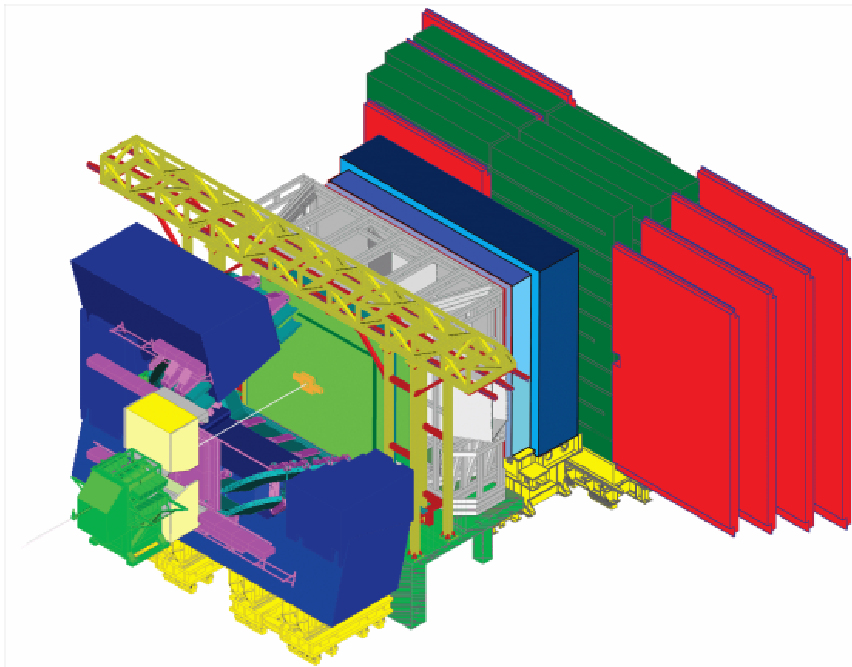


La violation de CP LHCb



Introduction
La Violation de CP
La Physique du B
Le détecteur LHCb
Le Potentiel de Physique de LHCb

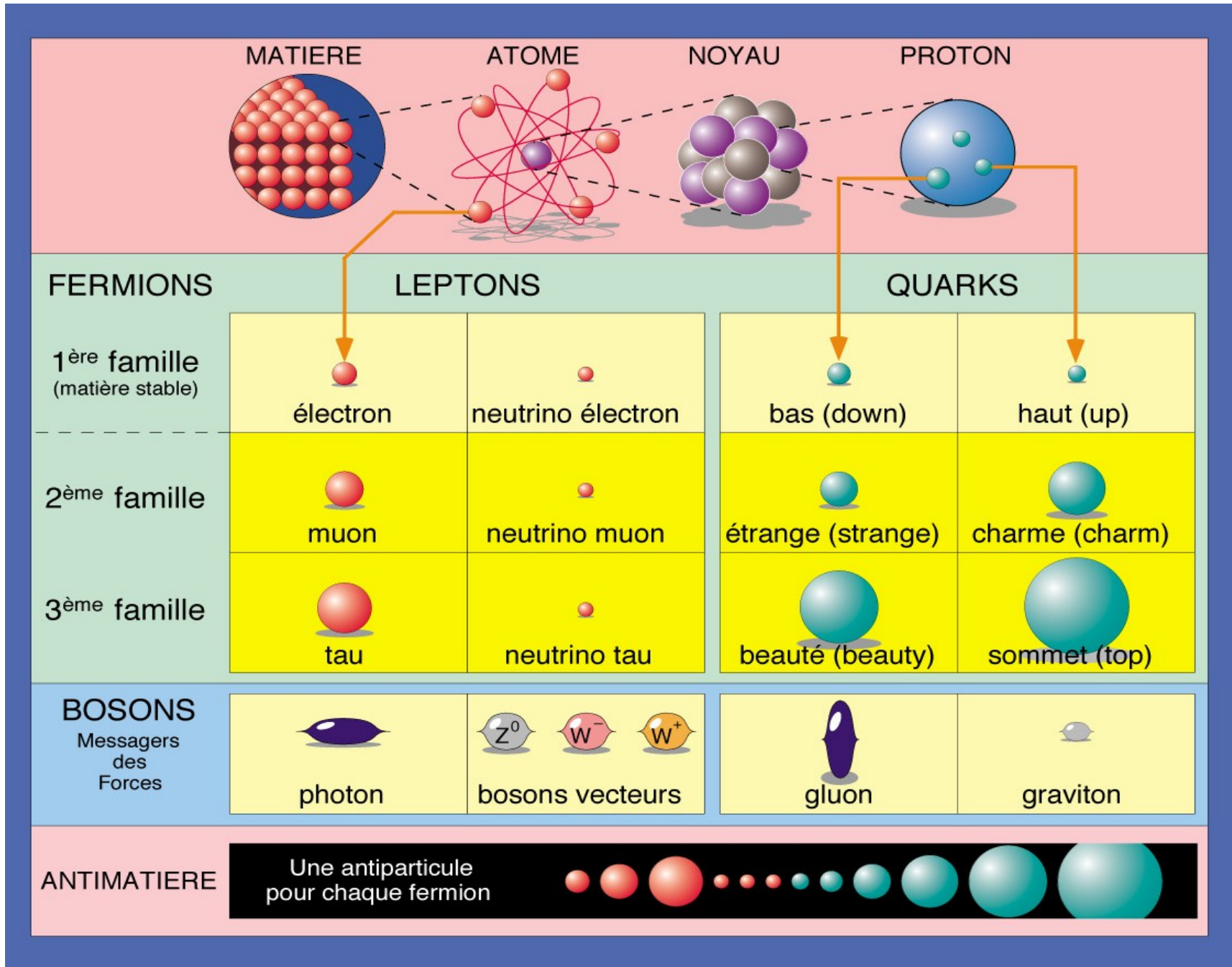
Ecole Doctorale

Frédéric Machefert
Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Orsay

LA VIOLATION DE CP LA PHYSIQUE DU B



Le Modèle Standard



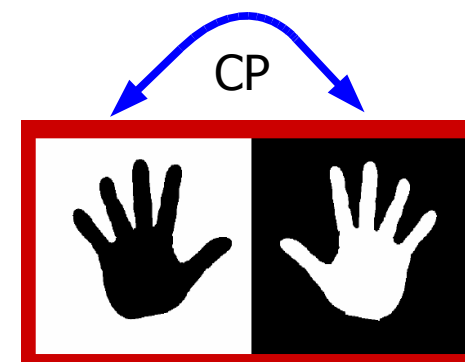
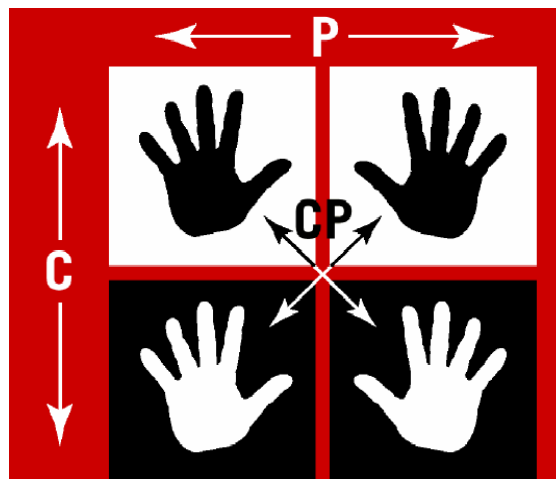
Qu'est-ce que la Violation de CP ?

- Au début de l'univers : égalité des nombres de particules et d'anti-particules
 - Mais notre univers visible est composé de matière
 - Sakharov postule en 1967 que les conditions pour en arriver là sont :

- Violation du nombre baryonique
- **Violation de CP**
- Déséquilibre thermique

$$\text{Amplitude}(Etat\ Initial \rightarrow Etat\ Final) \neq \text{Amplitude}(\overline{Etat\ Initial} \rightarrow \overline{Etat\ Final})$$

- Signification de C & P :
 - **P**: on regarde dans un miroir
 - **C**: on échange en anti-particule



- **C et P** : ne sont pas conservés dans les désintégrations "faibles" (1957)
- **T** non plus (CPLear 90's)
- **CP ?**

- 1964: $K_L \rightarrow \pi\pi$ « viole » CP
- NA48, kTeV: $K^0 \rightarrow \pi\pi \neq \bar{K}^0 \rightarrow \pi\pi$
- 2001 : Babar et Belle mesurent cette asymétrie dans le secteur des mésons B

- Mais : la violation de CP telle qu'elle est décrite par le modèle standard est trop faible pour rendre compte de l'asymétrie observée dans l'univers !

Pourquoi Etudier la Violation de CP ?

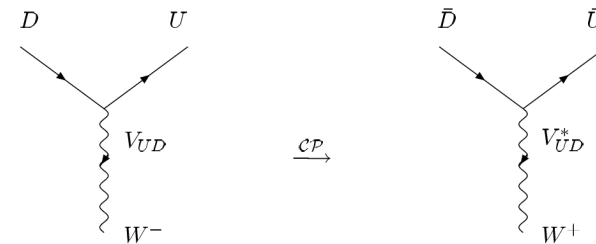
- La Violation de CP est une condition nécessaire à la l'évolution de l'univers jusqu'à celui que l'on connaît actuellement
- Mais la Violation de CP telle que je vais la décrire par la suite MS
 - Ne permet pas de rendre compte de l'asymétrie observée dans l'univers
- C'est une très forte motivation pour étudier précisément la violation de CP
 - Pour mettre à jour une divergence par rapport aux prédictions du MS
- Toutes les extensions au MS comportent une contribution de Violation de CP
 - C'est vrai par exemple des modèles de Supersymétrie
- Le problème de la Violation de CP forte
 - Des contributions QCD non perturbatives au Lagrangien du MS doivent
 - Induire une violation de CP et un moment dipolaire électrique du neutron
 - mesurés par le paramètre θ
 - Les expériences actuelles montrent $\theta \sim 0$? Pourquoi une valeur aussi petite...

La Matrice CKM (I)

- Dans le cadre du Modèle Standard, la violation de CP a pour origine les courants chargés liés à l'interaction faible.
- L'interaction faible
 - est basée sur le groupe de symétries $SU(2)_L \times U(1)_Y$
 - Et rend compte des interactions entre quarks avec courants chargés (W)

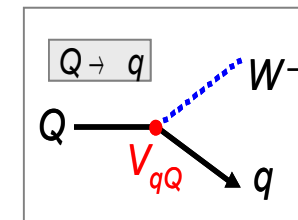
- $D \rightarrow UW^-$

- $D \in \{d, s, b\}$ $U \in \{u, c, t\}$



- Les couplages des courants chargés s'expriment habituellement par la matrice appelée matrice CKM pour Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

$$\hat{V}_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$



- L'introduction de cette matrice vient du fait que les états des quarks vus par l'interaction faible ne sont pas les états propres de masse, la relation étant

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \hat{V}_{CKM} \cdot \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

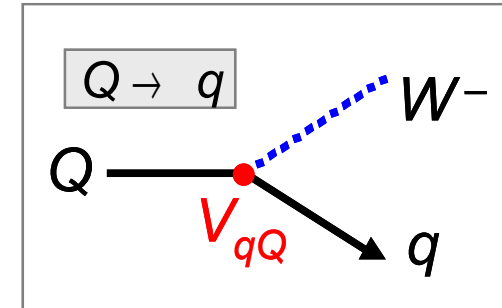
La Matrice CKM (II)

- La matrice CKM peut être vue comme une matrice de rotation dans l'espace des quarks

- Le Lagrangien MS prend la forme
 - Le couplage g_2 est lié à l'interaction faible
 - W_μ est le champ dû au boson W

$$\mathcal{L}_{int}^{cc} = \frac{-g_2}{\sqrt{2}} (\bar{u}_L \bar{c}_L \bar{t}_L) \gamma^\mu \hat{V}_{CKM} \begin{pmatrix} d_L \\ s_L \\ b_L \end{pmatrix} W_\mu^+ + h.c.$$

- Et fait apparaître les couplages pour les différentes transitions entre quarks
 - C'était notre interprétation de la matrice CKM au transparent précédent



- Si les trois familles « constituent un groupe » la matrice CKM doit être unitaire

$$\hat{V}_{CKM}^+ \cdot \hat{V}_{CKM} = \hat{V}_{CKM} \cdot \hat{V}_{CKM}^+ = \hat{1}$$

- Ce qui conduit à 12 équations
 - 6 de normalisation et 6 d'orthogonalité qui suivent:

$$\begin{aligned} V_{ud} V_{us}^* + V_{cd} V_{cs}^* + V_{td} V_{ts}^* &= 0 & V_{ud}^* V_{cd} + V_{us}^* V_{cs} + V_{ub}^* V_{cb} &= 0 \\ V_{us} V_{ub}^* + V_{cs} V_{cb}^* + V_{ts} V_{tb}^* &= 0 & V_{cd}^* V_{td} + V_{cs}^* V_{ts} + V_{cb}^* V_{tb} &= 0 \\ V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* &= 0 & V_{ud}^* V_{td} + V_{us}^* V_{ts} + V_{ub}^* V_{tb} &= 0 \end{aligned}$$

► À la base des triangles d'unitarité

Les Degrés de Liberté de la Matrice CKM

- Les quarks up et down sont définis à une phase (non physique) près
- On peut librement effectuer les transformations
 - $U \rightarrow e^{i\theta_u} U, D \rightarrow e^{i\theta_d} D$
 - Sans affecter la physique sous-jacente
- En appliquant ces transformations au Lagrangien, il est possible d'éliminer les phases non physique de la matrice CKM
- Au final, pour N familles, le nombre de degrés de liberté est

$$\underbrace{\frac{1}{2} N(N-1)}_{\text{angles d' Euler}} + \underbrace{\frac{1}{2} (N-1)(N-2)}_{\text{phases complexes}} = (N-1)^2$$

- Dans le cas de 3 familles
 - 3 angles et 1 phase complexe

$$\hat{V}_{CKM} = \begin{pmatrix} c_{12} c_{13} & s_{12} c_{13} & s_{13} e^{i\delta_{13}} \\ -s_{12} c_{23} - c_{12} s_{23} s_{13} e^{i\delta_{13}} & c_{12} c_{23} - s_{12} s_{23} s_{13} e^{i\delta_{13}} & s_{23} c_{13} \\ s_{12} s_{23} - c_{12} c_{23} s_{13} e^{i\delta_{13}} & -c_{12} s_{23} - s_{12} c_{23} s_{13} e^{i\delta_{13}} & c_{23} c_{13} \end{pmatrix}$$

- où $c_{ij} \equiv \cos(\theta_{ij}), s_{ij} \equiv \sin(\theta_{ij})$
- les θ décrivent les « mélanges » entre les familles, δ est la phase complexe

Et la Violation de CP dans tout ça ?

- Dans le cadre du MS, la phase δ rend compte de la Violation de CP
- Sans phase, pas de Violation de CP (MS)
 - Rq: Pour Violation de CP, il faut au moins 3 familles
- La phase δ rentre dans le calcul des amplitudes des transitions
 - Asymétrie entre les $|Amplitude|^2$ et les $|\overline{Amplitude}|^2$
- D'autres conditions sont nécessaires pour permettre la violation de CP
 - Si deux quarks de même charge ont la même masse il est possible de contraindre davantage la matrice CKM et de faire disparaître la phase
 - La hiérarchie des masses dans le MS est liée au problème de la violation de CP
 - L'intensité de la violation de CP est liés au paramètre de Jarlskog J_{CP}

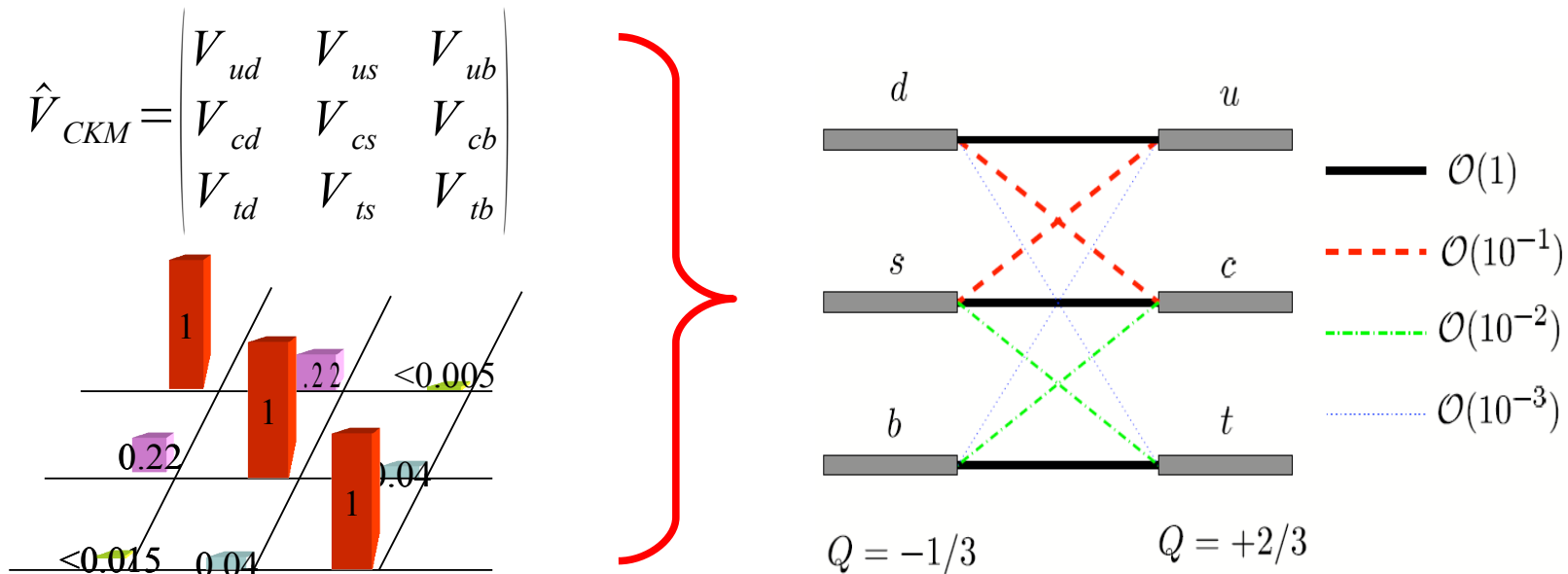
$$J_{CP} = \left| \Im \left(V_{i\alpha} V_{j\beta} V_{i\beta}^* V_{j\alpha}^* \right) \right| \quad (i \neq j, \alpha \neq \beta)$$

$$J_{CP} = s_{12} s_{13} s_{23} c_{12} c_{23} c_{13}^2 \sin \delta_{13}$$

- La valeur de J_{CP} ($J_{CP} \sim O(10^{-5})$) montre
 - la petitesse du phénomène de Violation de CP
 - La difficulté expérimentale pour la mesurer
 - Mais la violation de CP peut apparaître dans des modèles *au-delà du MS*
 - ▶ L'effet peut alors être plus violent

Paramétrisations de la Matrice CKM

- Les ordres grandeurs des transitions d'après la matrice CKM



- La paramétrisation de Wolfenstein est particulièrement utile
 - Elle laisse clairement apparaître les échelles des transitions en puissance de λ

- Elle est basée sur
 - l'introduction de 4 nouveaux paramètres
 - la transformation

$$s_{12} = \lambda, s_{23} = A\lambda^2, s_{13} e^{-i\delta_{13}} = A\lambda^3(\rho - i\eta)$$

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + O(\lambda^4)$$

- le développement à l'ordre 3 en λ

$$J_{CP} \sim \lambda^6 A^2 \eta$$

Le Triangle d'Unitarité

- On se souvient de l'unitarité de la matrice CKM et des relations dérivées

$$\underbrace{V_{ud} V_{us}^*}_{O(\lambda)} + \underbrace{V_{cd} V_{cs}^*}_{O(\lambda)} + \underbrace{V_{td} V_{ts}^*}_{O(\lambda^5)} = 0$$

$$\underbrace{V_{us} V_{ub}^*}_{O(\lambda^4)} + \underbrace{V_{cs} V_{cb}^*}_{O(\lambda^2)} + \underbrace{V_{ts} V_{tb}^*}_{O(\lambda^2)} = 0$$

$$\underbrace{V_{ud} V_{ub}^*}_{(\rho+i\eta)A\lambda^3} + \underbrace{V_{cd} V_{cb}^*}_{-A\lambda^3} + \underbrace{V_{td} V_{tb}^*}_{(1-\rho-i\eta)A\lambda^3} = 0$$

$$\underbrace{V_{ud}^* V_{cd}}_{O(\lambda)} + \underbrace{V_{us}^* V_{cs}}_{O(\lambda)} + \underbrace{V_{ub}^* V_{cb}}_{O(\lambda^5)} = 0$$

$$\underbrace{V_{cd}^* V_{td}}_{O(\lambda^4)} + \underbrace{V_{cs}^* V_{ts}}_{O(\lambda^2)} + \underbrace{V_{cb}^* V_{tb}}_{O(\lambda^2)} = 0$$

$$\underbrace{V_{ud}^* V_{td}}_{(1-\rho-i\eta)A\lambda^3} + \underbrace{V_{us}^* V_{ts}}_{-A\lambda^3} + \underbrace{V_{ub}^* V_{tb}}_{(\rho+i\eta)A\lambda^3} = 0$$

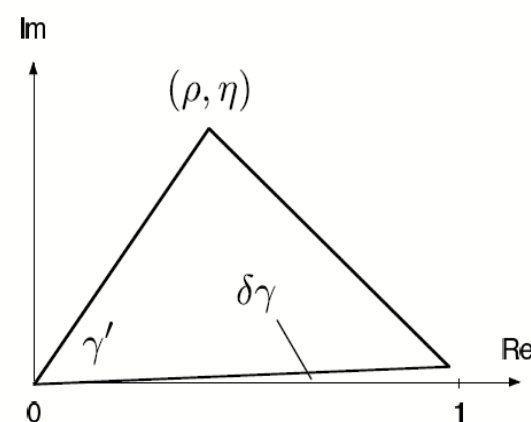
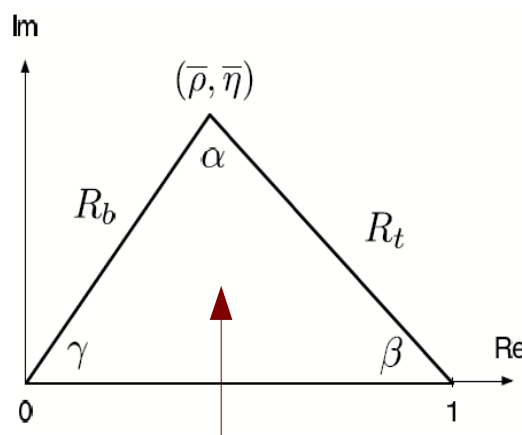
- 2 équations peuvent être représentées par un triangle non aplati (côtés en λ^3)
- En menant Wolfenstein à l'ordre λ^5 , les deux équations donnent 2 triangles
 - En général, on divise ces relations par $A\lambda^3$: la base est la longueur 1

$$\bar{\rho} = \rho \left(1 - \frac{1}{2} \lambda^2\right), \bar{\eta} = \eta \left(1 - \frac{1}{2} \lambda^2\right)$$

$$R_b = \sqrt{\bar{\rho}^2 + \bar{\eta}^2} = \left(1 - \frac{1}{2} \lambda^2\right) \frac{1}{\lambda} \left| \frac{V_{ub}}{V_{cb}} \right|$$

$$R_t = \sqrt{(1 - \bar{\rho})^2 + \bar{\eta}^2} = \frac{1}{\lambda} \left| \frac{V_{td}}{V_{cb}} \right|$$

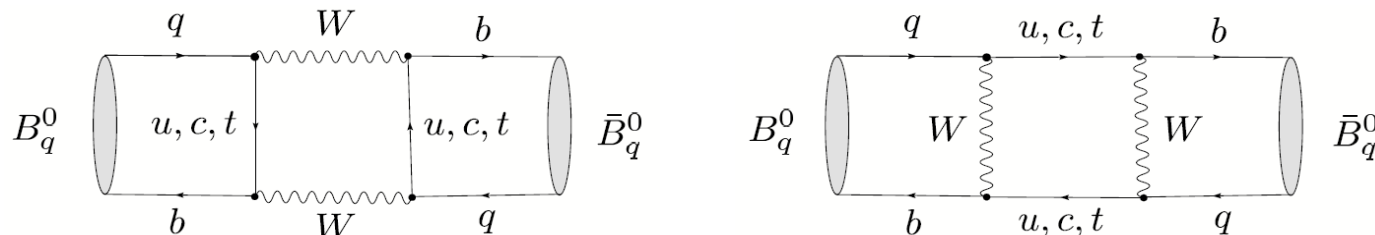
$$\delta_{13} = \gamma \quad \delta\gamma = \lambda^2 \eta \approx 0(1^\circ) (MS)$$



$$\text{Aire}(\text{Triangle}) \propto J_{CP}$$

Le Mélange des Méson B Neutres

- Dans le cadre du modèle standard, il existe des diagrammes qui permettent de passer d'un méson B_q^0 ($q=d,s$) à son anti-méson \bar{B}_q^0



- Un méson B_q à l'instant $t=0$ va évoluer en une combinaison de B_q^0 et \bar{B}_q^0

$$|B_q(t)\rangle = a(t)|B_q^0(t)\rangle + b(t)|\bar{B}_q^0(t)\rangle$$

- L'évolution dépend de l'équation de Schrödinger

$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} a(t) \\ b(t) \end{pmatrix} = H \cdot \begin{pmatrix} a(t) \\ b(t) \end{pmatrix} \equiv \left[\underbrace{\begin{pmatrix} M_0^{(q)} & M_{12}^{(q)} \\ M_{12}^{(q)} & M_0^q \end{pmatrix}}_{\text{matrice de masse}} - \frac{i}{2} \underbrace{\begin{pmatrix} \Gamma_0^{(q)} & \Gamma_{12}^{(q)} \\ \Gamma_{12}^{(q)} & \Gamma_0^q \end{pmatrix}}_{\text{matrice de désintégration}} \right] \cdot \begin{pmatrix} a(t) \\ b(t) \end{pmatrix}$$

- Où ici on présuppose l'invariance par CPT ($H_{11}=H_{22}$)
- La partie dispersive peut être calculée à partir des diagrammes (plus haut)

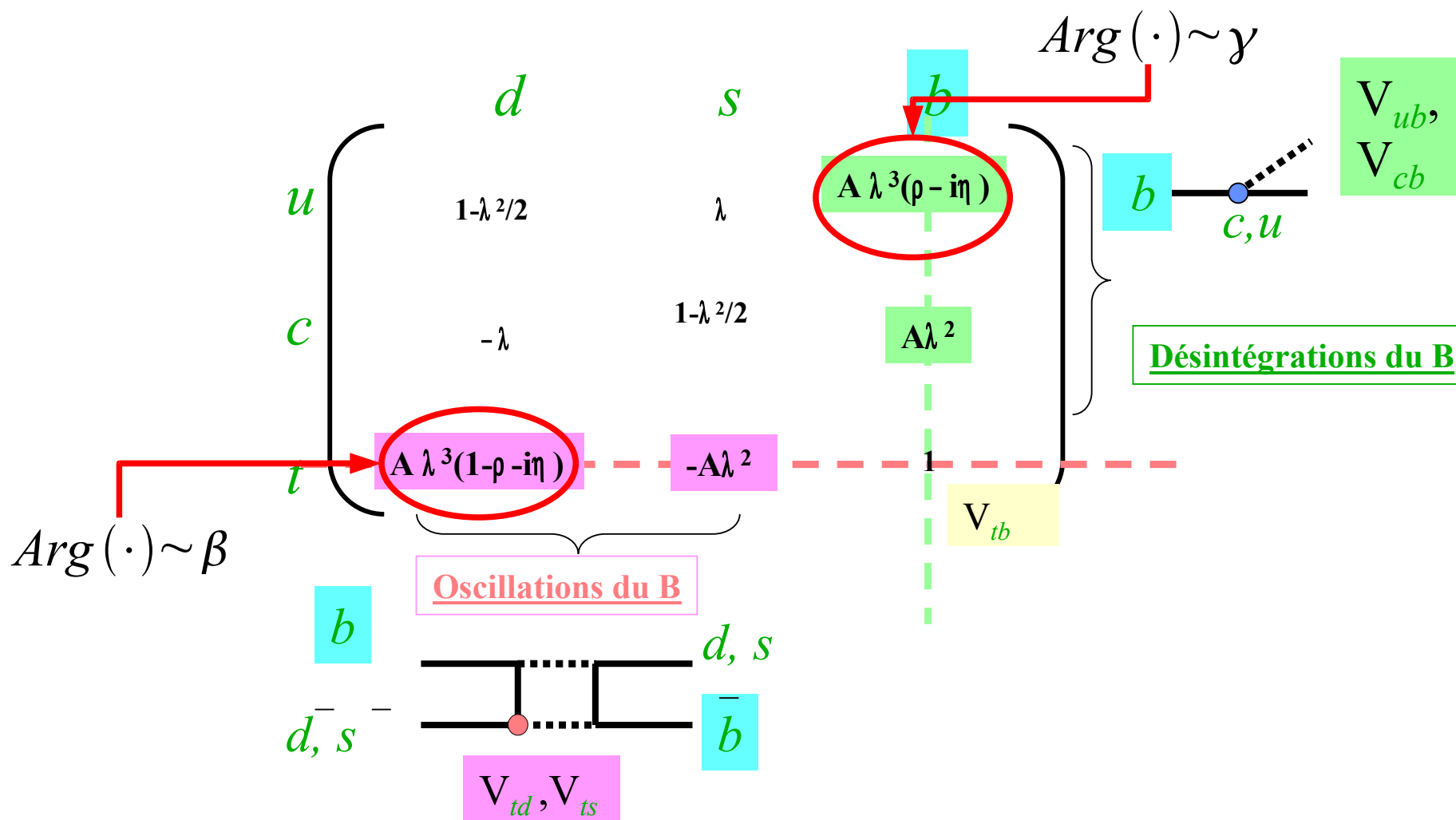
$$M_{12}^{(q)} = \frac{G_F^2 M_W^2}{12 \pi^2} \eta_B M_{B_q} f_{B_q}^2 \hat{B}_{B_q} \left(V_{tq}^* V_{tb} \right)^2 S_0(x_t) e^{i(\pi - \phi_{CP}(B_q))}$$

↑ corrections QCD (pert.) ← corr. QCD (non pert.)

