging) par $K^{*0} \rightarrow K^+ \pi^-$



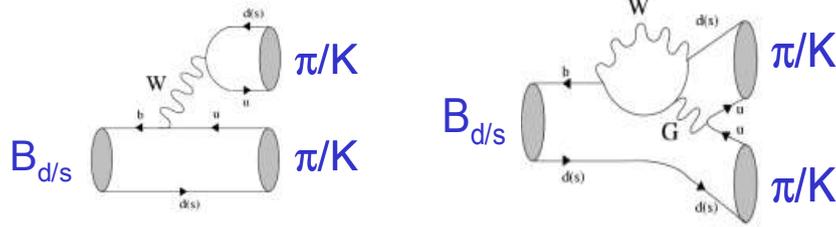
Mode	Evts	S/B
$B^0 \rightarrow D^0 (K^+ \pi^-) K^{*0}$	3400	> 3.3
$B^0 \rightarrow D^0 (K^- \pi^+) K^{*0}$	500	> 0.6
$B^0 \rightarrow D_{CP}^0 (K^+ K^-) K^{*0}$	600	> 0.7

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

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

γ par $B_{(s)} \rightarrow h^+ h^-$

- A l'origine α 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
 - γ, Φ_s, Φ_d
 - Ratio des contributions Arbre/pingouin $\sim d e^{i\theta}$

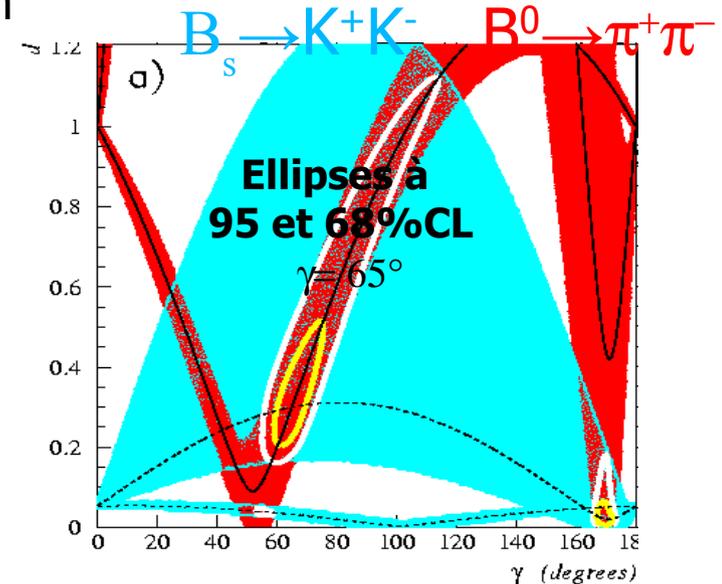
- Symétrie U-spin (échange d et s)

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

- Incertitudes liées à la symétrie U-Spin

- Sensible à une nouvelle physique par pingouins:

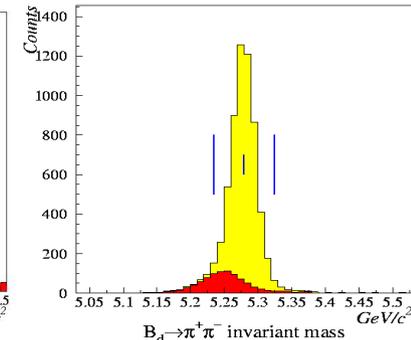
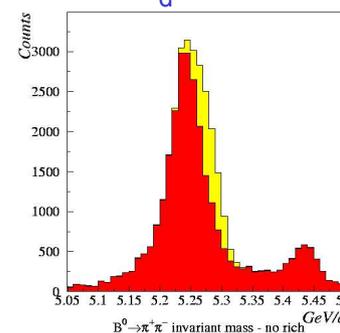
	evts/an	B/S
$B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	26 k	<0.7
$B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$	135 k	0.16
$B_s \rightarrow K^+ K^-$	37 k	0.31



