

Étiquetage de la saveur et mesure de $\sin(2\beta)$ dans l'expérience LHCb



1. Introduction
2. Cadre théorique
3. Le détecteur LHCb
4. Étiquetage de la saveur initiale des mésons B
5. Procédure pour la mesure de $\sin(2\beta)$
6. Conclusion et perspectives

Stéphane POSS
CPPM, IN2P3, CNRS, et Aix-Marseille Université
Sous la direction de R. LeGac
JRJC - Dinard - Décembre 2007

Introduction

- LHCb est une expérience du LHC spécialisée dans l'étude de la violation de CP et des désintégrations rares dans le secteur de la beauté
 - Physique du quark beau
 - Recherche de nouvelle physique via des diagrammes en boucle
- De nombreuses mesures phares : γ , ϕ_s , $\text{BR}(B_s \rightarrow \mu\mu)$, $\text{BR}(B_s \rightarrow K^* \mu\mu)$, ...
- Une étape essentielle : retrouver des paramètres connus pour valider les divers étapes de mesure
 - $\sin(2\beta)$: mesuré par BaBar et Belle
- Nécessité : identification de la saveur initiale des mésons B neutres (B ou \bar{B} ?)

Le cadre théorique

Mélange des quarks dans le MS

- Le mélange des quarks est décrit dans le Modèle Standard par le Lagrangien des interactions par courant chargés

$$\mathcal{L}_{\text{int}}^{\text{CC}} = -\frac{g}{\sqrt{2}} (\bar{u}_L, \bar{c}_L, \bar{t}_L) \gamma^\mu V_{\text{CKM}} \begin{pmatrix} d_L \\ s_L \\ b_L \end{pmatrix} W_\mu^+ + \text{h.c.}$$

- Ce Lagrangien décrit les couplages entre les quarks de type “up” avec ceux de types “down” par l’intermédiaire de la matrice CKM

$$\begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}' = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}^{\text{phys}}$$

- Cette matrice est unitaire et possède une phase complexe

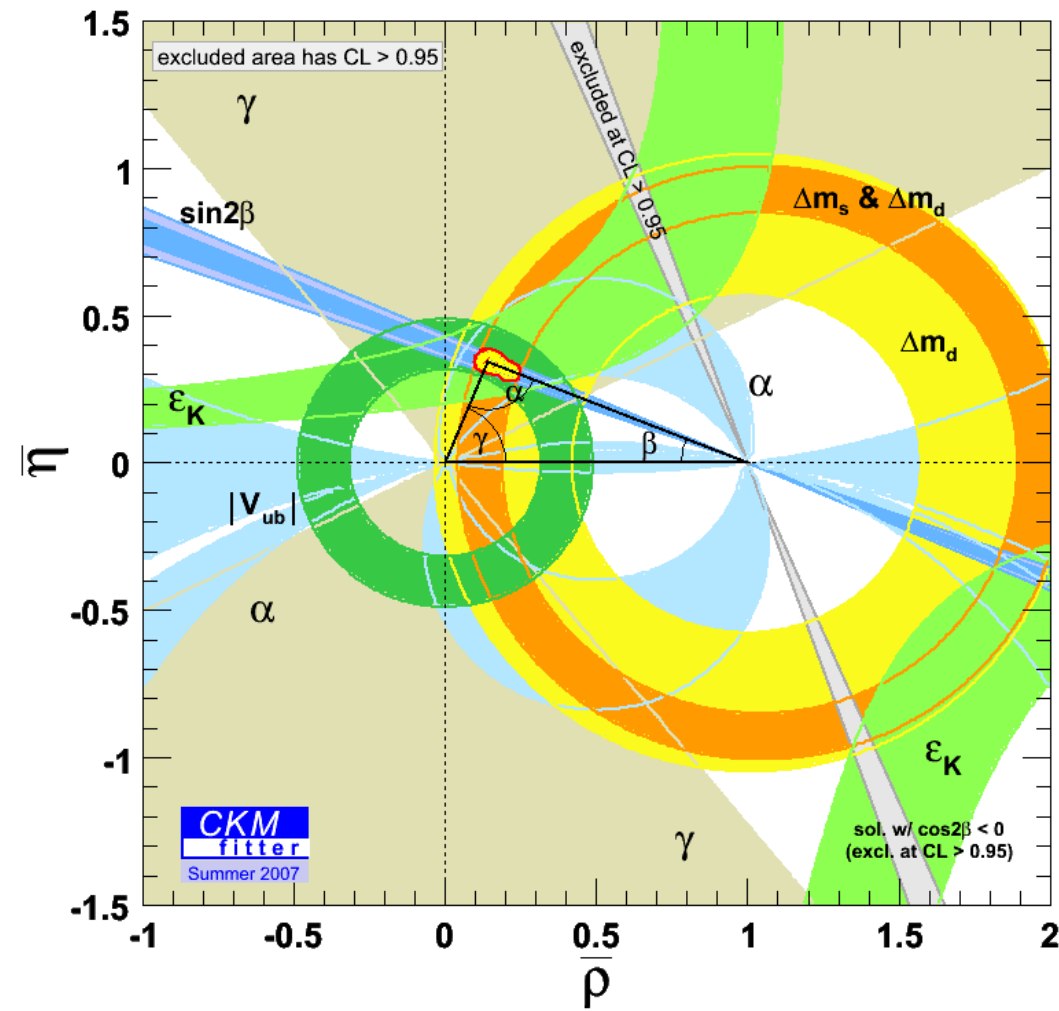
- Cette phase rend compte de la violation de CP dans le MS

- V_{CKM} peut s’écrire avec 4 paramètres :

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

	d	s	b
u	■	■	.
c	■	■	■
t	.	■	■

Contraintes actuelles sur le triangle d'unitarité



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

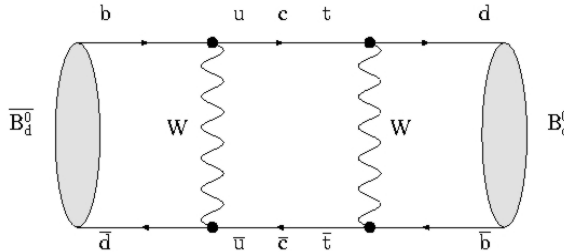
$$\bar{\rho} \equiv \rho \left(1 - \frac{1}{2}\lambda^2\right)$$

- De l'unitarité de la matrice, on peut extraire un ensemble de relations représentables sous forme de triangles
- Ex : triangle représentant

$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$$
- Objectif : “sur contraindre” ce triangle
 - Permet de chercher des failles dans le modèle
- Accord impressionnant :
 - Contrainte la plus forte : $\sin(2\beta)$
 - Côtés limités pas la théorie
 - Angles limités par l'expérience
 - Precision :
 - $\alpha \sim \pm 6^\circ$
 - $\beta \sim \pm 1^\circ$
 - $\gamma \sim \pm 30^\circ$

Oscillations des mésons B neutres

- La TQC décrit l'oscillation en saveur des mésons B neutres via des diagrammes en boîte :



- En étudiant les interférences entre oscillations et désintégration, on accède aux paramètres intervenant dans la violation de CP (ex : $\sin(2\beta)$)

$$\Gamma(B_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0) \propto \left| \text{Box 1} + \text{Box 2} \right|^2 \quad \text{Arg}(V_{td}) \approx \beta$$

- On mesure les asymétries dépendantes du temps

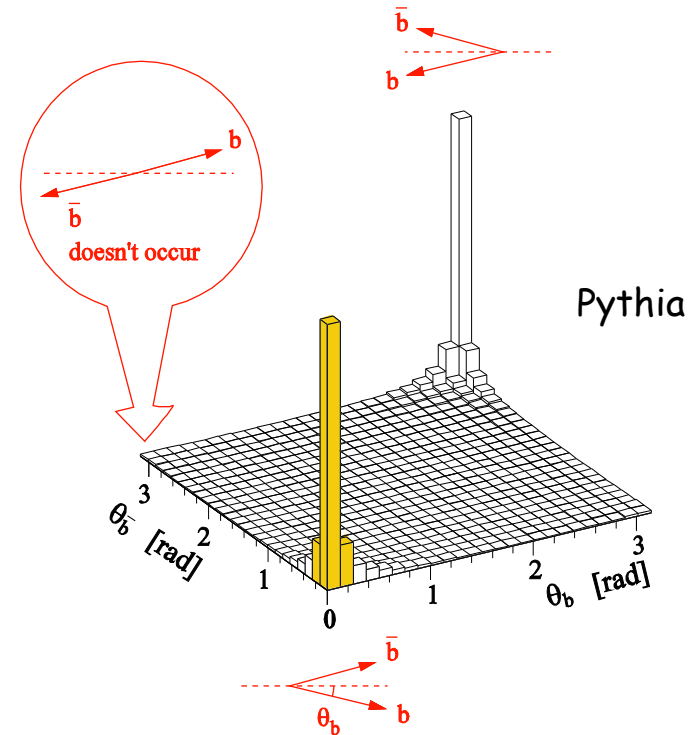
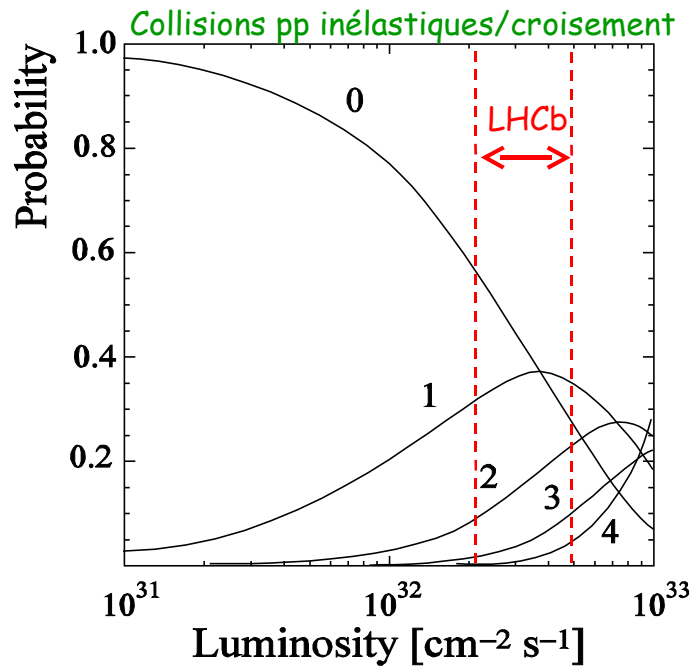
$$A_{\text{CP}}^{\text{theo}}(t) = \frac{\Gamma(\bar{B}_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)(t) - \Gamma(B_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)(t)}{\Gamma(\bar{B}_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)(t) + \Gamma(B_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)(t)} \propto \sin(2\beta) \sin(\Delta m_d t)$$

Programme de physique de LHCb

- Paramètres du mélange des B_s : fréquence, phase ϕ_s , $\Delta\Gamma_s$, ...
- Les angles des triangles d'unitarité α , β , γ :
 - Ex : $\sin(2\beta)$ dans $B_d \rightarrow J/\psi K_s^0$ et avec des pingouins $b \rightarrow s$
- Désintégrations rares :
 - Pingouins radiatifs $B_d \rightarrow K^* \gamma$, ...
 - Pingouins électrofaibles $B_d \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$
 - Pingouins gluoniques $B_s \rightarrow \phi\phi$, $B_d \rightarrow \phi K_s^0$
 - Diagrammes en boîte rares + pingouins $B_s \rightarrow \mu\mu$
- Physique des B_c et baryons-b
- + Nouvelle physique eventuelle

Le cadre expérimental

Le détecteur LHCb (1)

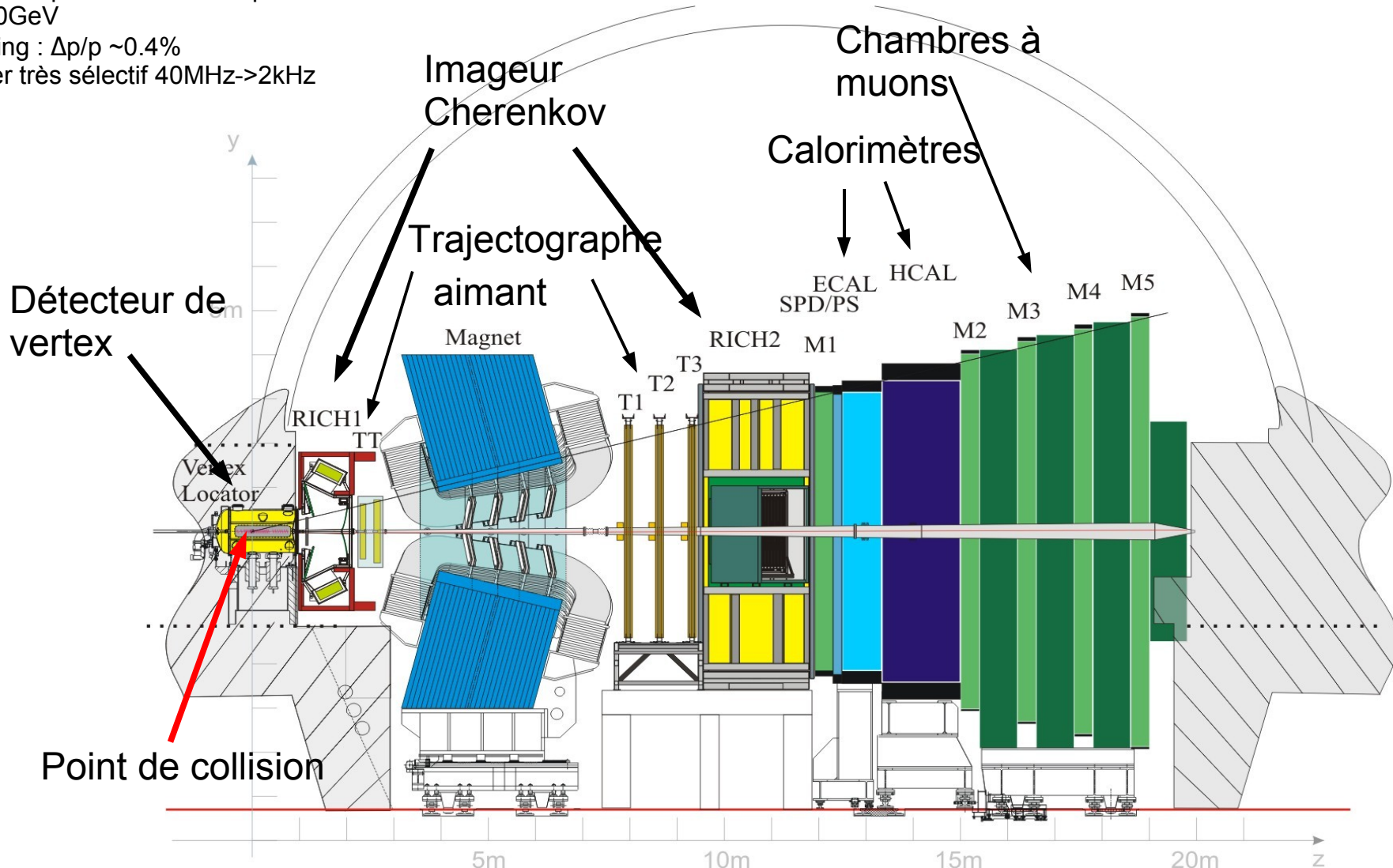


- Section efficace inélastique : $\sigma_{pp} = 80 \text{ mb}$
- Une interaction par croisement de faisceau, plus propre à reconstruire
 - Mesures de précision
 - Choix de la luminosité : $L = 2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- $\sigma_{tb} = 500 \mu\text{b}$: plus grande source de hadrons B : 10^{12} paires bb produites par an
 - $B_u, B_d, B_s, \Lambda_b, B_c, \dots$
- Les paires bb sont produites essentiellement vers l'avant et vers l'arrière, les deux b sont dans l'acceptance de LHCb

Le détecteur LHCb (2)

Spécificités :

- VELO : $\sigma_T(Bs \rightarrow D_s \pi) = 40 \text{ fs}$
- RICH : séparation K/ π à 3σ pour $E=3-80\text{GeV}$
- tracking : $\Delta p/p \sim 0.4\%$
- trigger très sélectif $40\text{MHz} \rightarrow 2\text{kHz}$



Mesure de $\sin(2\beta)$ et étiquetage de la saveur

Mesure de $\sin(2\beta)$

$$\text{A}_{\text{CP}}^{\text{theo}}(t) = \frac{\Gamma(\bar{B}_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)(t) - \Gamma(B_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)(t)}{\Gamma(\bar{B}_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)(t) + \Gamma(B_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)(t)} \propto \sin(2\beta) \sin(\Delta m_d t)$$

5 ingrédients nécessaires :

➤ Sélection des $B_d^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$: trigger et reconstruction

➤ Mesure du temps de vie des B_d^0

➤ Étiquetage de la saveur initiale des B_d^0

➤ Ajoute de la dilution : $A_{\text{CP}}^{\text{mes}}(t) = (1 - 2\omega)A_{\text{CP}}^{\text{theo}}(t)$

➤ 3 paramètres caractéristiques :