- Et dépend de $V_{tq}^* V_{tb}$

La Matrice CKM pour l'étude des Mésons B

- Dans le cadre de l'étude des mésons B, certains éléments de la matrice CKM sont très importants



Les Trois Types de Violations de CP

- A partir de l'expression de la matrice CKM et de la phase η , la violation de CP peut intervenir de trois manières différentes

- Dans le mélange seul

- Ceci est négligeable dans le cadre des mésons B

$$a_{SL} = \frac{\Gamma(B_{phys}^0(t) \rightarrow l^+ \nu \chi) - \Gamma(\bar{B}_{phys}^0(t) \rightarrow l^- \nu \chi)}{\Gamma(B_{phys}^0(t) \rightarrow l^+ \nu \chi) + \Gamma(\bar{B}_{phys}^0(t) \rightarrow l^- \nu \chi)} = \frac{1 - |q/p|^4}{1 + |q/p|^4} \quad |q/p| \neq 1$$

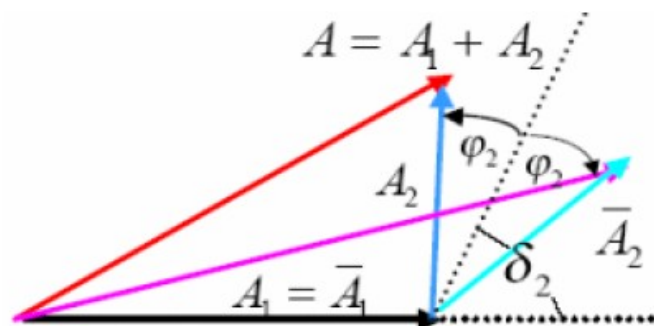
États propres de masse neutres :
mélange des états propres
de saveur neutres

- Dans la désintégration

- Amplitudes avec des phases fortes/faibles différentes

$$A_f = \langle f | H | B \rangle = \sum_k A_k e^{i\delta_k} e^{i\phi_k}$$

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



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

Etats neutres
et chargés

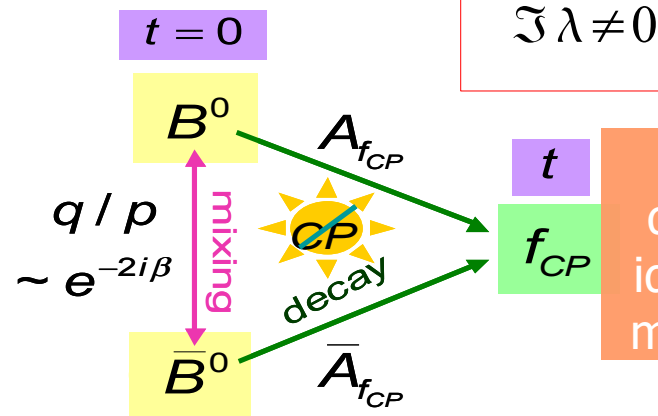
- Dans l'interférence entre le mélange et la désintégration

$$\lambda_{f_{CP}} = \eta_{f_{CP}} \frac{q}{p} \frac{\bar{A}_{f_{CP}}}{A_{f_{CP}}}$$

Rapport des
Amplitudes

Valeur propre de
CP de l'état final

Mélange
 $\sim e^{-2i\beta}$

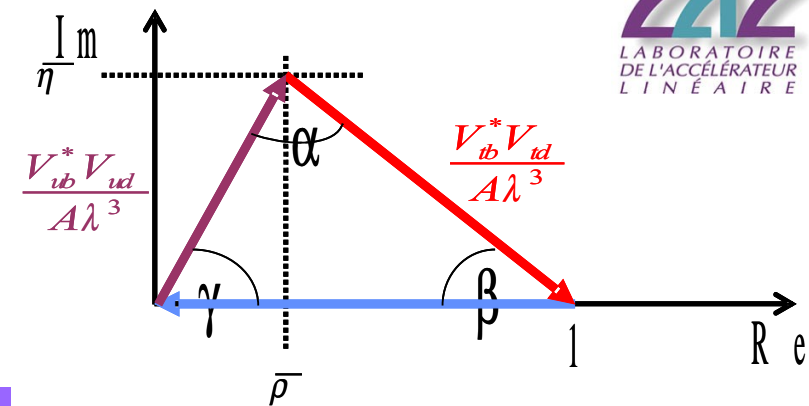


$$\Im \lambda \neq 0$$

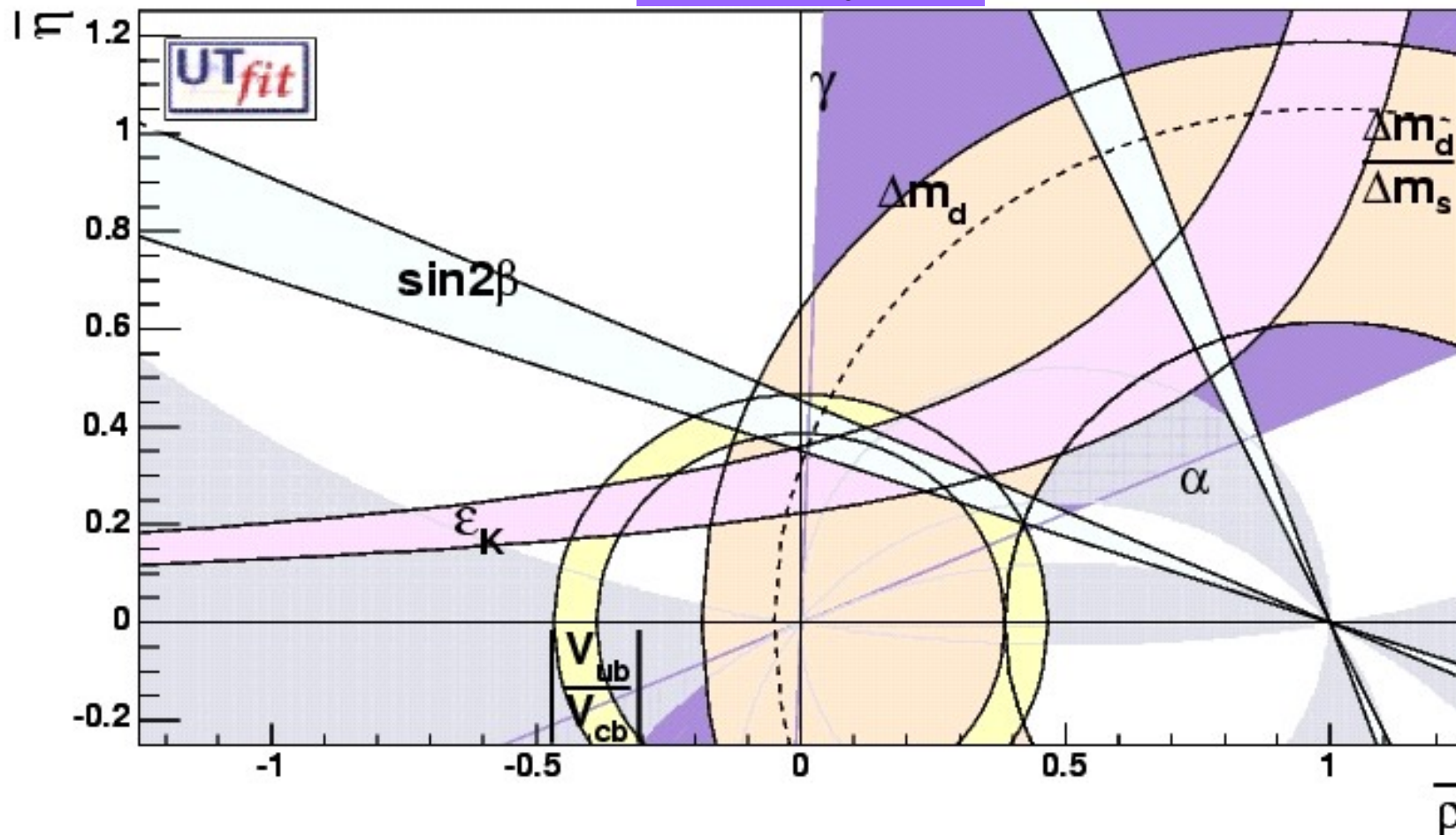
Etats finals de
désintégration
identiques pour
mésons neutres

Contraindre le Triangle d'Unitarité

- Les expériences de mesure de la violation CP
 - Détermination précise du triangle d'Unitarité

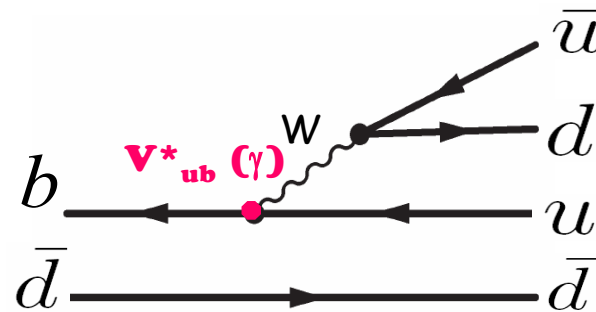
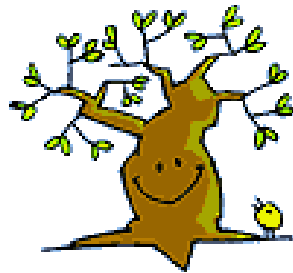


B → DK : ϕ_3/γ



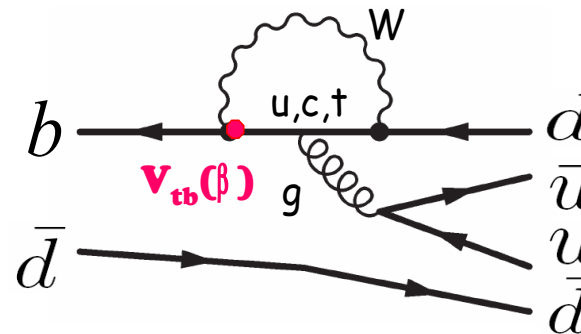
Les Complications « Techniques » (I)

- Un même processus peut être dû à plusieurs amplitudes
 - Les diagrammes en arbre sont les plus simples à calculer

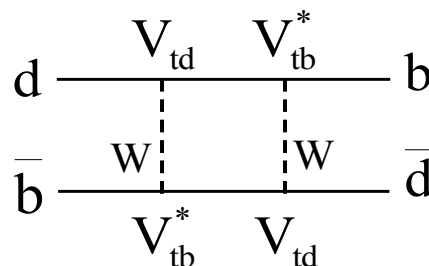


Facile d'ajouter une contribution de NP

- Malheureusement de nombreux processus contiennent une contribution dite « pingouin » plus problématique et souvent entachée d'une forte erreur théorique

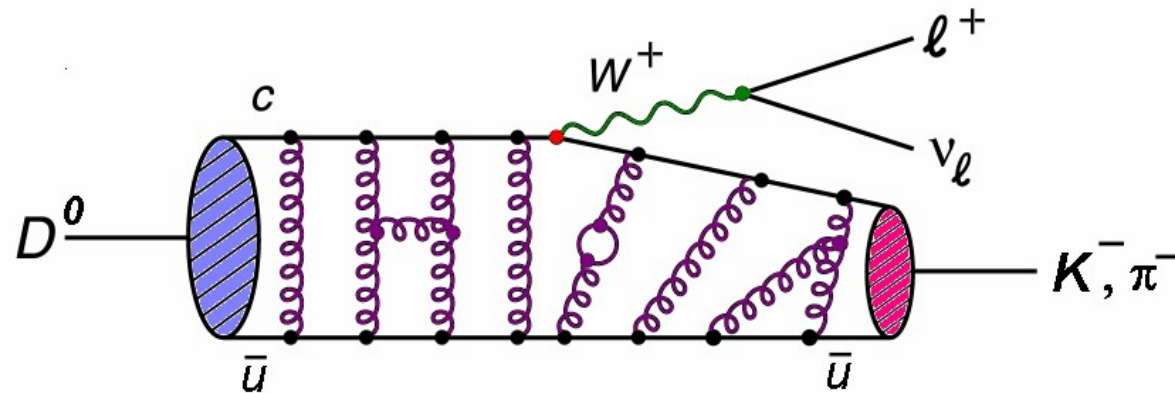


- Les diagrammes en boîte sont une troisième forme de diagramme qui peut facilement faire intervenir une contribution de nouvelle physique



Les Complications « Techniques » (II)

- On n'observe pas les quarks mais les hadrons
- Il nous faut comprendre et savoir manier la théorie qui fait passer
 - Des QUARKS aux HADRONS
- Cette théorie est QCD

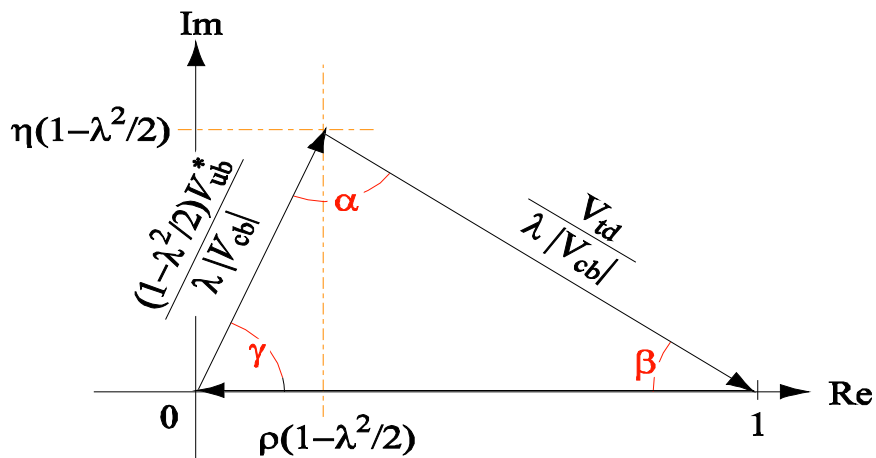


- La QCD sur réseau permet d'atteindre ce but en partant des masses et des couplages

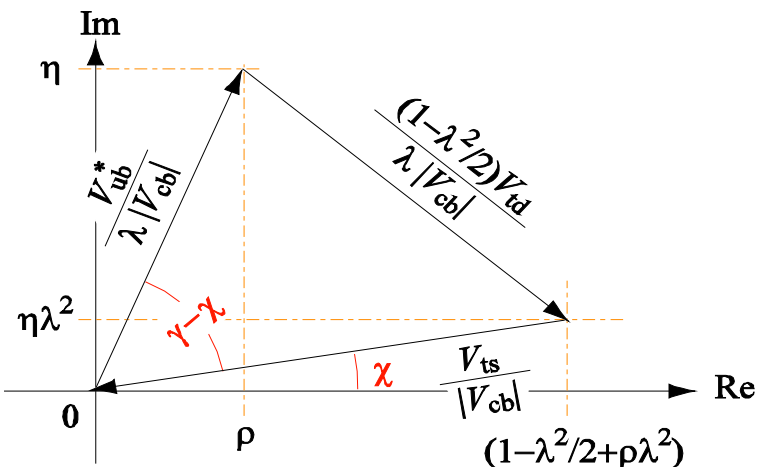
Le Triangle d'Unitarité

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

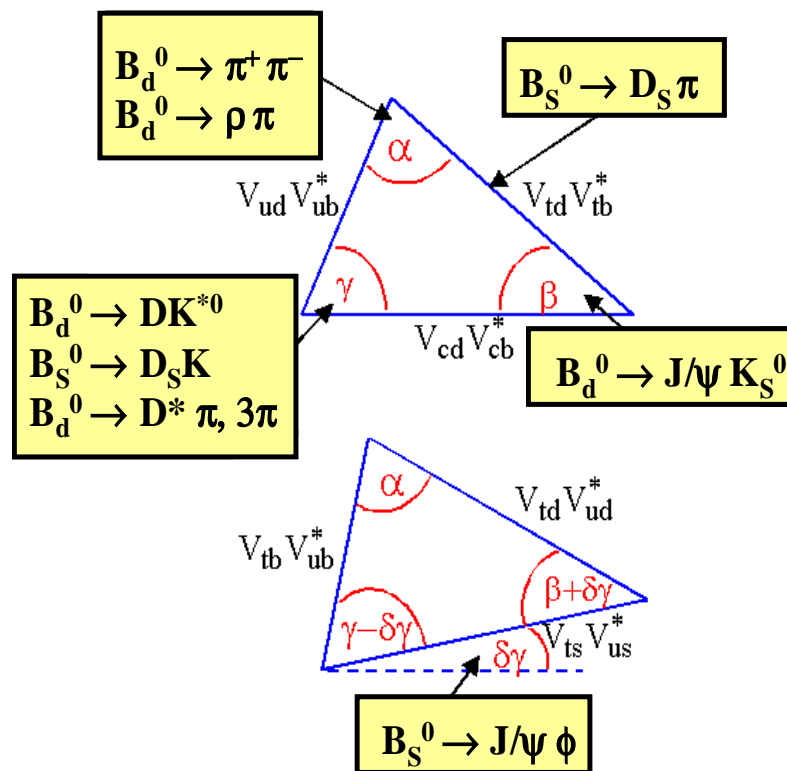
$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$$



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

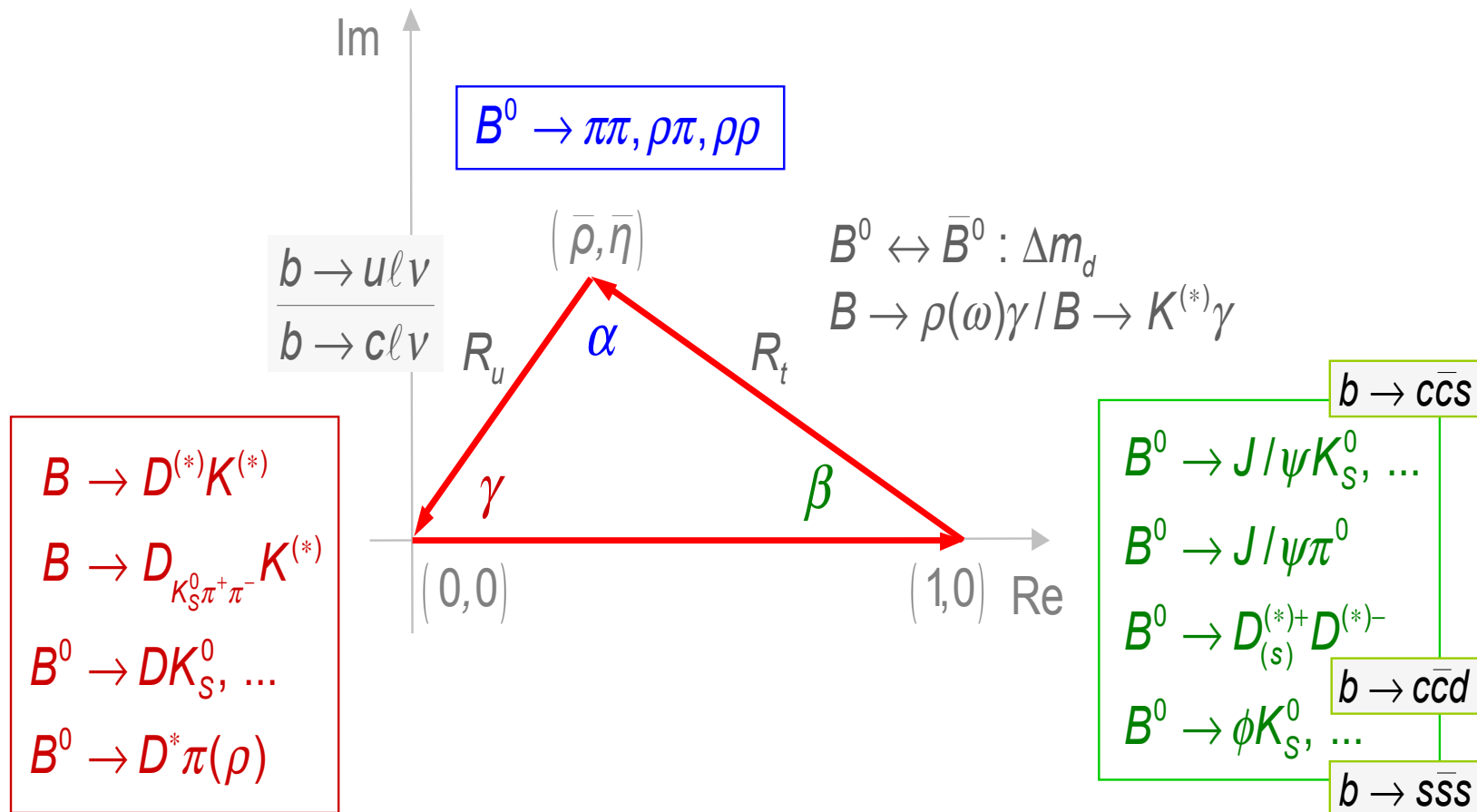


Triangle d'unitarité

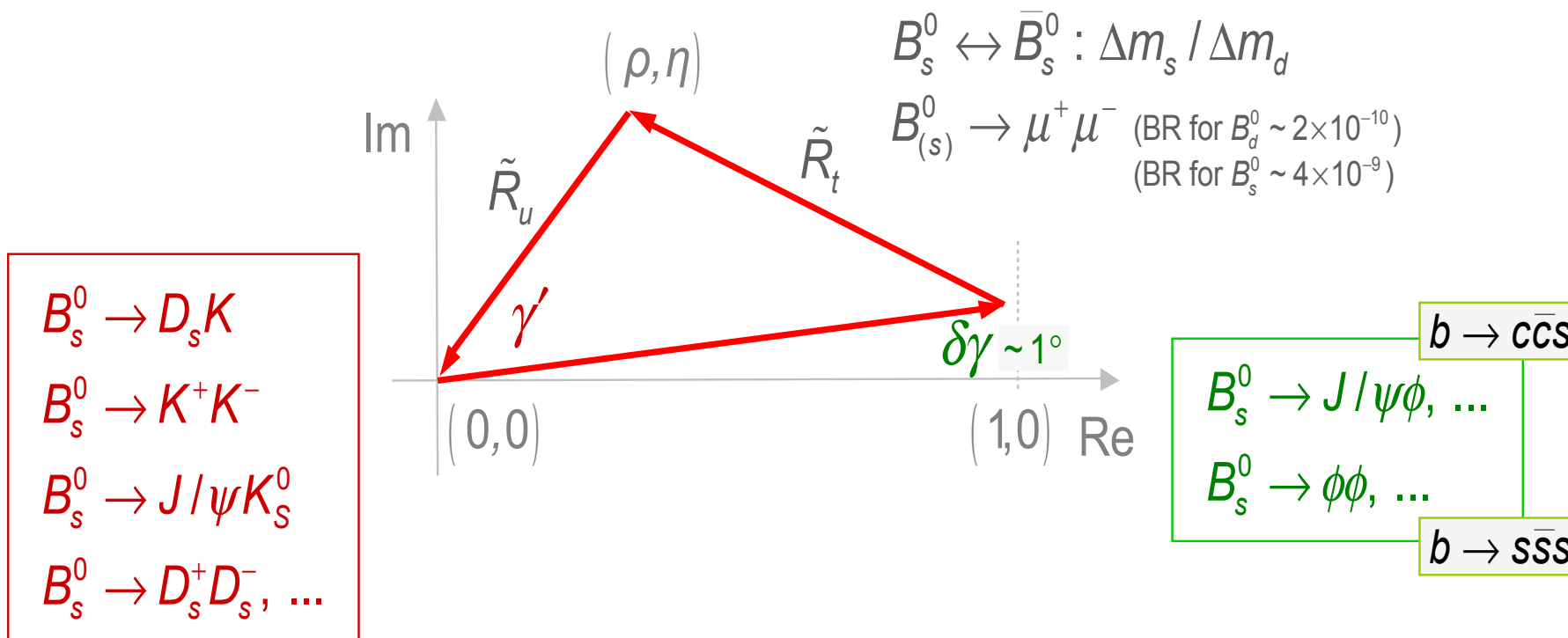


Le Système du B_d

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

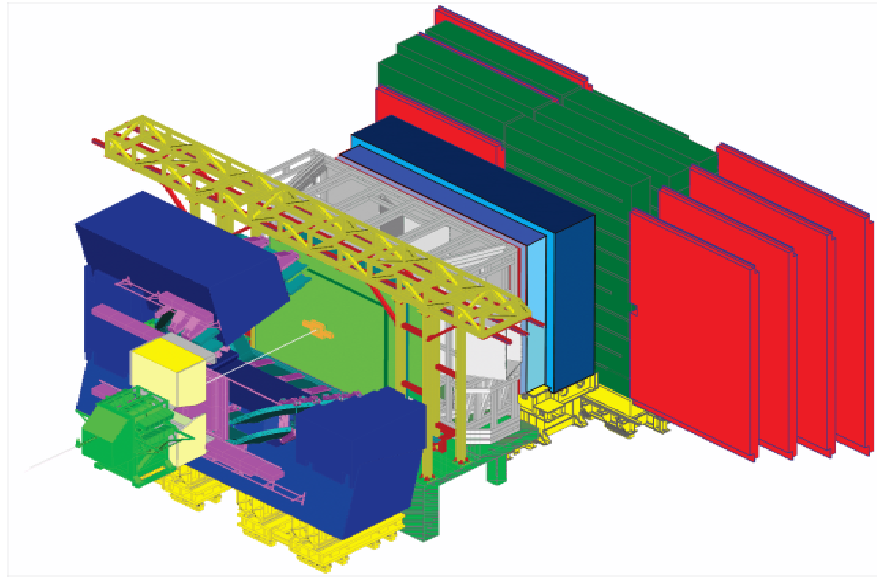


- $V_{td}V_{ud}^* + V_{ts}V_{us}^* + V_{tb}V_{ub}^* = 0$



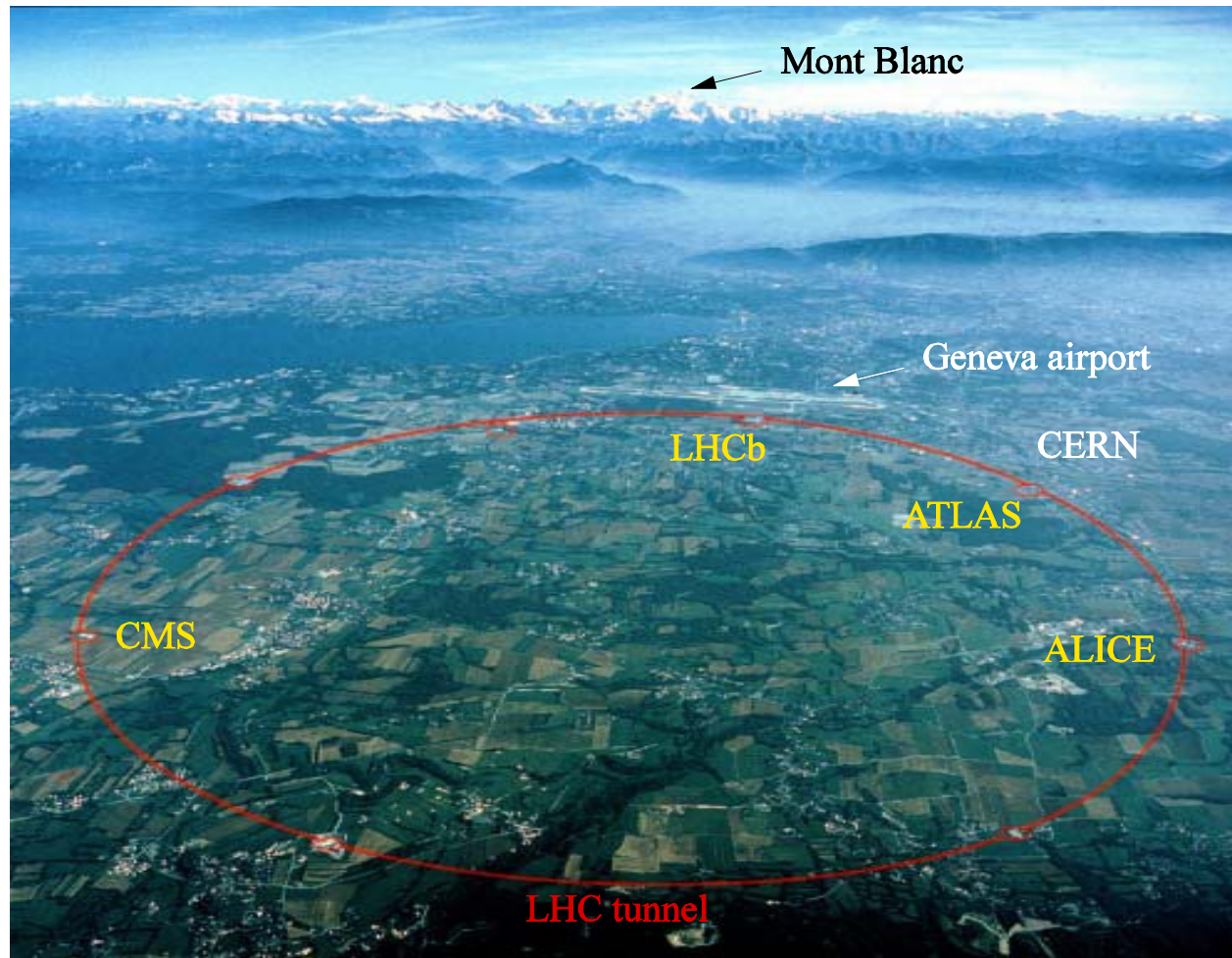
- N'est accessible qu'aux machines hadroniques

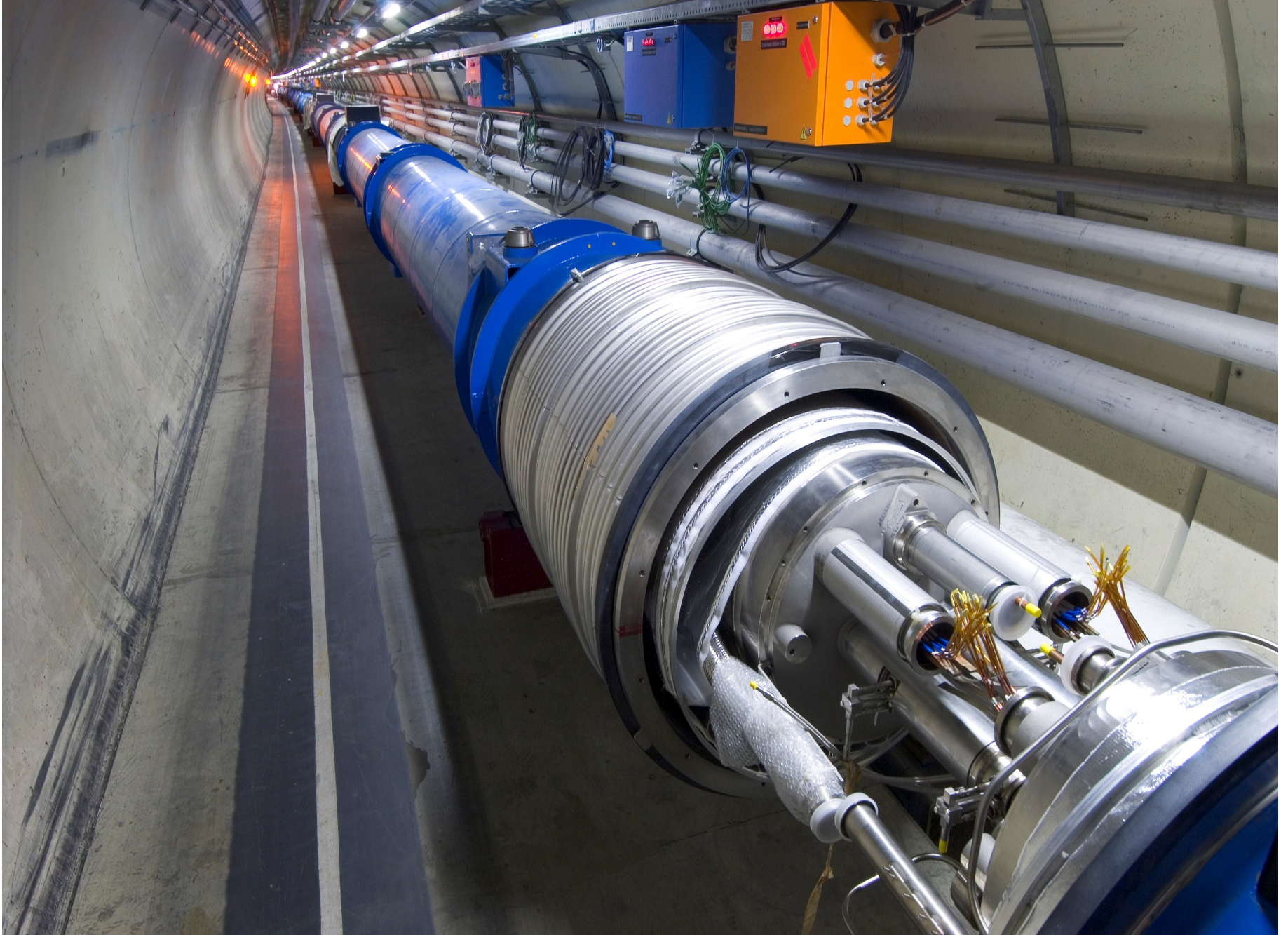
LE DETECTEUR LHCb



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)