Séparation K/ π avec le Rich

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

Sans Rich



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

Contraintes imposées sur γ

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

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

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

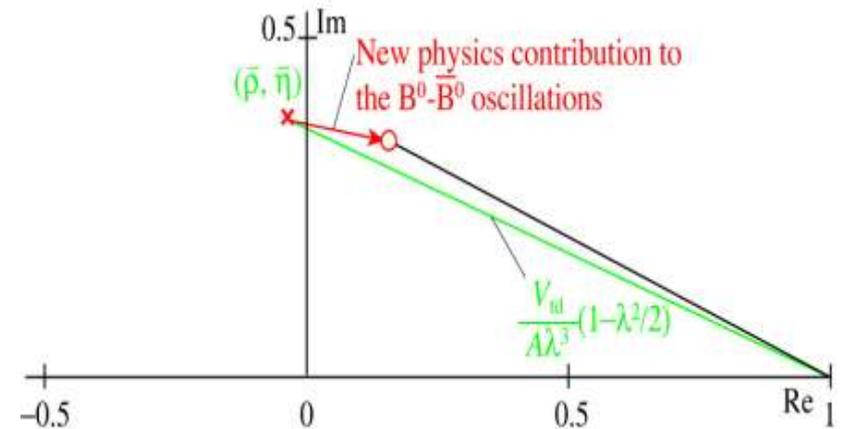
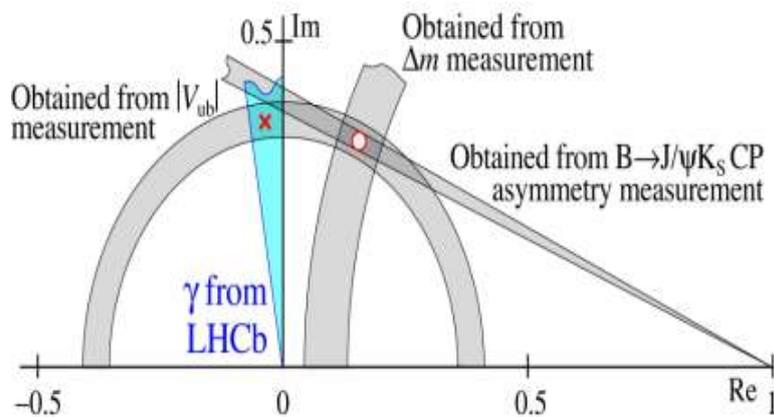
Indépendant de nouvelle physique (arbre)

Mesure de γ affectée par la nouvelle physique (pingouin)