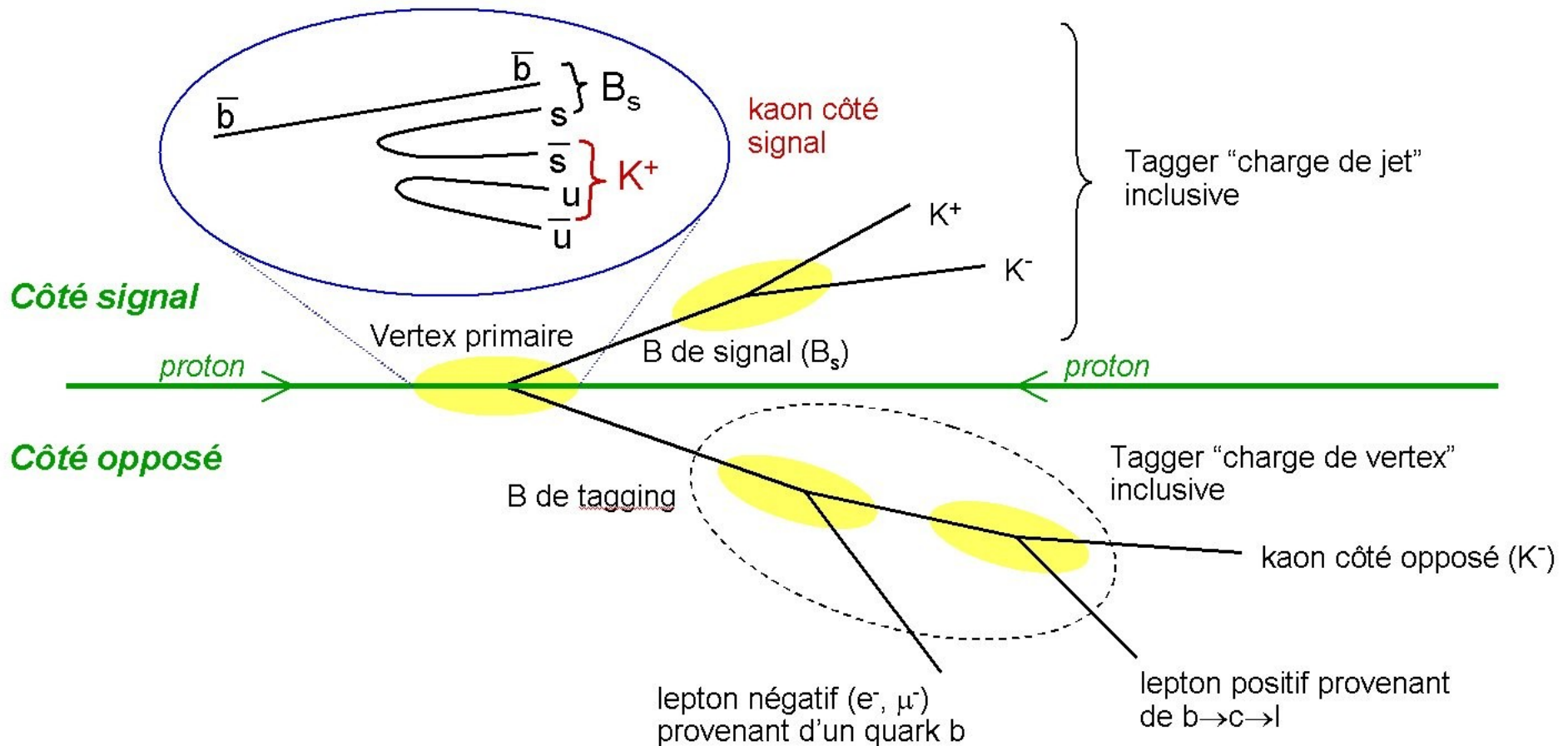
➤ Efficacité de l'étiquetage : $\varepsilon_{\text{tag}} = \frac{N_R + N_W}{N_R + N_W + N_U}$

➤ Fraction de mauvais étiquetage : $\omega = \frac{N_W}{N_R + N_W}$

➤ Puissance de l'étiquetage : $\varepsilon_{\text{eff}} = \varepsilon_{\text{tag}} D^2 = \varepsilon_{\text{tag}} (1 - 2\omega)^2$

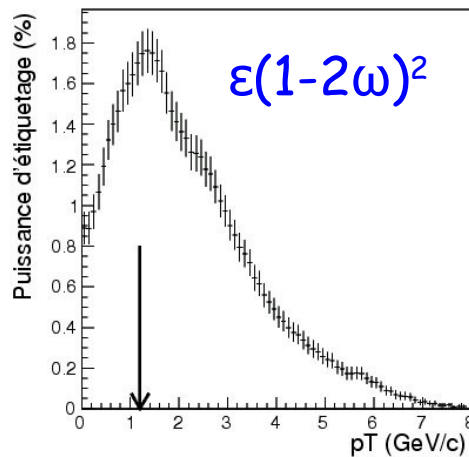
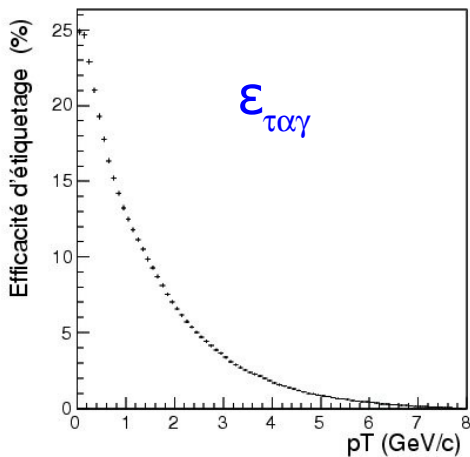
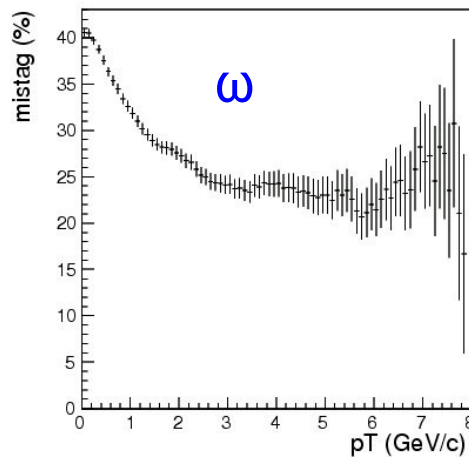
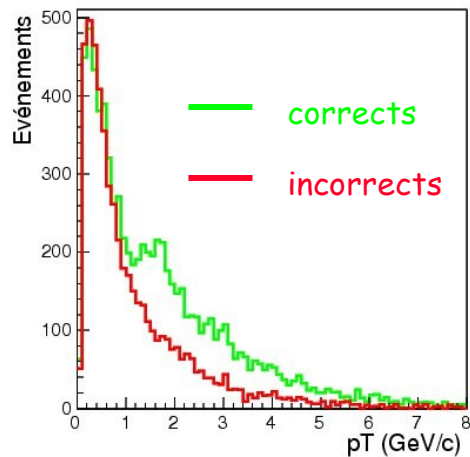
➤ Ajustement des paramètres

Étiquetage de la saveur (2)



- Taggers à trace unique : muon, électron, kaon
- Taggers à traces multiples : charges de vertex
 - Mon travail : re-optimisation des taggers électron et charge de vertex inclusive

Optimisation et performances



Performances par taggers :

	$\epsilon_{\text{eff}} \%$	$\epsilon_{\text{tag}} \%$	$\omega \%$
μ	1.76 ± 0.11	11.53 ± 0.14	30.5 ± 0.6
e	0.55 ± 0.06	4.10 ± 0.09	31.7 ± 1.0
K_{OS}	2.38 ± 0.13	30.82 ± 0.20	36.1 ± 0.4
K_{SS}	3.26 ± 0.15	30.63 ± 0.20	33.7 ± 0.4
Q_{vtx}	1.34 ± 0.10	23.97 ± 0.19	38.2 ± 0.4

$$\epsilon_{\text{tot}} = \sum \epsilon_{\text{eff}}$$

coupure optimale: $p_T > 1.2 \text{ GeV/c}$

Performances de l'algorithme

- Comparaison entre différentes expériences

	Puissance d'étiquetage (%)
BaBar	30.5
Belle	28.8
ALEPH	27.0
DO	4.5
CDF	6.6
ATLAS	4.6
LHCb	7.1

- Supériorité des collisionneurs e^+e^-
- Bruit de fond (machine leptonique contre hadronique)
- Petits angles entre les différentes traces (ex : plus difficile de reconstruire des vertex), biais induits par le trigger et sélection.

Méthode utilisée dans LHCb pour l'extraction de $\sin(2\beta)$

- $A_{cp}^{mes}(t) \propto (1 - 2\omega) \sin(2\beta) \sin(\Delta m_d t)$
- Utilisation de canaux de contrôle spécifiques de saveur finale :
 - Extraction des paramètres depuis un ajustement multi-variables
 - $\sin(2\beta)$ et ω ne peuvent pas être extraits en même temps
 - ω sera mesuré grâce à $B_d \rightarrow J/\psi K^*$
 - Utilisation de la séparation Mixed-Unmixed pour construire des asymétries de saveur dépendantes du temps caractérisées par un terme en cosinus -> oscillations = Δm_d et une amplitude = $1-2\omega$

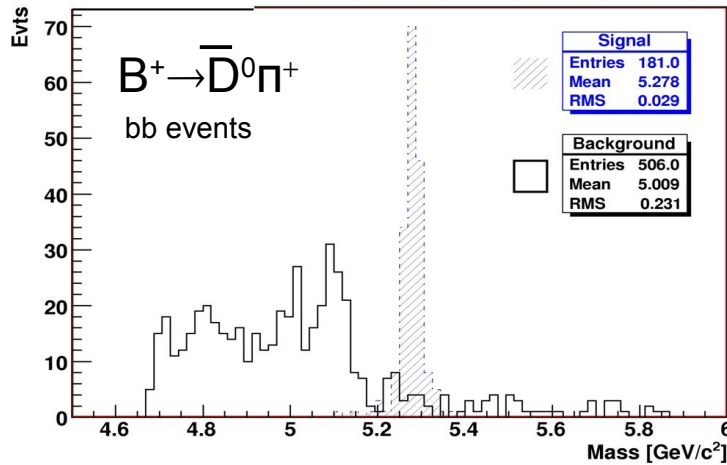
- Si on veut $\sigma(\sin(2\beta))$ due à l'étiquetage (erreur systématique) deux fois plus petite que l'erreur statistique pour $2fb^{-1}$, il faut l'erreur relative sur $\omega < \sim 1\%$
 - Nécessité de nombreux canaux de contrôle pour avoir une grande statistique

$$\sigma(\omega)^2 = \frac{\omega \times (1 - \omega)}{\varepsilon_{tag} \times Nb(evts)/2fb^{-1}}$$

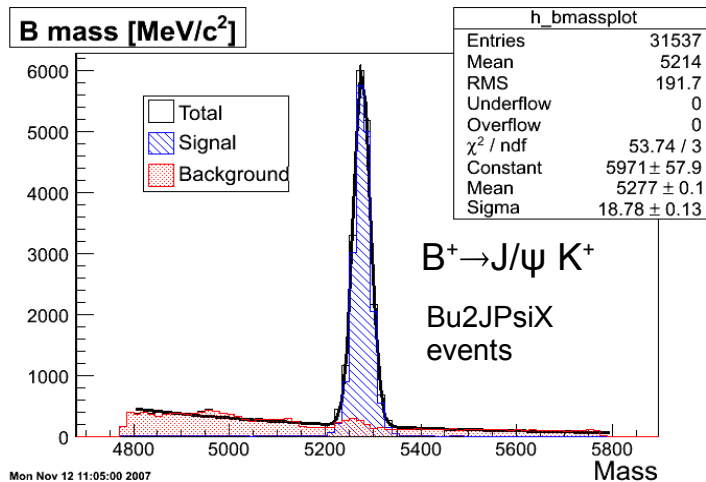
- Différents problèmes : pas possible d'appliquer directement ω entre le canal de contrôle et celui de signal : différences dues au trigger et à la sélection.

Canaux de contrôle

- Sélection de différents canaux de contrôle : $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \mu^+ \nu$, $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+$, $B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ \nu$ (2 notes publiques LHCb) et $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$



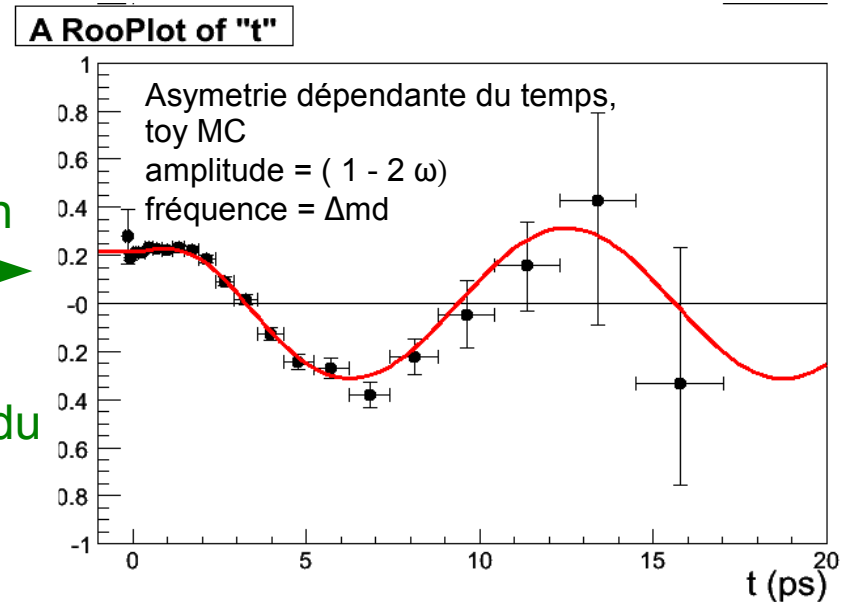
	Yield	B / S
$Bu \rightarrow D^0 \mu \nu$	2.4 M	0.7
$Bu \rightarrow D^0 \pi$	1 M	0.1
$Bs \rightarrow Ds \mu \nu$	1 M	0.36
$Bu \rightarrow J/\psi K^+$	2 M	0.46
$Bd \rightarrow J/\psi K^*$	1M	0.3



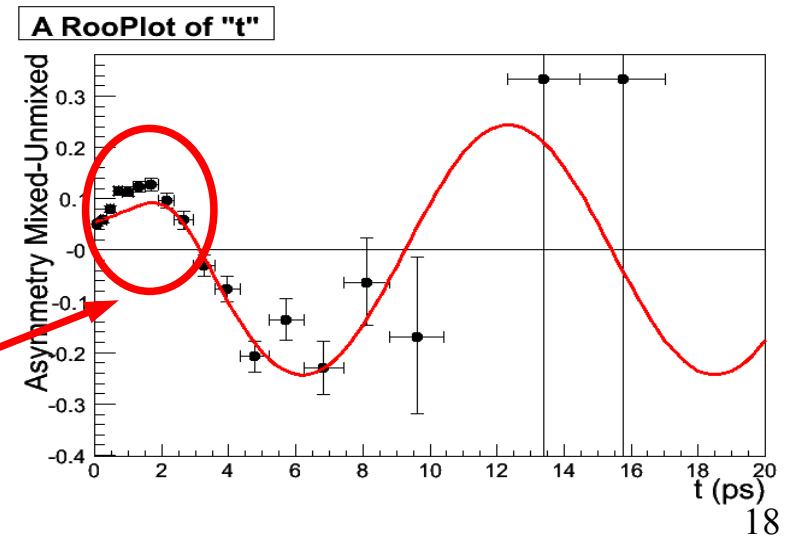
$$\sigma(\omega)/\omega \sim 0.5 \%$$

En route vers $\sin(2\beta)$

- Extraction de Δm_d et ω avec $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^*$
 - Modélisation du signal avec une expression décrivant l'oscillation en saveur Mixed Unmixed →
 - Bruit de fond non oscillant
 - Un toy MC permet de tester la robustesse du model
 - Bon accord, ajustement stable



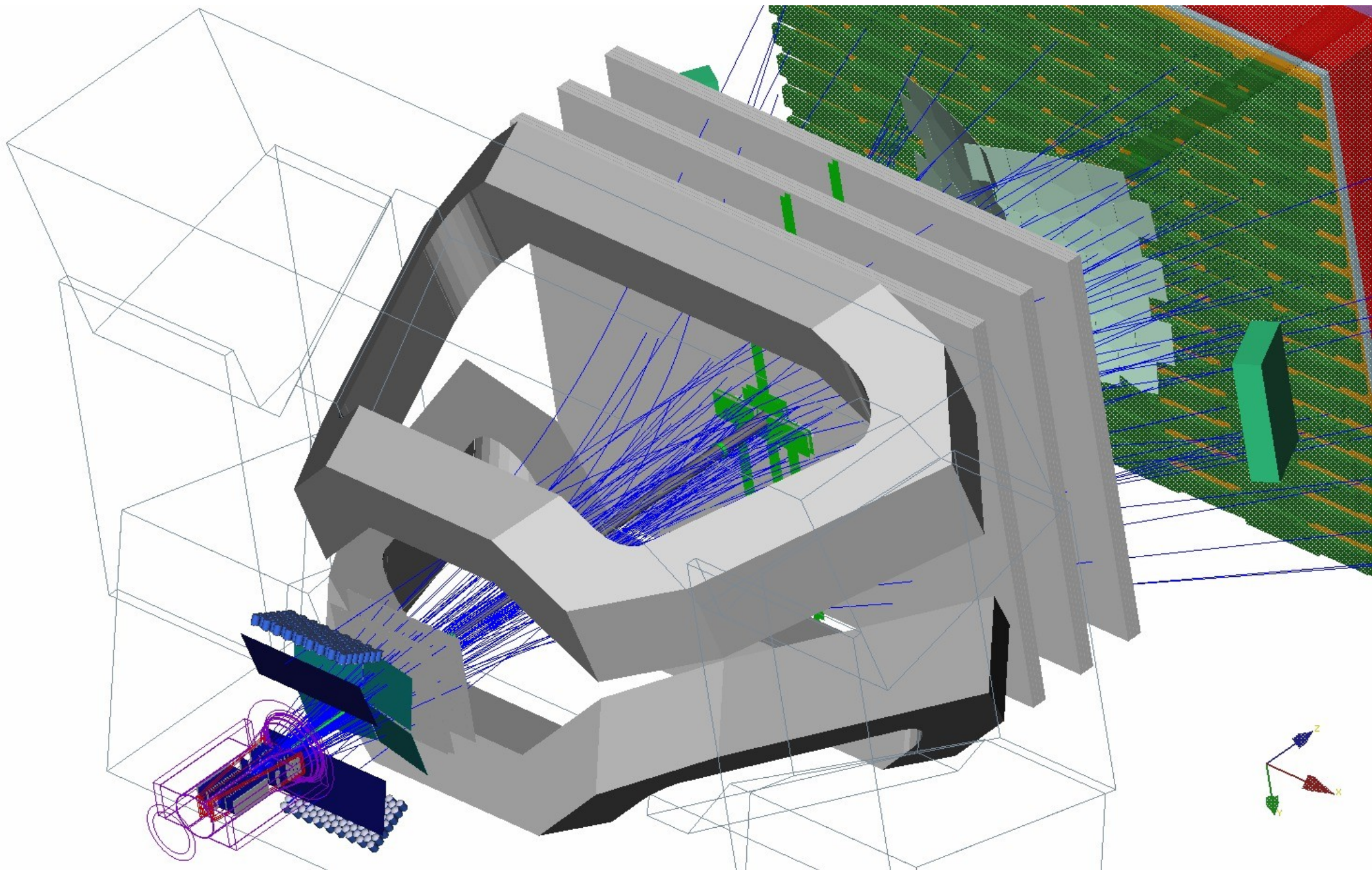
- Fit sur des données issues du MC complet en cours
 - Description plus réaliste nécessaire
 - Différentes compositions et comportement suivant les différents types de bruit
 - Comprendre quelles sont les propriétés caractéristique de ces bruits est essentiel
 - Si la description est mauvaise :



Conclusion

- LHCb est une expérience dédiée à l'étude de la violation de CP et des désintégrations rares
 - Mesures de précision
 - Grande statistique disponible
- Étape préliminaire : vérifier la fiabilité du détecteur et des outils d'analyse
 - Mesurer des paramètres déjà connus : $\sin(2\beta)$ mesuré par BaBar et Belle
- Outil clé : étiquetage de la saveur initiale des mésons B neutres
 - Utilisation de nombreuses sources d'information
 - Nombreux canaux de contrôle nécessaires pour diminuer les erreurs systématiques
- L'étude pour $\sin(2\beta)$ est en cours !
 - Extraction de la fraction de la mauvais étiquetage dans un canal de contrôle
 - Utilisation de données issues du MC complet
 - Utilisation de vraies données si possible en fin de thèse

The end !