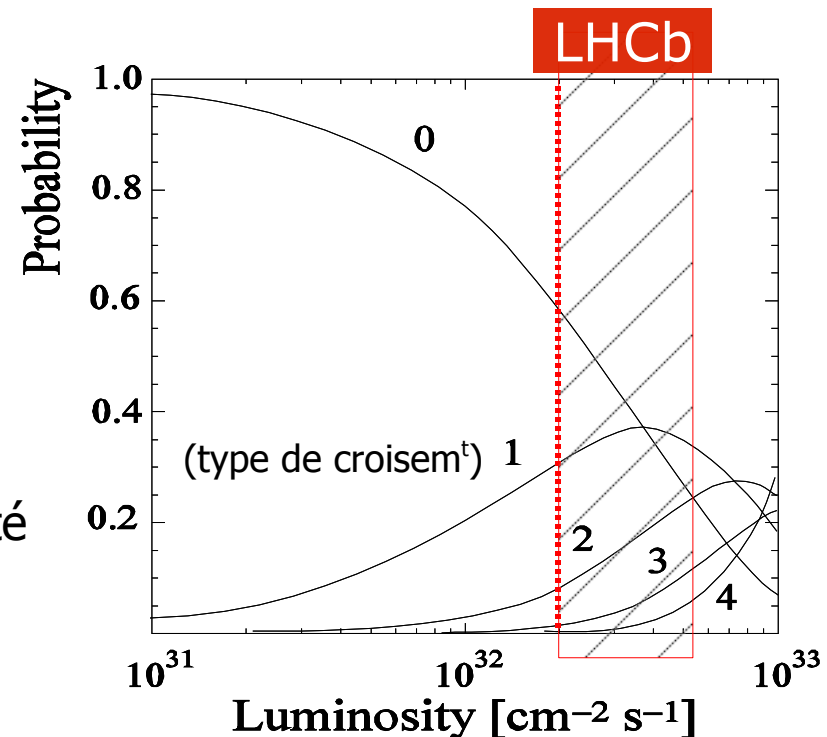


LHC

- 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 $\sim 500 \mu\text{b}$
 - $\sim 0.6\%$ 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 dé-focalisation des faisceaux
- Disponible dès 2008 ($\int_{2008} L dt \sim 0.5 \text{ fb}^{-1}$)



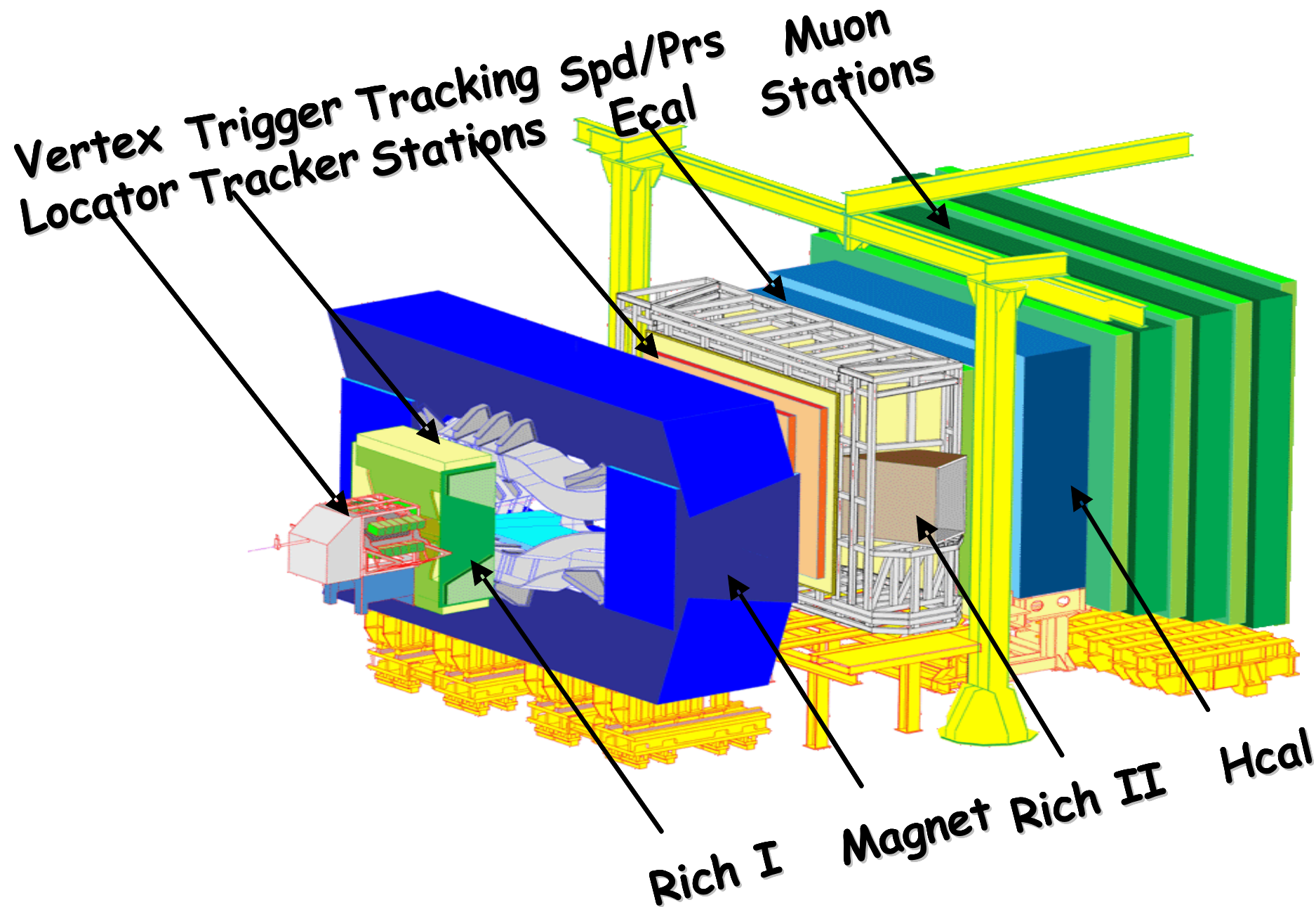
10^{12} paires $b\bar{b}$ par an

La Recette pour un Détecteur Optimal...

- L'étude de la Violation de CP requière

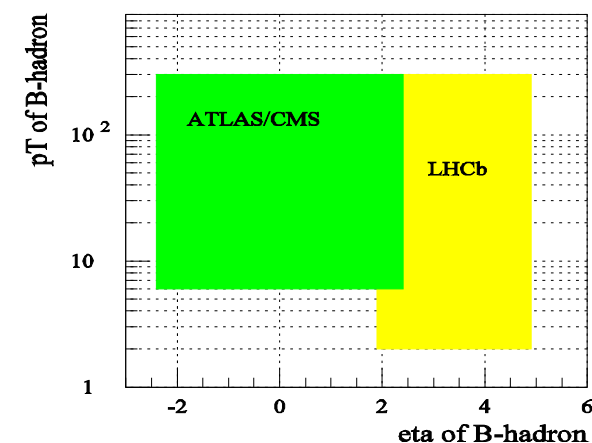
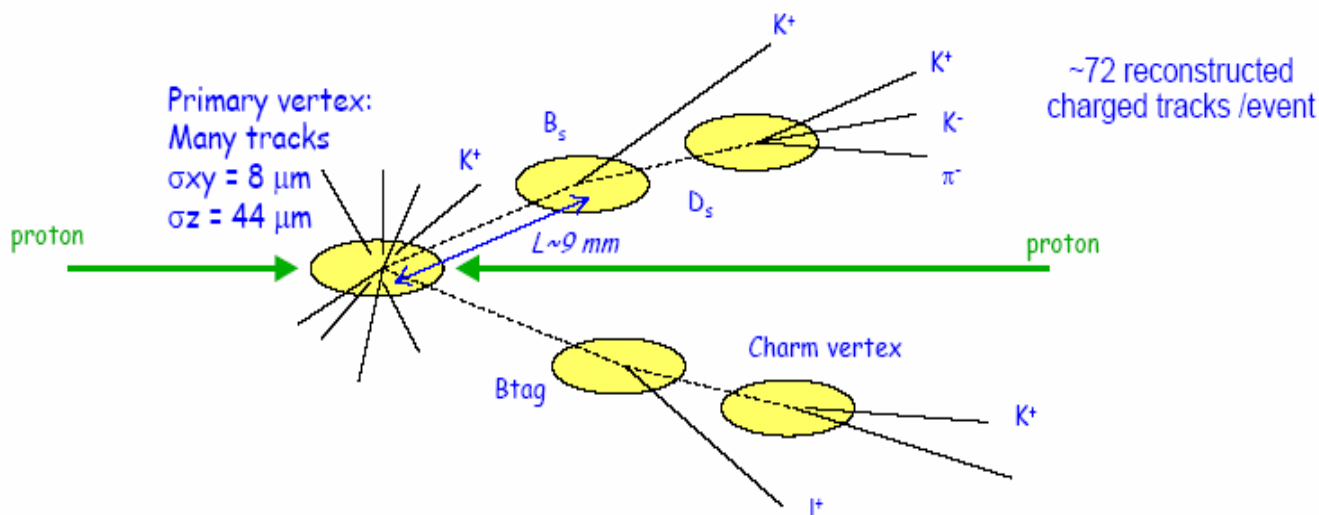
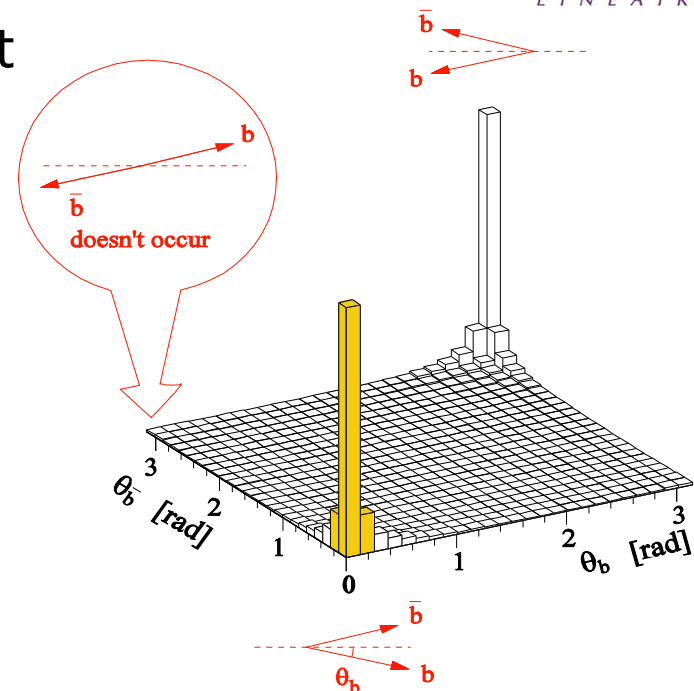
Une forte statistique	Une forte section efficace bb Une forte Luminosité Un déclenchement efficace/pure
Une bonne reconstruction du vertex déplacé du B	Une bonne reconstruction des traces près du Pt d'interaction Un bon détecteur de Vertex
Une bonne reconstruction des traces	Champ magnétique important Chambres à traces efficaces/redondantes
Une bonne identification sélection des canaux de désintégration du B	Détecteur Cerenkov permettant d'identifier les particules dans une large gamme d'énergies Identification des neutres (Calorimètres)

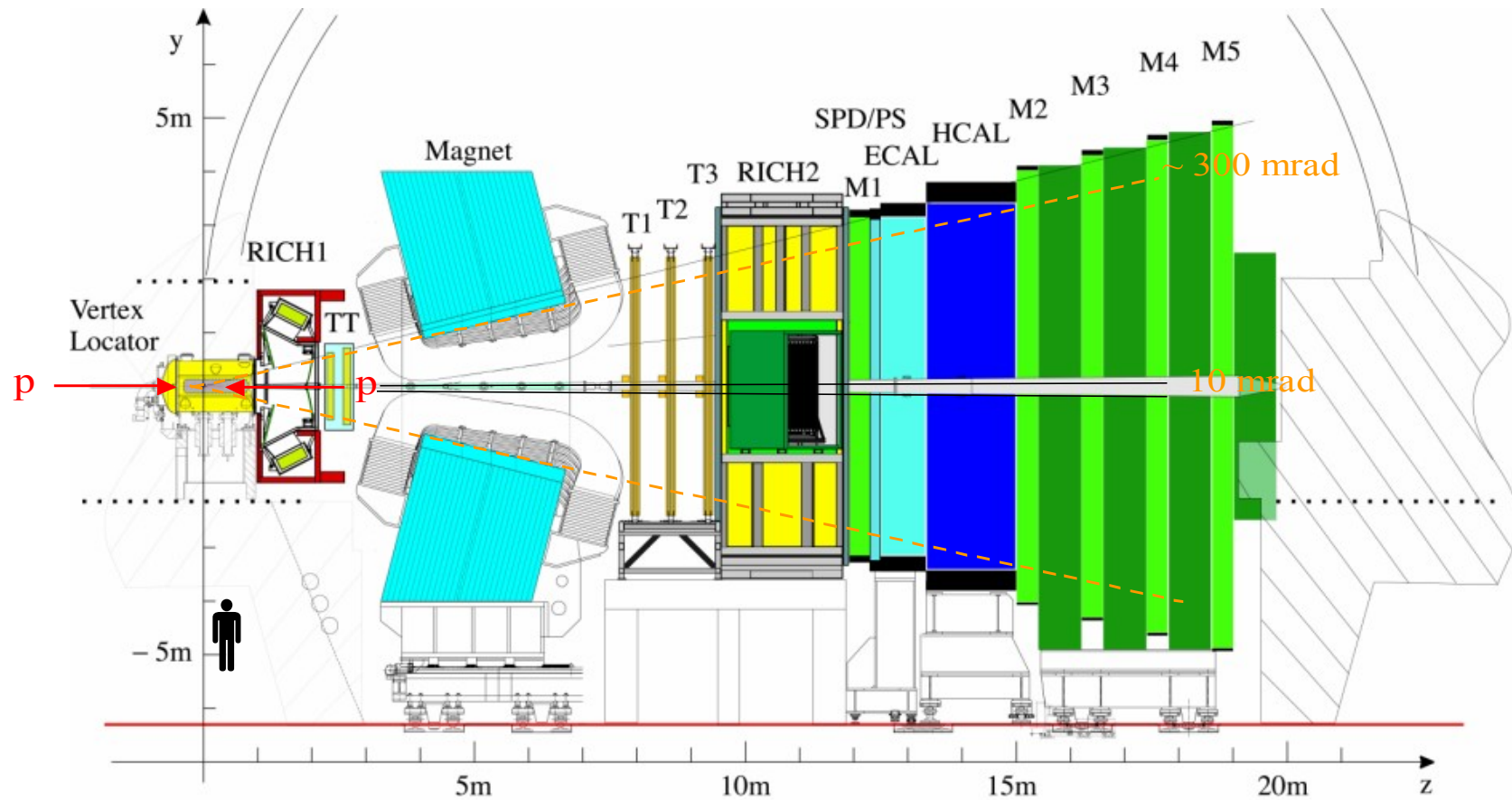
Le Détecteur LHCb



La Production des B au Point d'Interaction

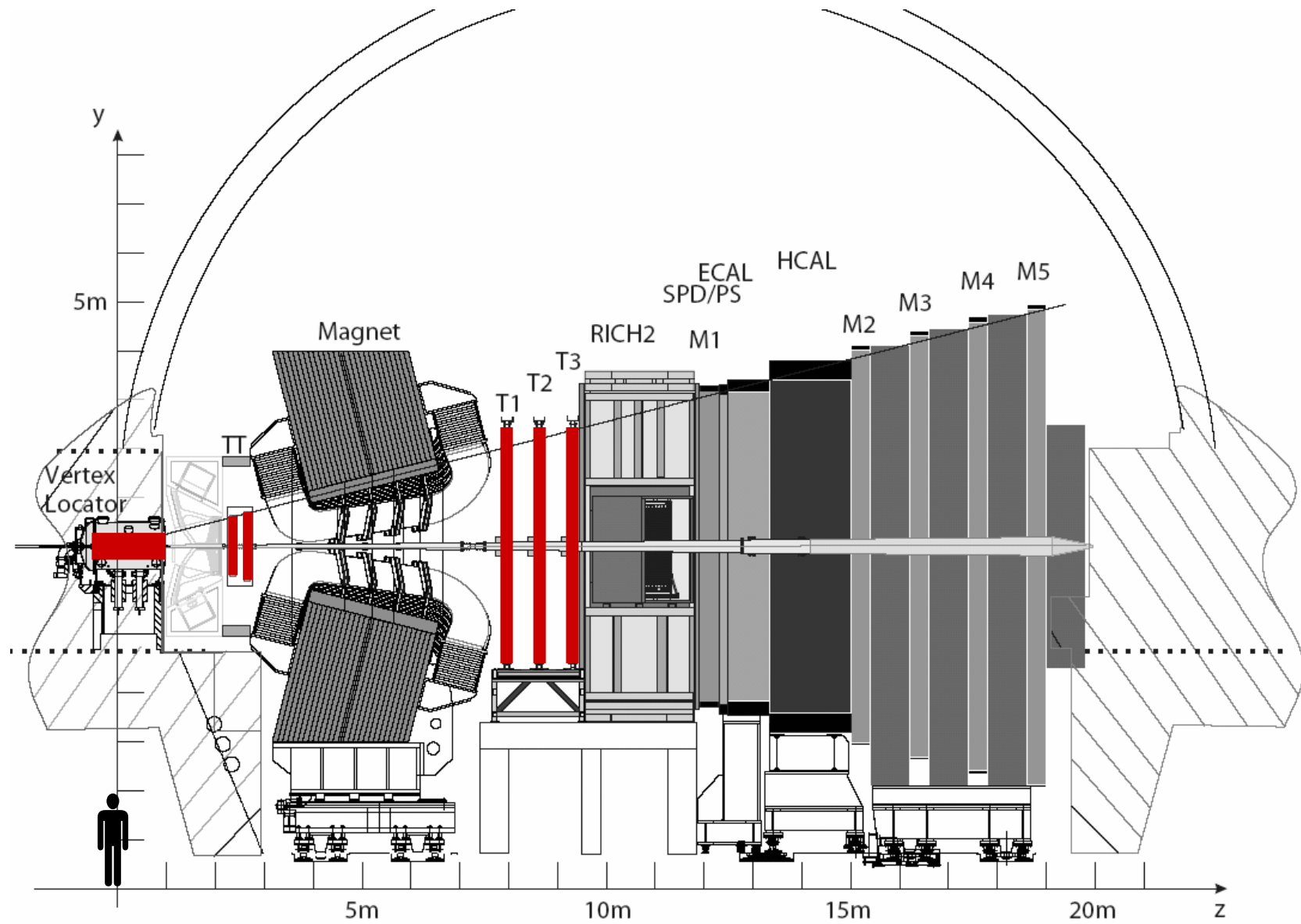
- Les B sont produits préférentiellement vers l'avant
- LHCb est un spectromètre couvrant la zone angulaire 10 à 300 mrad
 - Les deux B sont dans l'acceptance
 - Etiquetage de la saveur
 - En terme de section efficace
 - LHCb : $\sigma_{bb} \sim 230 \mu\text{b}$
 - ATLAS / CMS : $\sigma_{bb} \sim 100 \mu\text{b}$
- Un événement typique ressemble à ceci :



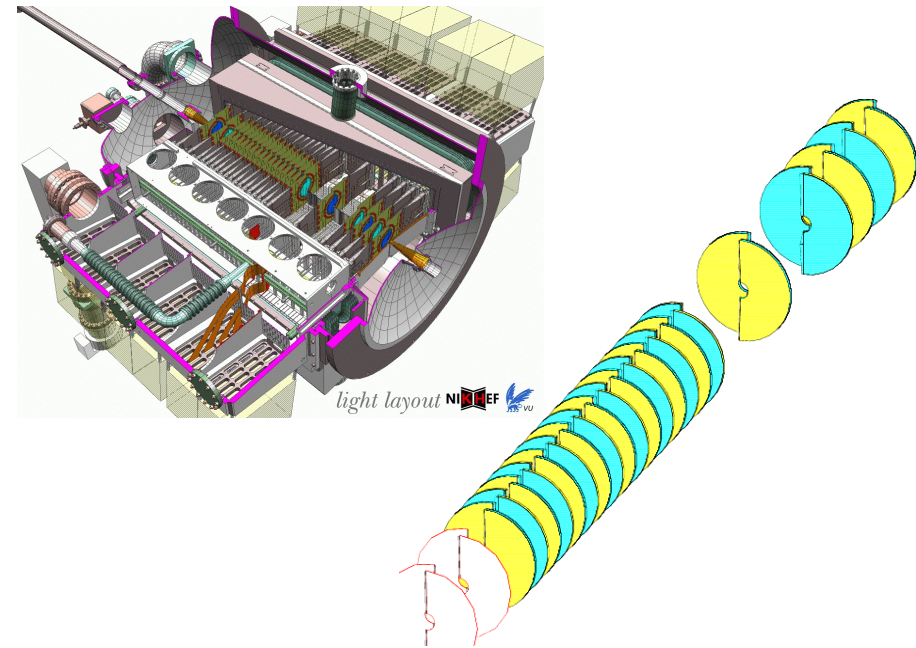
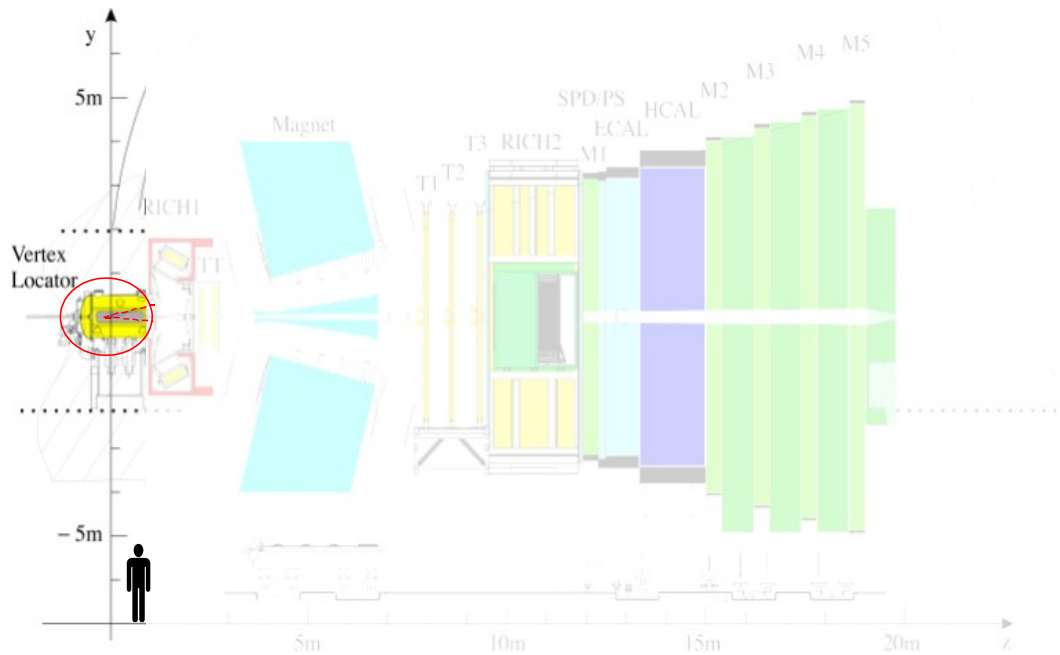


- LHCb est un spectromètre à un bras fonctionnant en mode de collisions pp

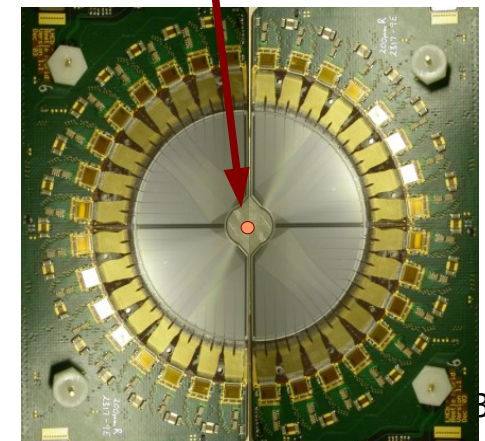
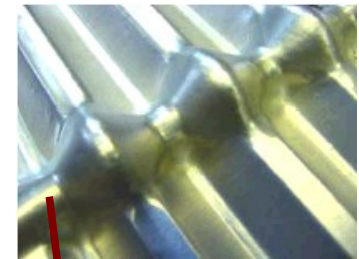
La Reconstruction des Traces



Le Détecteur de « Vertex » »



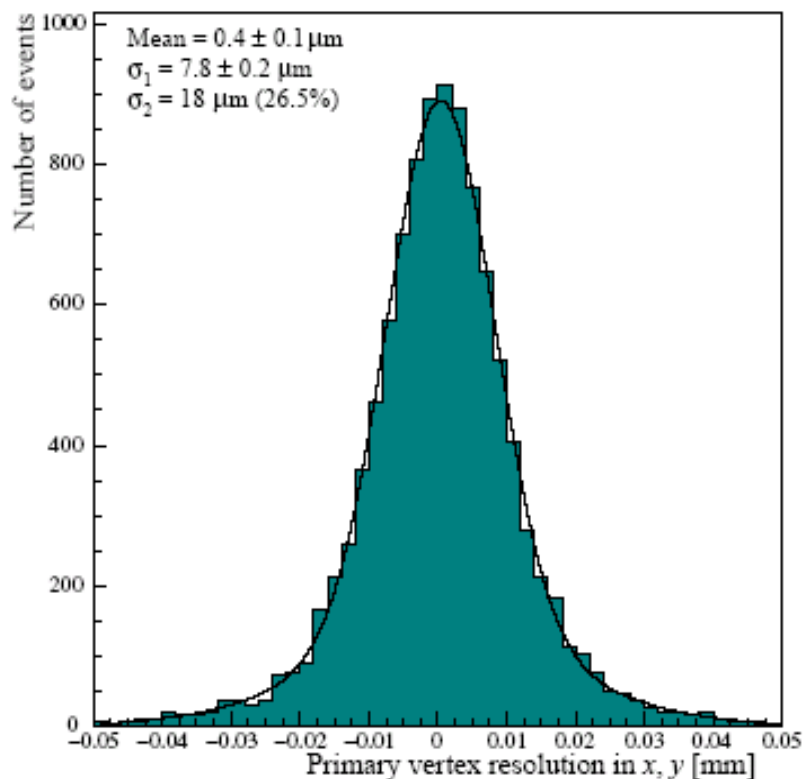
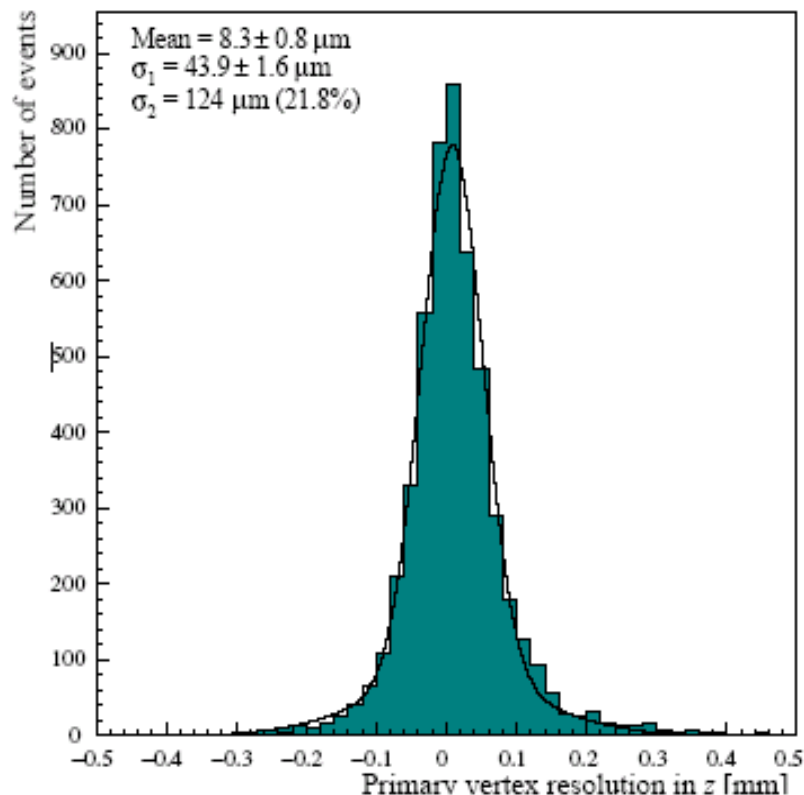
- 21 stations au Silicium tout autour de la zone d'interaction
- 2 demi-disques placés à gauche et à droite de la ligne du faisceau
- Microstrips Silicium avec géométrie en $r\Phi$
- Approche du faisceau à 8mm
 - Enceinte à vide secondaire
 - Séparé du vide primaire par une enveloppe en béryllium



Le « Vertex » Primaire

Mean = $8.3 \pm 0.8 \mu\text{m}$
 $\sigma_1 = 43.9 \pm 1.6 \mu\text{m}$
 $\sigma_2 = 124 \mu\text{m}$ (21.8%)

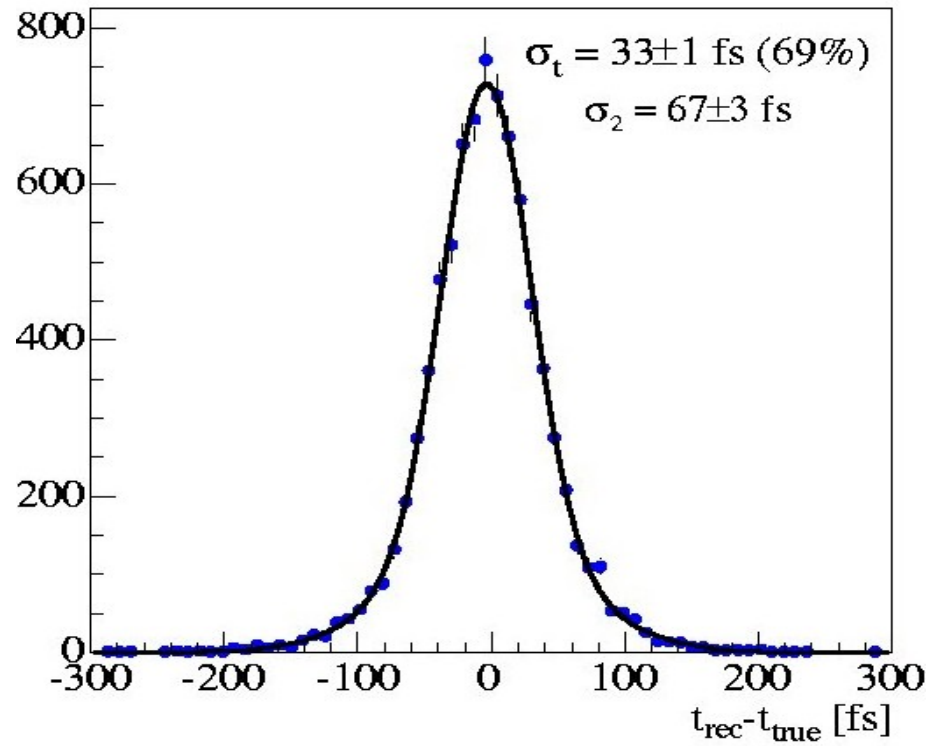
Mean = $0.4 \pm 0.1 \mu\text{m}$
 $\sigma_1 = 7.8 \pm 0.2 \mu\text{m}$
 $\sigma_2 = 18 \mu\text{m}$ (26.5%)



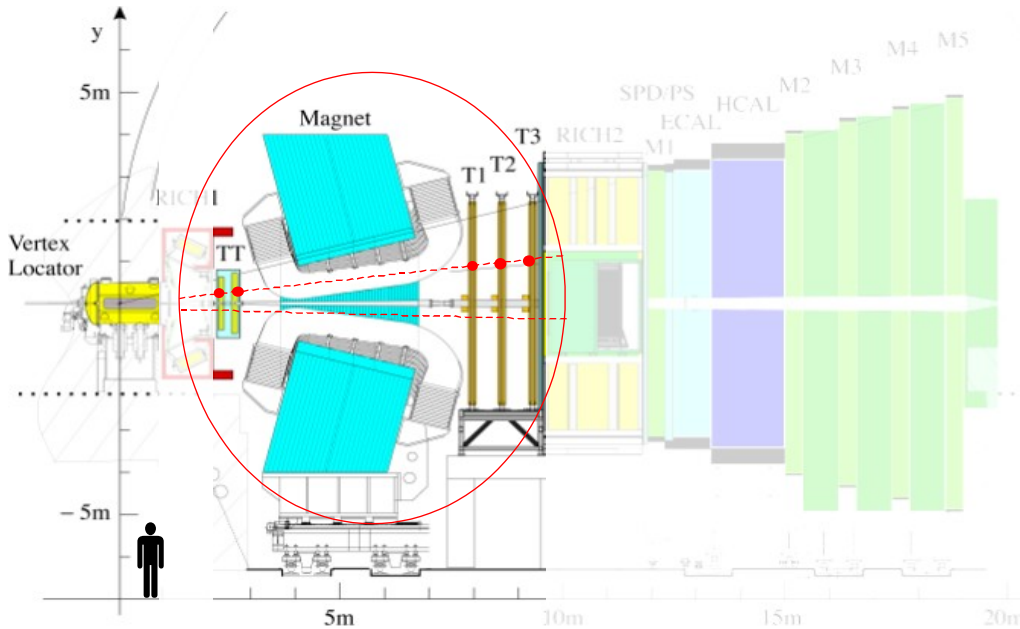
- Efficacité de reconstruction du « vertex » de production des b en fonction du nombre de collisions :