Mesure de γ affectée par nouvelle physique dans le mélange des D

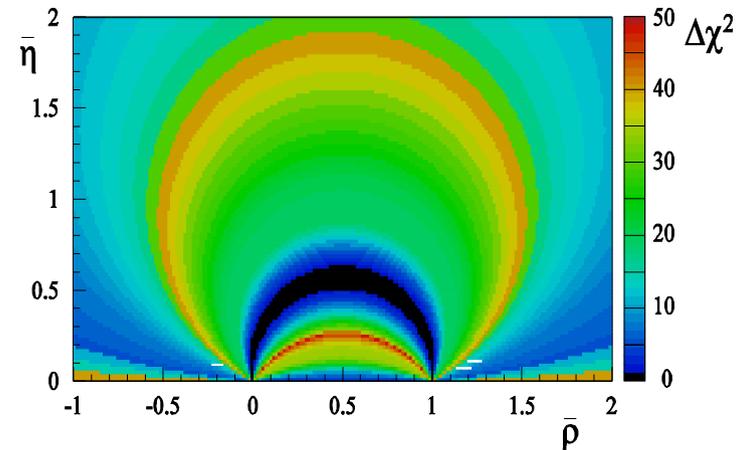
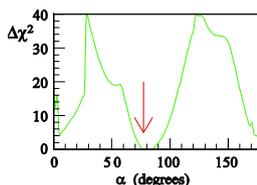
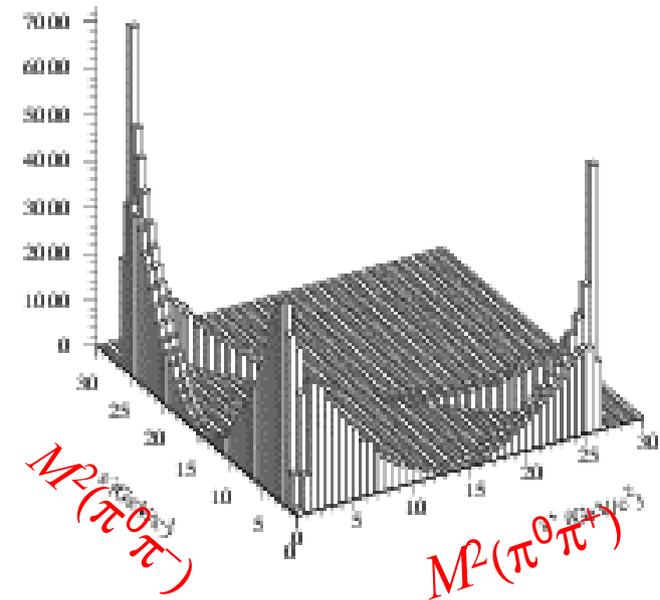
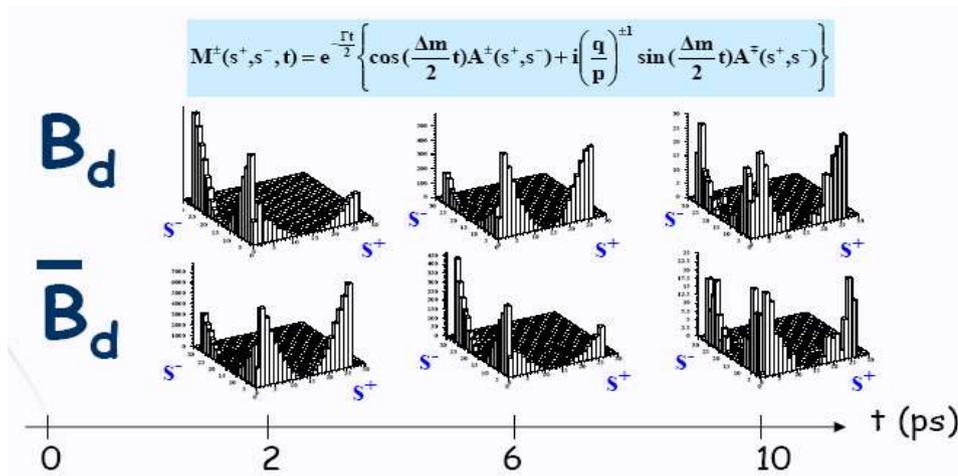
Détermination des paramètres CKM : A, ρ, η

Extraction de la contribution liée à nouvelle physique



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

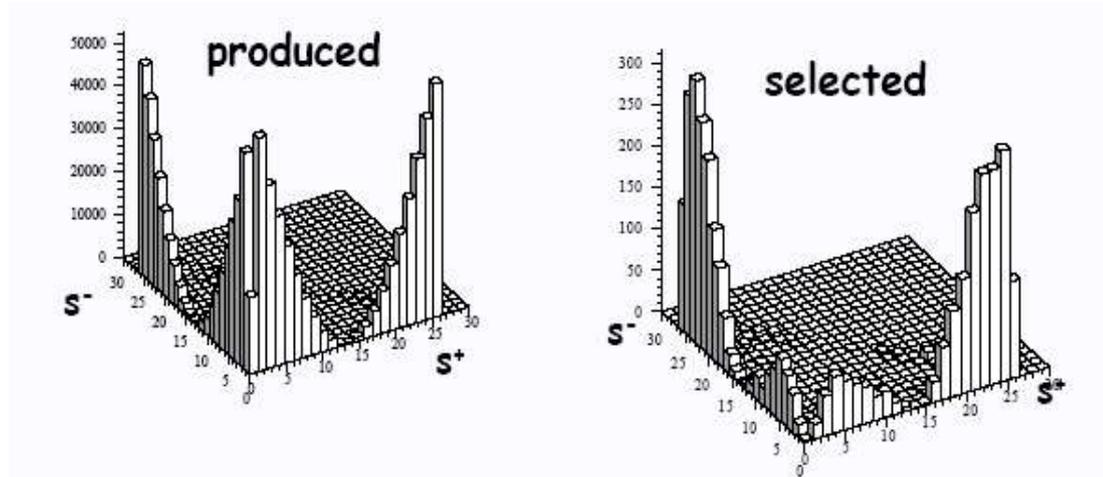
- Analyse par plot de Dalitz dépendant du temps de $B^0 \rightarrow \rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
 - Mesure des amplitudes et des phases des contributions
 - $A_{3\pi}$
 - include A^{+-}, A^{+0} et A^{00}
 - $A^{ij} = e^{-i\alpha} T^{ij} + P^{ij}$
 - Ajustement à 11 paramètres
 - Extraction de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