Backups

- Backups

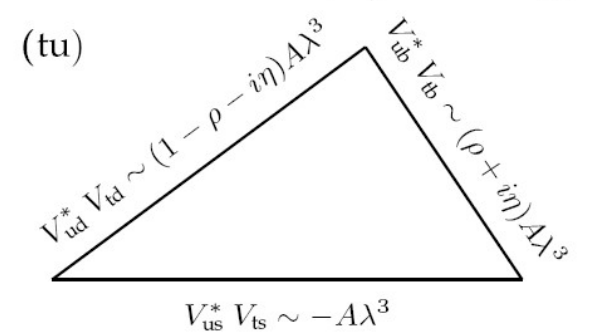
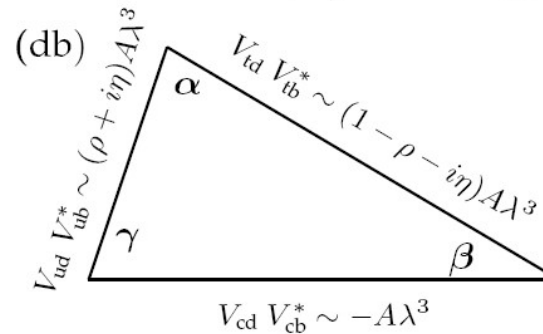
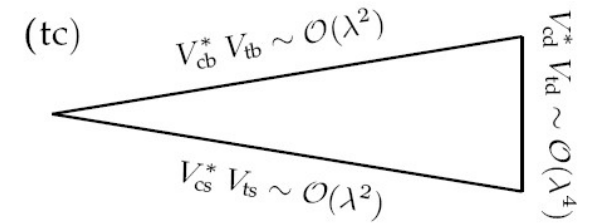
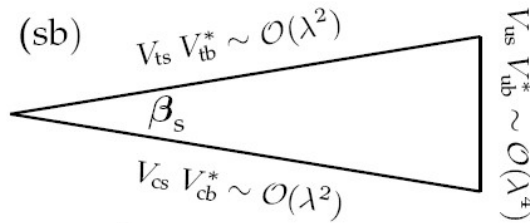
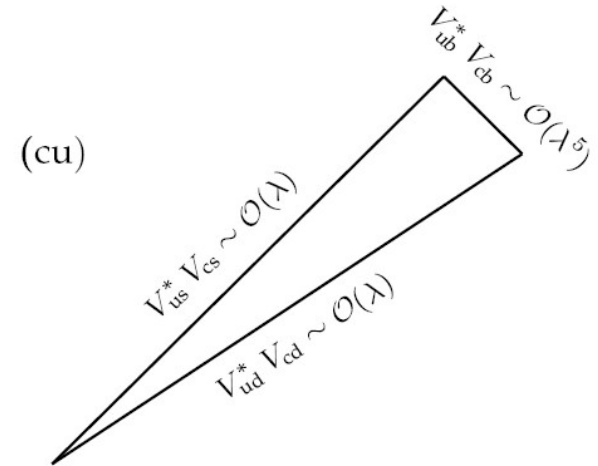
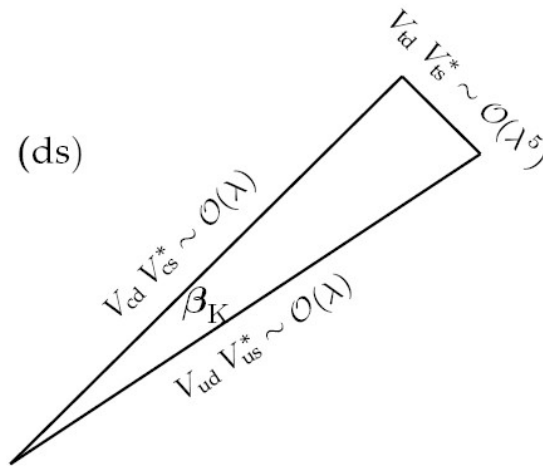
4 angles indépendants de CKM

$$\gamma \equiv \phi_3 \equiv \arg \left[-\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{V_{cd}V_{cb}^*} \right]$$

$$\beta \equiv \phi_1 \equiv \arg \left[-\frac{V_{cd}V_{cb}^*}{V_{td}V_{tb}^*} \right]$$

$$\beta_s \equiv \chi \equiv \arg \left[-\frac{V_{cb}V_{cs}^*}{V_{tb}V_{ts}^*} \right]$$

$$\beta_K \equiv \chi' \equiv \arg \left[-\frac{V_{us}V_{ud}^*}{V_{cs}V_{cd}^*} \right]$$



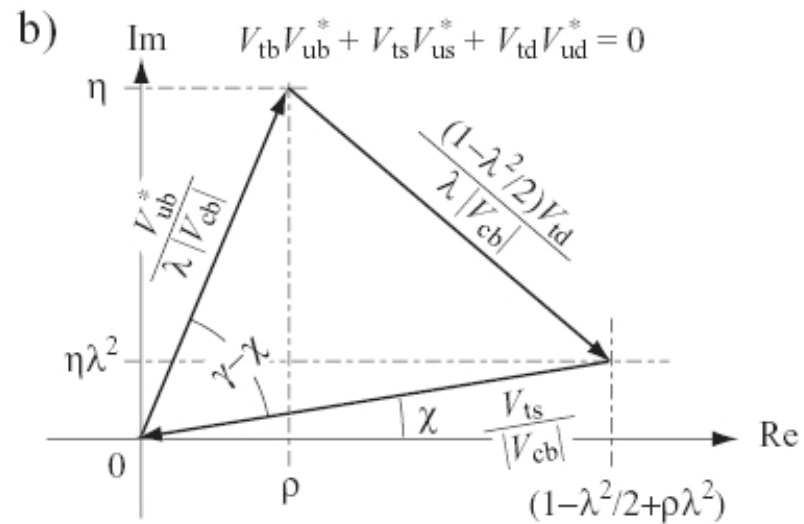
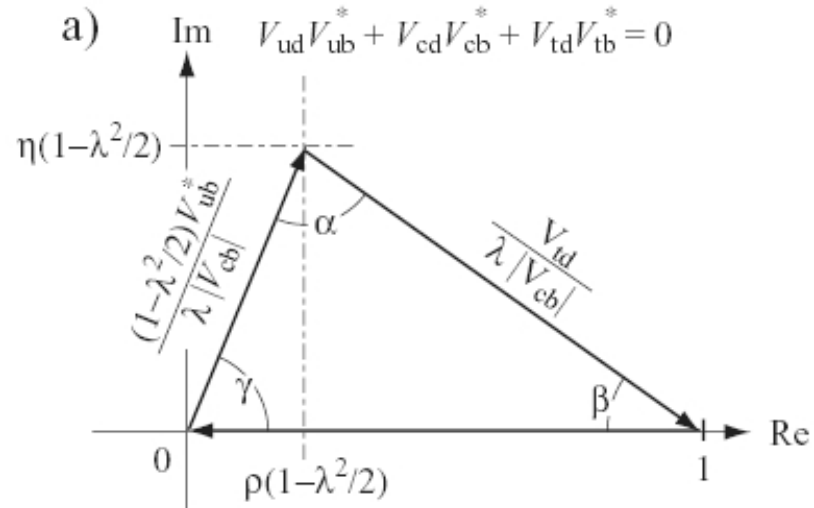
$$\phi_s = 2 \arg(V_{ts}^* V_{tb})$$

$$\sim -2\beta_s$$

$$\sim -2\arg(V_{ts})$$

$$\sim -\arg(V_{ts}^2)$$

Deux triangles d'unitarité



$$\beta_s = \chi$$

Programme de physique de LHCb

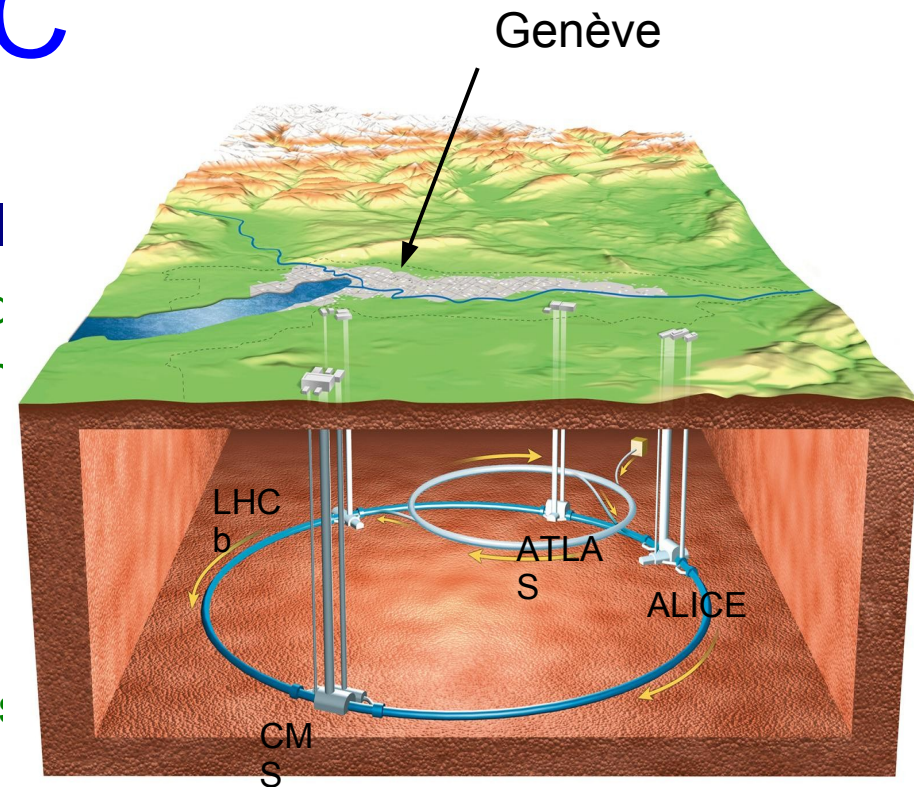
- Paramètres du mélange des B_s : fréquence, phase, $\Delta\Gamma_s$, a_{fs}^s
 - $B_s \rightarrow D_s \pi, J/\psi \phi, J/\psi \eta^{(\prime)}, \eta_c \phi, B_s \rightarrow D_s D_s, B_s \rightarrow D_s \nu$
- α avec $B_d \rightarrow \pi \rho \pi, \rho \rho$
- β avec $B_d \rightarrow J/\psi \psi K_S$
 - et β avec les pingouins $b \rightarrow s$
- γ avec plusieurs canaux, ayant une sensibilité différente à de la NP:
 - Asymétrie CP dépendante du temps de $B_s \rightarrow D_s^- K^+$ et $D_s^+ K^-$
 - Asymétrie CP dépendante du temps de $B_d \rightarrow \pi \pi$ et $B_s \rightarrow K^+ K^-$
 - Comparaison des taux de désintégration des $B_d \rightarrow D^0(K\pi, KK, \pi\pi)K^{*0}$
 - Comparaison des taux de désintégration des $B^+ \rightarrow D^0(K\pi, KK, \pi\pi)K^+$
 - Analyse de Dalitz des $B^+ \rightarrow D^0(K_S \pi \pi, K_S K K)K^+$ et $B_d \rightarrow D^0(K_S \pi \pi, K_S K K)K^{*0}$
- Désintégrations rares
 - Pingouins radiatifs $B_d \rightarrow K^* \gamma, B_s \rightarrow \phi \gamma, B_d \rightarrow \omega \gamma$
 - Pingouins électrofaibles $B_d \rightarrow K^{*0} \mu \mu$
 - Pingouins gluoniques $B_s \rightarrow \phi \phi, B_d \rightarrow \phi K_S$
 - Diagramme en boîte rares $B_s \rightarrow \mu \mu$
- Physique des B_c et baryons-b + imprévu !

Etiquetage du B nécessaire

⇒ Reconstruire des désintégrations de hadrons b avec états finals variés présentant plusieurs particules chargées ou neutres

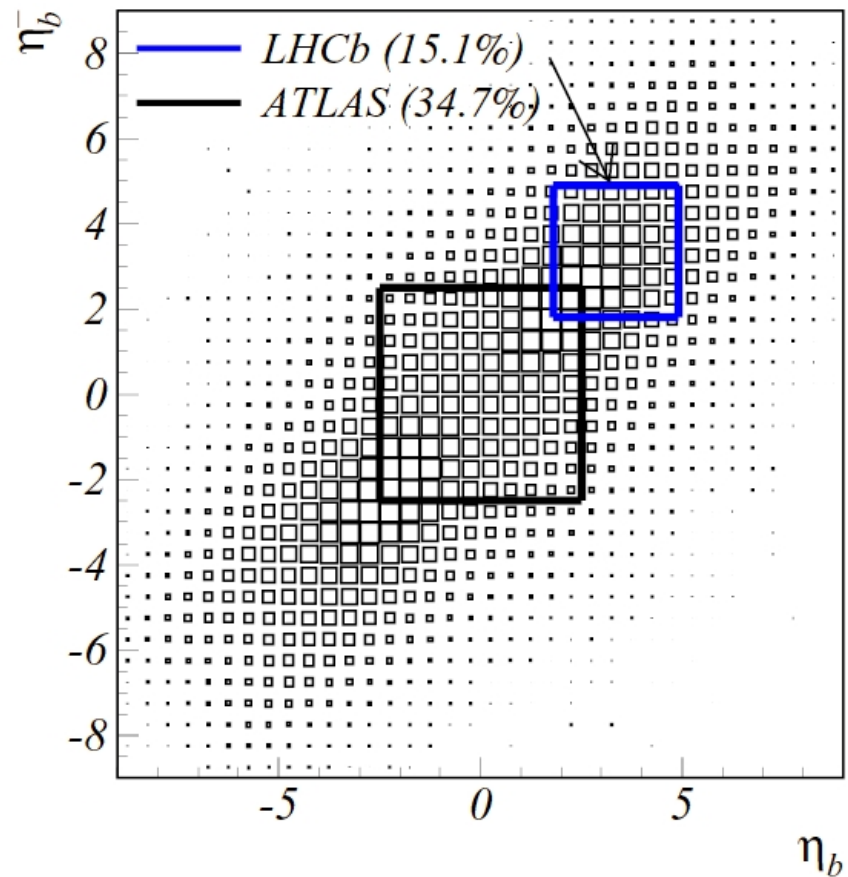
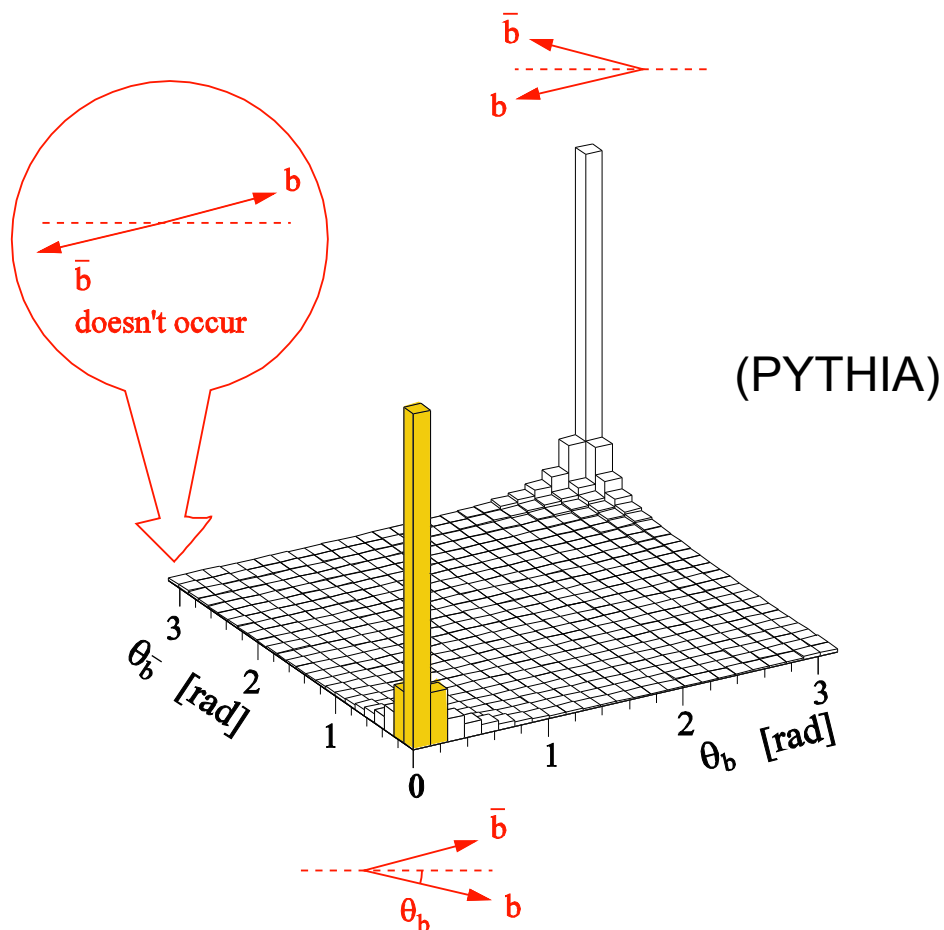
Le LHC

- LHC : grand collisionneur de hadrons I
 - Accélère des protons à 14 TeV au centre c
 - Plus grand accélérateur de particules du m (27 km de circonférence)
 - Fréquence des collisions : 40 MHz
- 4 expériences :
 - ATLAS : généraliste (higgs, supersymétries)
 - CMS : généraliste (higgs, supersymétries..)
 - ALICE : Étude des collisions d'ions lourds
 - LHCb : physique du quark b
- Démarrage prévu : 2008