Collisions	1	2	3	4
Efficacité (%)	99	96	90	81

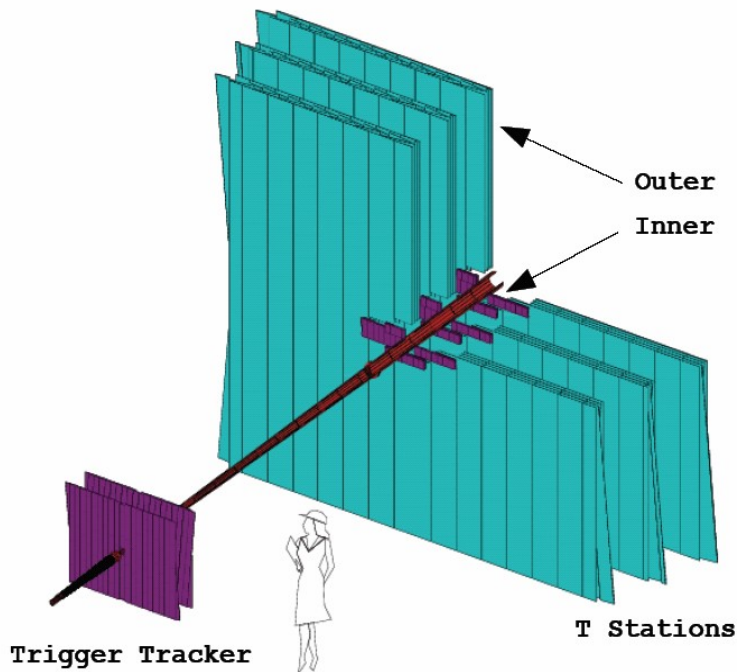
- Résolution sur le temps propre du B : ~ 40 fs ($B_s \rightarrow D_s^- \pi^+$)



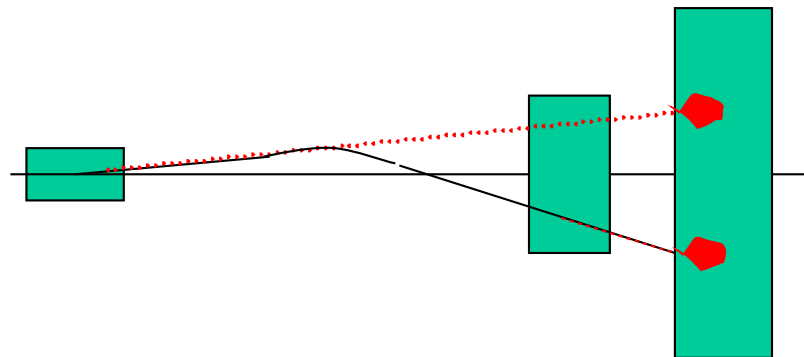
La Reconstruction des Traces



- 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

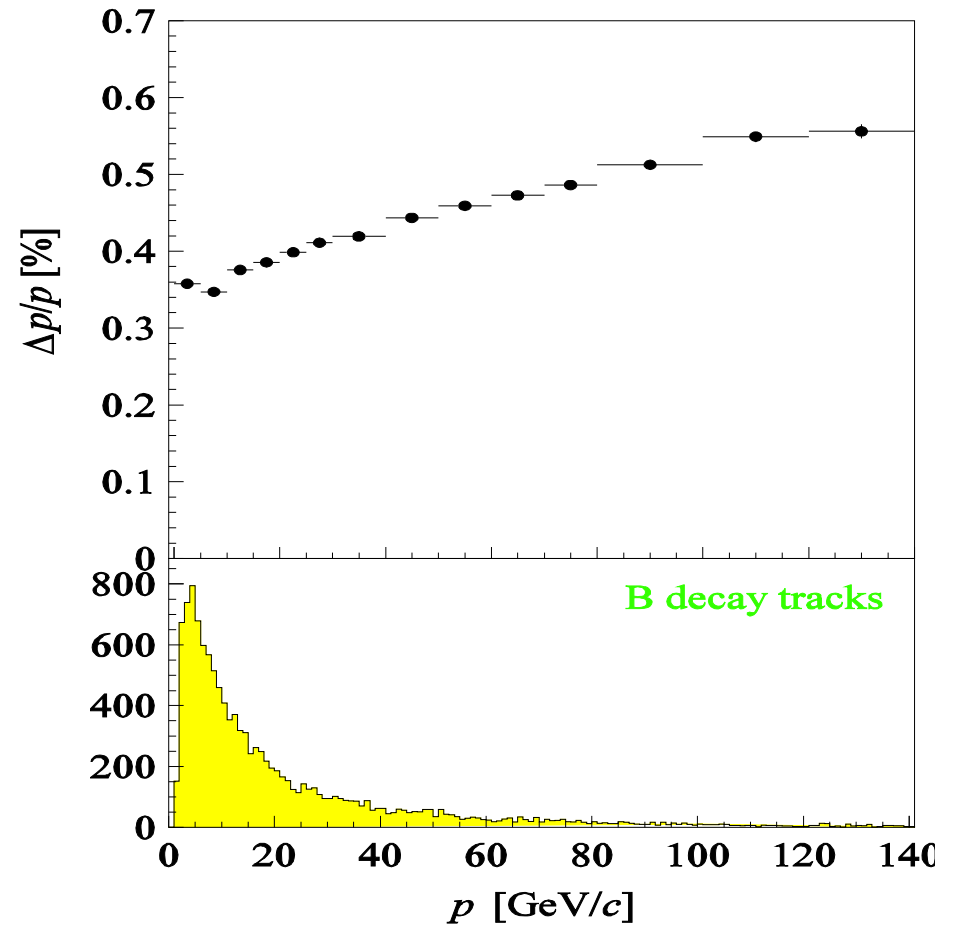
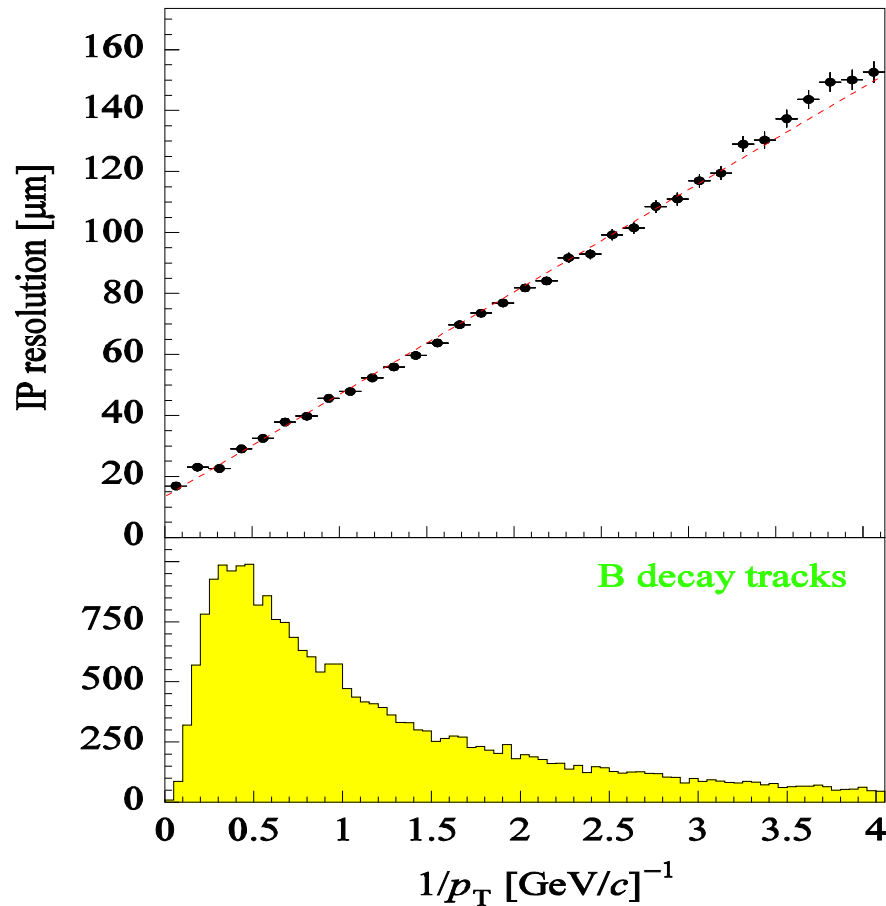


- Pas de matière dans le volume de l'aimant :
 - On connaît la position des éventuels photons de Bremstrahlung



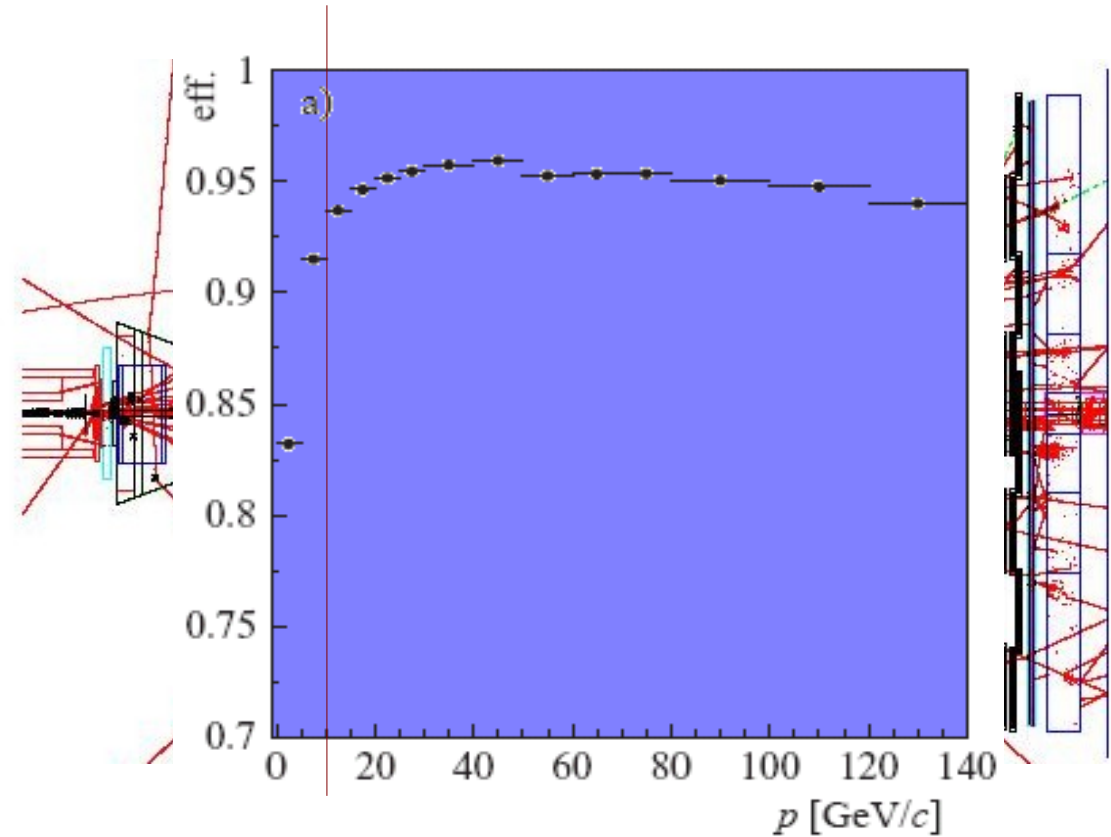
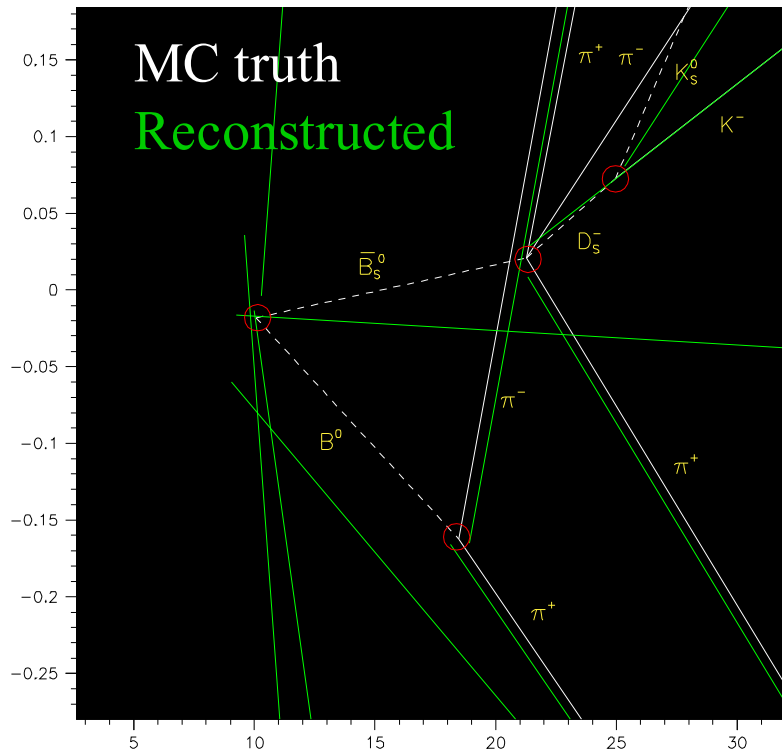
Résolution IP et de l'Impulsion

- 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%



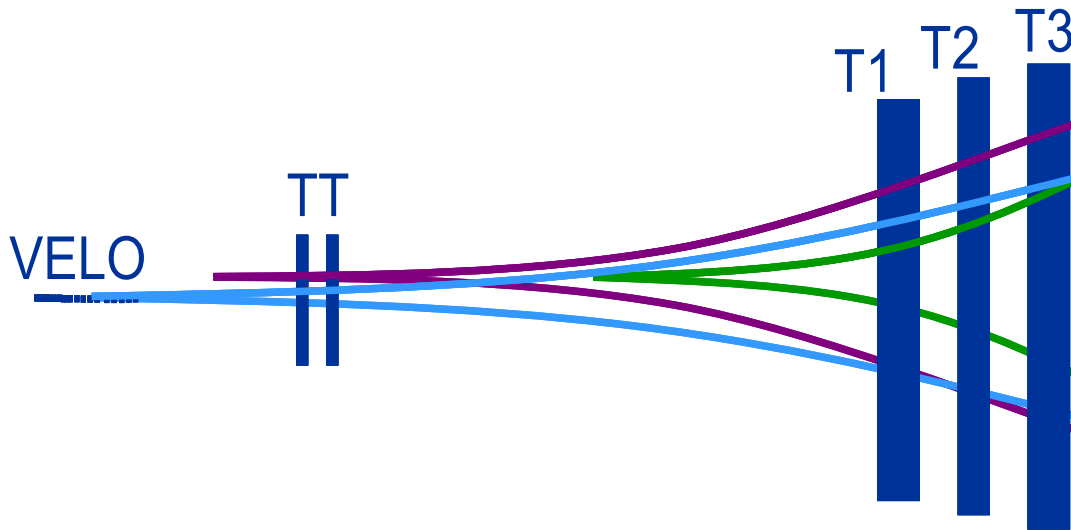
La Reconstruction des Traces

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



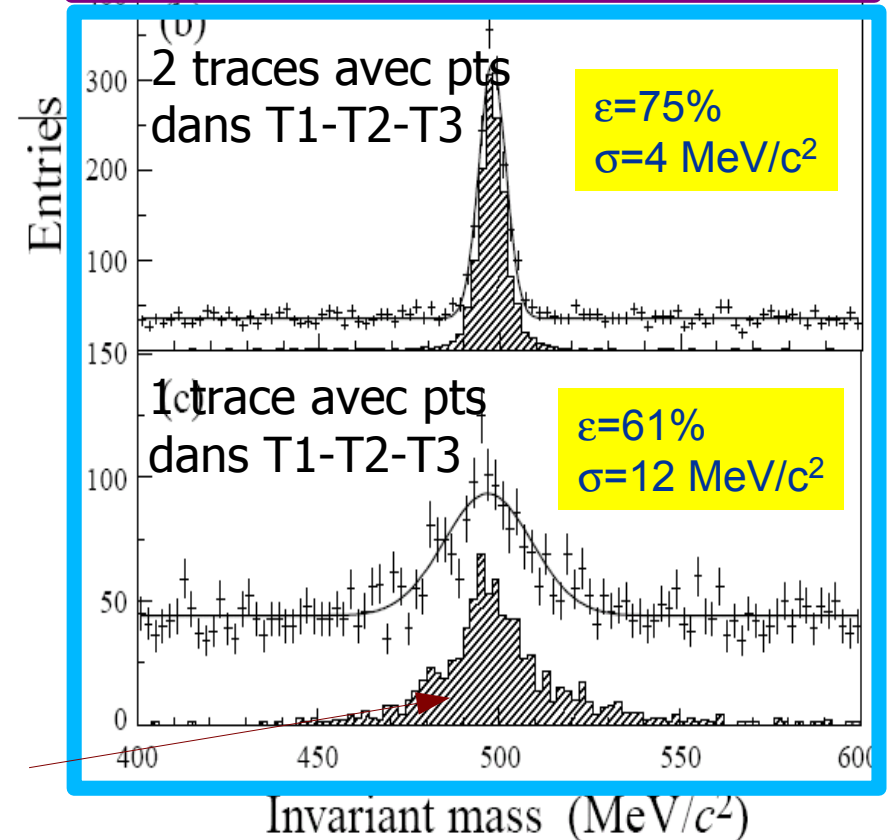
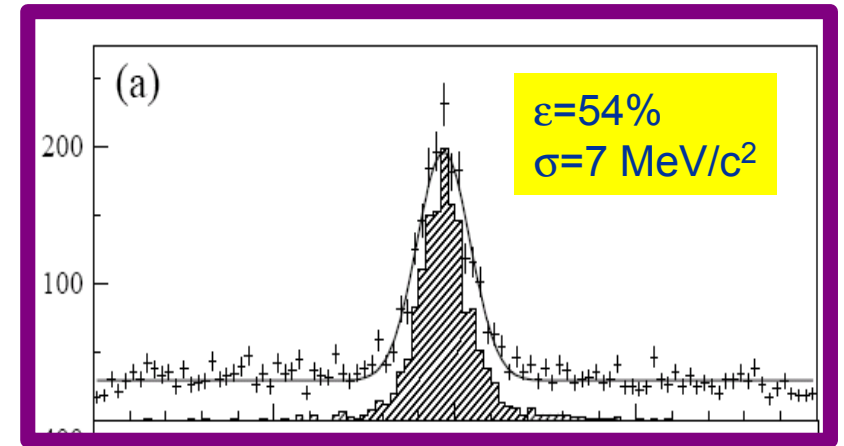
- Longueur de désintégration du B ~ 1 cm
- Efficacité de reconstruction de l'ordre de 94% pour les traces de B

Reconstruction des K_s dans $B \rightarrow J/\psi K_s$



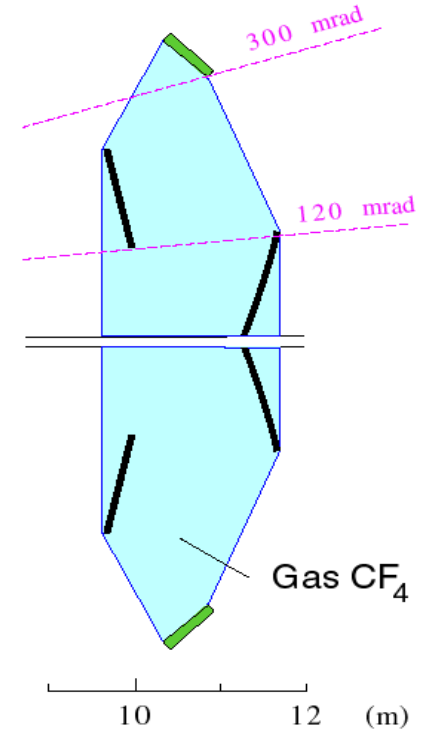
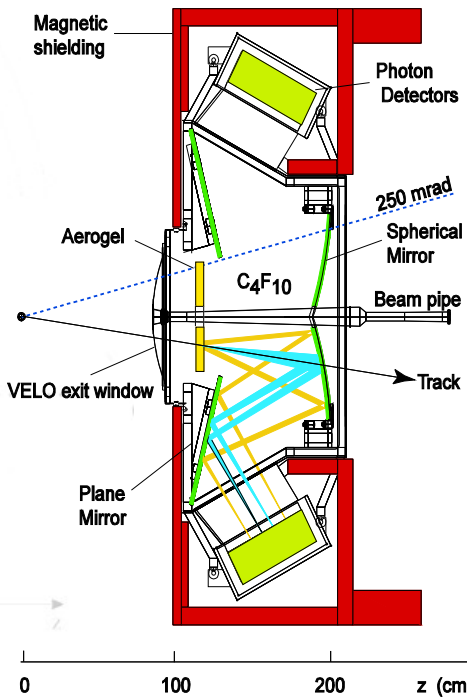
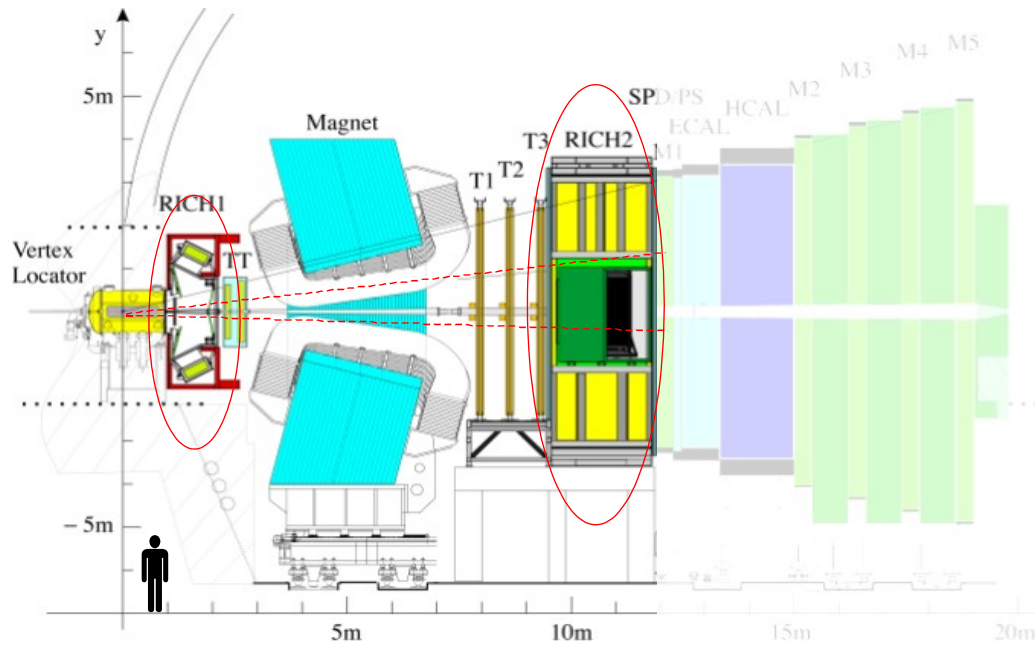
- 25% des K_s se désintègrent dans le VELO
- 50% des K_s se désintègrent entre le VELO et les stations TT
- 25% des K_s se désintègrent après les chambres TT
 - Non reconstituables

$\pi\pi$ invariant mass after $B \rightarrow J/\psi K_s$ selection cuts



$\pi\pi$ invariant mass

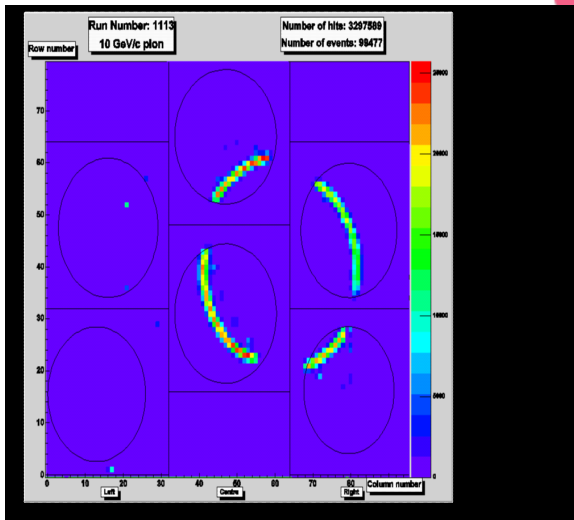
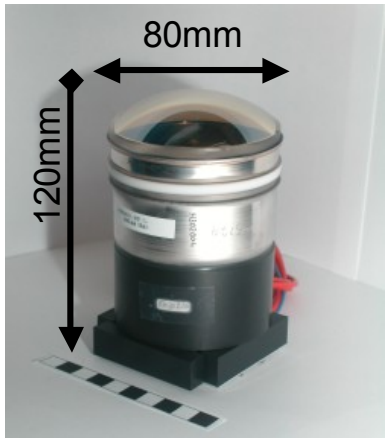
LHCb : L'Identification des Particules



- Photo-détection : 500 HPD (1024 pixels)

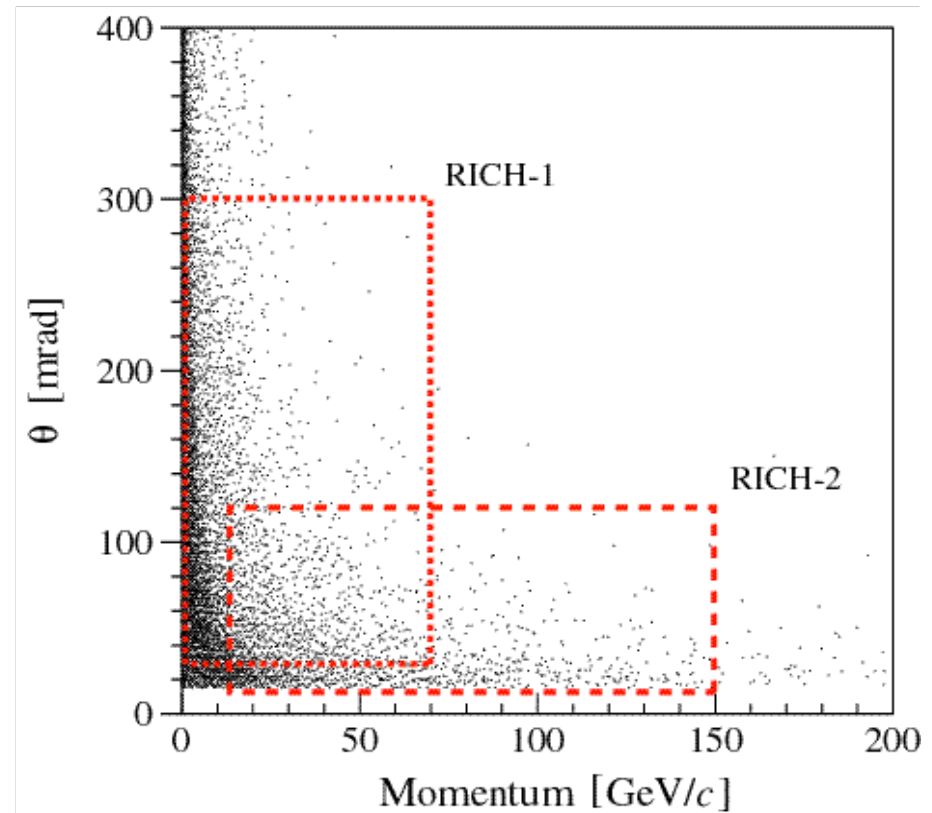
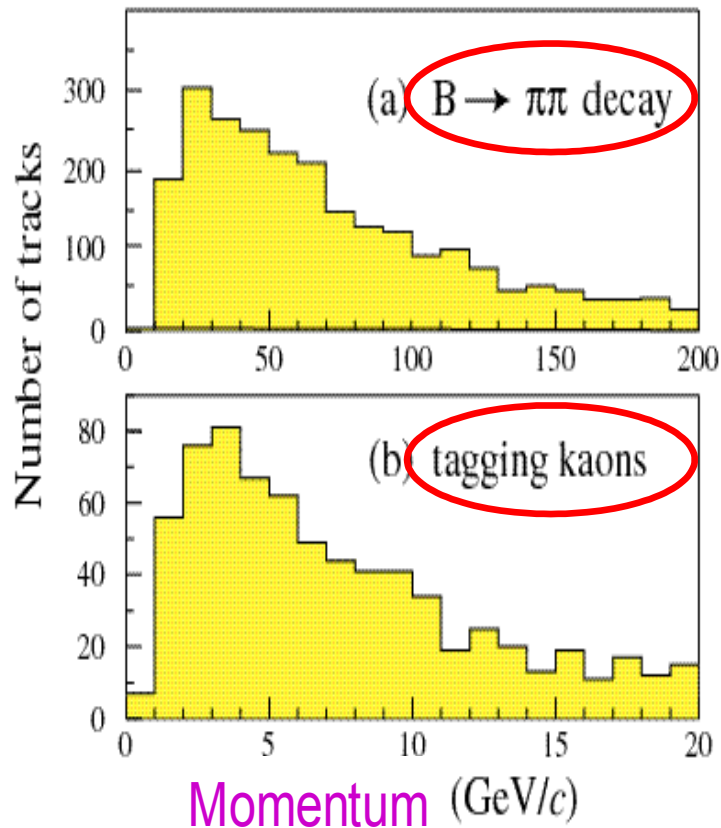
Identification des particules réalisée par deux détecteurs Cerenkov