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

- La région des bas Pt du π^0 est dépeuplée

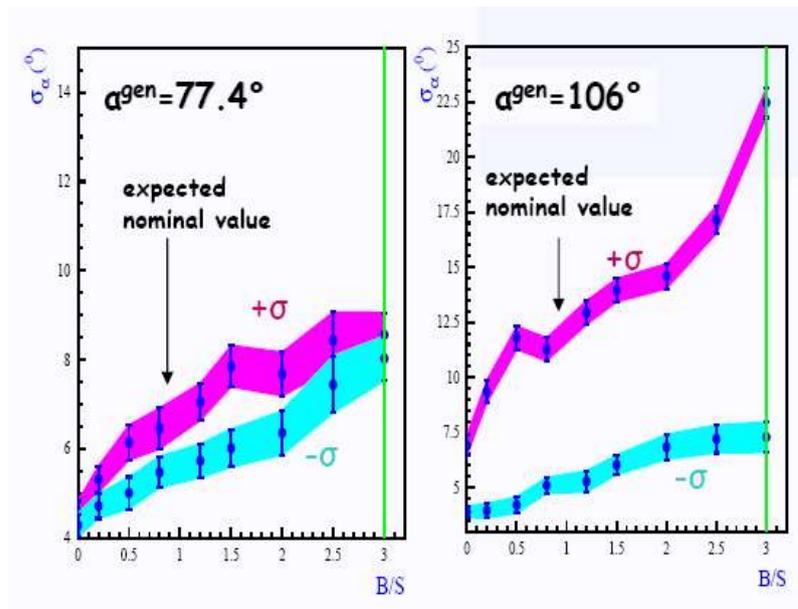
- $\rho^{+/-} \pi^{+/-}$
- Efficacité π^0 (relatif au total)
 - ♦ Résolus $\sim 33\%$
 - ♦ Non résolus $\sim 20\%$
 - ♦ Total $\sim 53\%$
 - ♦ Prépondérance des non résolus



- 14000 événements par an avec S/B ~ 1.3

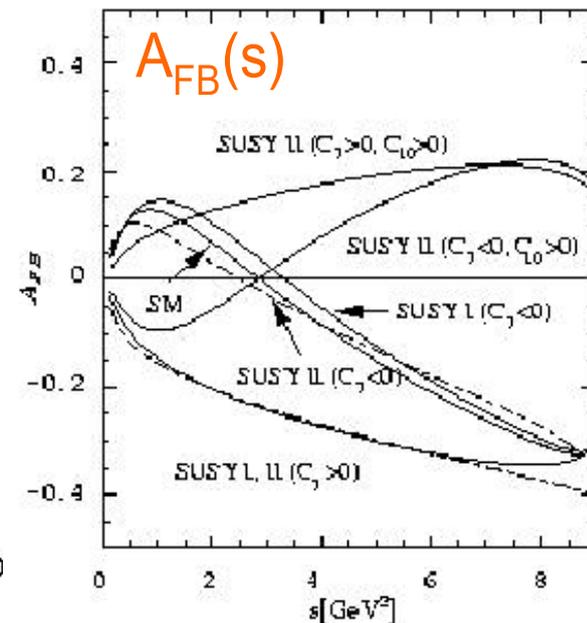
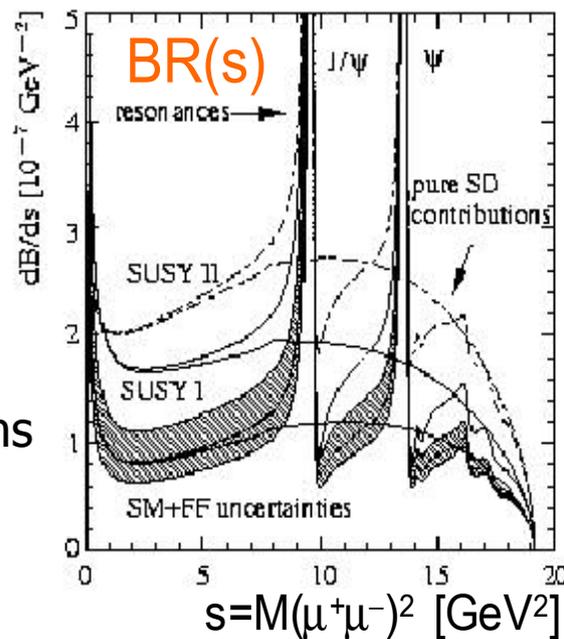
- Pour B/S = 3 (<3 @ 90CL)