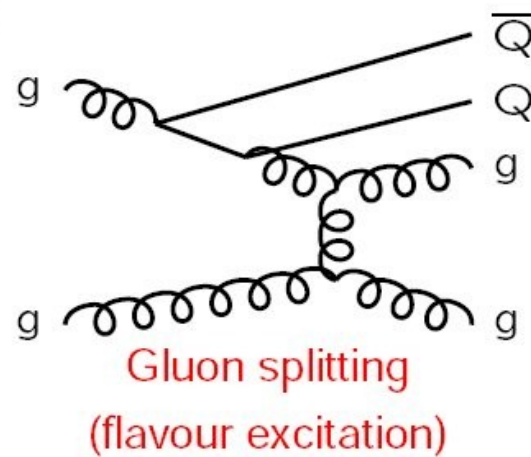
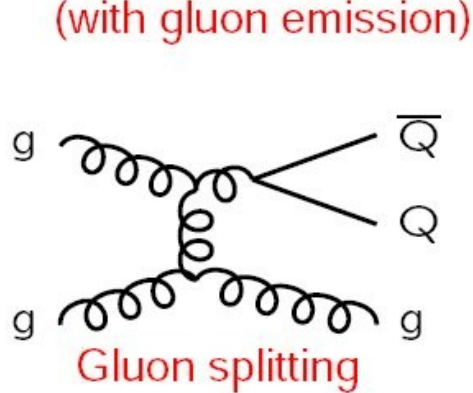
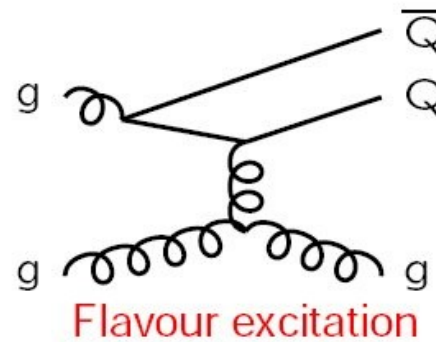
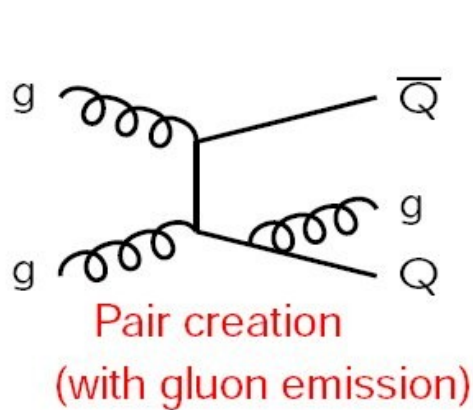
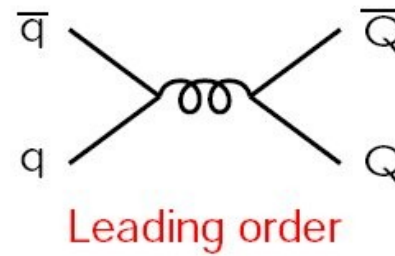
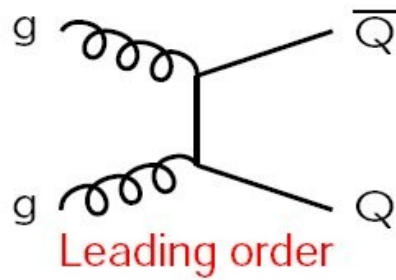
B production

- B hadrons are mostly produced in the forward direction (along the beam)
- Choose a forward spectrometer 10–300 mrad
- Both b and \bar{b} in the acceptance: important for tagging the production state of the B hadron



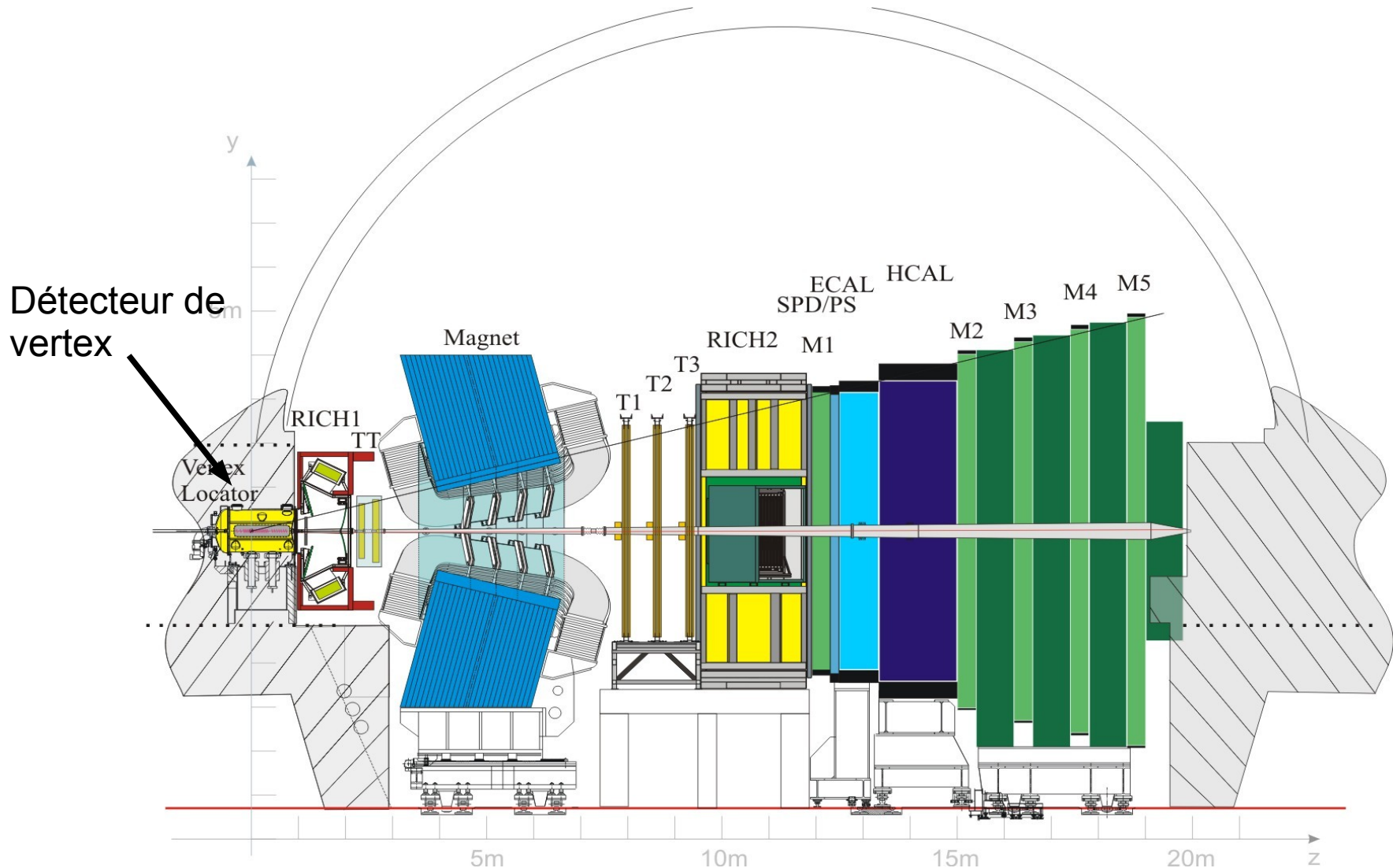
Production graphs

Examples of $Q = c/b$ production diagrams, *not* exhaustive:

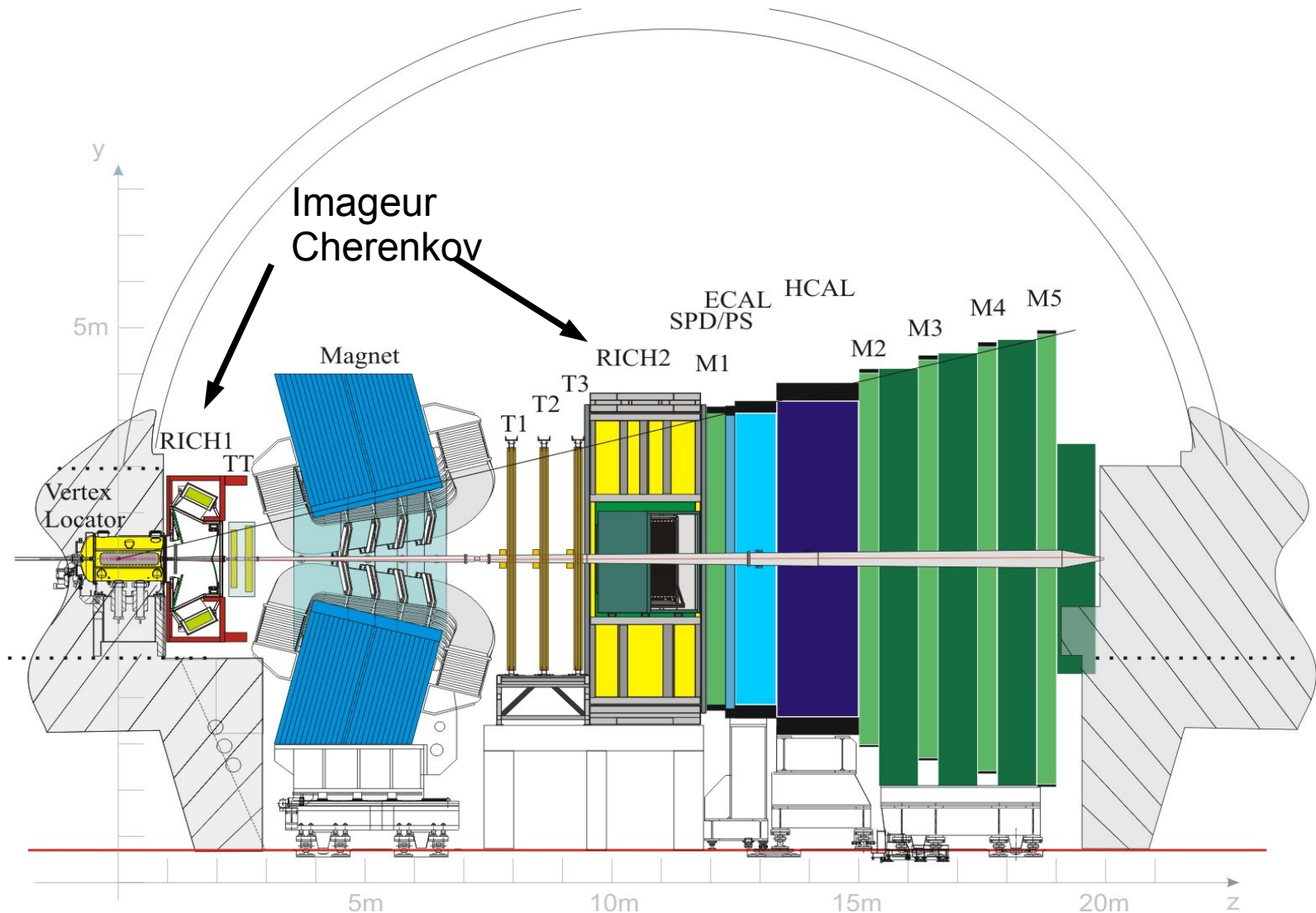


Torbjorn Sjostrand
Pythia

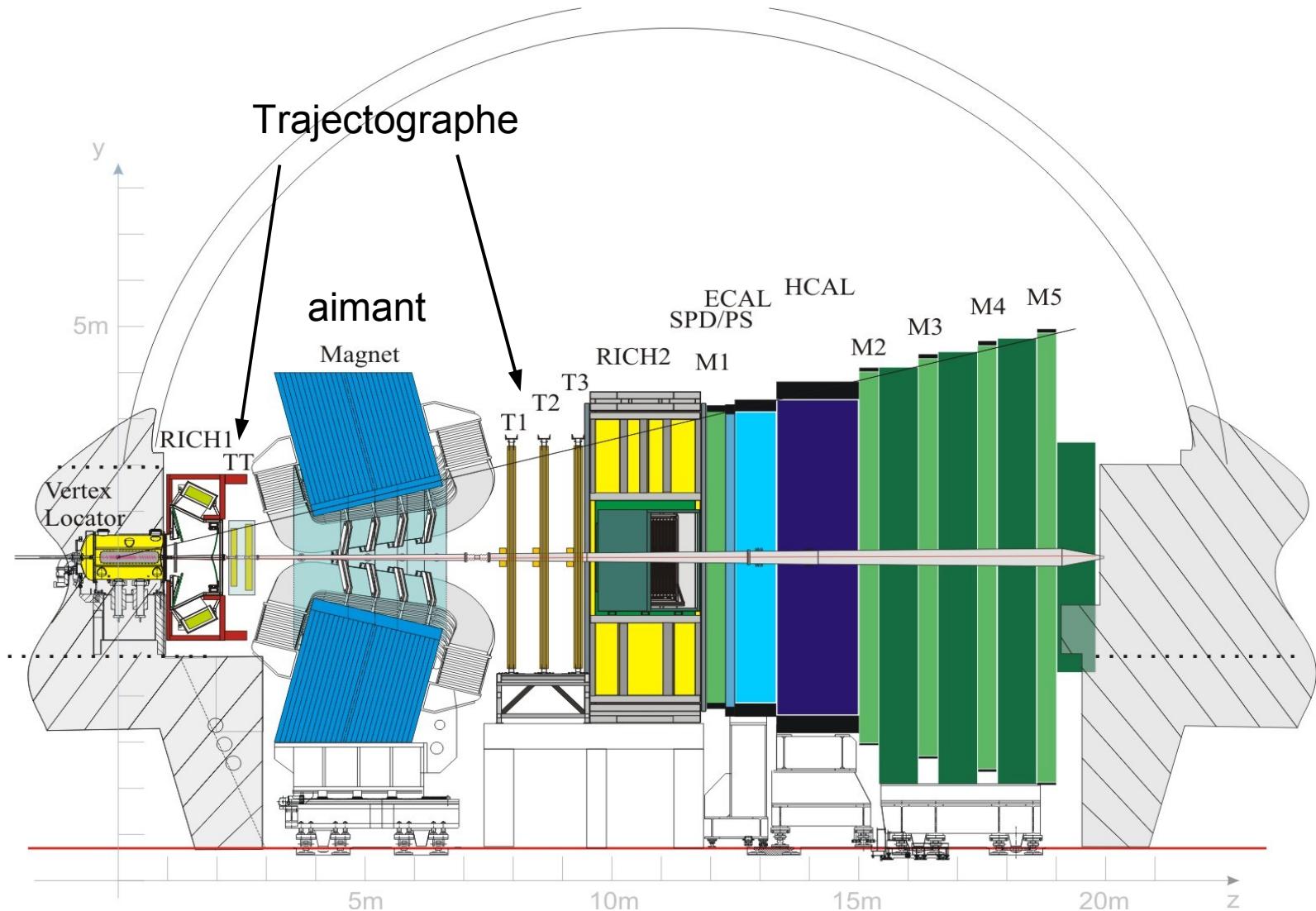
Le détecteur LHCb (2)



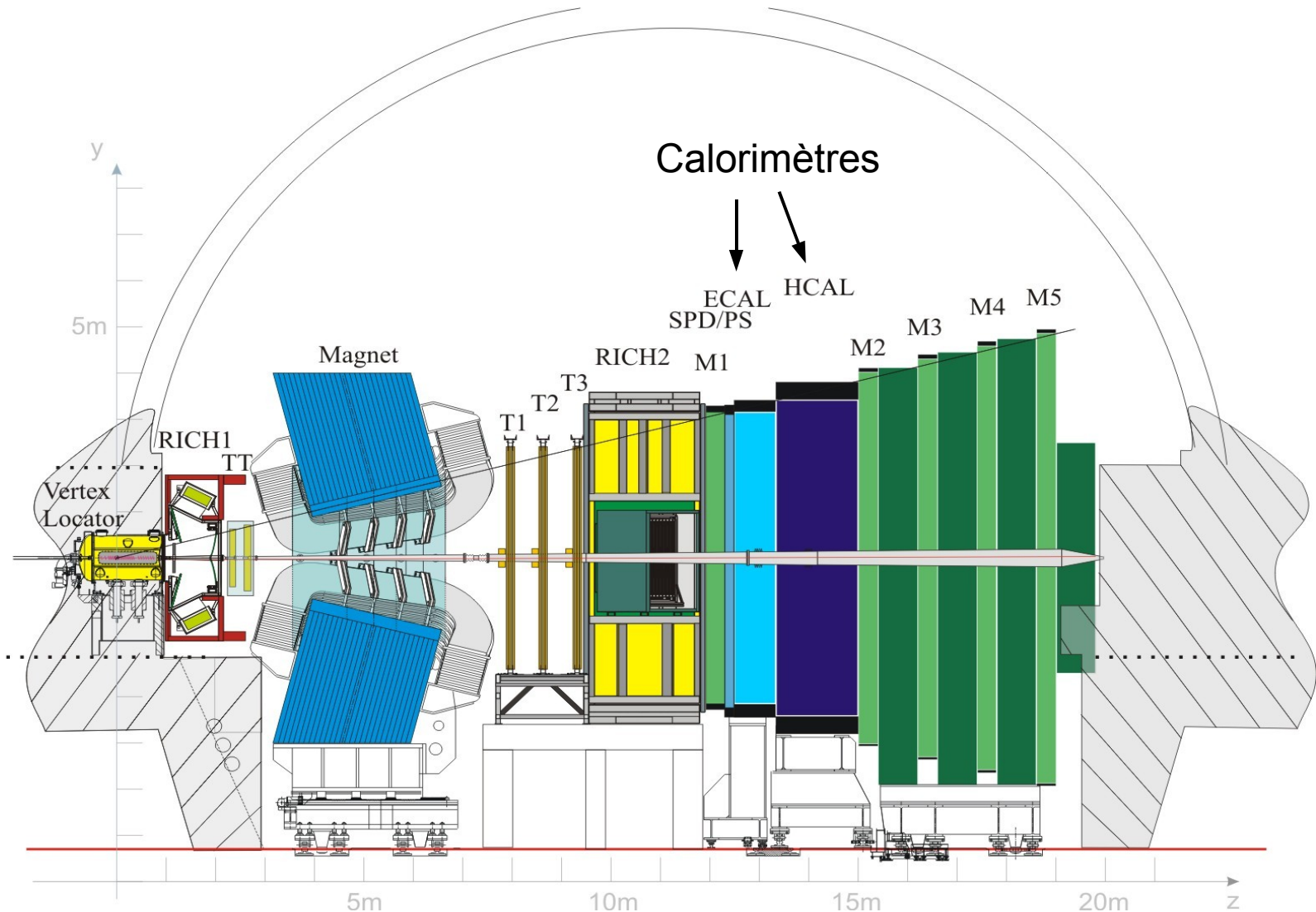
Le détecteur LHCb (2)