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

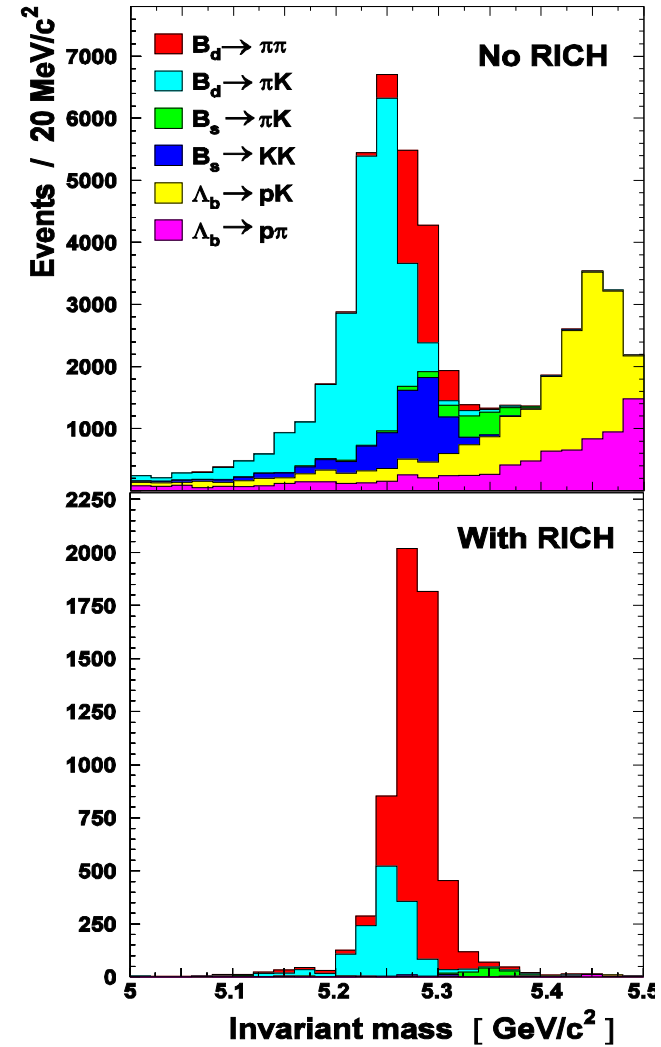
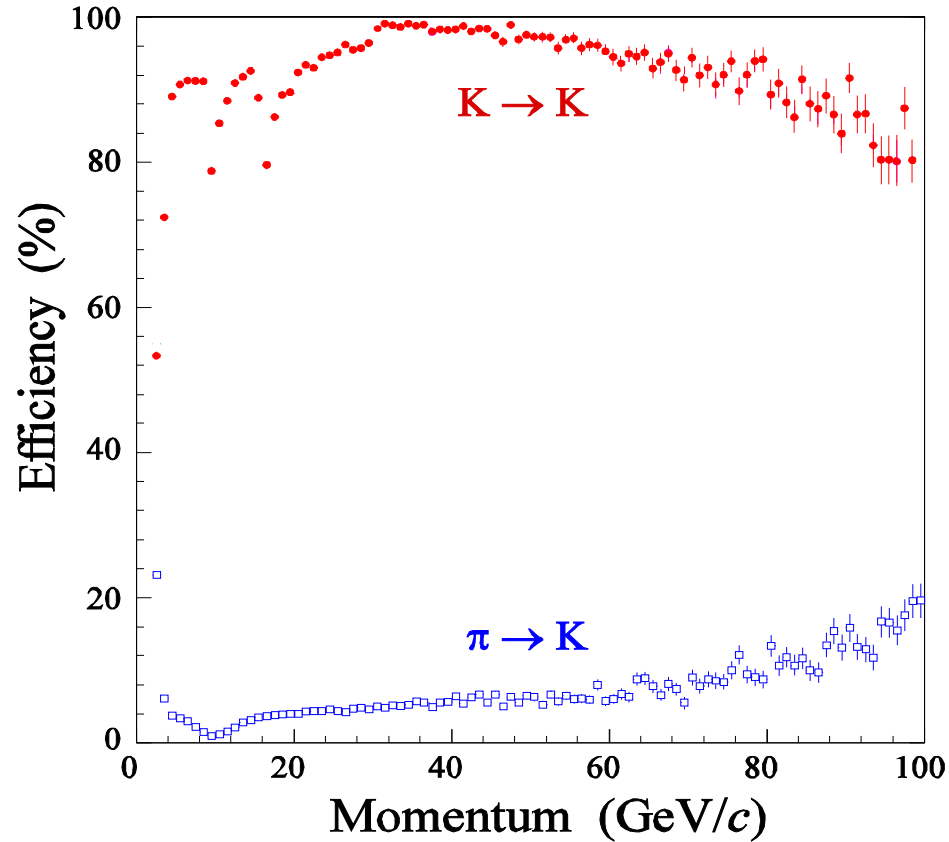


Complémentarité des RICH1 et RICH2

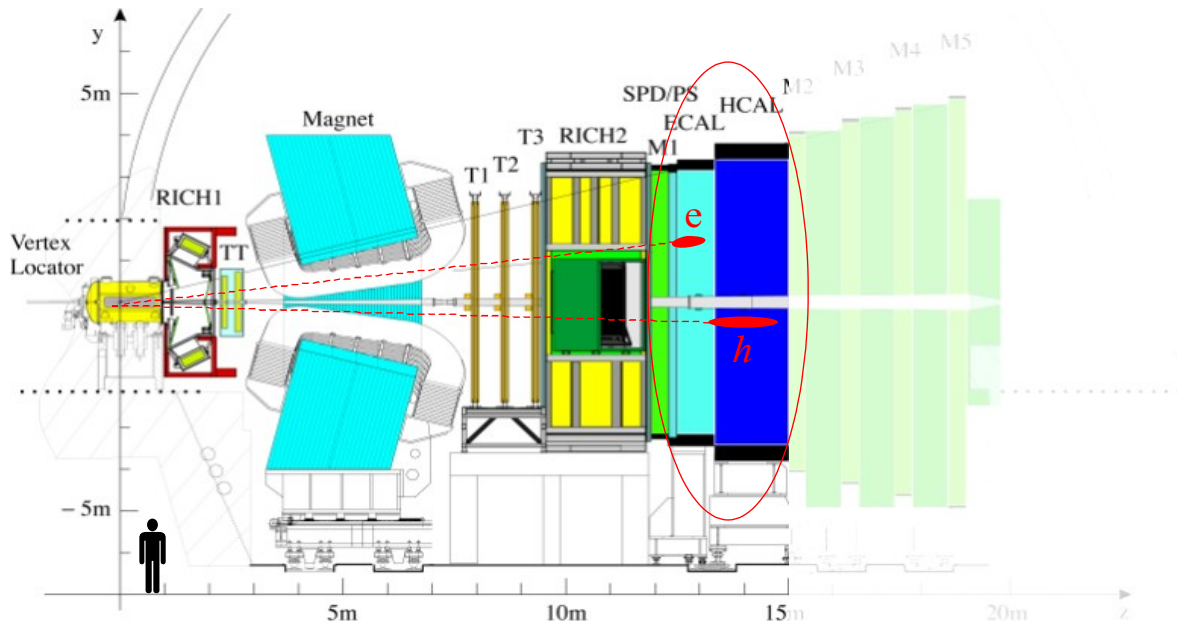
- Nécessité d'identifier des particules avec des impulsions très différentes



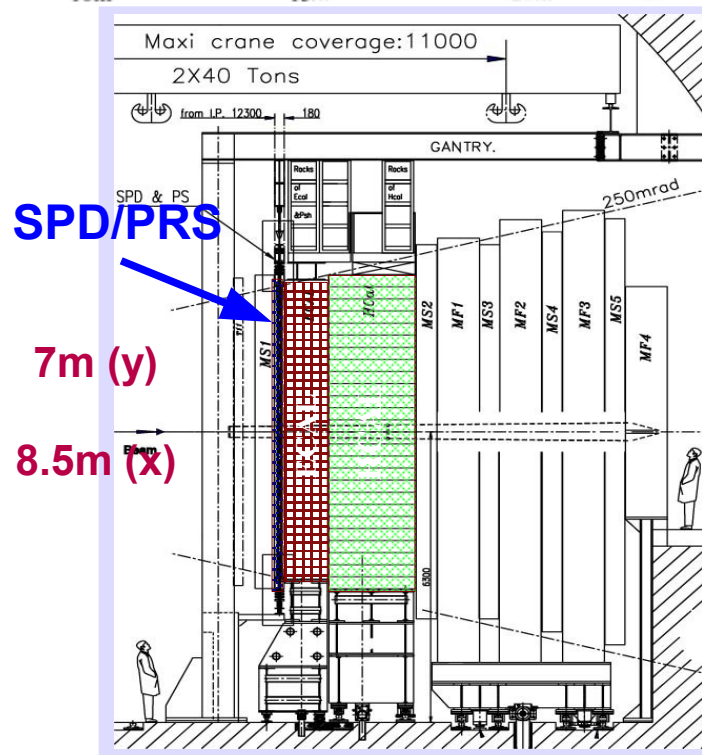
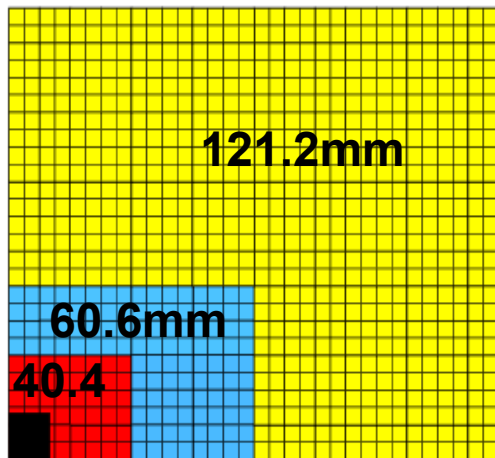
- Identification des particules
 - Complémentarité des deux RICH I et II



LHCb : Calorimétrie (I)

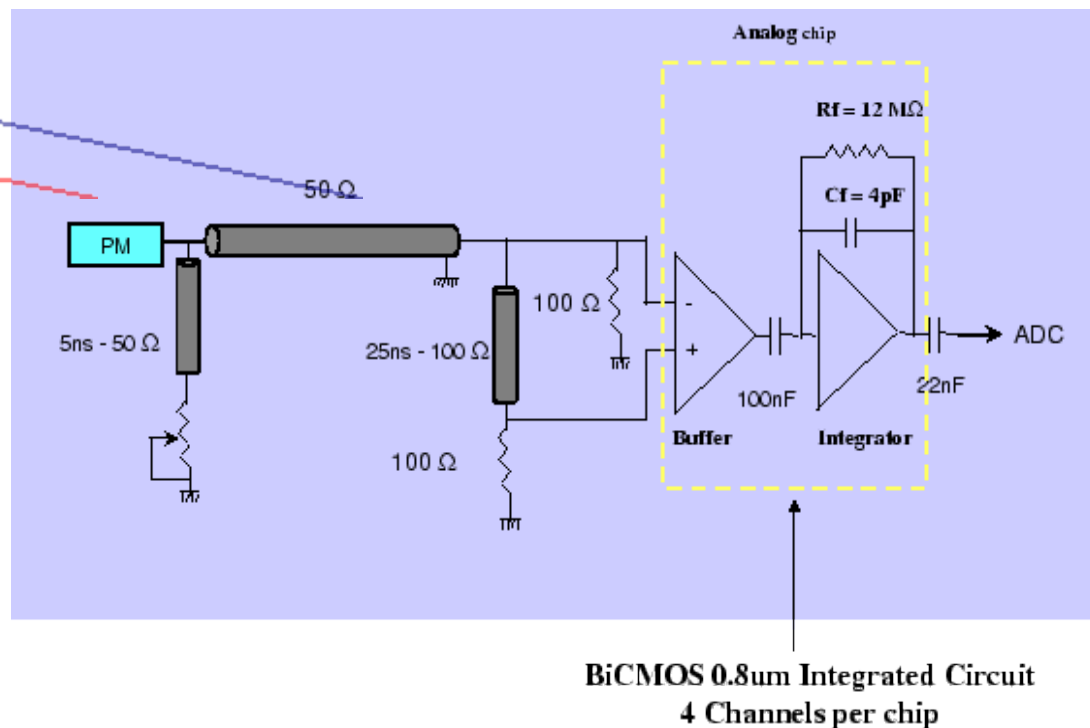
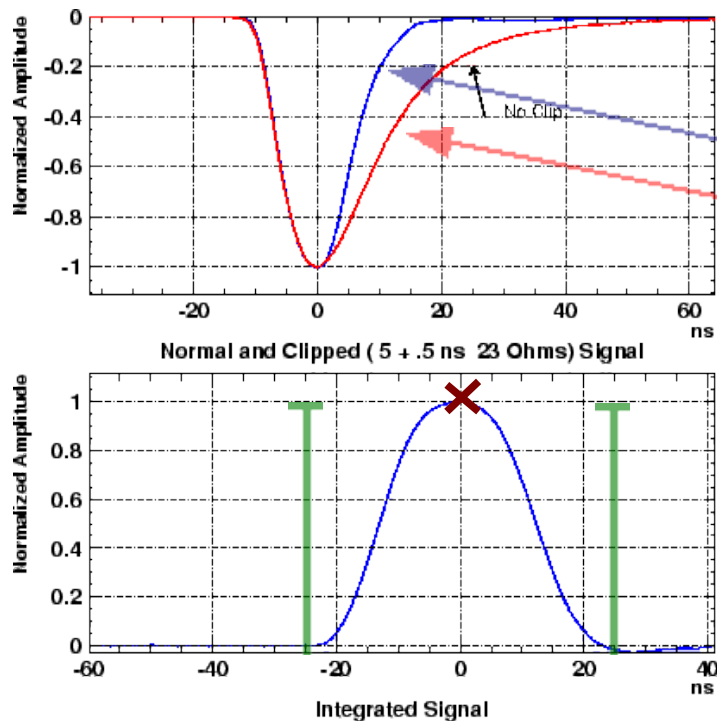
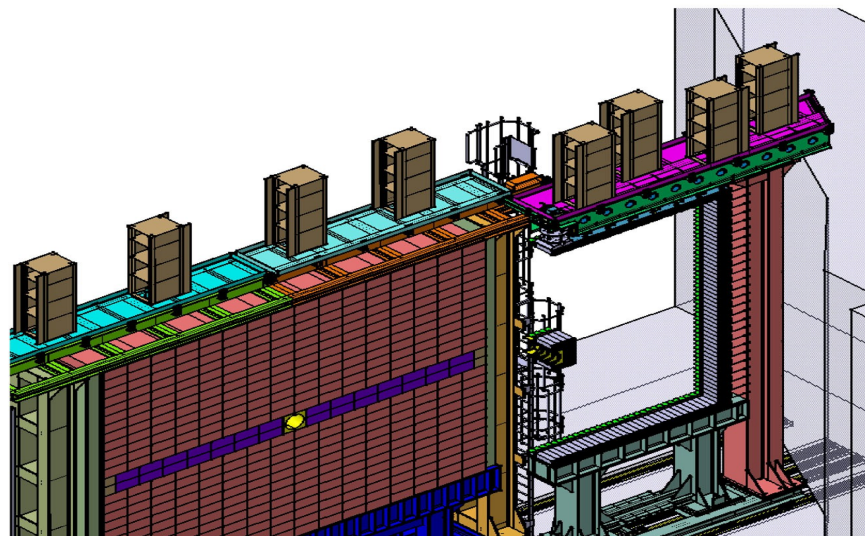


- Identification des hadrons, électrons, γ , π^0
- Mesures des Energies/Positions (impact)
- Déclenchement de Premier niveau
 - Sensible
 - Rapide (40MHz)
- SPD (état de charge)
- PRS (pied de gerbe)
 - Séparation
 - γ / chargés (SPD)
 - Electron, γ / π (PRS)
 - Multiplicité chargée (SPD)
- ECAL
 - Et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



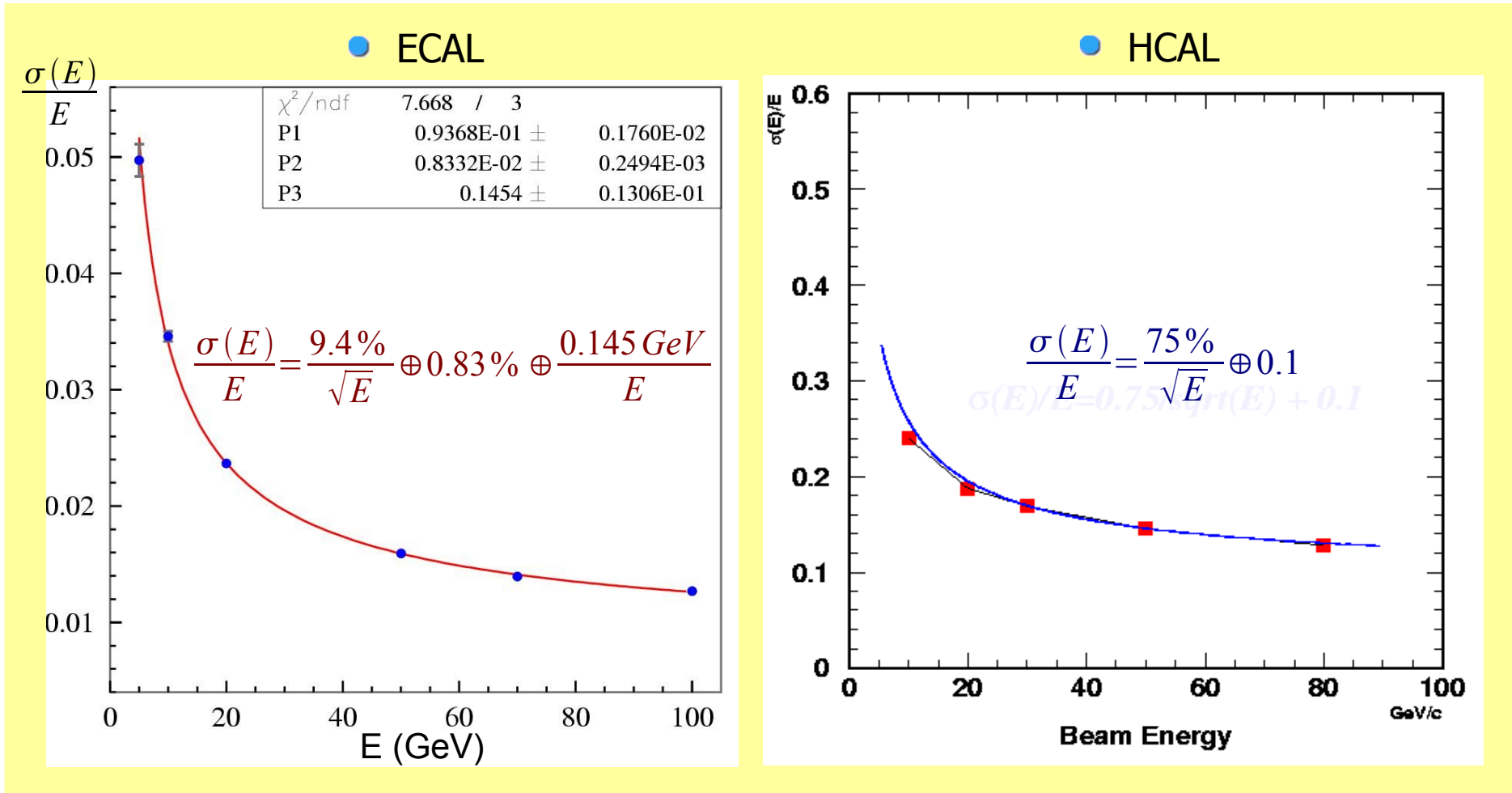
LHCb : Calorimétrie (II)

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



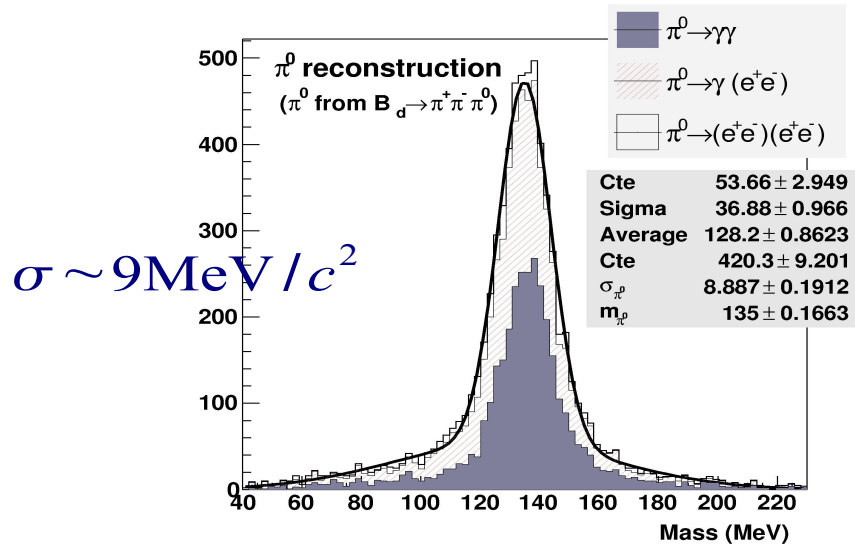
Résolution des Calorimètres

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

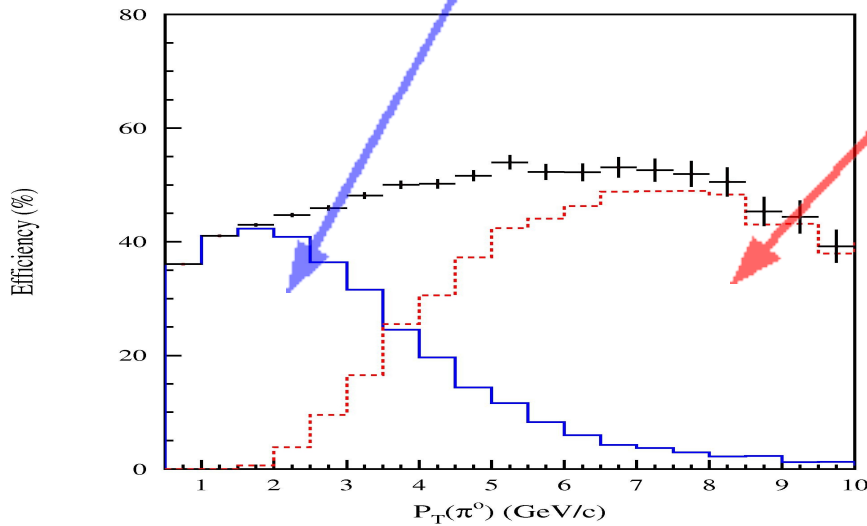
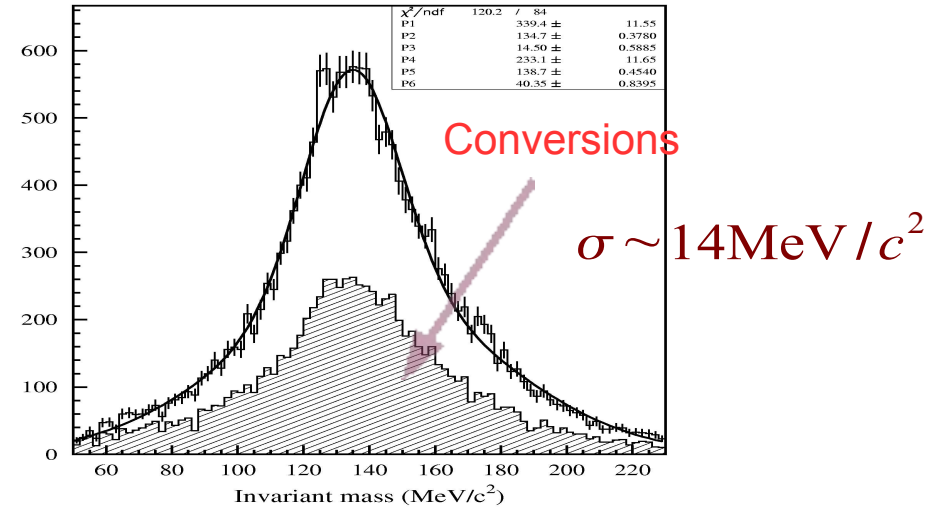


Reconstruction des Neutres

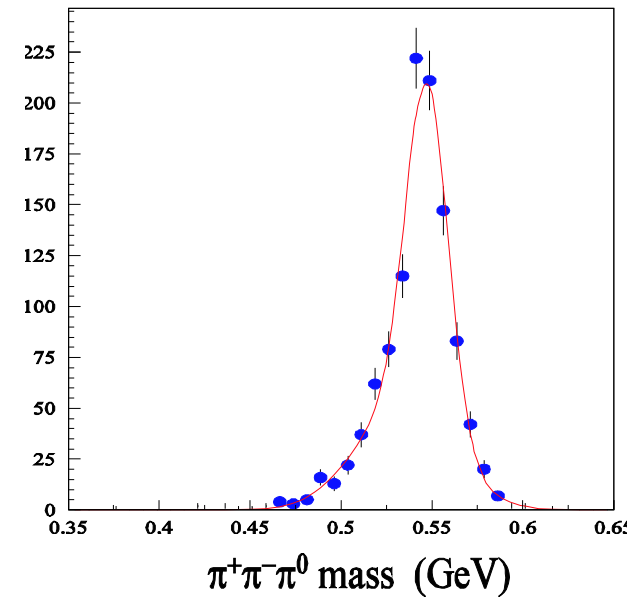
- π^0 résolus (2 clusters)



- π^0 non résolus (1 cluster)

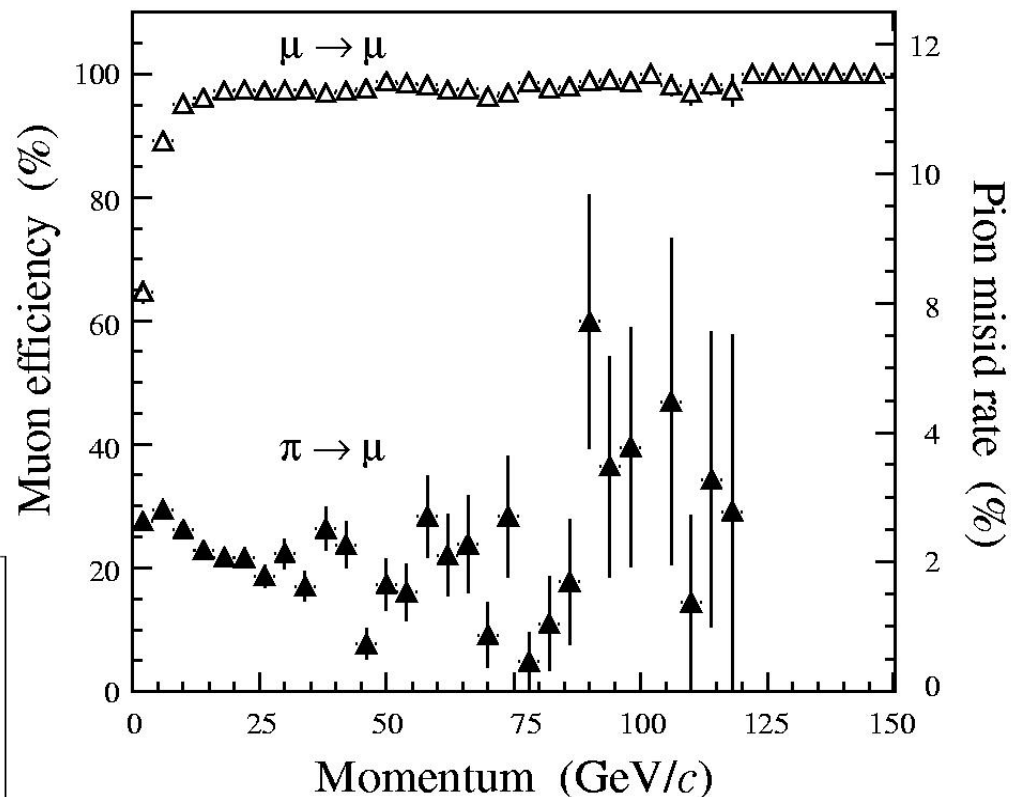
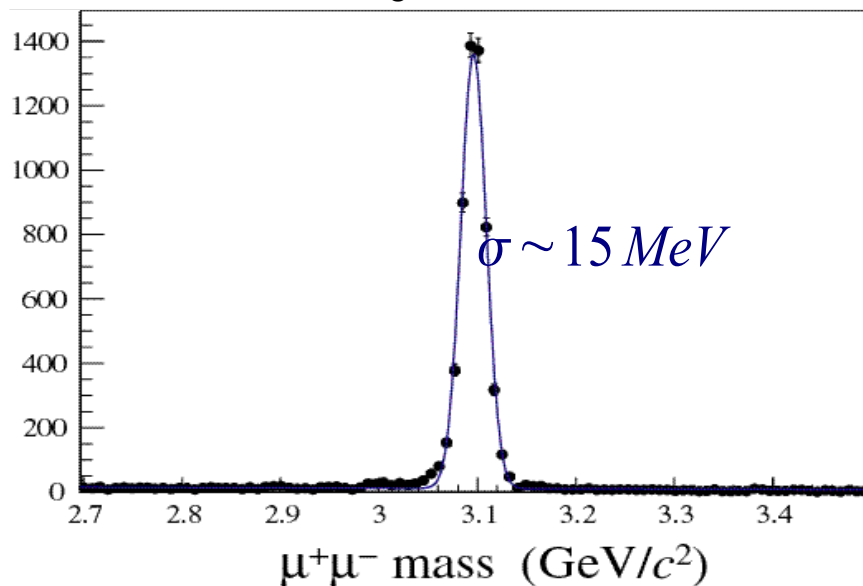


- $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$: résolution $\sim 12 \text{ MeV}$

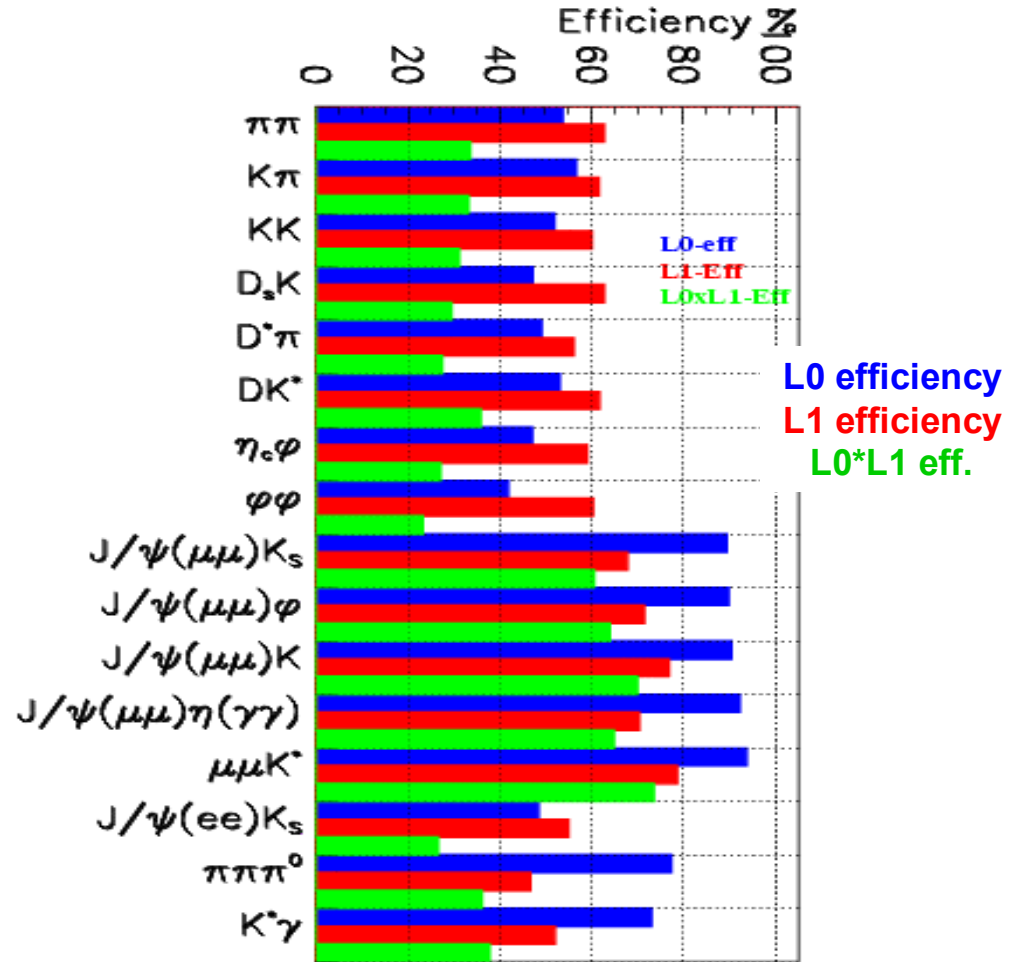
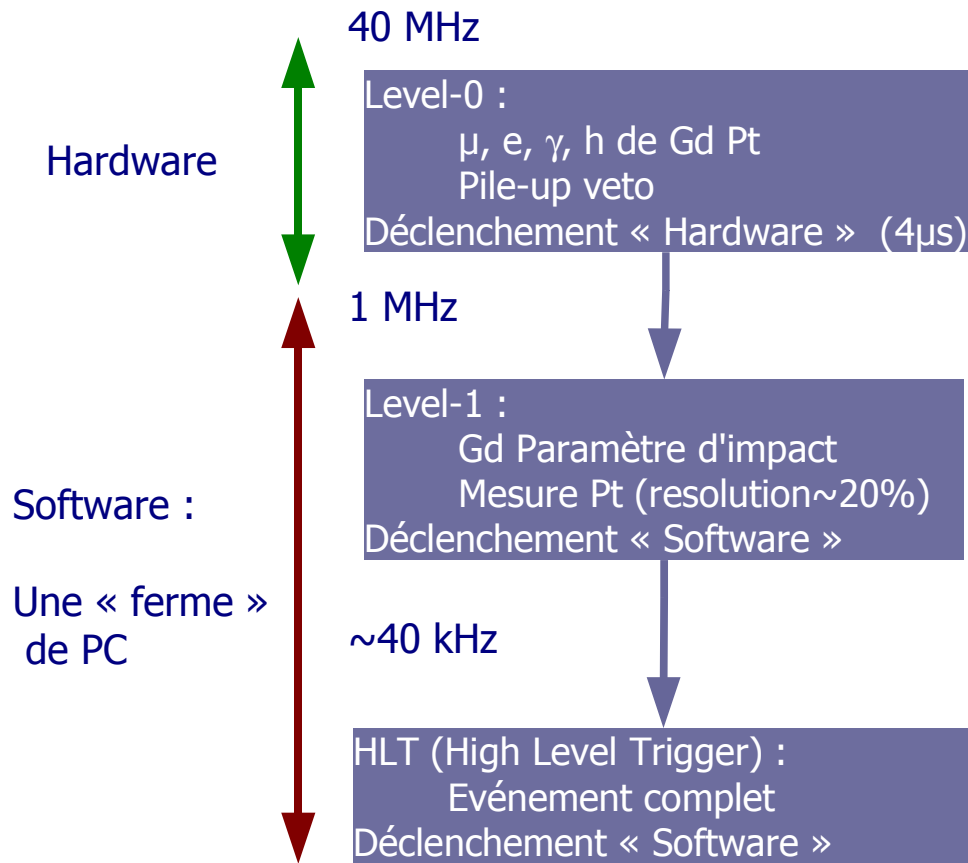