- $\alpha(\text{gen})=77.4^\circ \rightarrow \langle\sigma(\alpha)\rangle +8^\circ/-8^\circ$
- $\alpha(\text{gen})=106.0^\circ \rightarrow \langle\sigma(\alpha)\rangle +22^\circ/-7^\circ$



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

- 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)



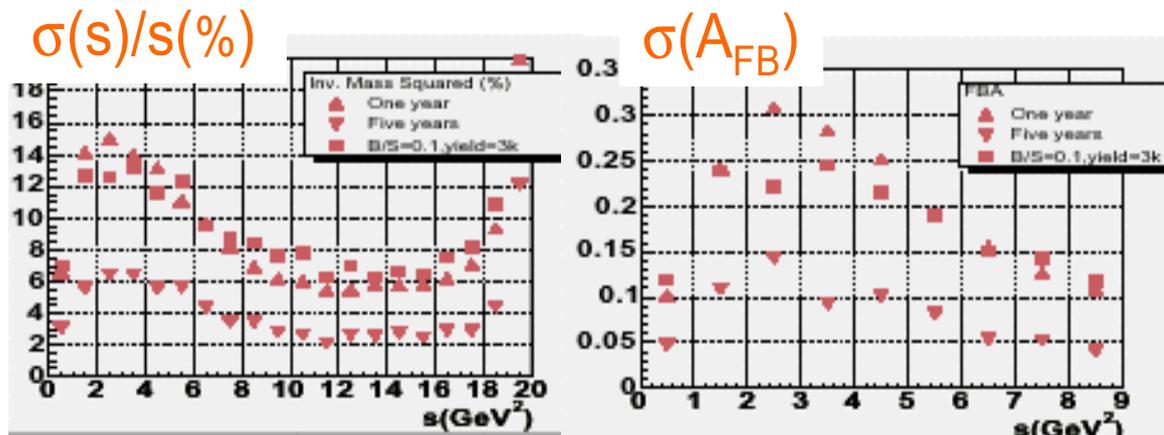
LHCb: 4400 evts/an $B/S < 2.6$

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

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

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

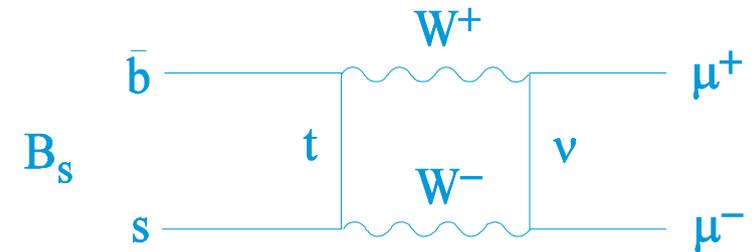
- $\sigma(A_{FB}) \sim 0.12$, ajustement à zéro $\sigma(s_0)$ à 2%



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

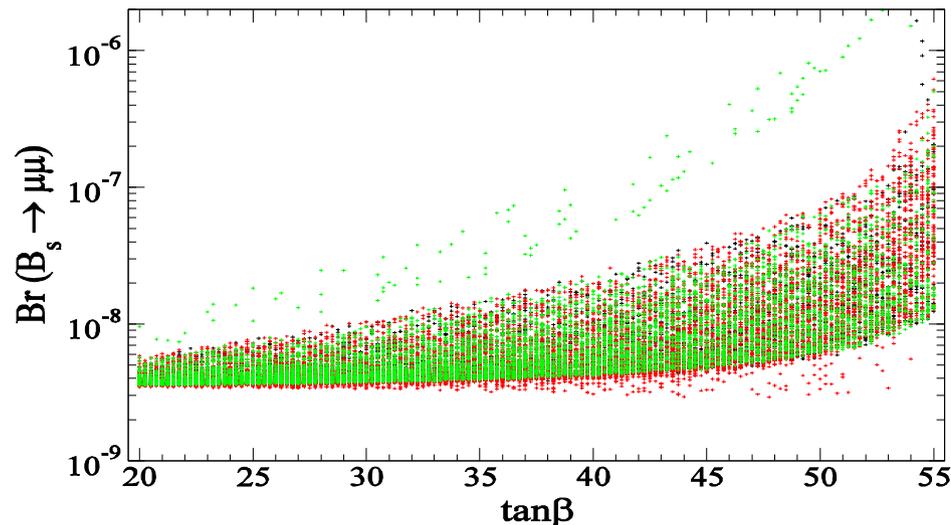
- Il s'agit d'une désintégration rare ($\Delta B=1$ FCNC)