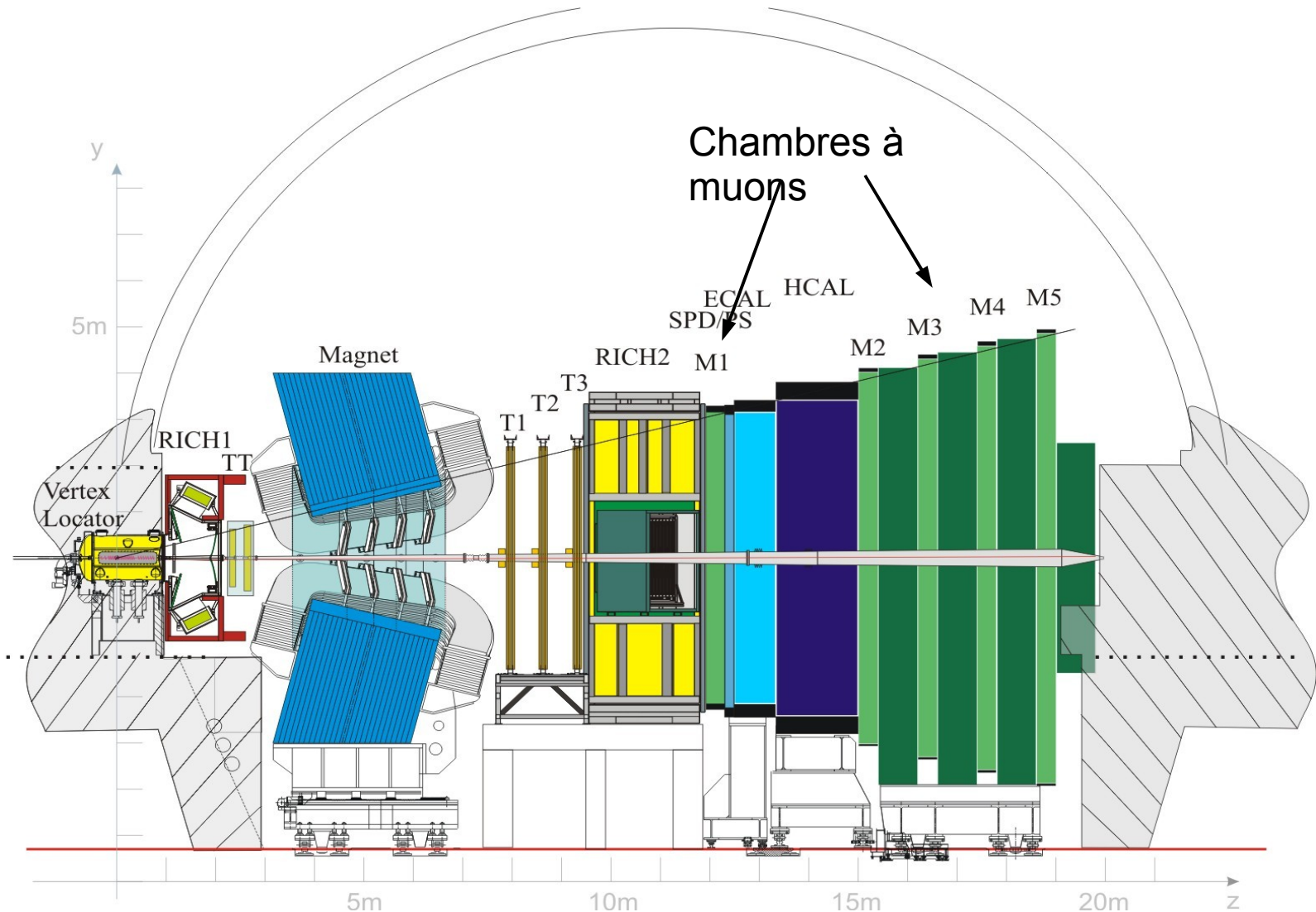
Le détecteur LHCb (2)



Le détecteur LHCb (2)



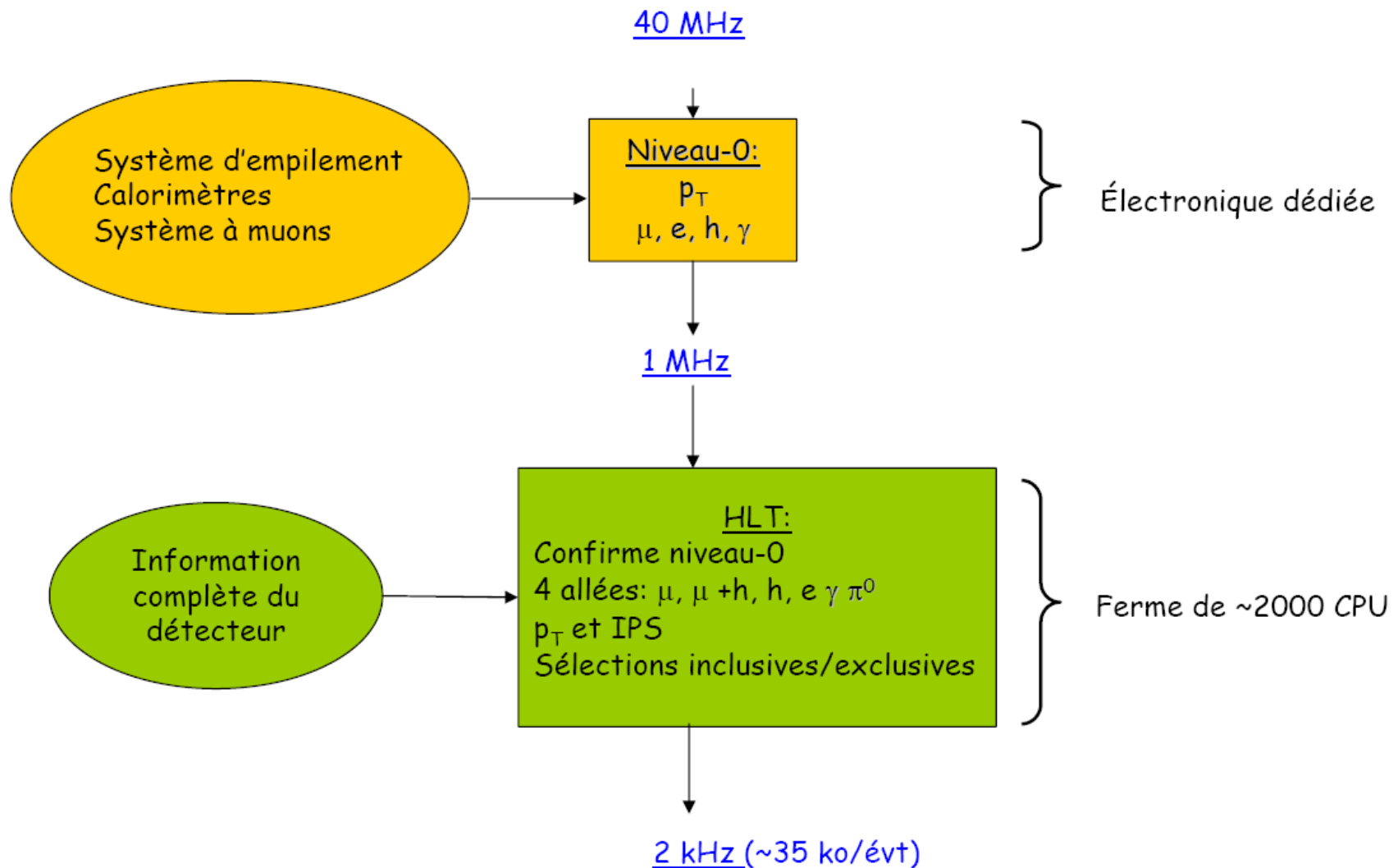
Le détecteur LHCb (2)



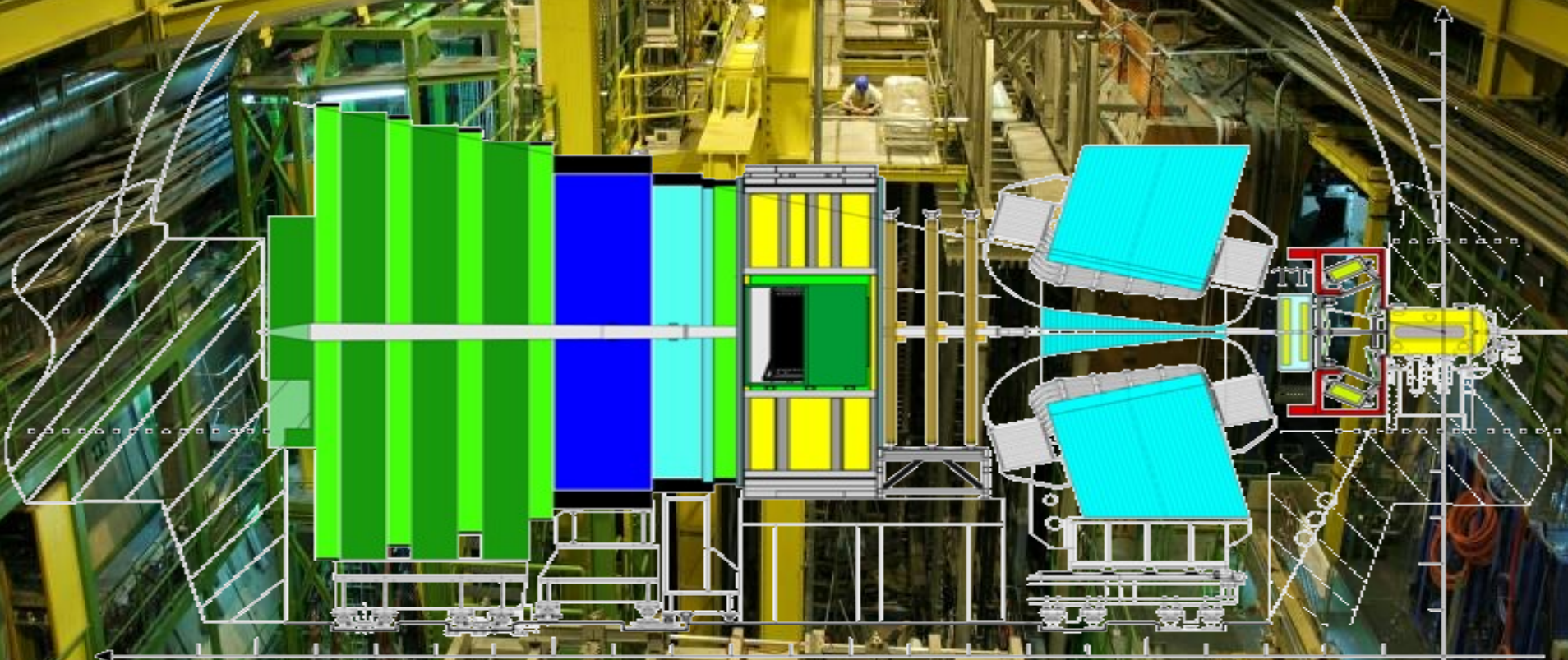
Le détecteur LHCb (3)

- 2 niveaux de déclenchement
 - Le premier niveau est hardware (Level 0)
 - Utilise les informations recueillies par les calorimètres, les chambres à muons et le système d'empilement (dans le détecteur à vertex) pour sélectionner les événements contenant un quark b
 - Le deuxième est software (High Level Trigger)
 - Utilise les informations de l'ensemble du détecteur pour effectuer une reconstruction partielle des candidats et sélectionner les meilleurs
- En entrée du détecteur : 40 MHz
- En sortie : 2 kHz
 - Réduction par un facteur 200

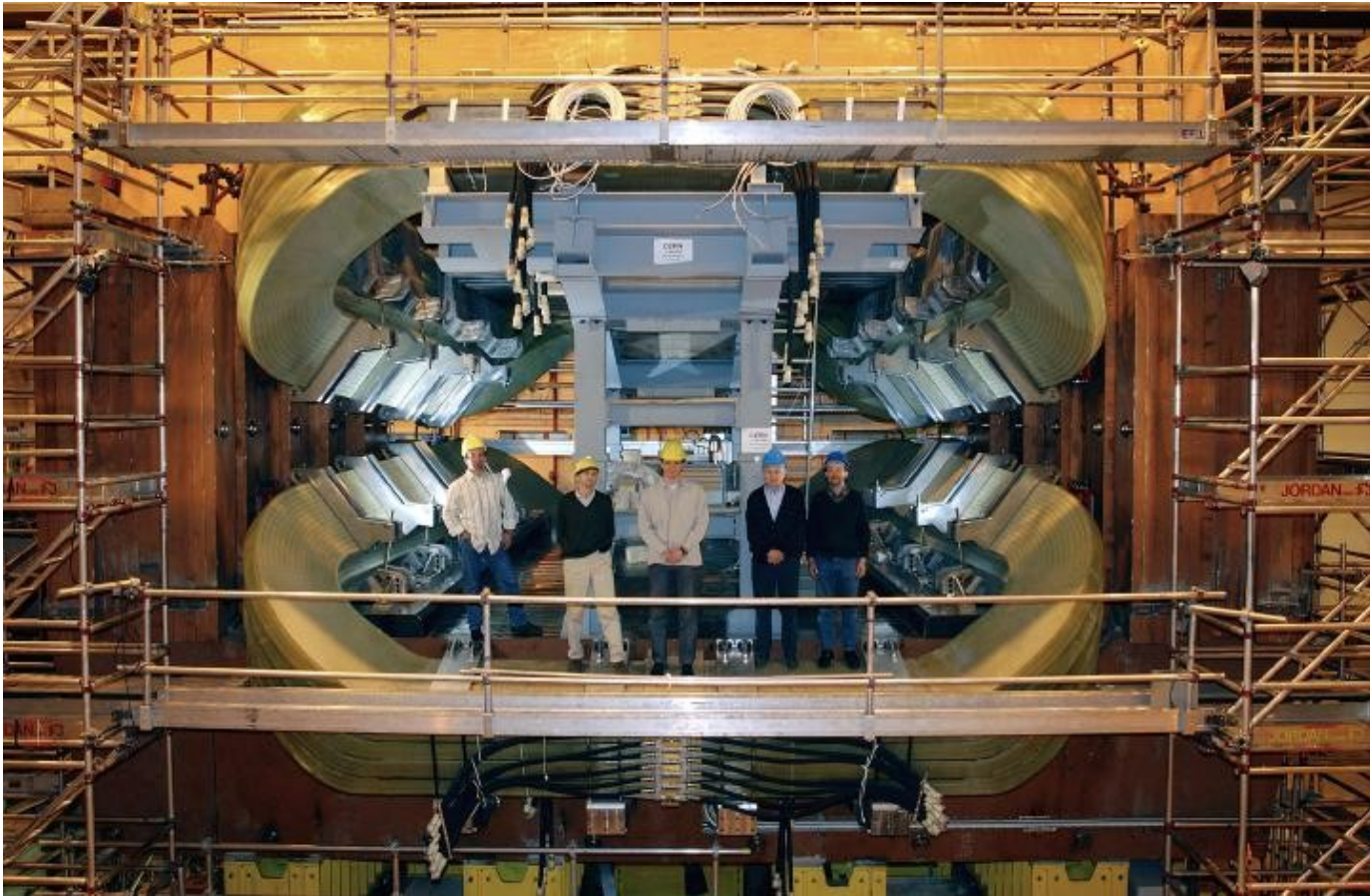
Le détecteur LHCb (3)



40 ton
1987
N 42332-02



Magnet

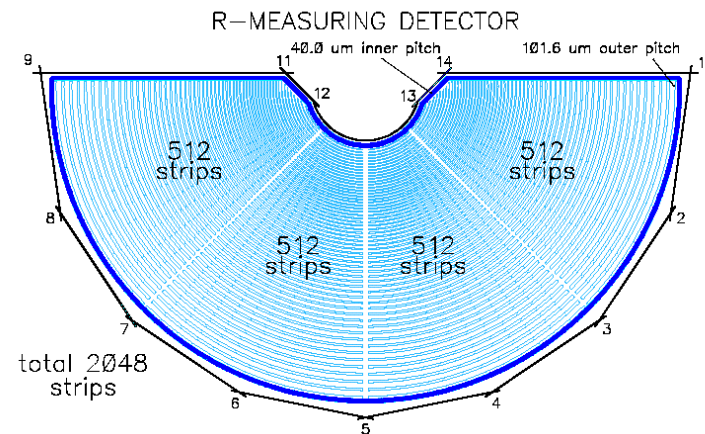
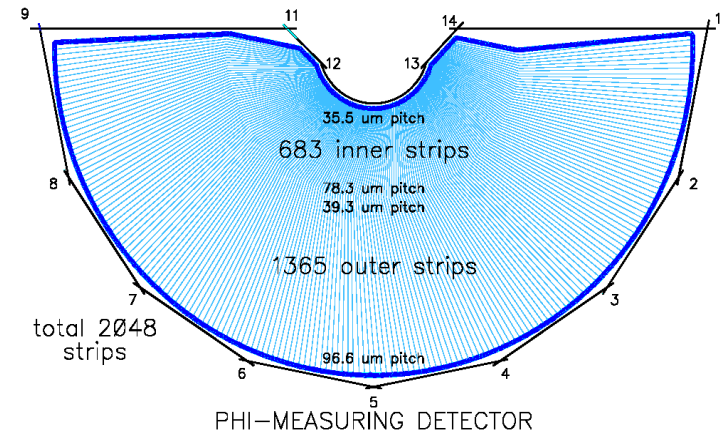
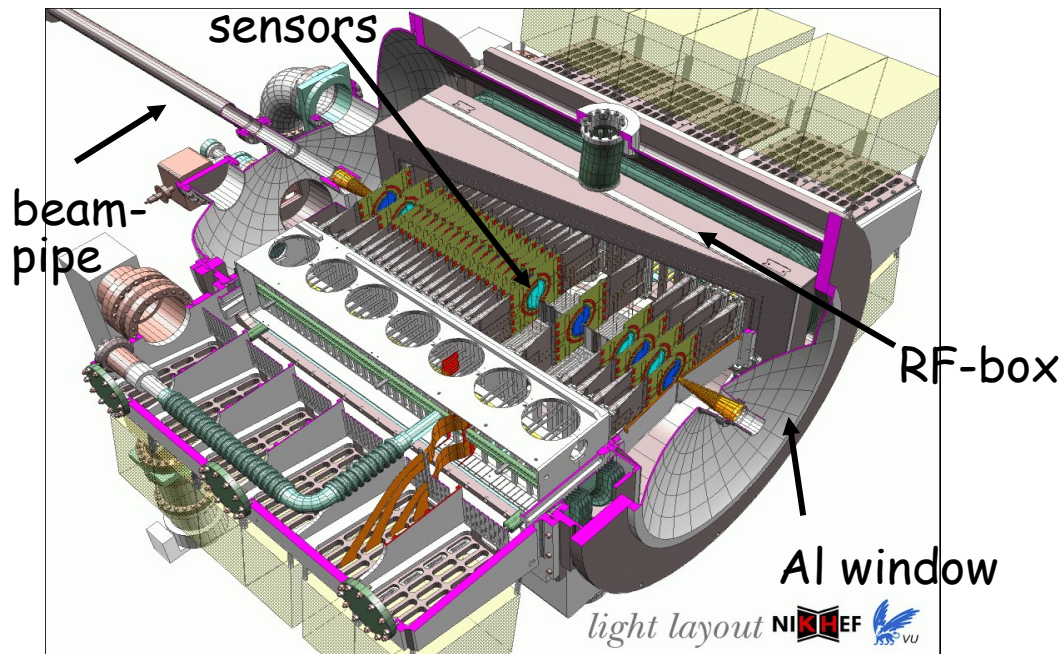
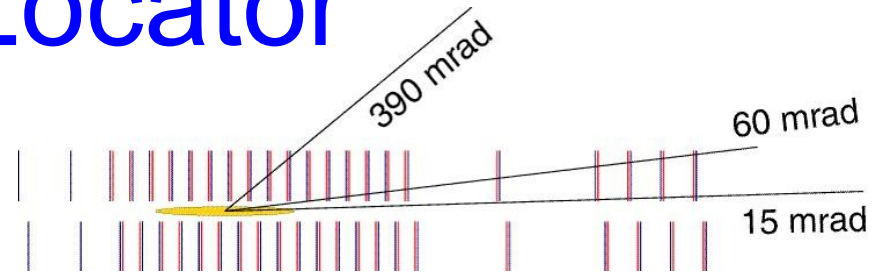