- Performances (Muons seuls)
 - $\epsilon(\mu)=94.3\%$
 - $\epsilon(\pi\rightarrow\mu)=2.9\%$
- Combinaison Muons+Calo+Rich
 - $\epsilon(\mu)=93\%$
 - $\epsilon(\pi\rightarrow\mu)=1\%$

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



Déclenchement

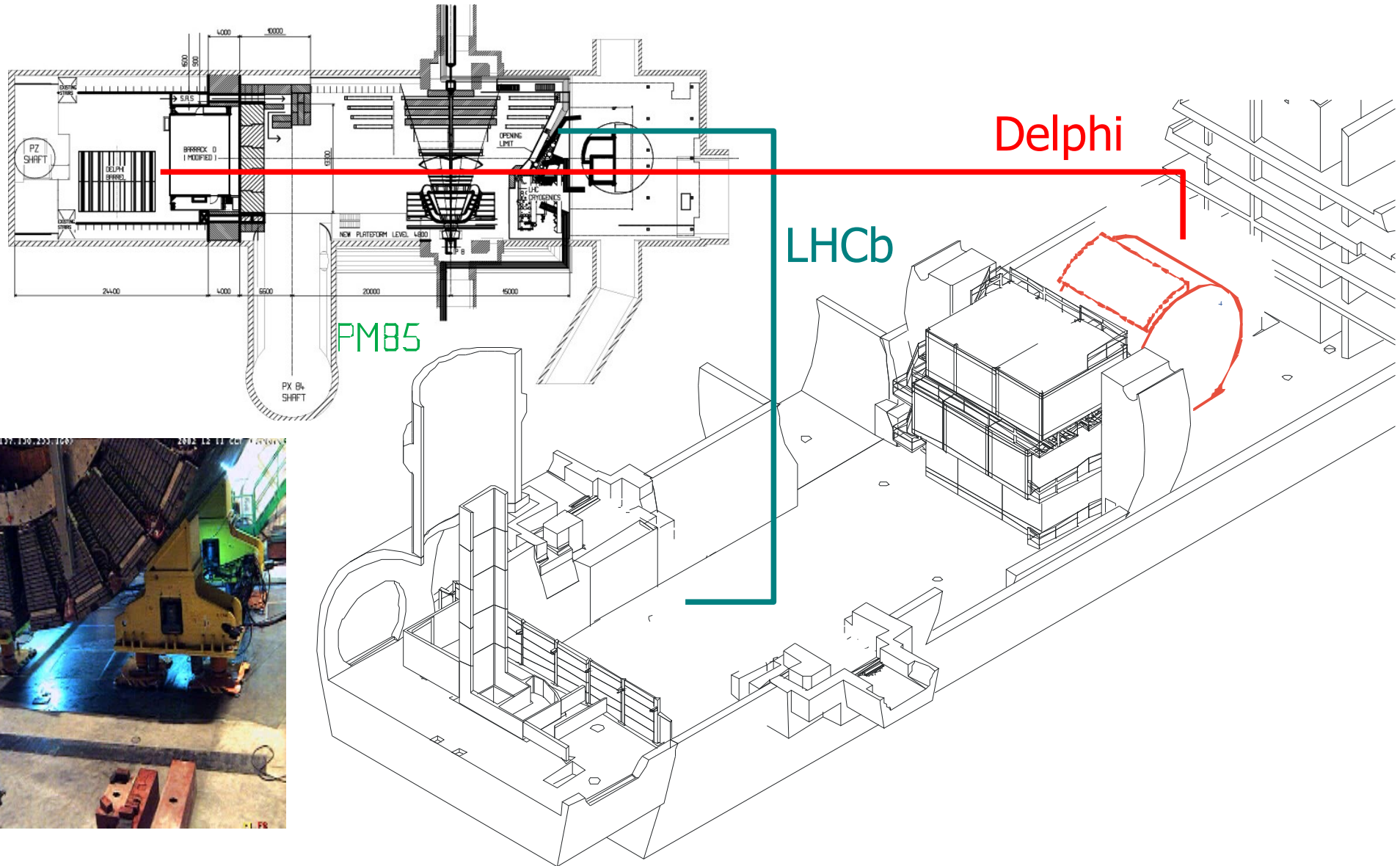


200 Hz + 1.8kHz

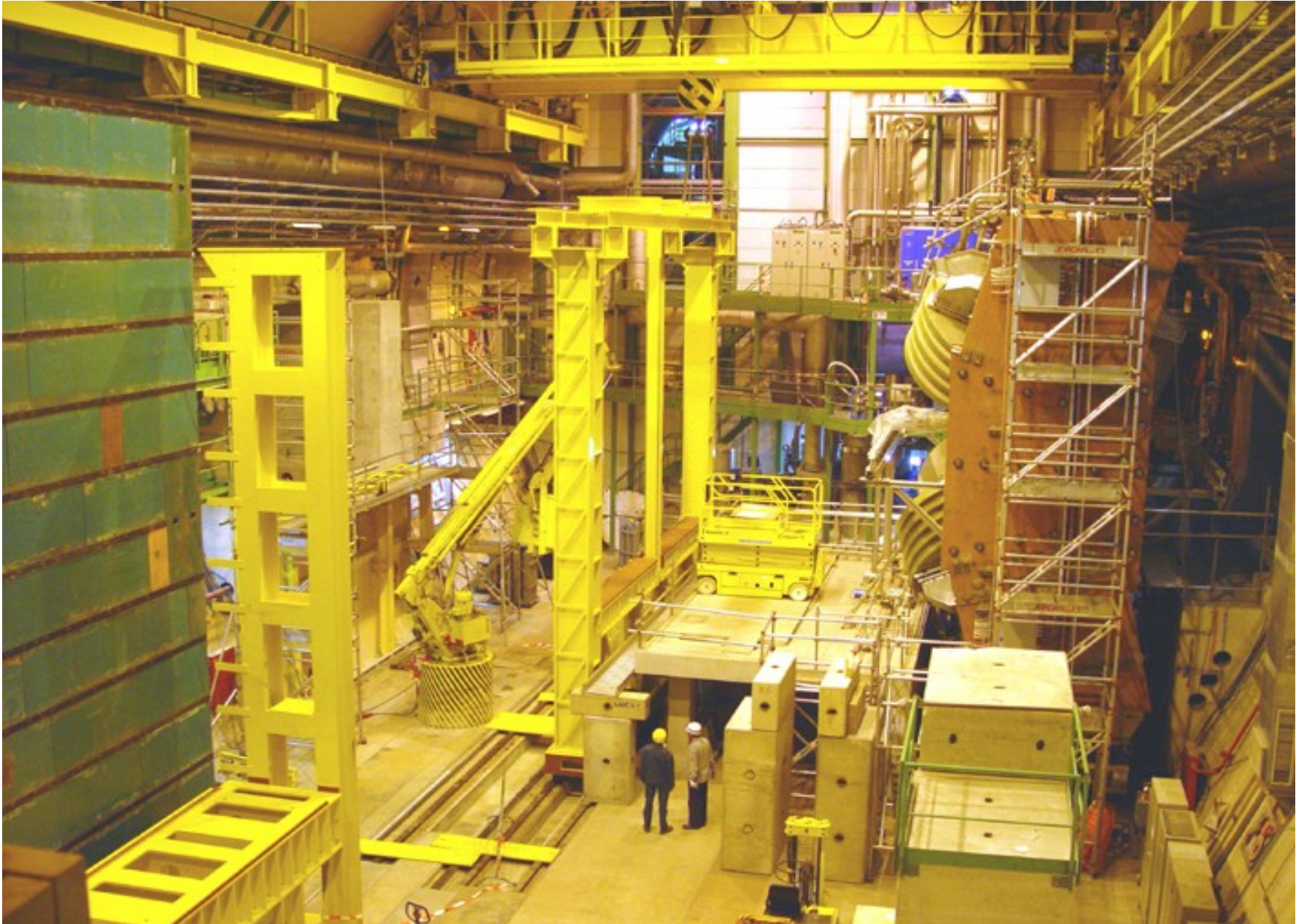
Bande passante HLT	Type d'événement	Calibration	Physique
200 Hz	Candidats B (exclusif)	Etiquetage	Programme de physique du B
600 Hz	Di-muons de grande masse	Tracking	$J/\psi, b \rightarrow J/\psi X$ (non biaisé)
300 Hz	Candidats D^*	PID	Physique du Charme (mixing, CPV)
900 Hz	B inclusif (par ex. $b \rightarrow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

Installation de l'Expérience (I)

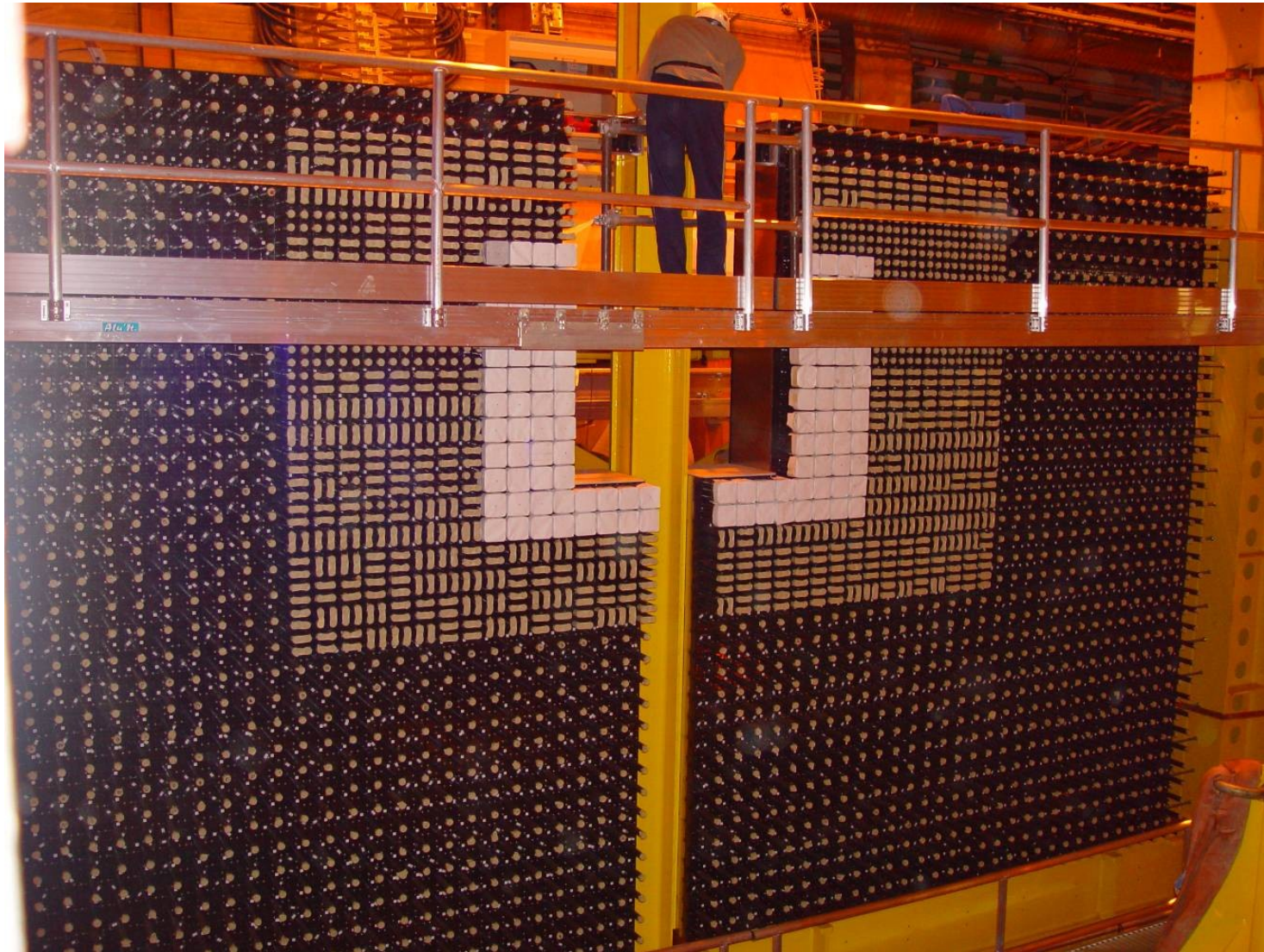
- LHCb installé dans le puits de l'expérience Delphi



Installation de l'Expérience : début 2005



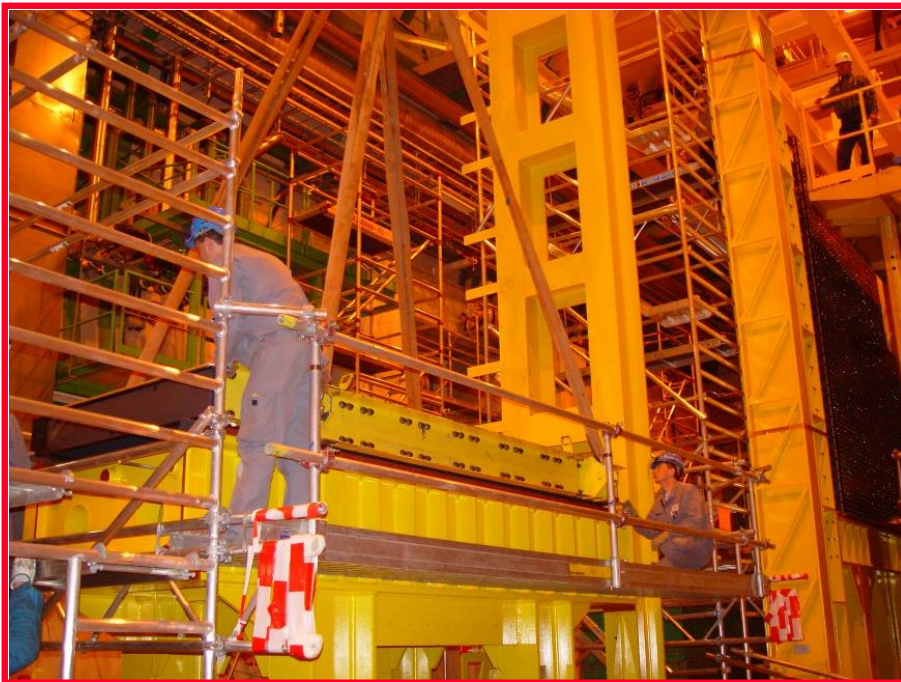
Le Calorimètre Electromagnétique (I)



Le Calorimètre Electromagnétique (II)



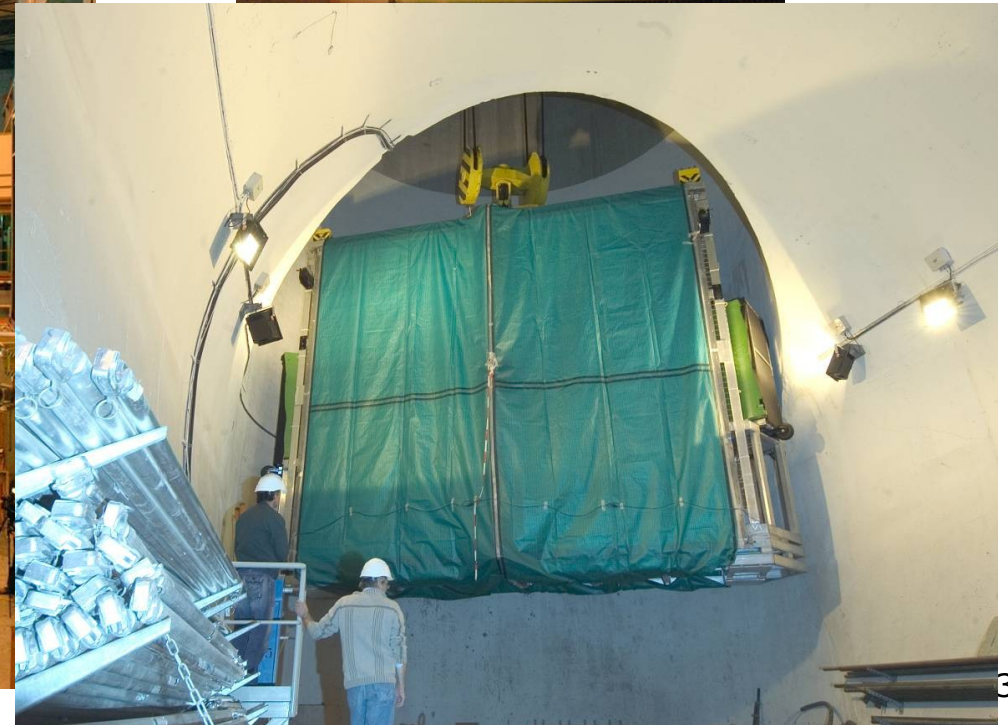
Le Calorimètre Hadronique

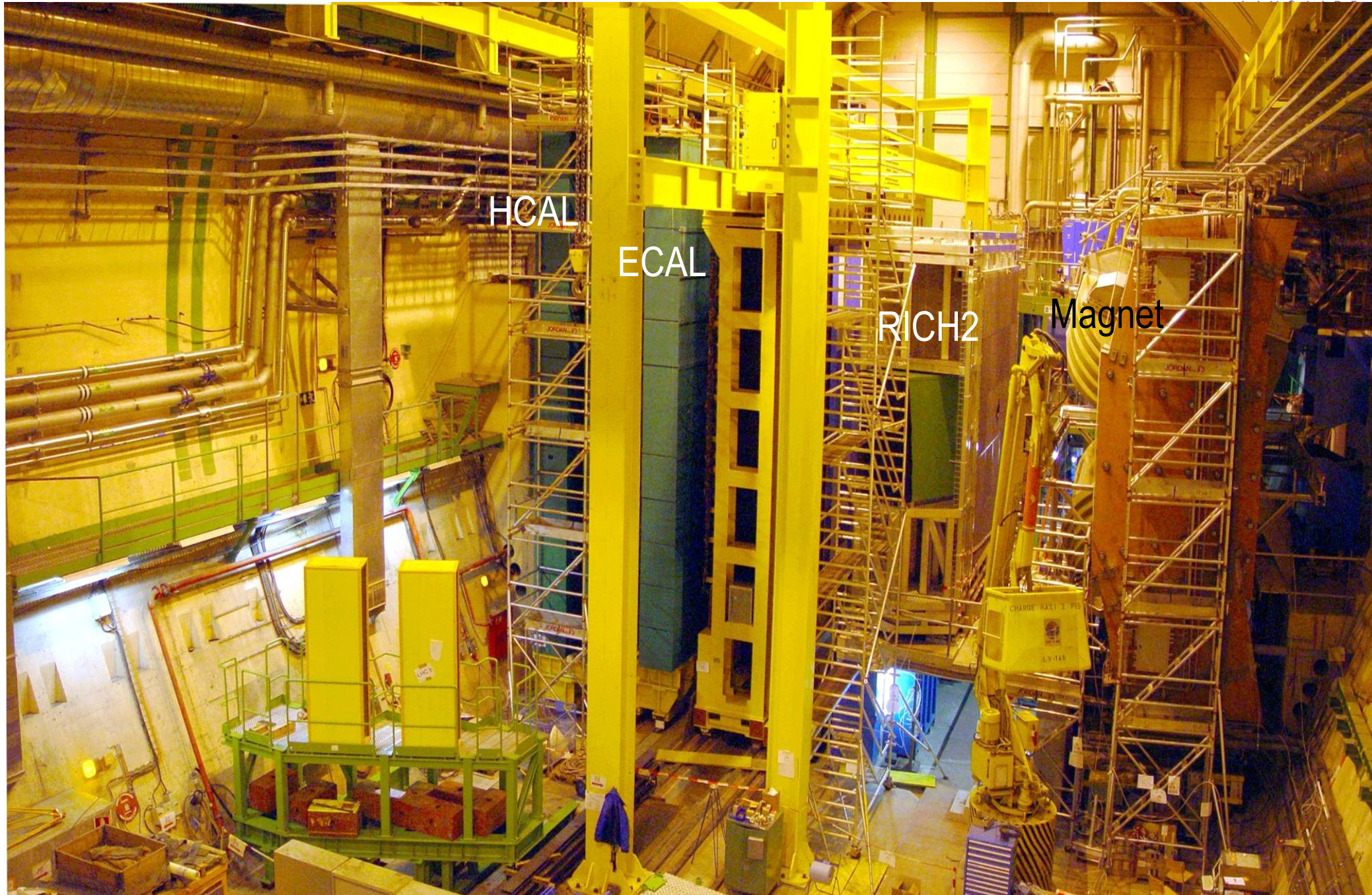


Avril 2005

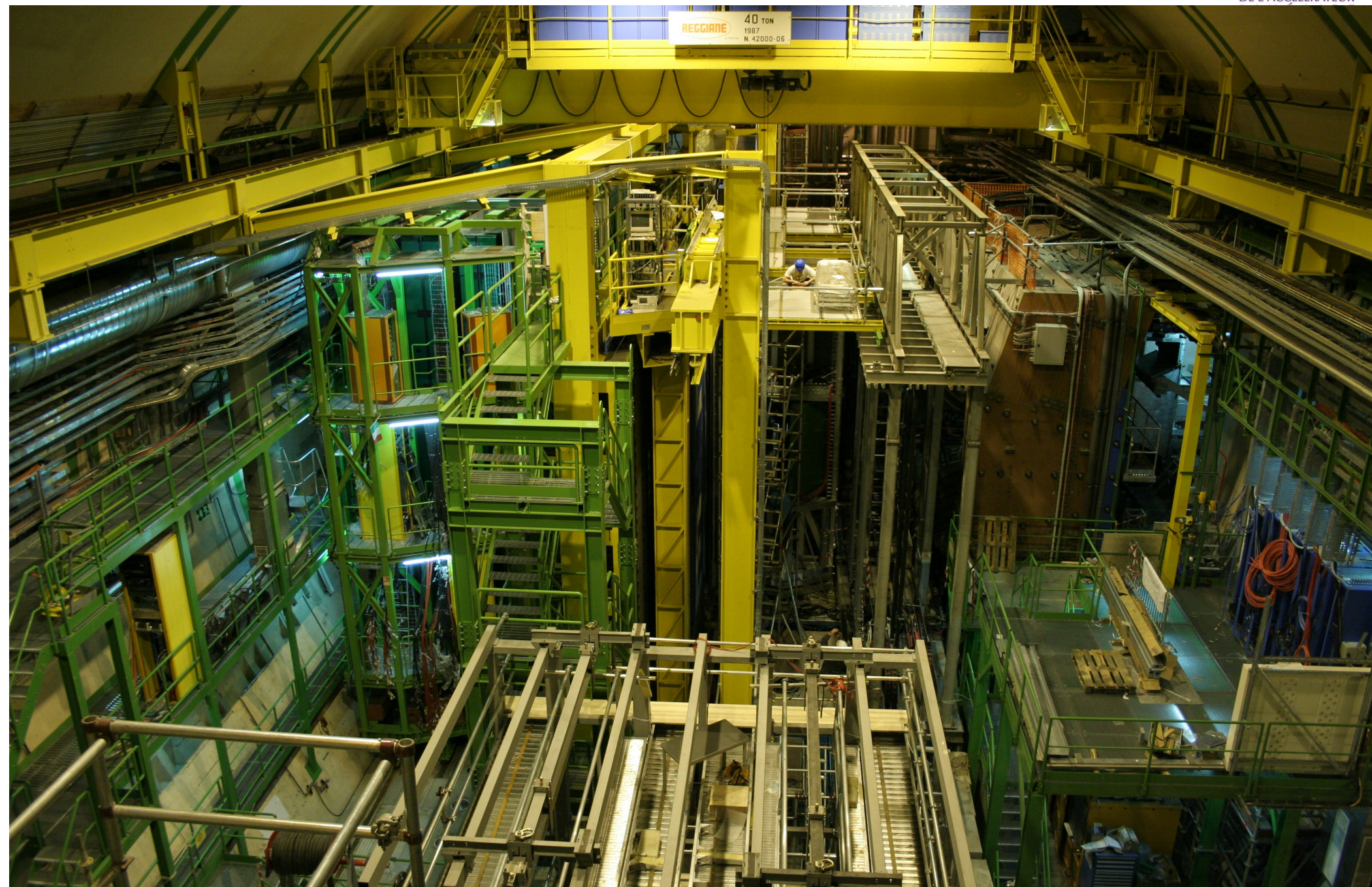


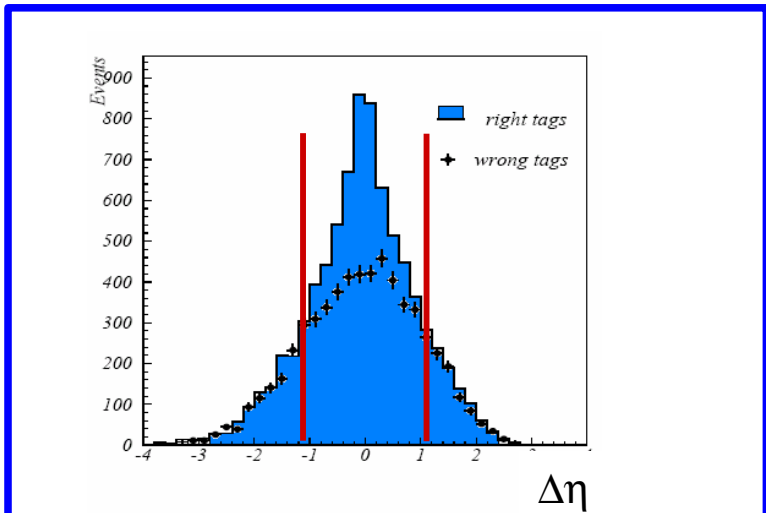
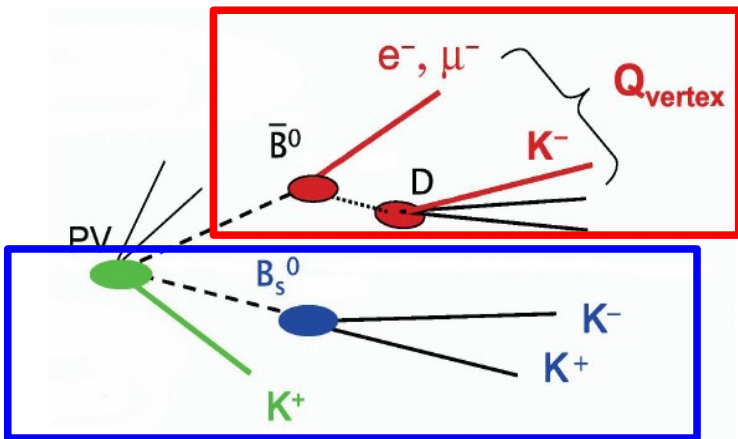
Installation du RICH 2





La Caverne actuellement...