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



- Forte sensibilité à nouvelle physique (SUSY)

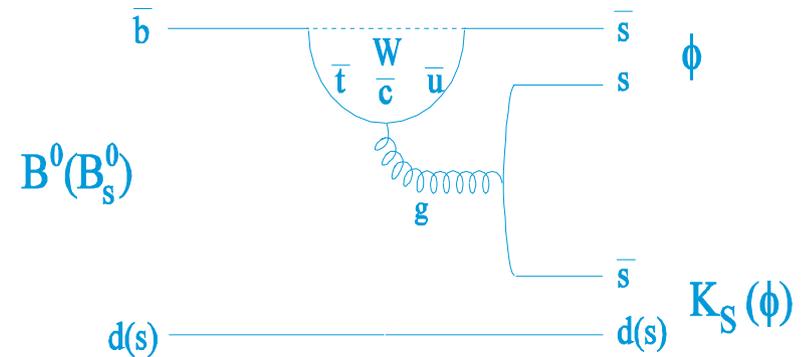
- $BR(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) \sim (\tan\beta)^6$ aux grandes valeurs de $\tan\beta$



- 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) $\sim \sin(2\beta)$
 - ~ 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



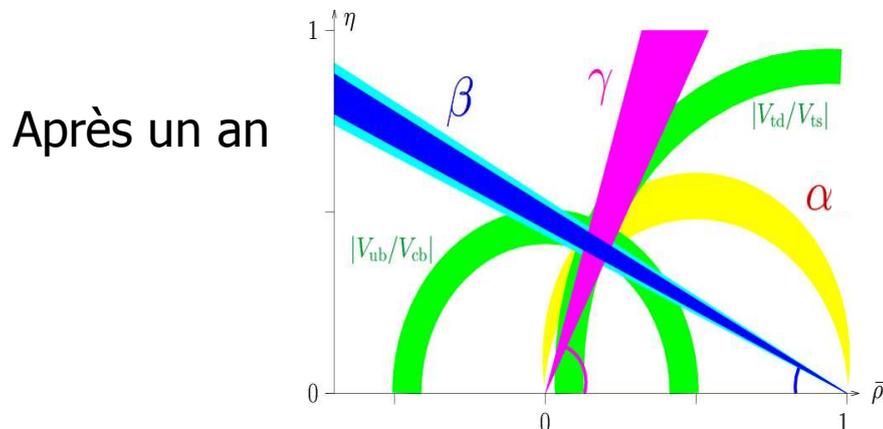
Récapitulatif : Signal et Bruits de Fond

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

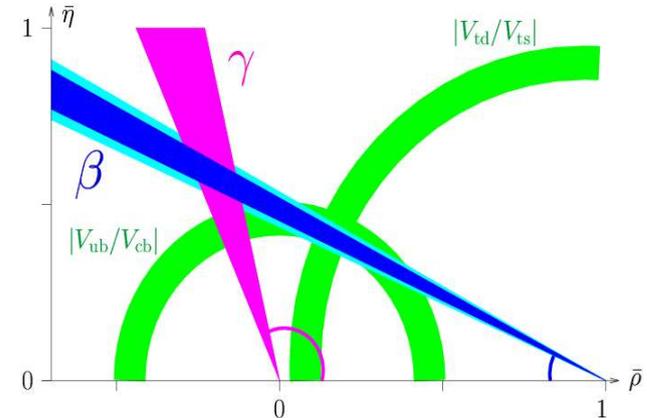
- Une année = 10^7 s, $L=2 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, $\sigma_{bb}=500 \mu\text{b} \rightarrow 10^{12}$ paires bb

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