- ◆ Warm Al conductor
- ◆ 4 Tm integrated field
- ◆ Weight = 1500 tons
- ◆ 4.2 MW
- ◆ Possibility to reverse the field (systematics)

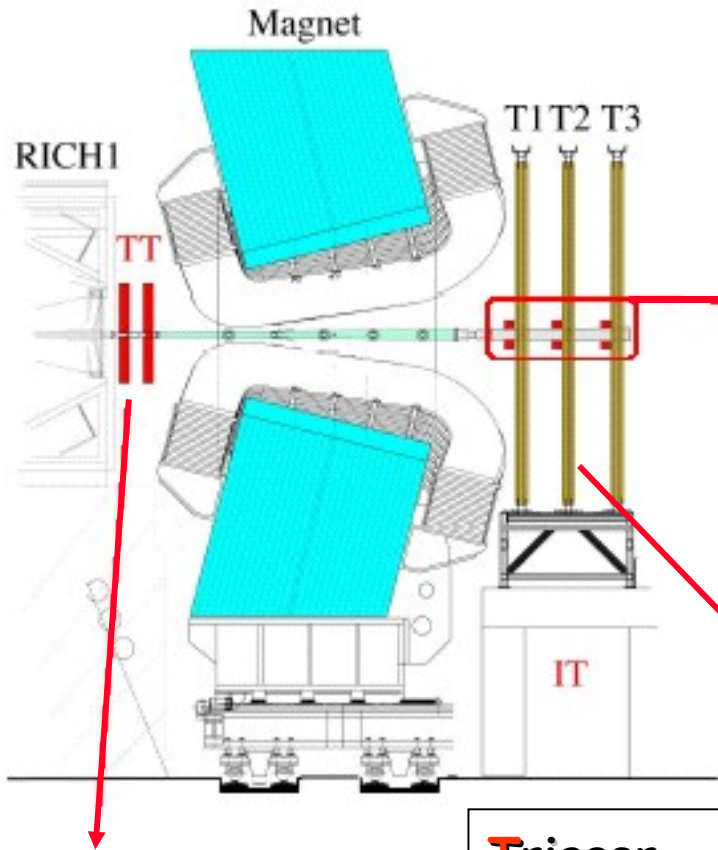
Vertex Locator

- ◆ 21 stations, retractable during injection
- ◆ sensitive area starts at only 8 mm from beam axis
- ◆ r/ϕ sensors (single sided, 45° r-sectors)
- ◆ pitch ranges from $35\ \mu\text{m}$ to $102\ \mu\text{m}$
- ◆ $300\ \mu\text{m}$ thin silicon
- ◆ 172k readout channels
- ◆ Secondary vacuum box with $<10^{-4}$ mbar

stand-alone tracking!

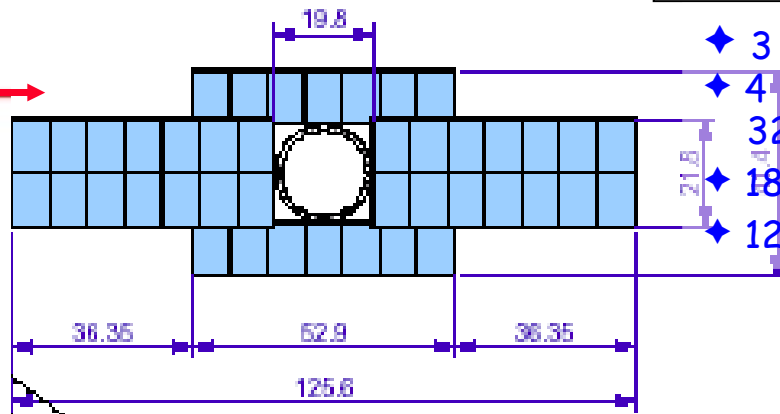


Tracking chambers (TT, IT, OT)



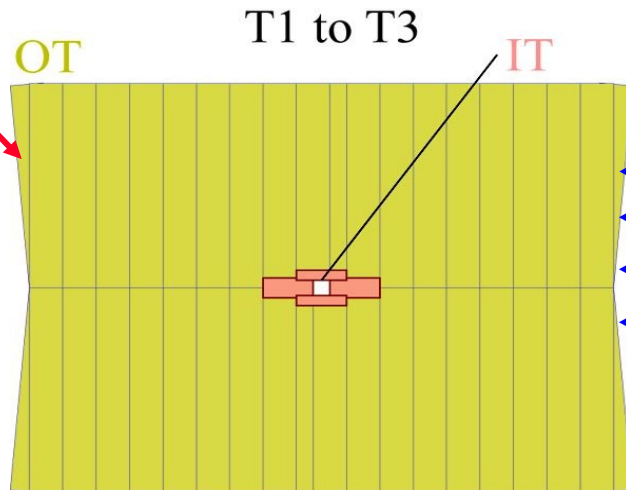
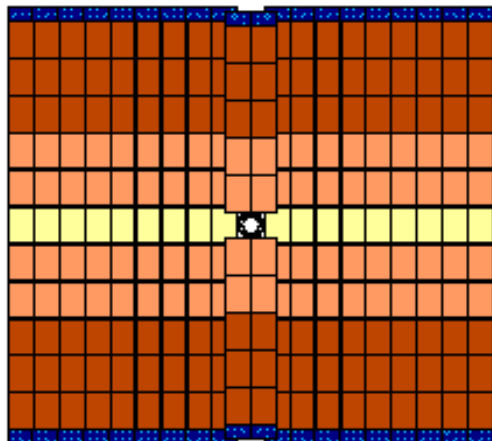
Inner Tracker

- ◆ 3 stations
- ◆ 4 layers each
- ◆ 320/410 μm thin silicon
- ◆ 183 μm readout pitch
- ◆ 129k readout ch.



Trigger Tracker

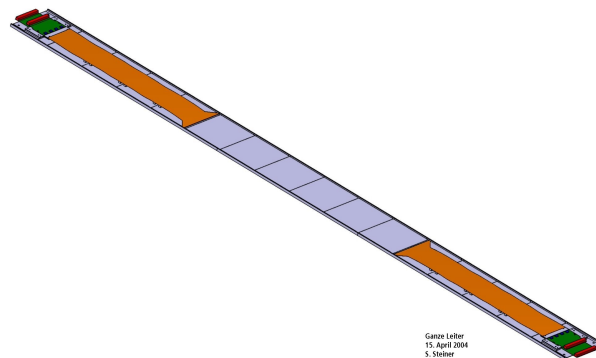
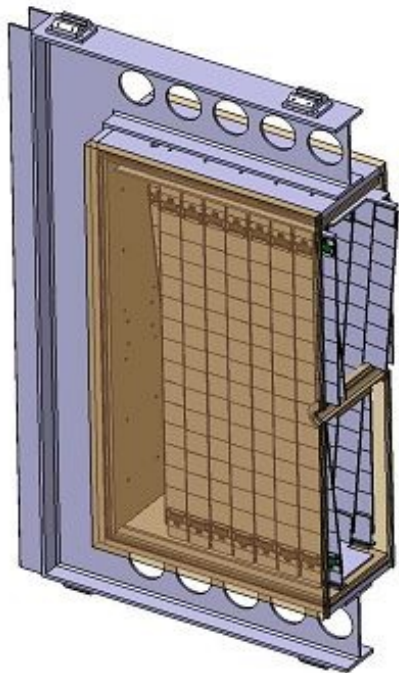
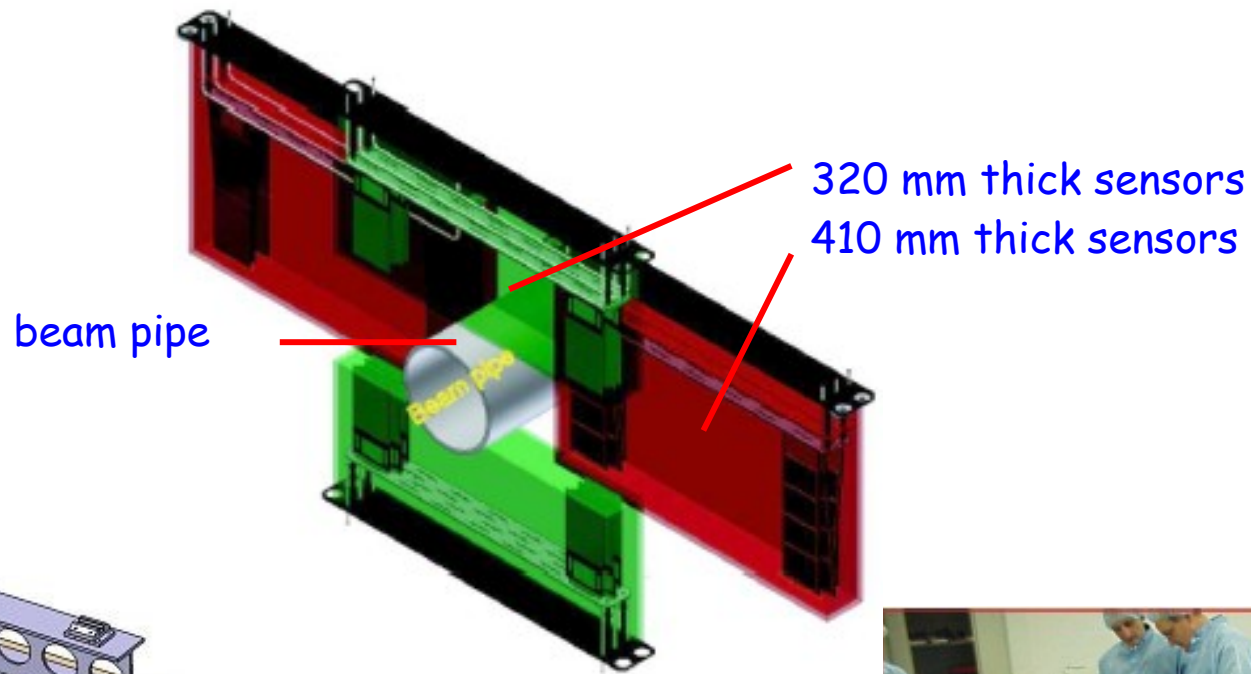
- p_T at Level-1 trigger
- VO (K_S , Λ), no VELO
- low-p tracks, no T1-T3
- ◆ 2*2 layers
- ◆ 500 μm silicon
- ◆ 183 μm r/o pitch
- ◆ 143k readout ch.



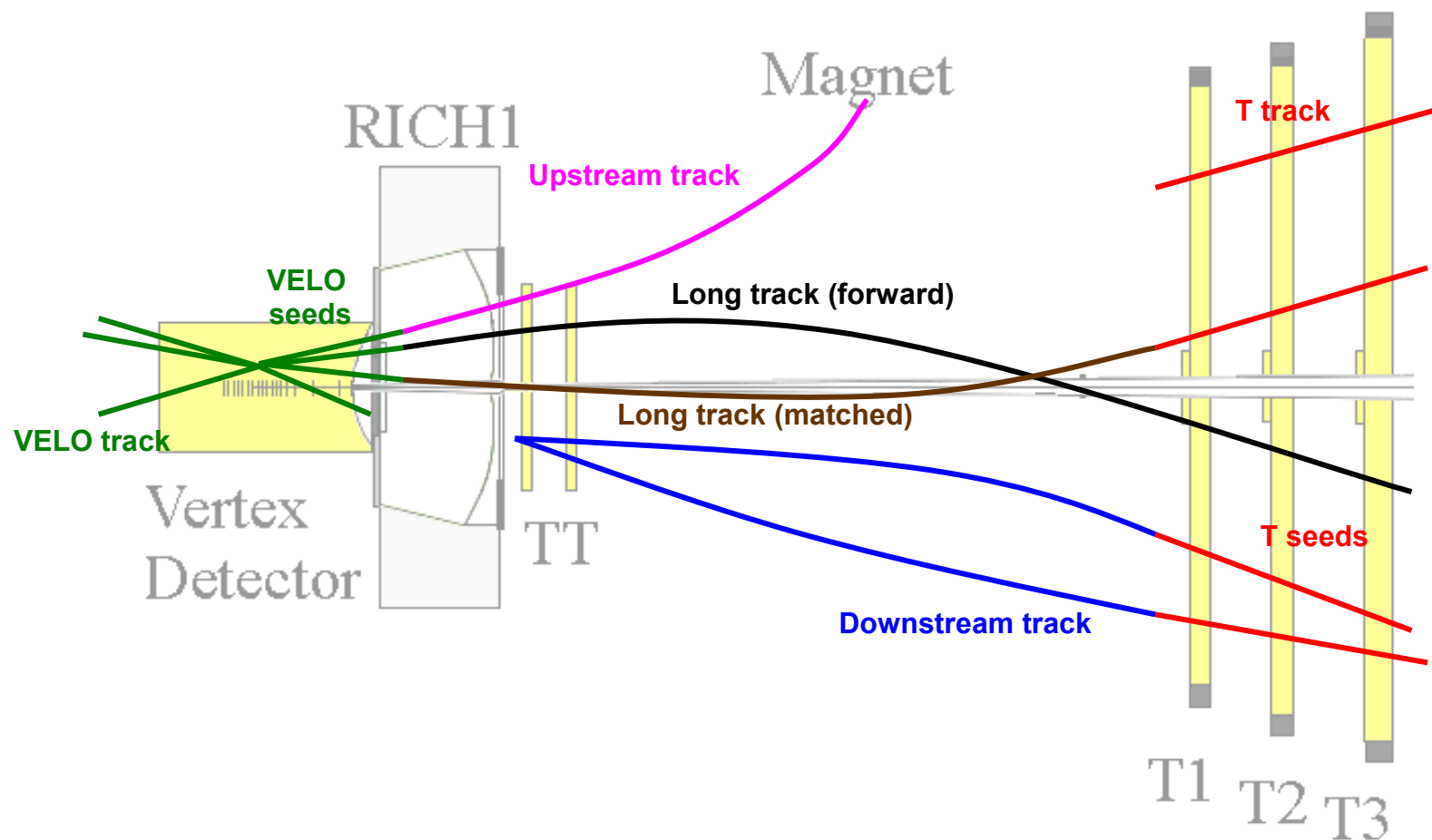
- ◆ 3 stations
- ◆ 4 double layers
- ◆ 5 mm straw tubes
- ◆ 50k readout ch.

Outer Tracker

Tracking chambers (TT, IT, OT)



Track finding strategy

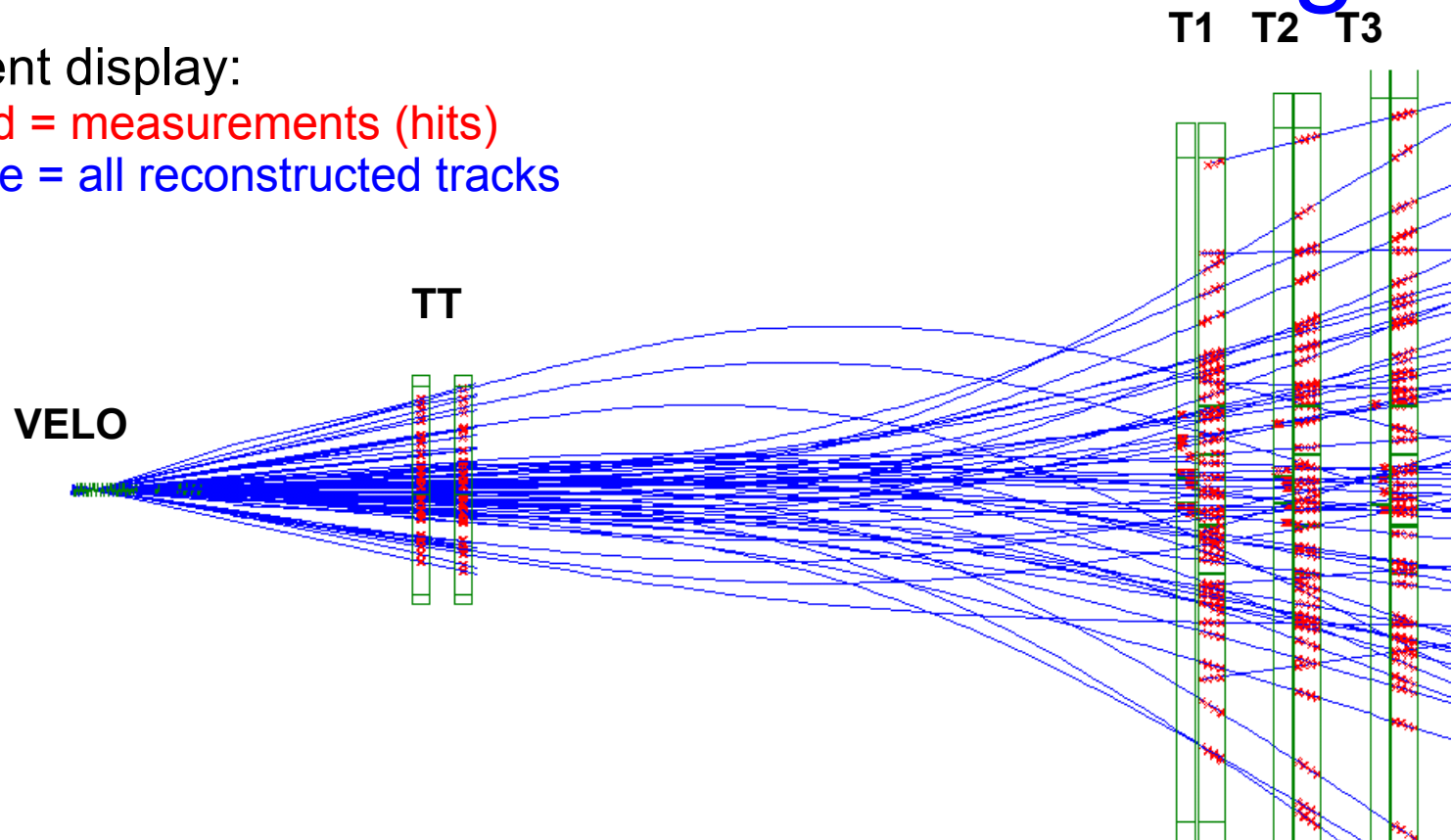


- Long tracks** ⇒ highest quality for physics (good IP & p resolution)
- Downstream tracks** ⇒ needed for efficient K_s finding (good p resolution)
- Upstream tracks** ⇒ lower p , worse p resolution, but useful for RICH1 pattern recognition
- T tracks** ⇒ useful for RICH2 pattern recognition
- VELO tracks** ⇒ useful for primary vertex reconstruction (good IP resolution)