● K près du B_s reconstruit

- $p > 4 \text{ GeV}/c$
- $pt > 0.4 \text{ GeV}/c$
- $IP/\sigma(IP) < 2.5$

● $b \rightarrow l : p > 5 \text{ GeV}/c, pt > 1.2 \text{ GeV}/c$

● Charge du « Vertex »

● Kaon avec coupures sur

- $p > 3 \text{ GeV}/c$
- $Pt > 0.4 \text{ GeV}/c$
- $IP/\sigma(IP) > 3.7$

Étiquetage de la Saveur

● Étiquetage

$$\text{Tagging Power } \epsilon D^2 = \epsilon (1 - 2\omega)^2 (\%)$$

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

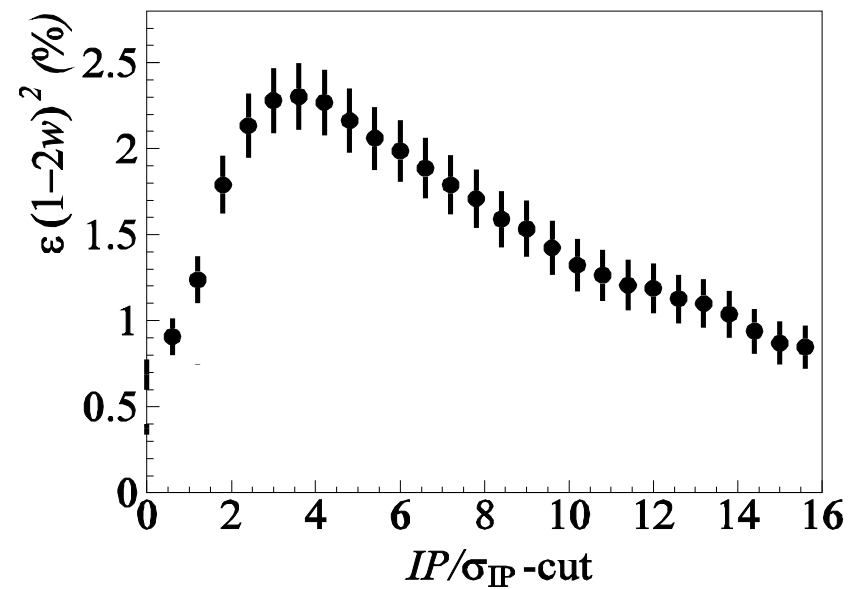
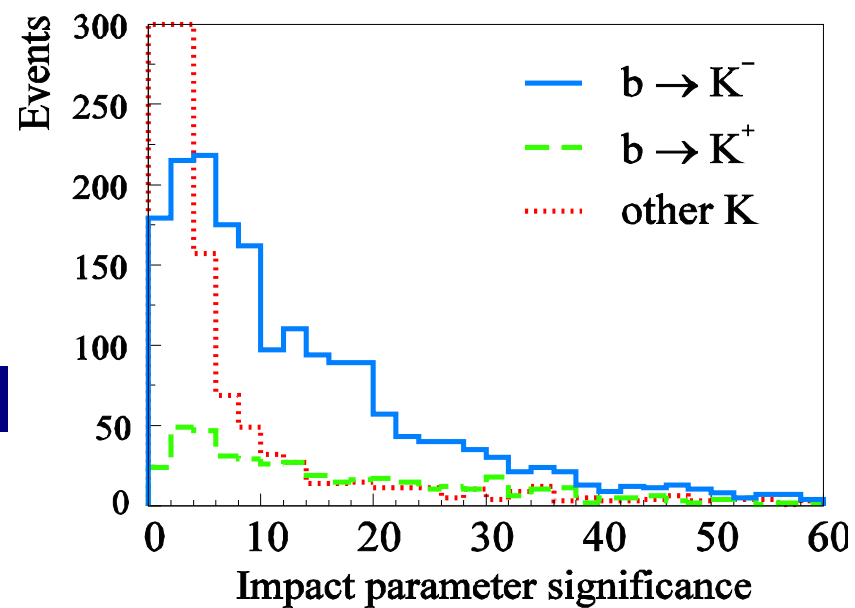
Tag	$\epsilon D^2 = \epsilon (1 - 2\omega)^2 (\%)$
Muon	1,0 +/- 0,2
Electron	0,4 +/- 0,1
Kaon	2,4 +/- 0,2
Jet/Vertex charge	1,0 +/- 0,2
« Same side »	2,1 +/- 0,3

● Étiquetage pour le $B_d \sim 4 \%$

- CDF/D0 : $\epsilon_{\text{eff}} \sim 1 \text{ à } 2 \%$
- B Factories : $\epsilon_{\text{eff}} \sim 30 \%$

● Étiquetage « Same side » pour le B_s :

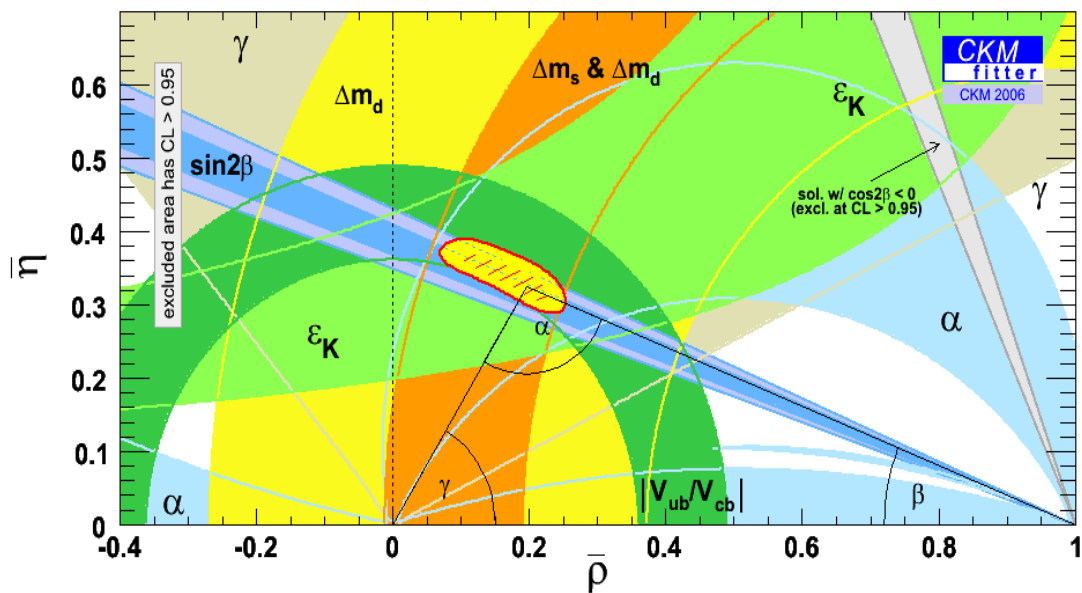
- $\epsilon_{\text{eff}} \sim 6 \%$
- Nouvelle méthode « Neural net » : $\epsilon_{\text{eff}}(B_s) \sim 9 \%$



LA PHYSIQUE SUR LHCb

LA VIOLATION DE CP

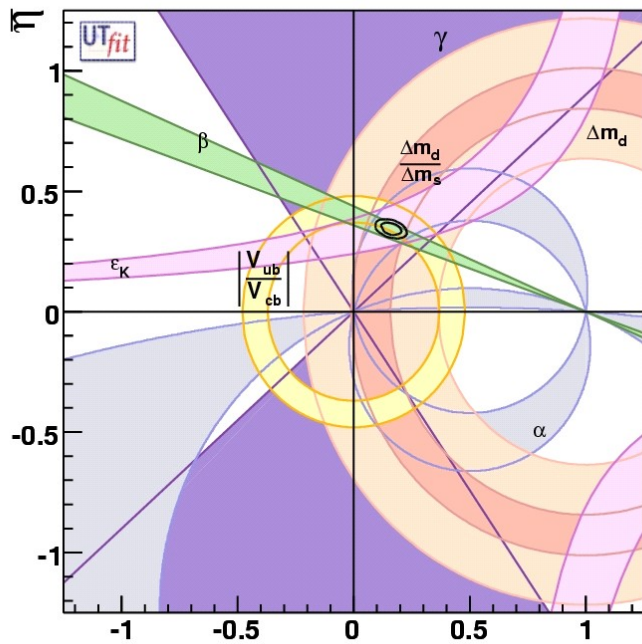
LES MODES RARES DE DESINTEGRATION



Ce que l'on peut espérer pour 2008... avant LHCb

- La situation doit s'améliorer surtout grâce
 - Aux mesures de α et γ (6.5° ?)
 - Réduction des erreurs théoriques (Lattice QCD)

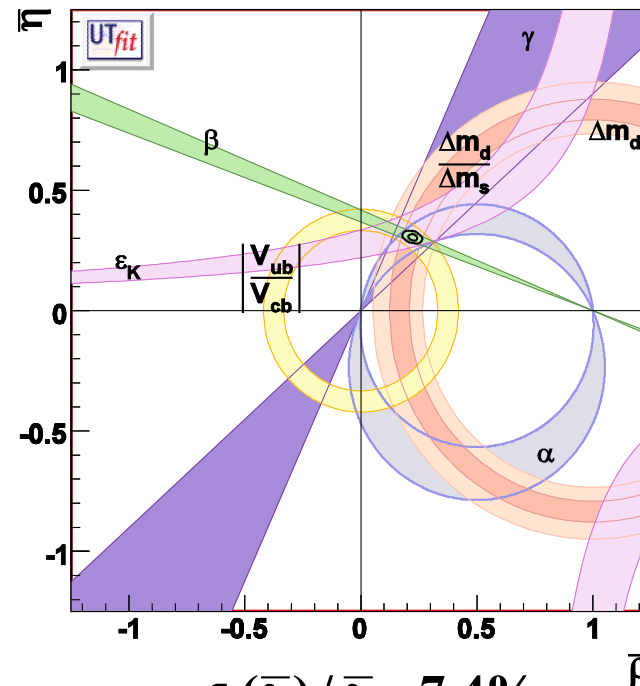
Summer 2006



$$\sigma(\bar{\rho})/\bar{\rho} = 17\%$$

$$\sigma(\bar{\eta})/\bar{\eta} = 4.7\%$$

2008*



$$\sigma(\bar{\rho})/\bar{\rho} = 7.4\%$$

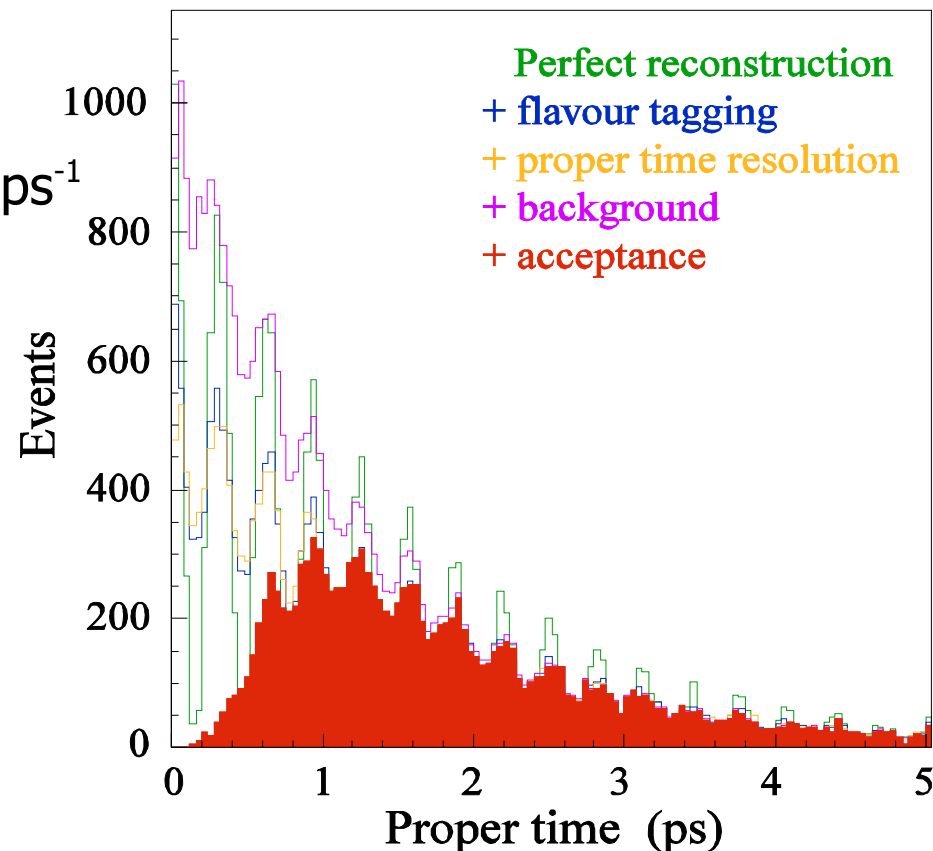
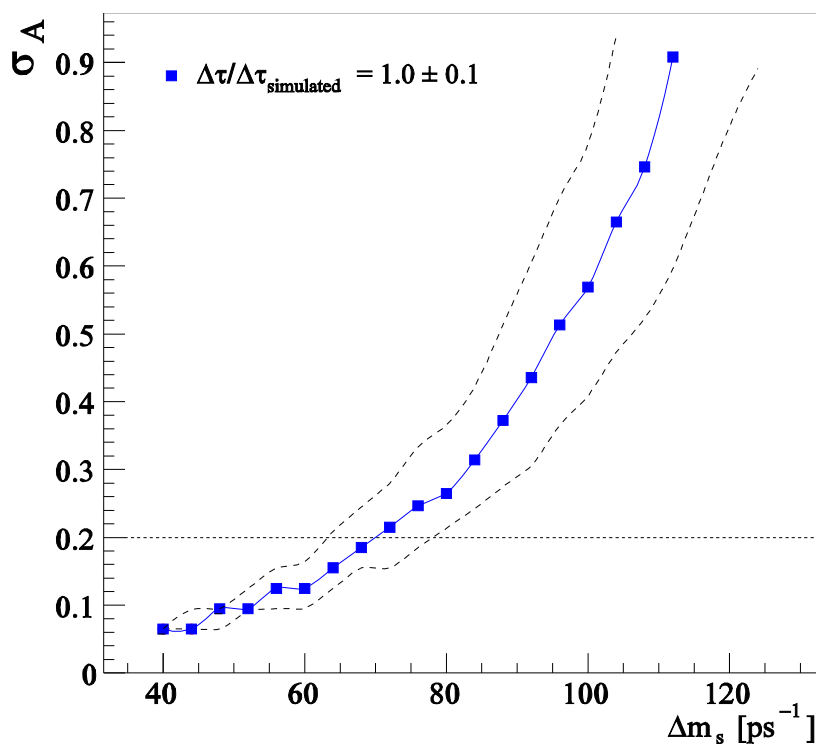
$$\sigma(\bar{\eta})/\bar{\eta} = 3.3\%$$

(*) Projection obtenue à partir des valeurs centrales MS et en réduisant les erreurs

Première année de prises de données : Δm_s

- Mesure par CDF/D0 en 2006
 - $\Delta m_s = 17.31_{-0.18}^{+0.33} (stat.) \pm 0.07 (syst.) ps^{-1}$
 - Probabilité fluctuation 0.2%
- Mesure à la fin du Tevatron $\sigma(\Delta m_s) \sim 0.09 ps^{-1}$
- LHCb doit atteindre en 1 an ($L=2fb^{-1}$)
 - $\sigma(\Delta m_s) \sim 0.014 ps^{-1}$

1 année, $\Delta m_s = 20 ps^{-1}$

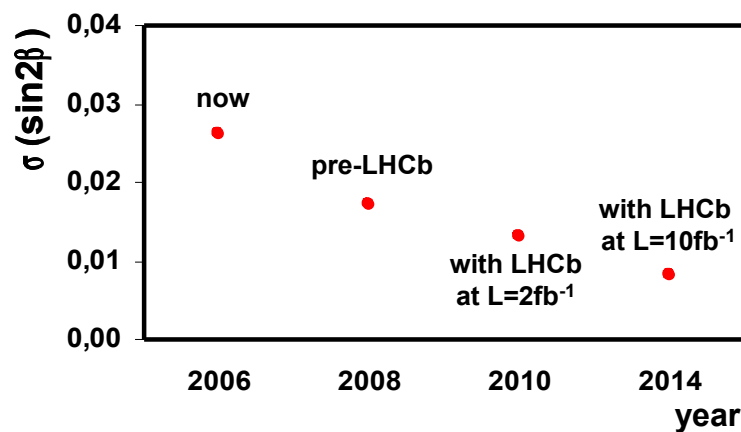


- Mise en évidence en quelques mois
- Mesure met en oeuvre
 - Trigger, sélection, vertexing, reconstruction du temps, étiquetage, ...

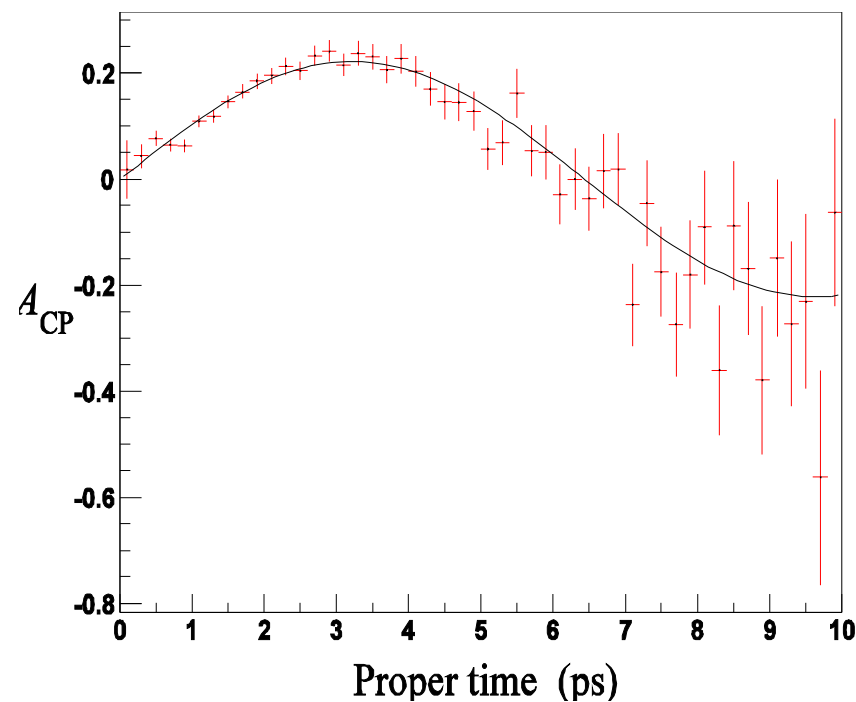
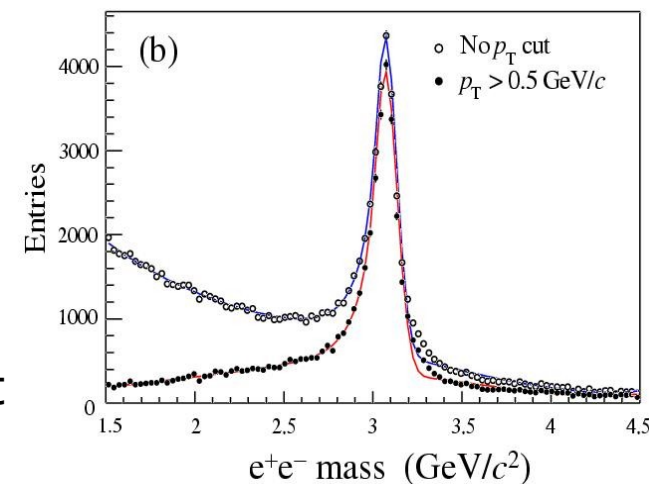
Première année : $\sin(2\beta)$ mode $B^0 \rightarrow J/\psi K_s$

- Bien mesuré par les usines à B (Babar, Belle)
 - En 2007 probablement $\sigma_{2007}(\sin 2\beta) \sim 0.017$
- 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 $\cos \Delta m_d t$
- 22000 événements par an sur LHCb
- $B/S \sim 0.8$

Précision attendue : $\sigma(\sin 2\beta) \sim 0.02$ (1 an)



- Facteur x2 en précision pour $L=10\text{fb}^{-1}$

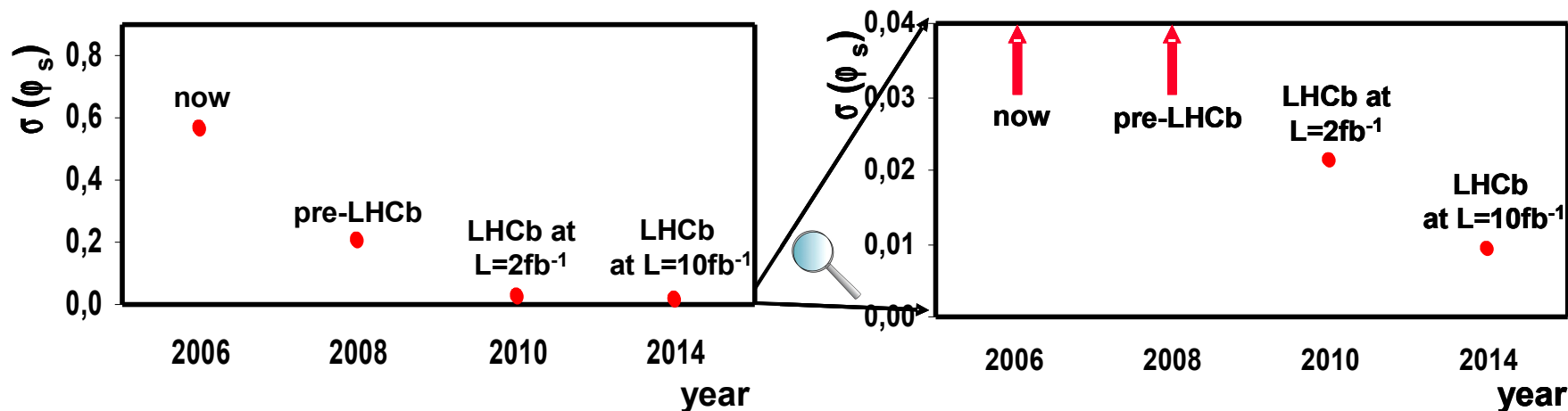
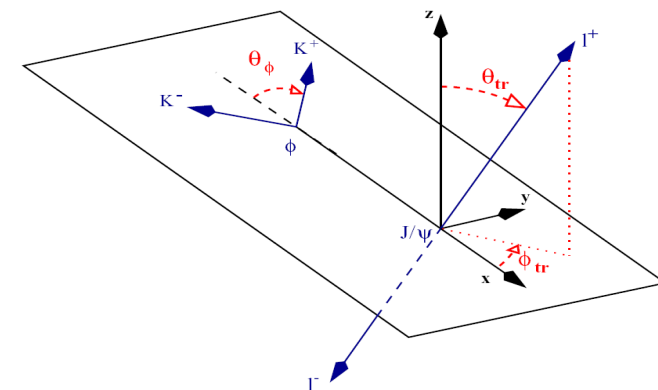


Φ_s et $\Delta\Gamma_s$

- Canal en Or : $B_s \rightarrow J/\psi \Phi$ 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})
 - 130000 événements (signal) / an
 - Etat final est un mélange d'amplitude CP +/- 1
- Dans le modèle standard Φ_s est petit
 - $\Phi_s \sim -2\lambda^2\eta \sim -0.04$ (Nouvelle Physique)
- D'autres canaux utiles (pur CP, mais moins d'évts)
 - $B_s \rightarrow J/\psi\eta$, $B_s \rightarrow \eta_c\Phi$, $B_s \rightarrow D_s D_s$

$\sigma(\sin\phi_s)$	$\sigma(\Delta\Gamma_s/\Gamma_s)$
0,03	0,01

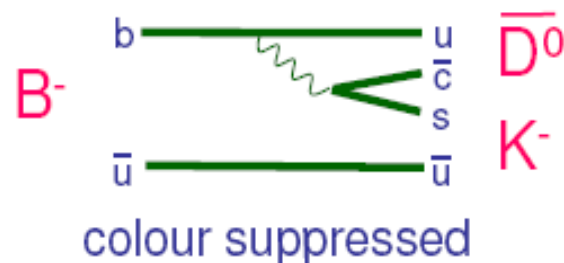
$\Delta m_s \sim 20\text{ps}^{-1}$



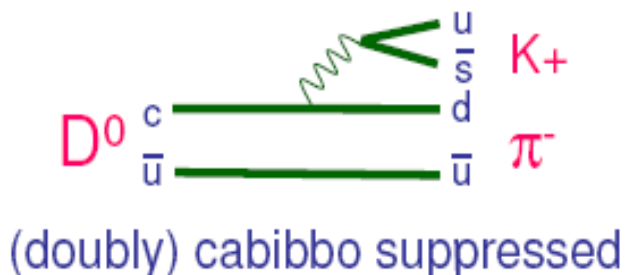
- Il existe différentes méthodes
 - ADS+GLW
 - $B^\pm \rightarrow D^0 (K\pi, KK, \pi\pi) K^\pm$
 - $B^0 \rightarrow D^0 (K\pi, KK, \pi\pi) K^{*0}$
 - Dalitz Analysis
 - 3 body : $B^\pm \rightarrow D^0 K^\pm$, $B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$
 - $D \rightarrow K_s \pi\pi$, $K_s KK$
 - 4 body : $B^\pm \rightarrow D^0 K^\pm$
 - $D \rightarrow K\pi\pi\pi$, $Kk\pi\pi$
 - $B_s \rightarrow D_s K$
 - $B_{d/s} \rightarrow h h$

$B^\pm \rightarrow D^0 K^\pm$: ADS+GLW

- Le B^- peut se désintégrer en D^0 et \bar{D}^0



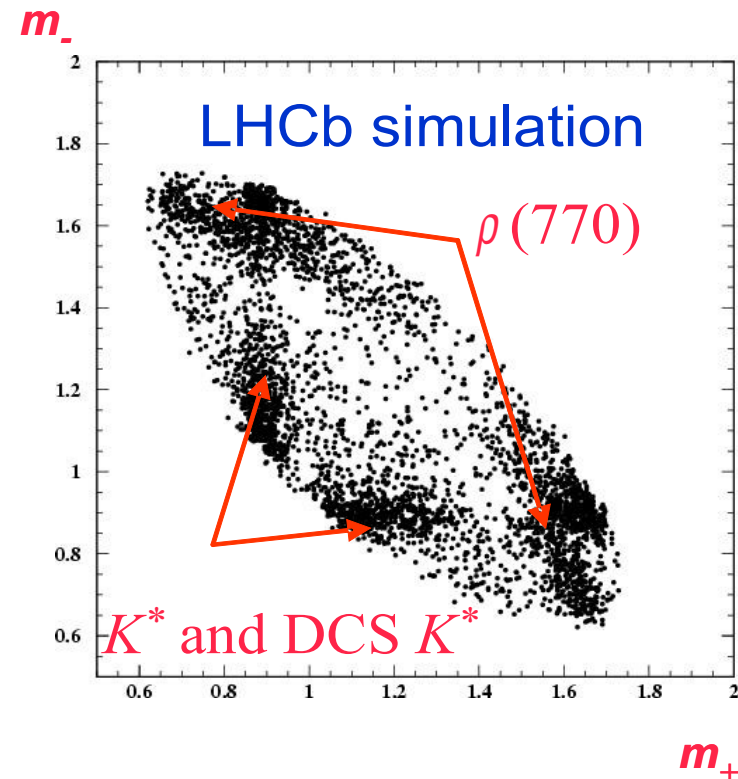
- Les D^0 et \bar{D}^0 peuvent donner le même état final : Interférence impliquant γ



- Les désintégrations supprimées ont les interférences les plus fortes
- Les paramètres des désintégrations sont
 - Pour le B : γ, r_B, δ_B
 - Pour le D: r_D^f, δ_D^f
- Les 4 BR ne permettent pas de contraindre complètement le système
 - Nécessité de mesurer d'autres désintégrations (CP-eig. : $D^0 \rightarrow KK/\pi\pi$ ou $D^0 \rightarrow K\pi\pi\pi$)
- La même méthode ADS+GLW est applicable à des modes $B^0 \rightarrow D^0(K\pi, KK, \pi\pi) K^{*0}$

Analyse de Dalitz

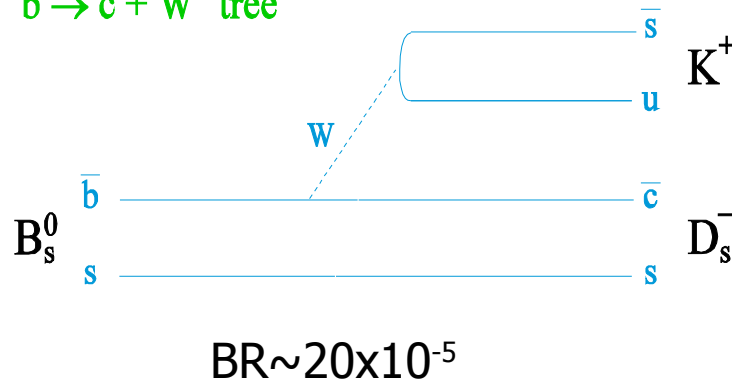
- $B^\pm \rightarrow D^0 K^\pm$ où $D^0 \rightarrow K_s \pi \pi$
- La désintégration contient les contributions des D^0 et \bar{D}^0
 - L'interférence dépend de γ
 - Mais aussi de r_B, δ_B !
- Il est possible d'exprimer les amplitudes en fonction de
 - $m^2_+(K_s \pi^+)$ et $m^2_-(K_s \pi^-)$
- Le méthode est applicable à d'autres modes de désintégrations du D en 3 corps
- Il existe une extension à quatre corps



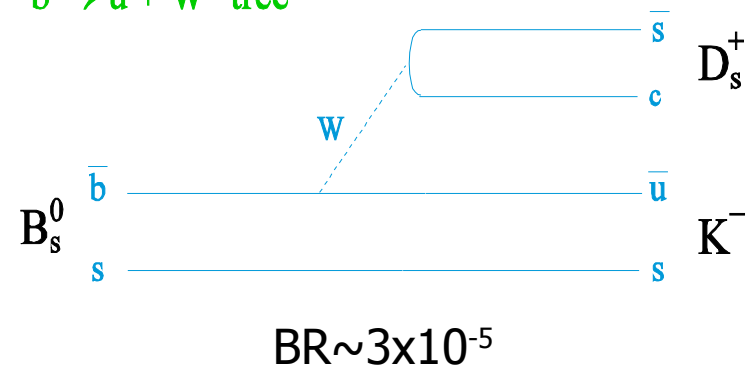
γ par le mode $D_s K$ (I)

- 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



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



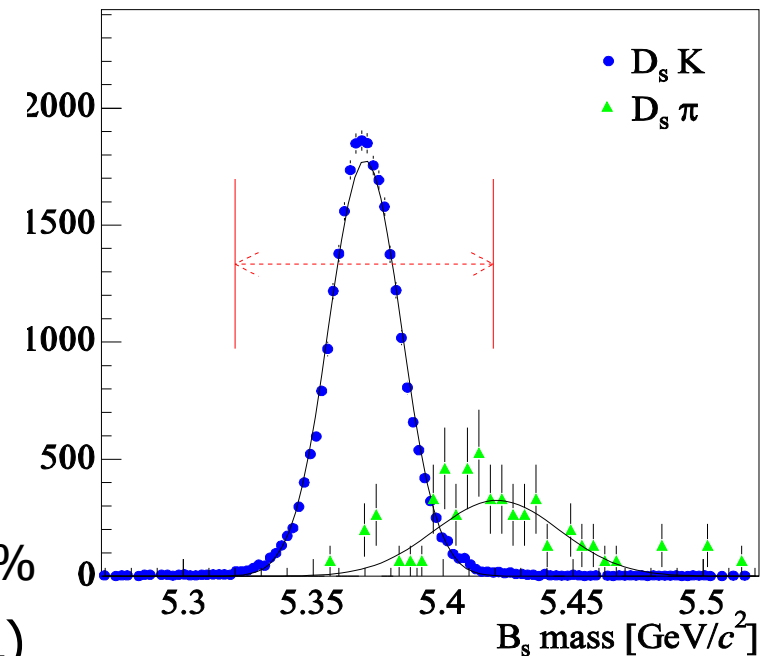
- L'asymétrie permet de mesurer $\gamma + \Phi_s$

- Peu 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 contamination résiduelle $\sim 10\%$

- 5400 événements Signal / an avec $S/B > 1$ (@90CL)



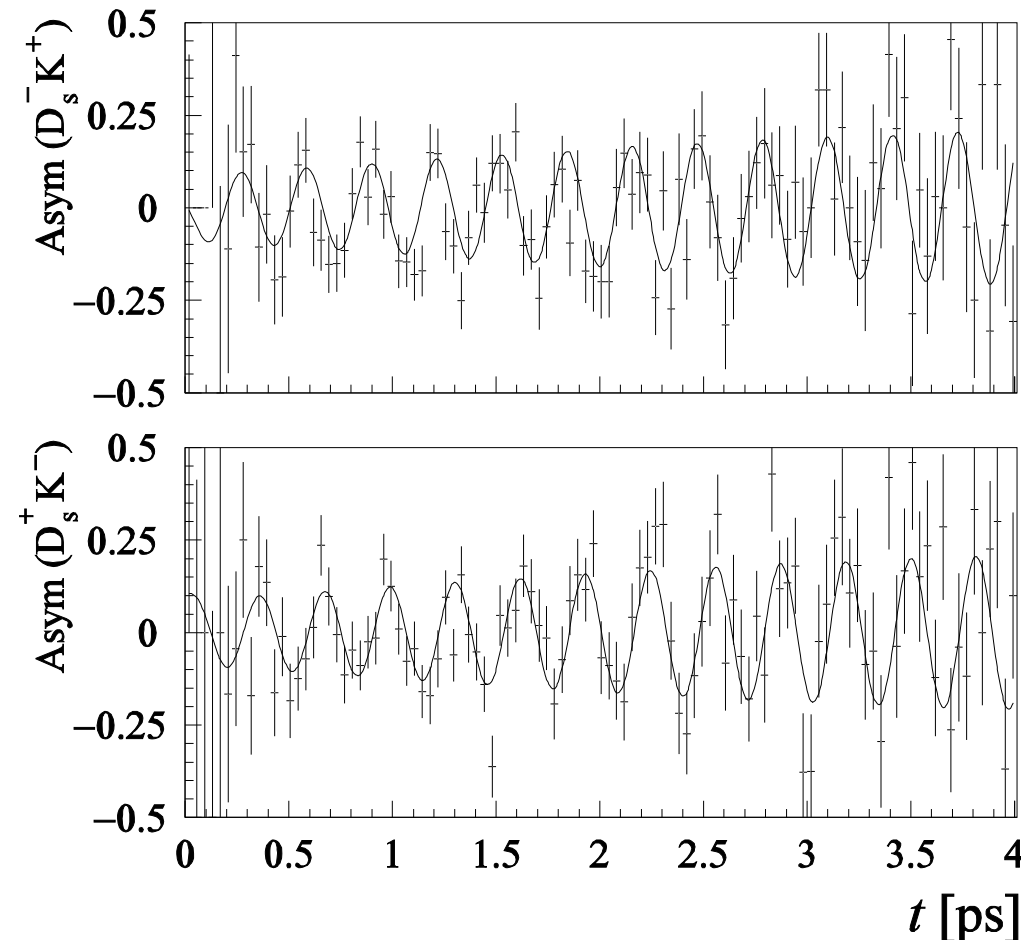
γ par le mode $D_s K$ (II)

- 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°

Asymétrie mesurée en 5 années

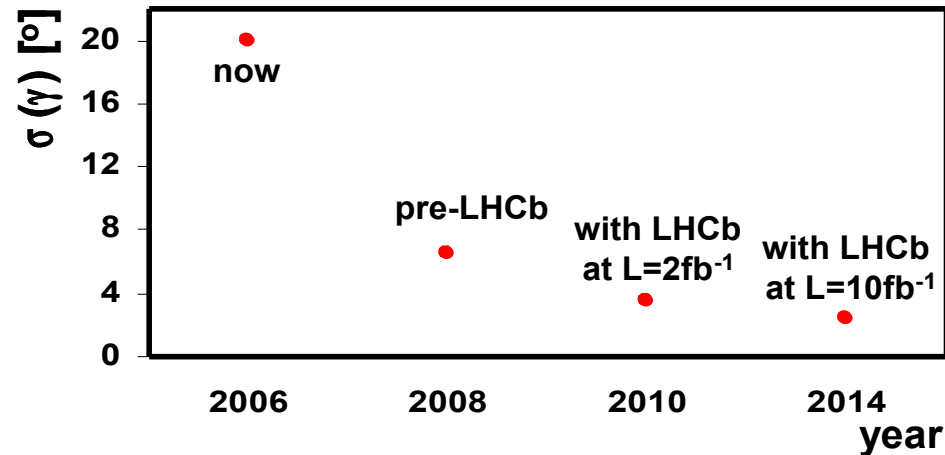


- Les ambiguïtés sur γ peuvent être levées en utilisant $B^0 \rightarrow D^{(*)} \pi$ et la symétrie U-spin (échange de d et s)