TDR Result of track finding

Typical event display:

Red = measurements (hits)
Blue = all reconstructed tracks



Average multiplicity in bb event

26 long tracks

4 downstream tracks

11 upstream tracks

5 T tracks

26 VELO tracks

Total = 72 tracks

$\langle \delta p/p \rangle$

0.37%

0.43%

~15%

efficiency

94% for $p > 10$ GeV/c

80% for $p > 5$ GeV/c

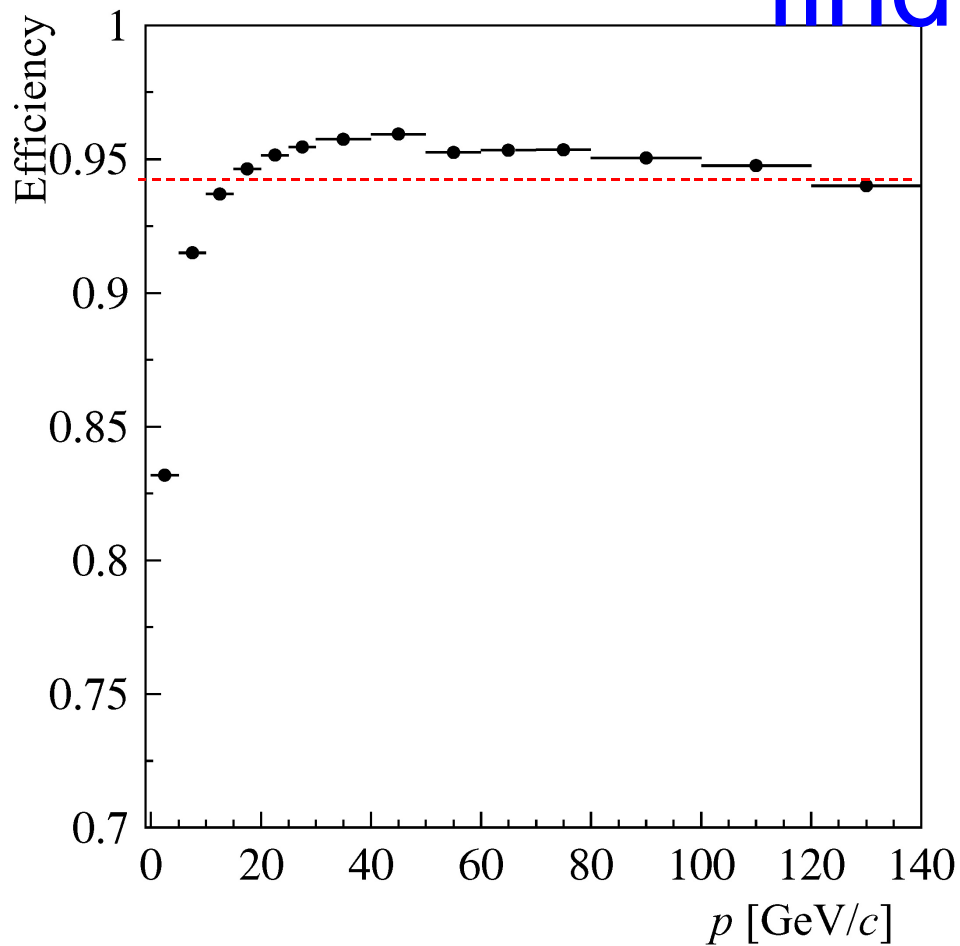
75% for $p > 1$ GeV/c

$\sigma(\text{IP})$

40 μm

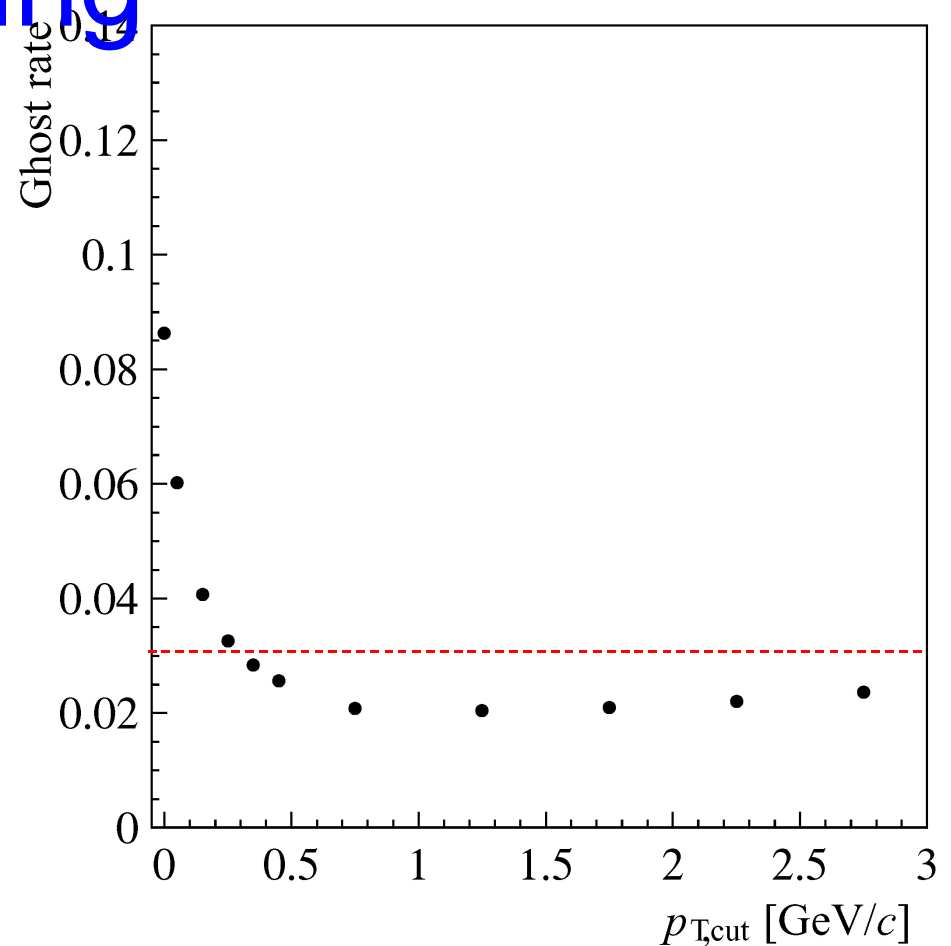
20–50 hits assigned to a long track
98.7% correctly assigned

TDR Performance of long track finding



Efficiency vs momentum p (GeV)

$\epsilon = 94\%$ for $p > 10$ GeV
(larger for tracks from B)

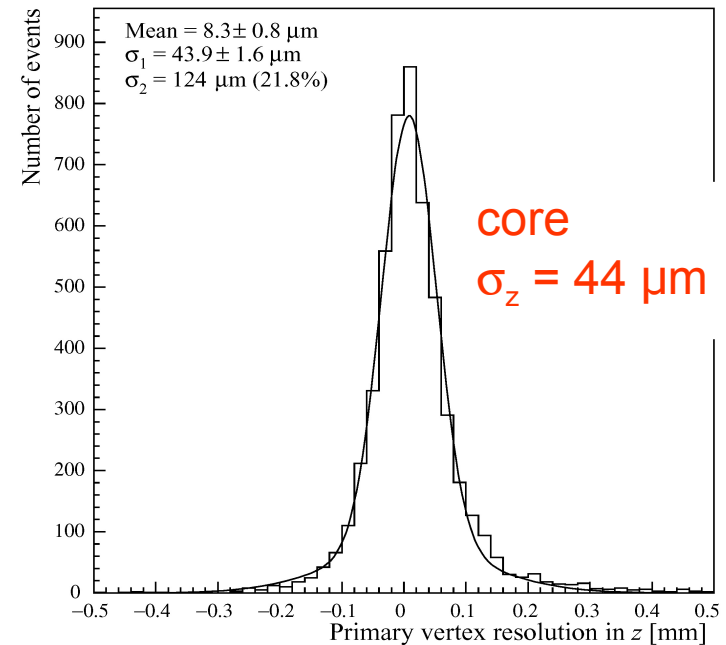
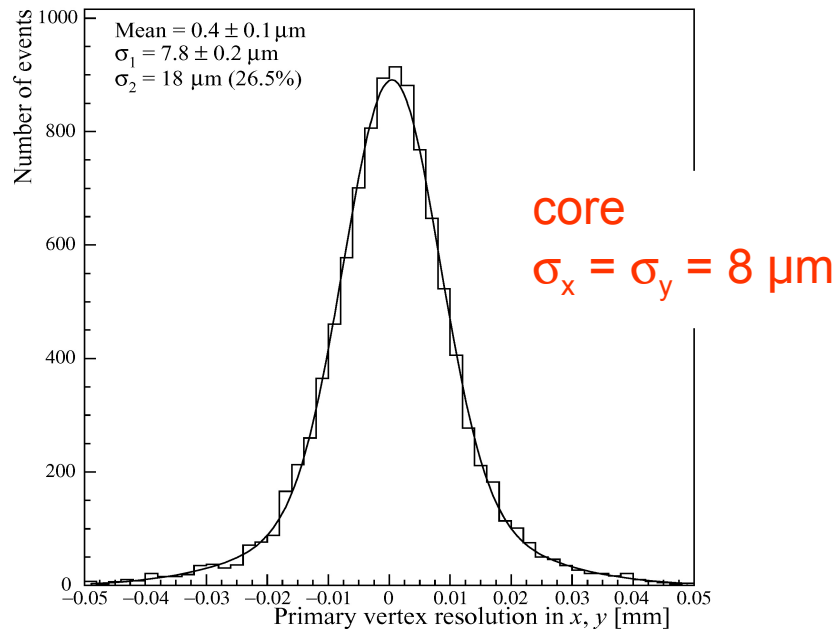


Fraction of ghost tracks vs minimum p_T cut (GeV)

3% for $p_{T,cut} = 0.3$ GeV
(B tracks have large p_T)

TDR Primary vertex reconstruction

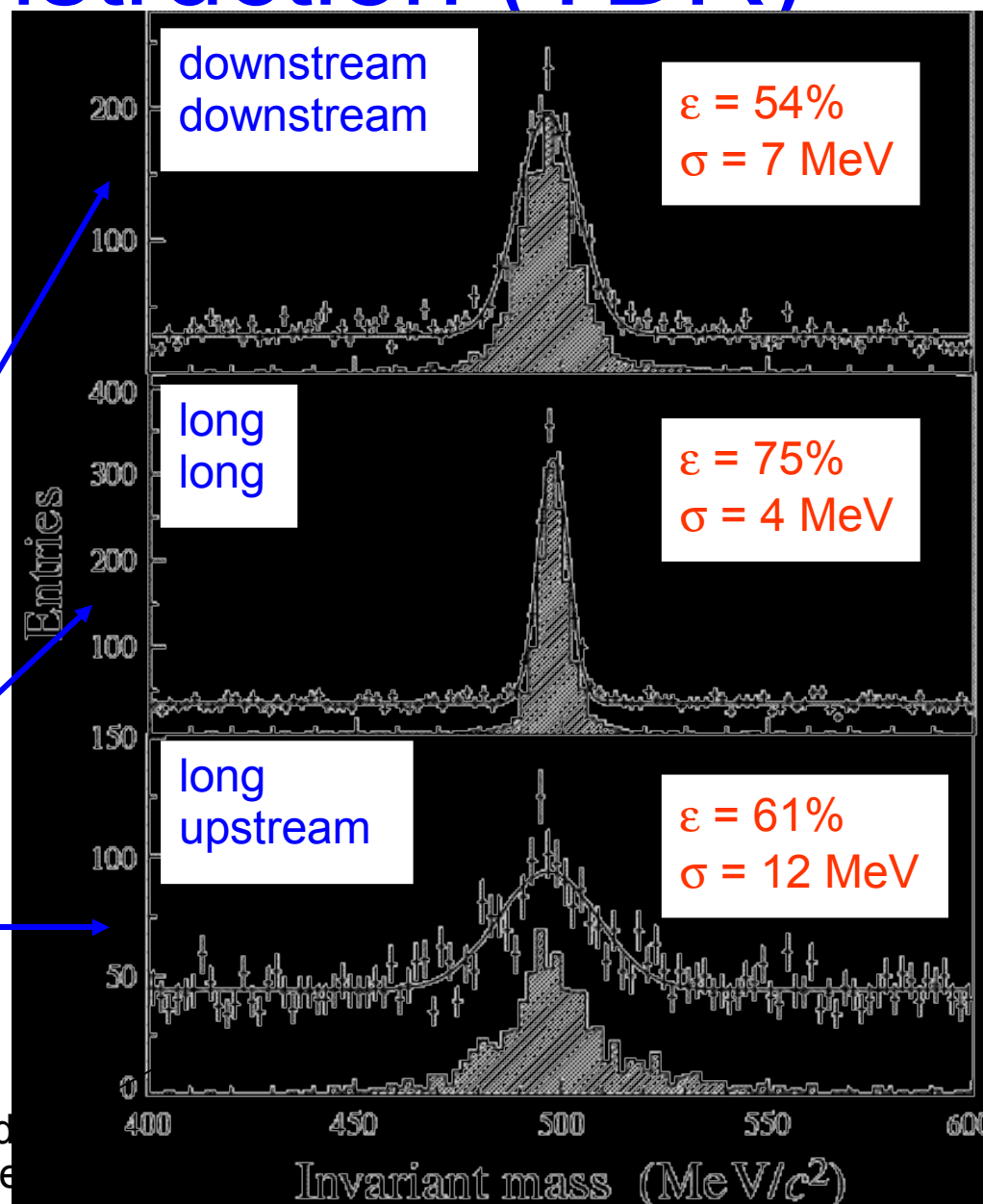
- Use long, upstream and VELO tracks
 - bb production vertex found in 98% of bb events



- Multiple vertices can be found
 - No problem choosing bb production vertex using back-pointing of reconstructed B candidates

$K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ reconstruction (TDR)

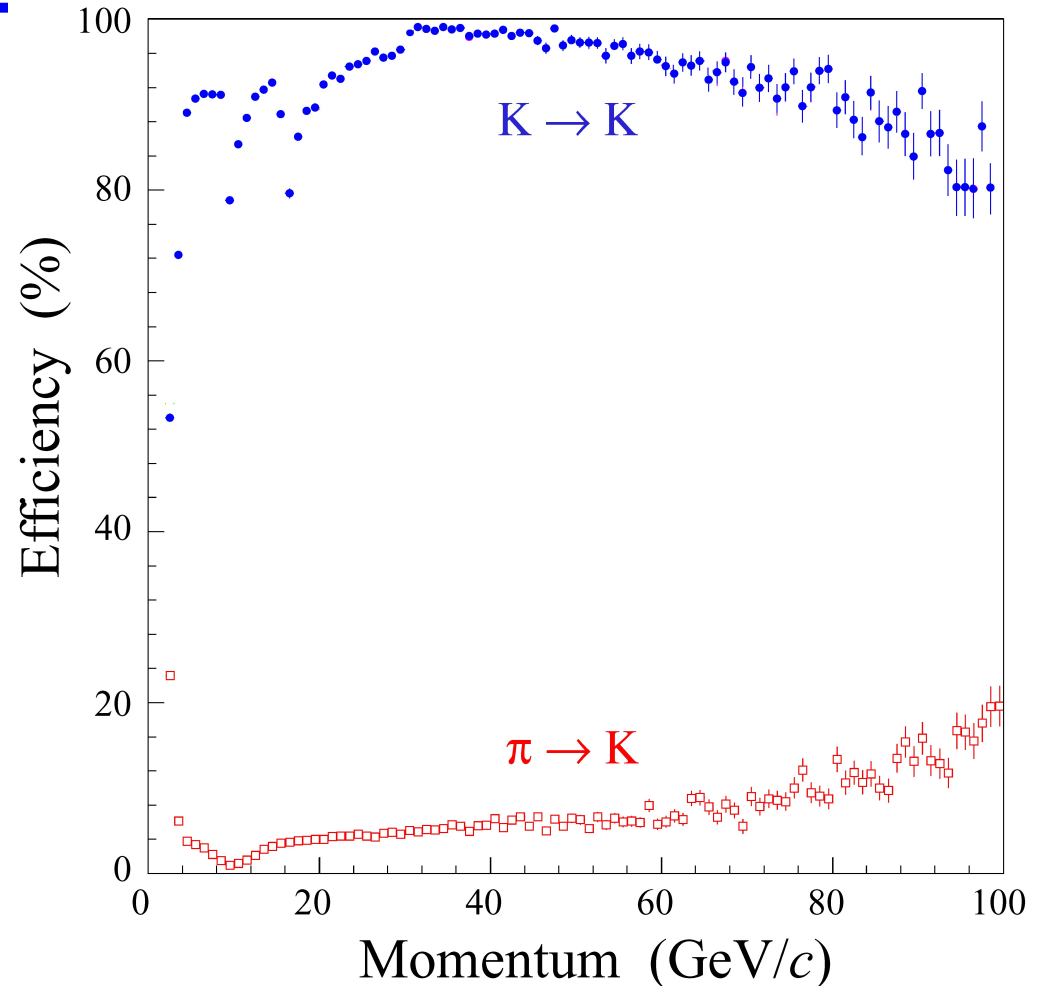
- K_S from $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$
 - 25% decay after TT
 - Not reconstructed
 - 50% decay outside VELO but before TT
 - Use pairs of downstream tracks
 - 25% decay inside VELO
 - Use long and upstream tracks



combinatorial background
 in $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$ events removed
 when K_S combined with J/ψ