● Les différents modes permettent de supposer

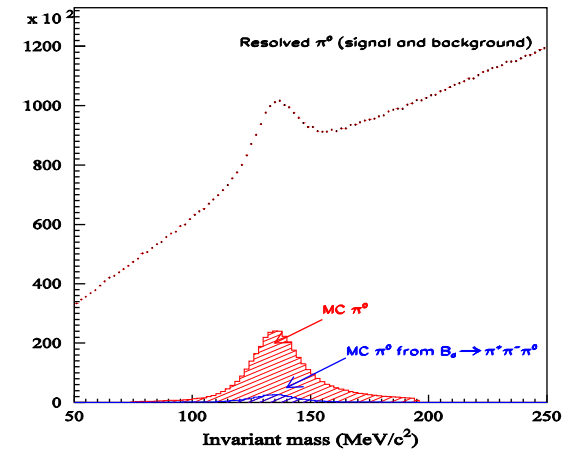
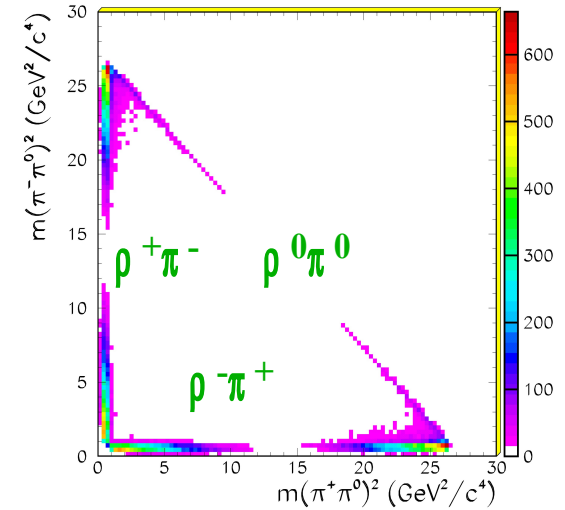
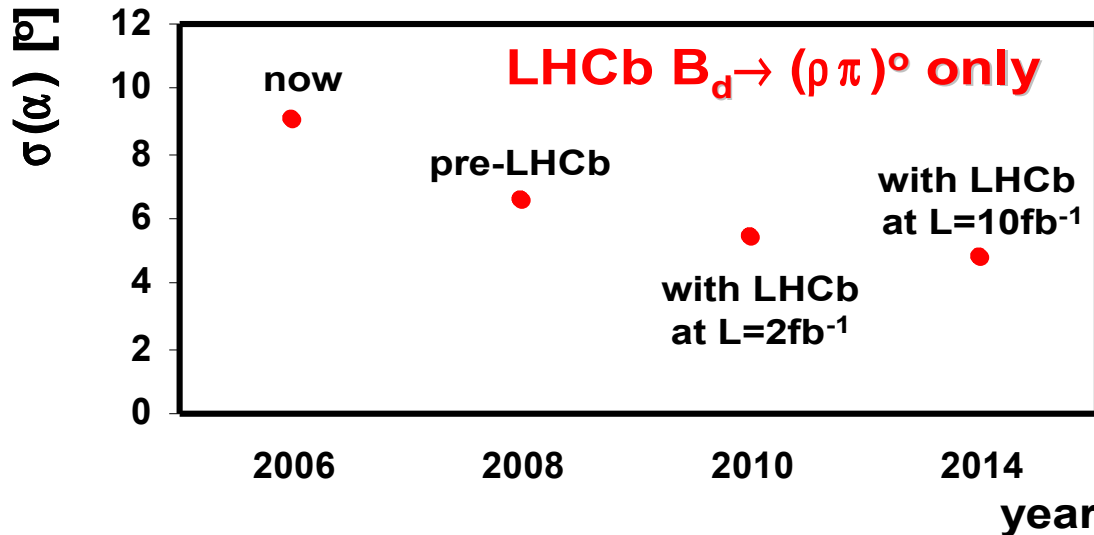
- $\sigma(\gamma) \sim 4^\circ$ pour $L = 2\text{fb}^{-1}$
- Une précision de l'ordre de 2° en 2014

Mode du B	Mode du D	$\sigma(\gamma)$
$B^+ \rightarrow D^0 K^+$	$K\pi, KK/\pi\pi, K\pi\pi\pi$	$5/10^\circ$
$B^+ \rightarrow D^* K^+$	$K\pi$	-
$B^+ \rightarrow D^0 K^+$	$K_s \pi\pi$	8°
$B^+ \rightarrow D^0 K^+$	$KK\pi\pi$	15°
$B^+ \rightarrow D^0 K^+$	$K\pi\pi\pi$	-
$B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$	$K\pi, KK, \pi\pi$	$7/10^\circ$
$B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$	$K_s \pi\pi$	-
$B_s \rightarrow D_s K$	$Kk\pi$	13°



Mesure de α sur LHCb

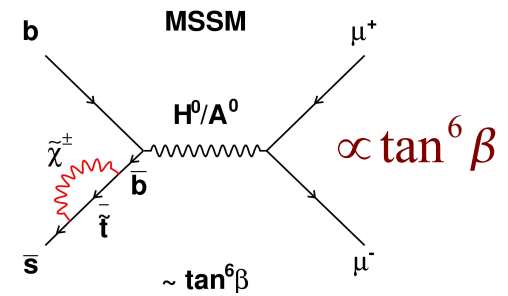
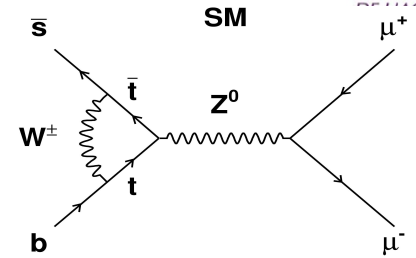
- Deux méthodes sont actuellement à l'étude
 - Analyse par plot de Dalitz dépendant du temps de $B^0 \rightarrow \rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
 - Mesure des amplitudes et des phases des contributions
 - include A^{+-} , A^{-+} et A^{00} ($A^{ij} = e^{-i\alpha}T^{ij} + P^{ij}$)
 - Ajustement à 11 paramètres : extraction de α
 - Rendue difficile par la reconstruction des π^0
 - 14k evts par an avec B/S ~ 1



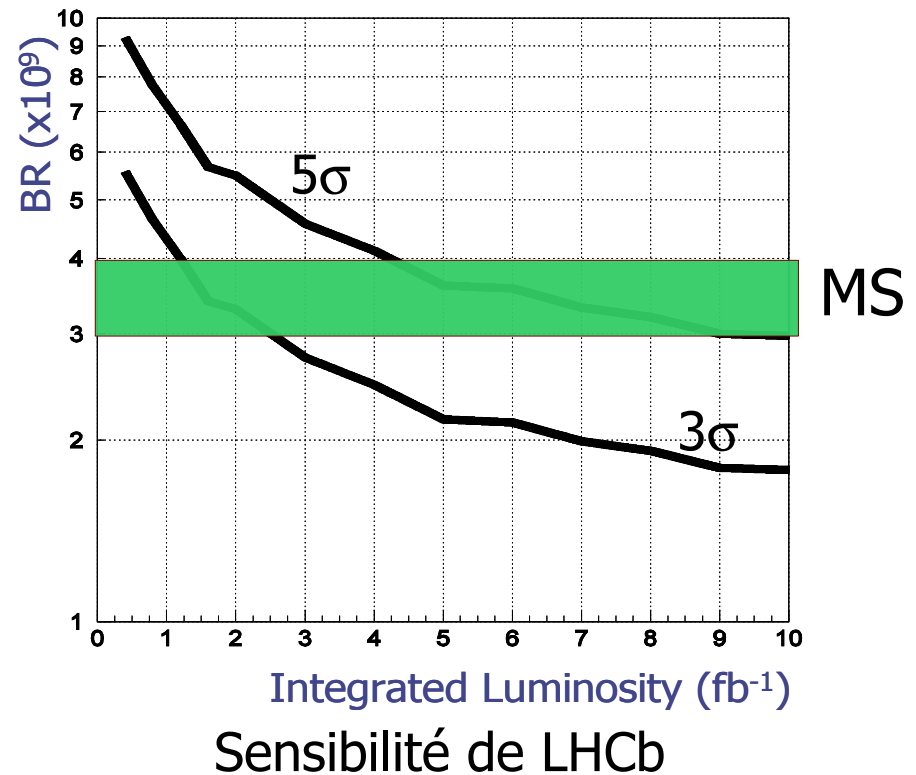
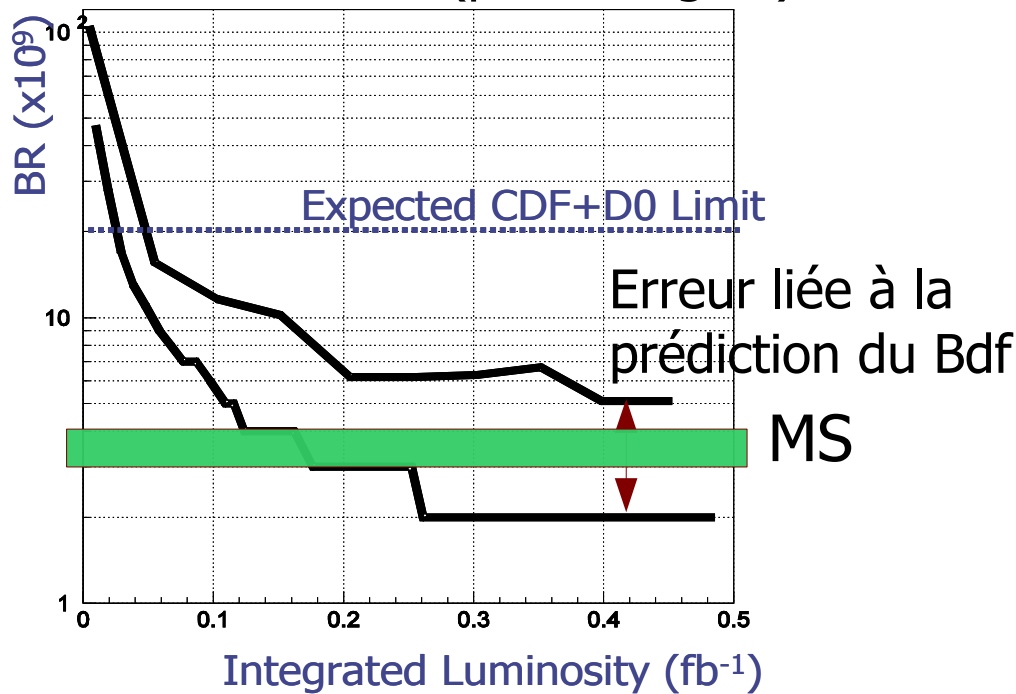
- Analyse SU(2) de $B^0 \rightarrow \rho\rho$
 - Pendant la première année ($L=2\text{fb}^{-1}$), uniquement le mode $\rho^0\rho^0$
 - Ensuite LHCb peut contribuer sur le mode $\rho^+\rho^-$

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

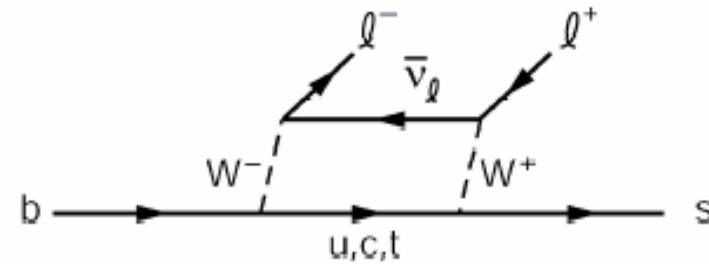
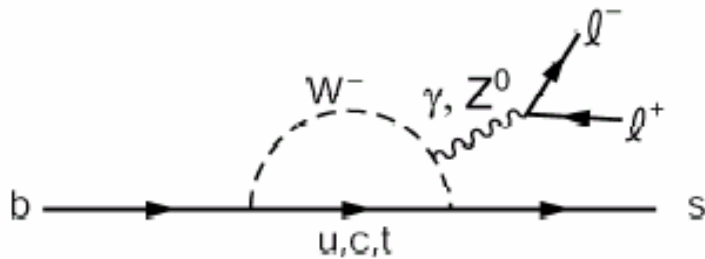
- Il s'agit d'une désintégration rare ($\Delta B=1$ FCNC)
 - $BR(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SM} = (3.5 \pm 0.1) \times 10^{-9}$
- Canal sensible à NP (SUSY peut conduire à $BR \times 100$)
- Tevatron devrait atteindre 2×10^{-8}



Limite @ 90% CL (pas de signal)



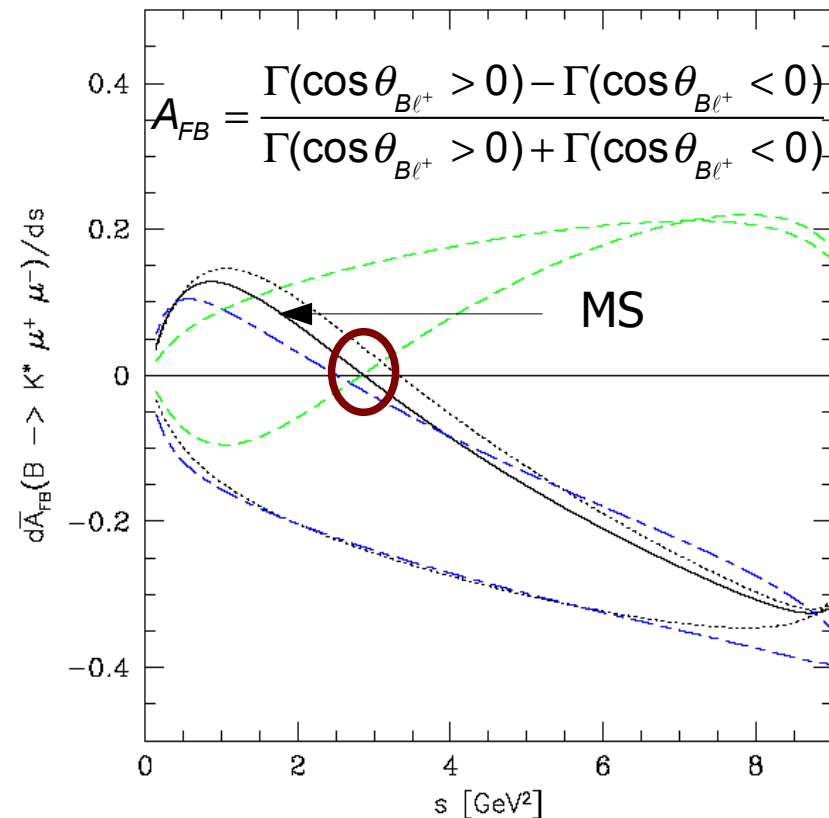
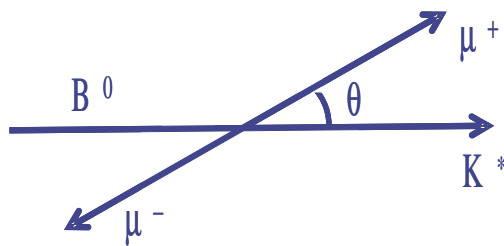
$B^0 \rightarrow K^{(*)} l^+ l^-$: BR et FBA



- Faible BR (SM) : forte sensibilité à une nouvelle physique
 - $BR(B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-)_{SM} \sim 10^{-6}$ (Babar/Belle)

● $A_{FB}(s)$

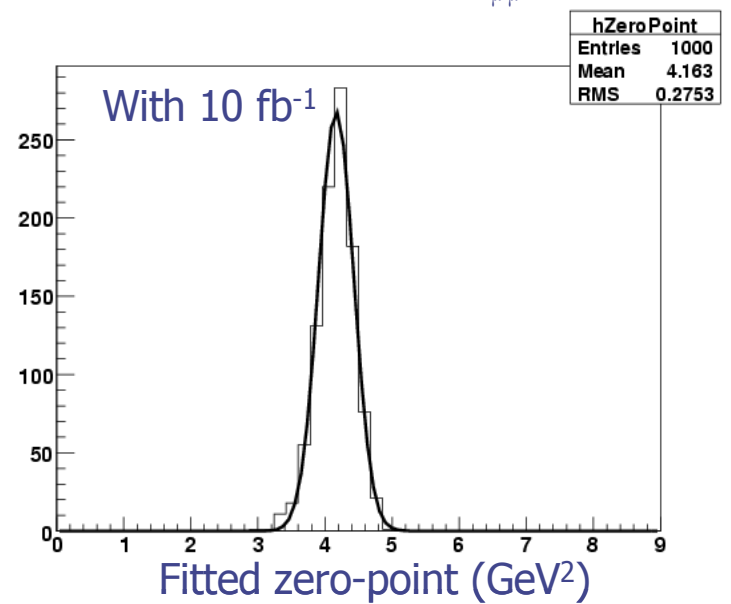
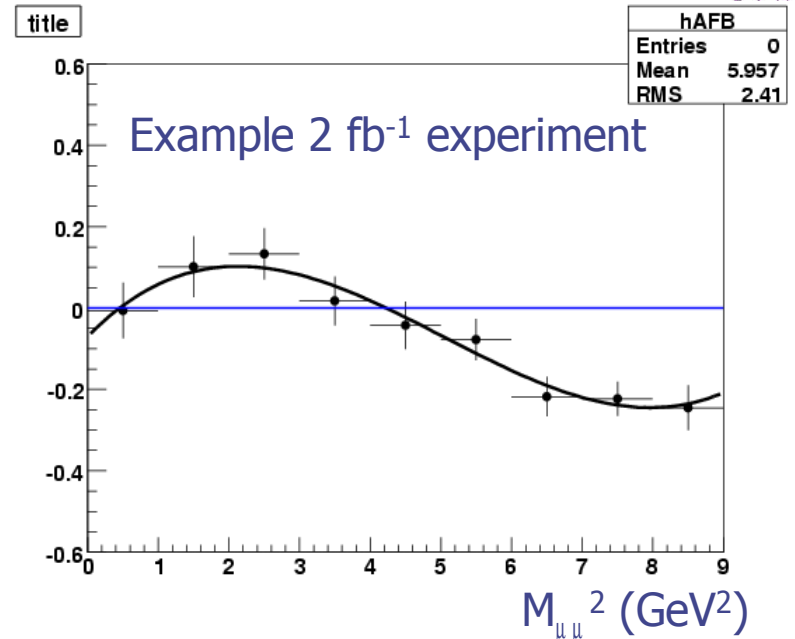
- asymétrie Forward-backward dans le référentiel //
- $A_{FB}(s)$ en zéro connu à 5% (SM)



$B^0 \rightarrow K^{*0}(K^+\pi^-)\mu^+\mu^-$ (suite) et désintégrations radiatives

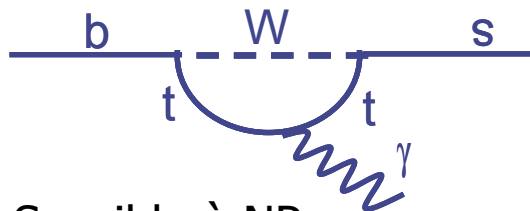
- LHCb devrait sélectionner
 - 7700 evts/an
 - $B/S \sim 0.4$

- Mesure à
 - 13% en 1 an ($L=2\text{fb}^{-1}$)
 - 6 % avec 10fb^{-1}



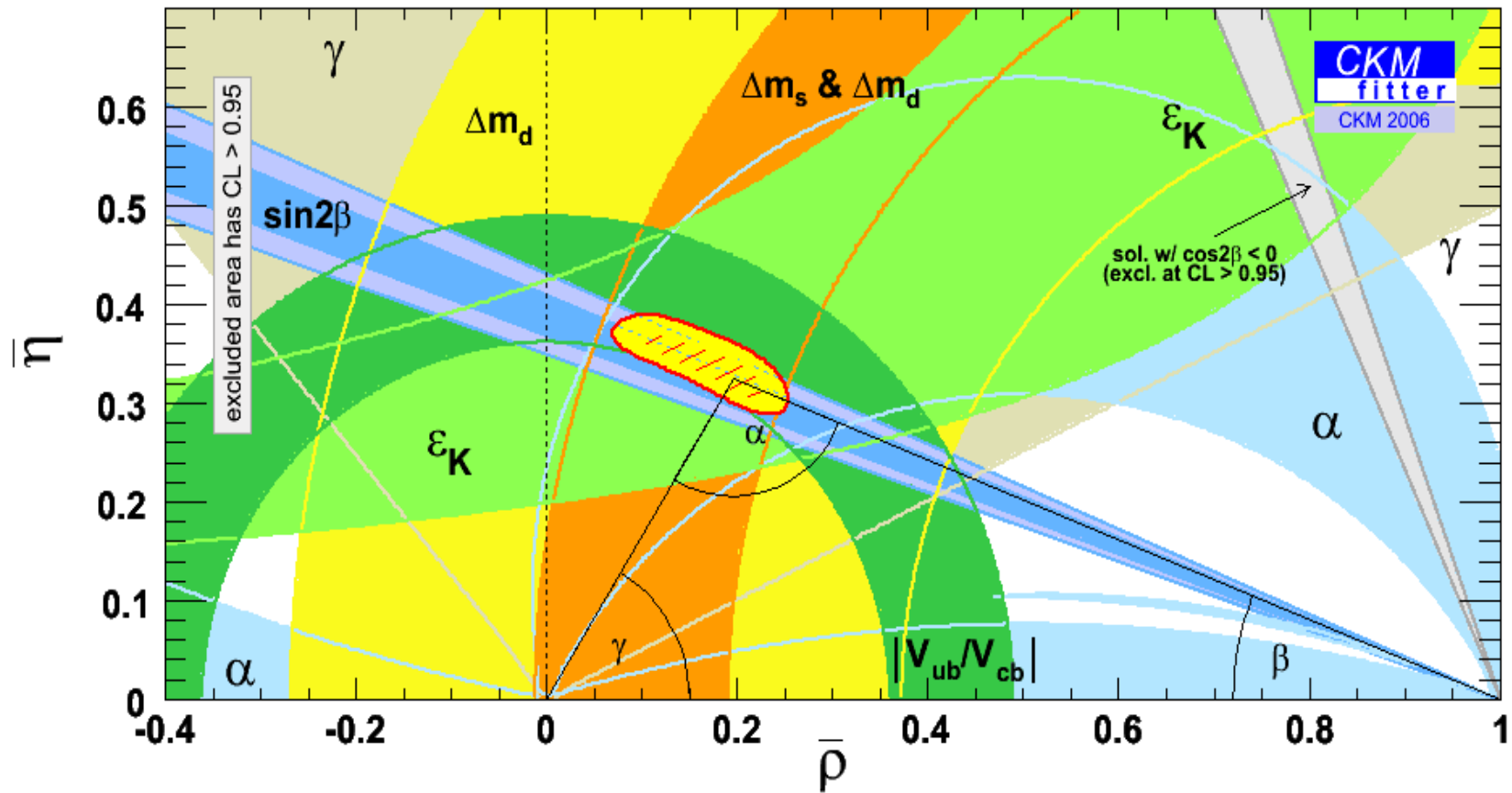
- Actuellement, des études portent sur la désintégration radiative du B

- $b \rightarrow s\gamma$
- fait intervenir des boucles

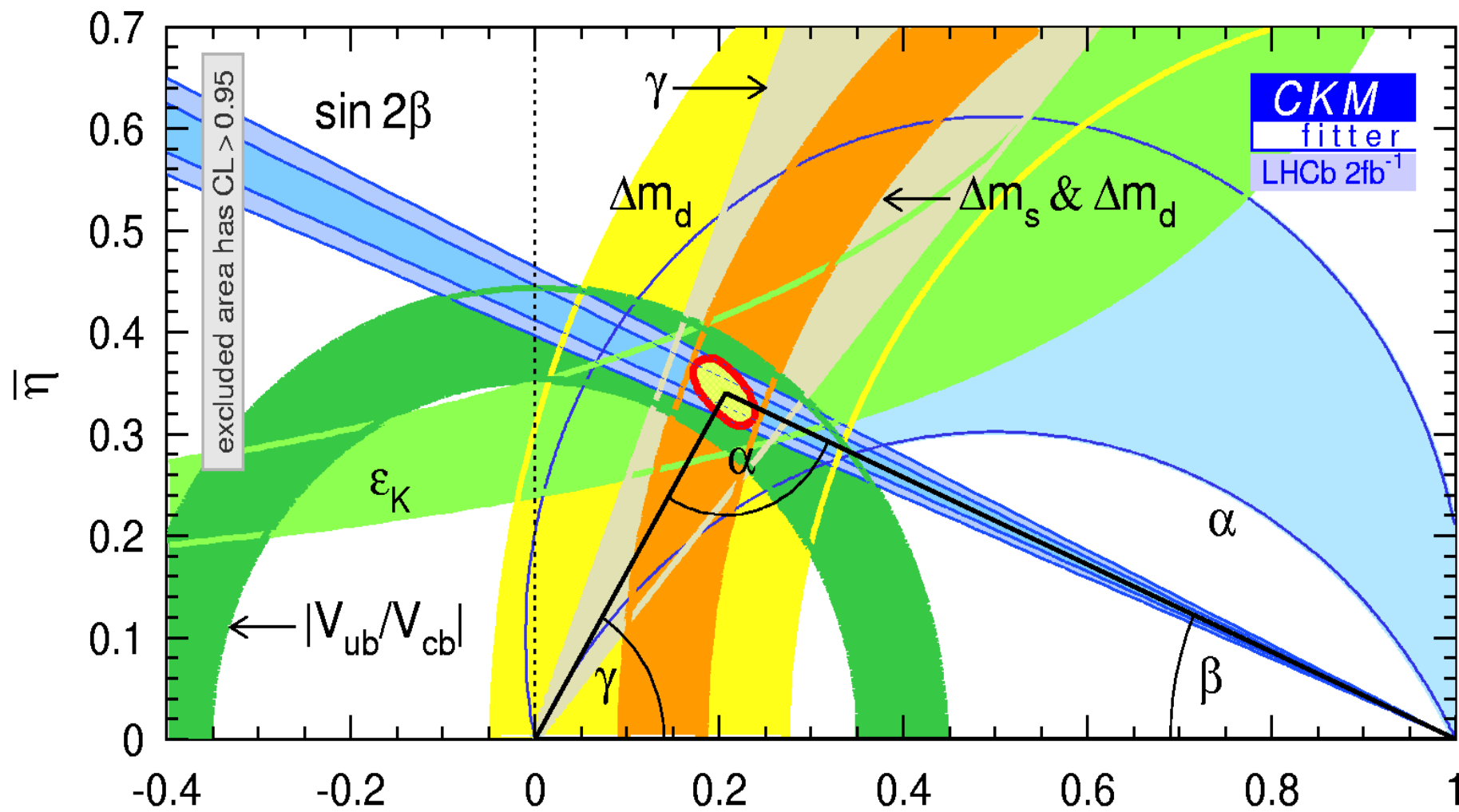


- Sensible à NP

La situation en 2006



Le Triangle d'Unitarité avec les mesures LHCb ($L=2\text{fb}^{-1}$)



assumptions:

$$\sigma(\Delta m_s) = 0.01$$

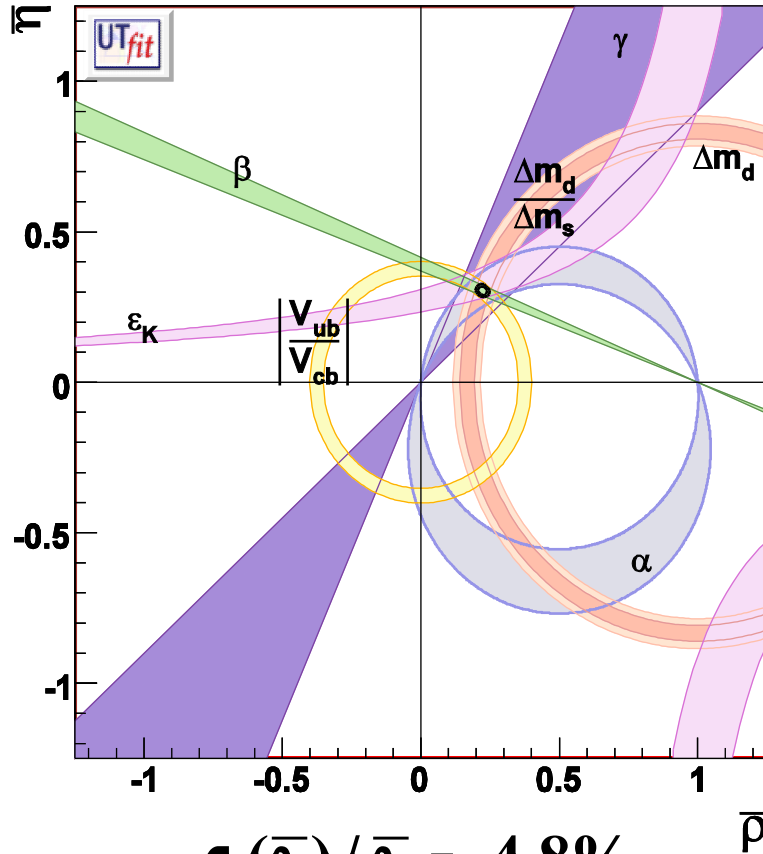
$$\sigma(\sin 2\beta) = 0.02$$

$$\sigma(\alpha) = 10^\circ$$

$$\sigma(\gamma) = 5^\circ$$

Le Triangle d'Unitarité avec et sans LHCb ($L=2\text{fb}^{-1}$)

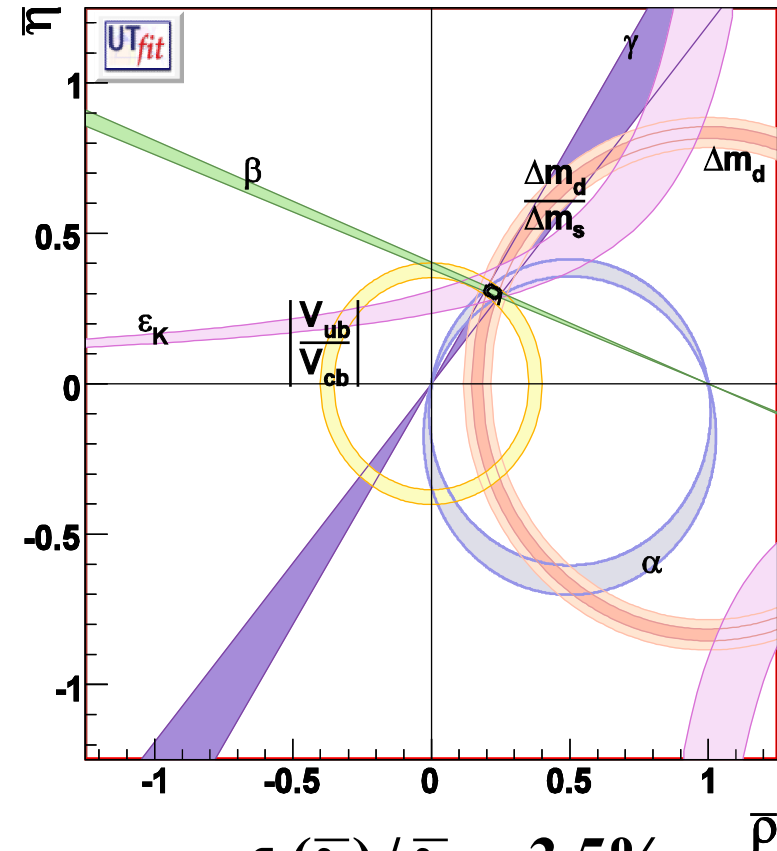
Sans LHCb



$$\sigma(\bar{\rho}) / \bar{\rho} = 4.8\%$$

$$\sigma(\bar{\eta}) / \bar{\eta} = 2.8\%$$

Avec LHCb et $L=2\text{fb}^{-1}$



$$\sigma(\bar{\rho}) / \bar{\rho} = 3.5\%$$

$$\sigma(\bar{\eta}) / \bar{\eta} = 1.7\%$$

- 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
- Les points forts de 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