Charged hadron identification (TDR)

- 2 RICHes, 3 radiators
- Full global ring pattern recognition
 - Use info from all reconstructed tracks traversing the RICHes
 - Determine for each track log-likelihood differences between two hypotheses, e.g. $\Delta \ln L_{K\pi} = \ln L(K) - \ln L(\pi)$
- Can cut on $\Delta \ln L$ values depending on analysis
- Example of performance:

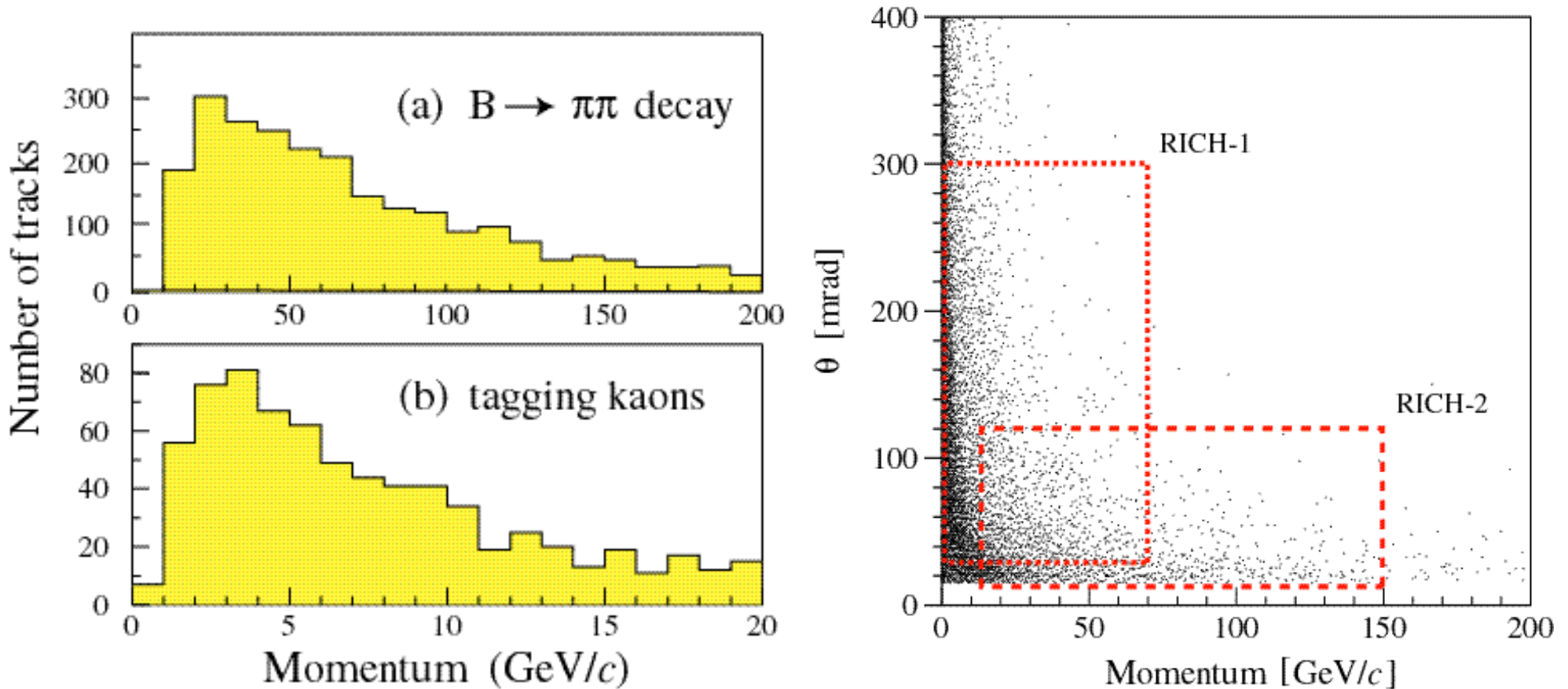


$$\begin{aligned} \varepsilon(K \rightarrow K) &= 88\%, \quad \varepsilon(\pi \rightarrow K) = 2.9\%, \quad \text{for } \Delta \ln L_{K\pi} > 2 \\ \varepsilon(K \rightarrow K) &= 85\%, \quad \varepsilon(\pi \rightarrow K) = 1.7\%, \quad \text{for } \Delta \ln L_{K\pi} > 4 \end{aligned}$$

Particle Identification with RICH

LHCb has to identify charged hadrons over a large momentum range:

- ◆ High momentum hadrons in two-body B decays
- ◆ Low momentum K for B flavour tagging (identify K from $b \rightarrow c \rightarrow s$)



⇒ RICH system divided into 2 detectors

RICH detectors

RICH1 $1 < p < 60 \text{ GeV}$

25-300 mrad

5cm aerogel; $n=1.03$

$4 \text{ m}^3 \text{ C}_4\text{F}_{10}$; $n = 1.0014$

Significant magnetic fringe field

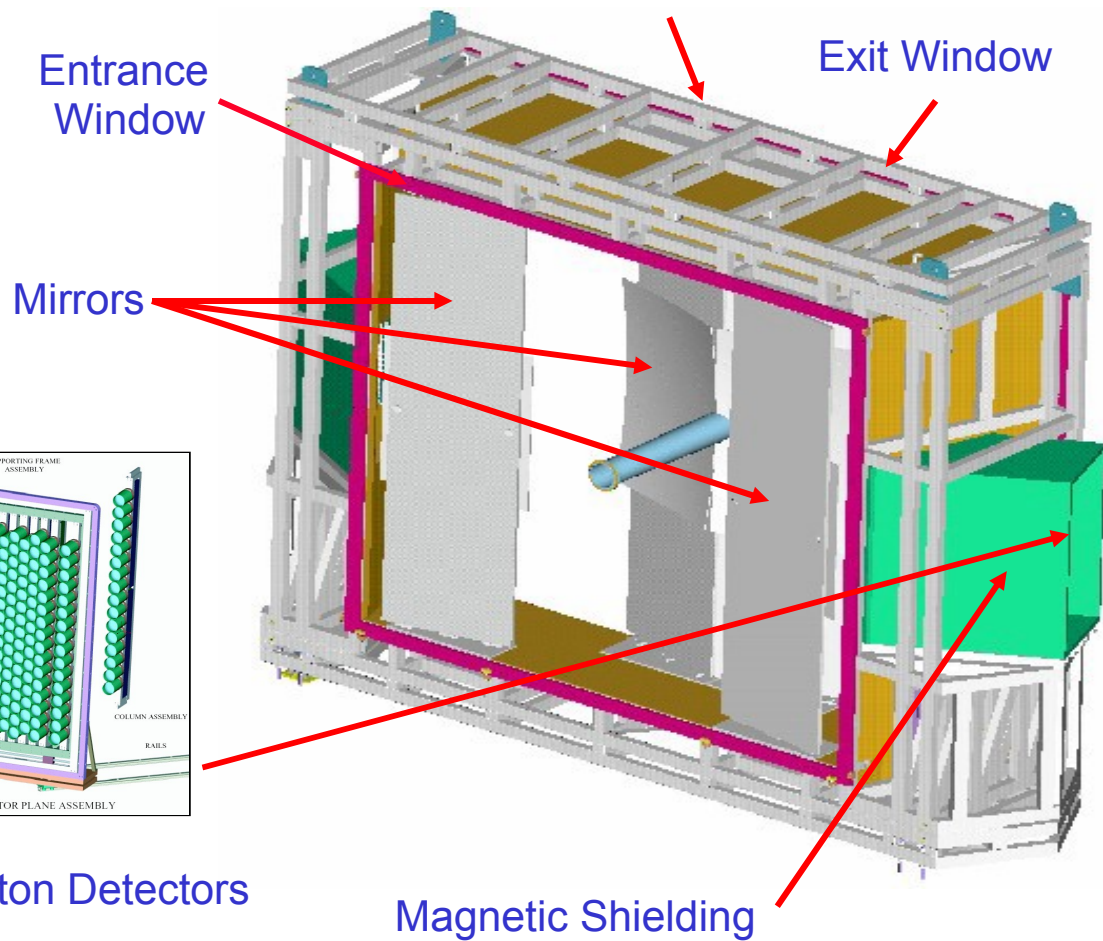
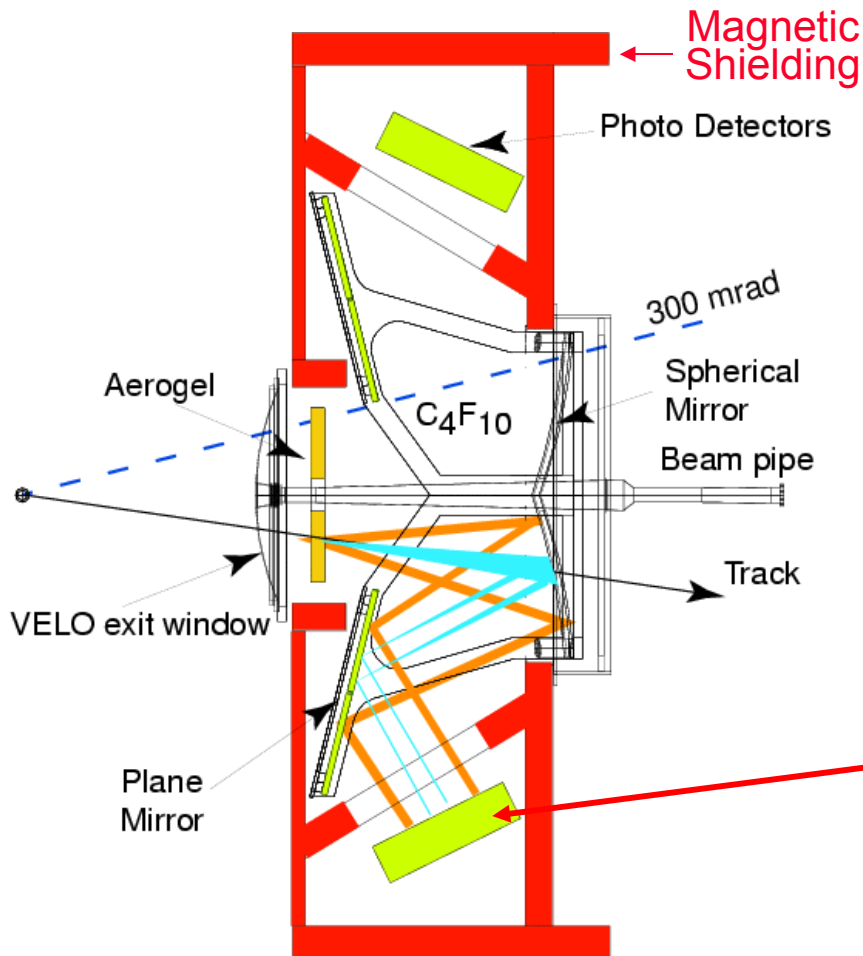
⇒ delicate shielding for the HPD

RICH2 $p < \sim 100 \text{ GeV}$

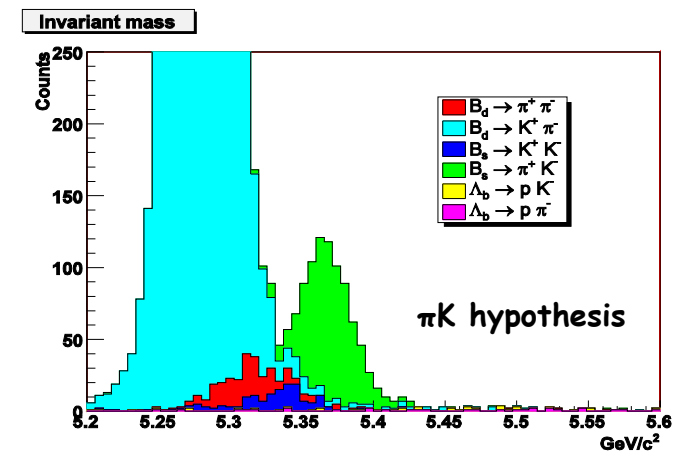
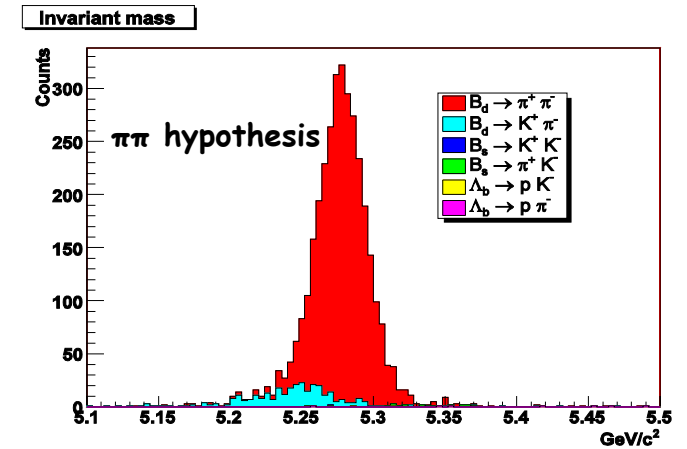
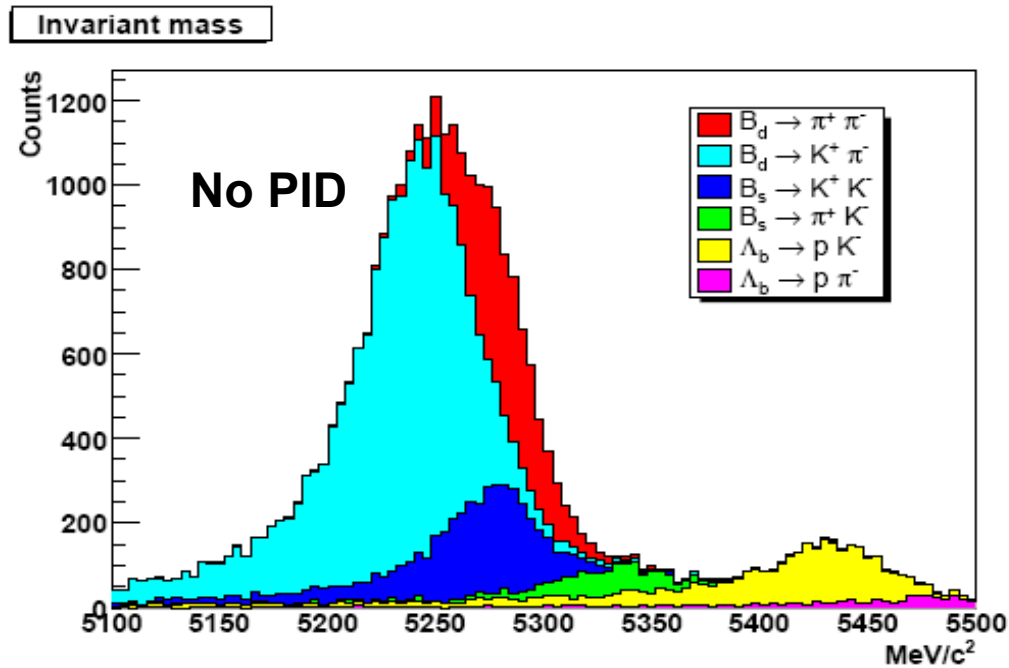
15-120 mrad

$100 \text{ m}^3 \text{ CF}_4$; $n=1.0005$

Super-Structure



Identification des particules



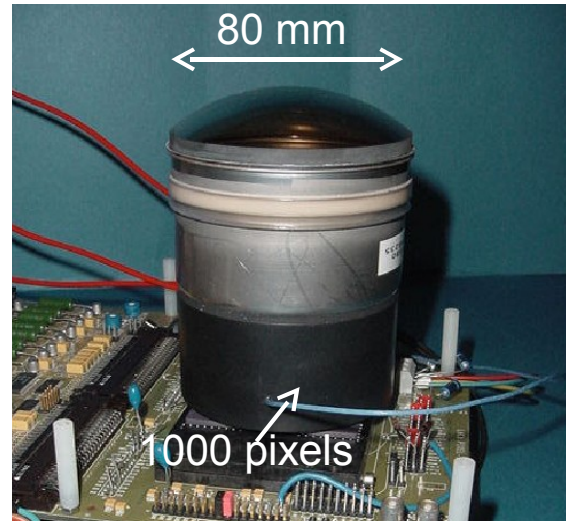
- ◆ Bonne séparation π/K sur 2-100 GeV/c
- ◆ Faible impulsion cruciale pour l'étiquetage
- ◆ Grande impulsion cruciale pour e.g. séparation des modes B2hh (gamma)
- ◆ Meilleure performance d'identification jamais obtenue à un collisionneur hadronique

RICH detectors

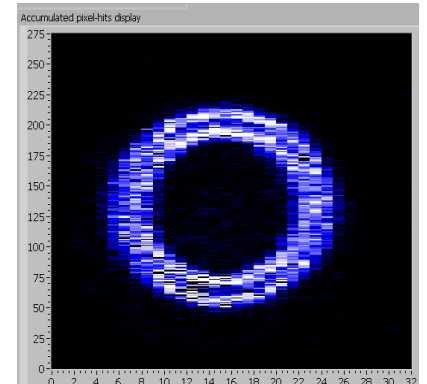
RICH2 super structure



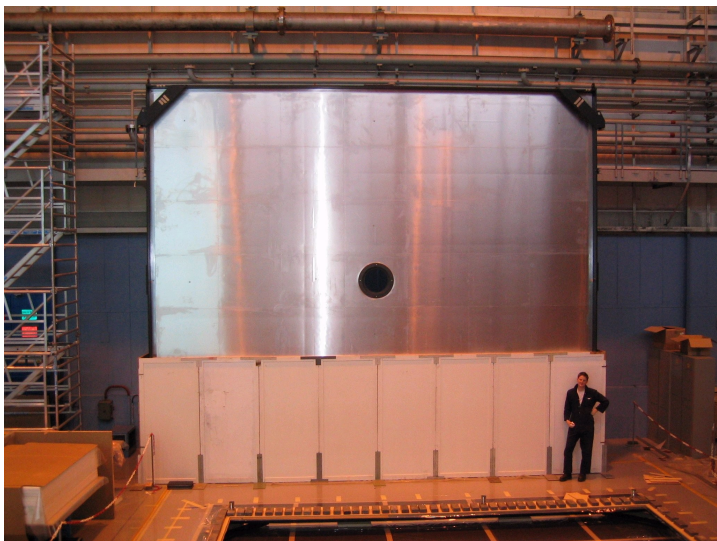
Hybrid Photodiodes



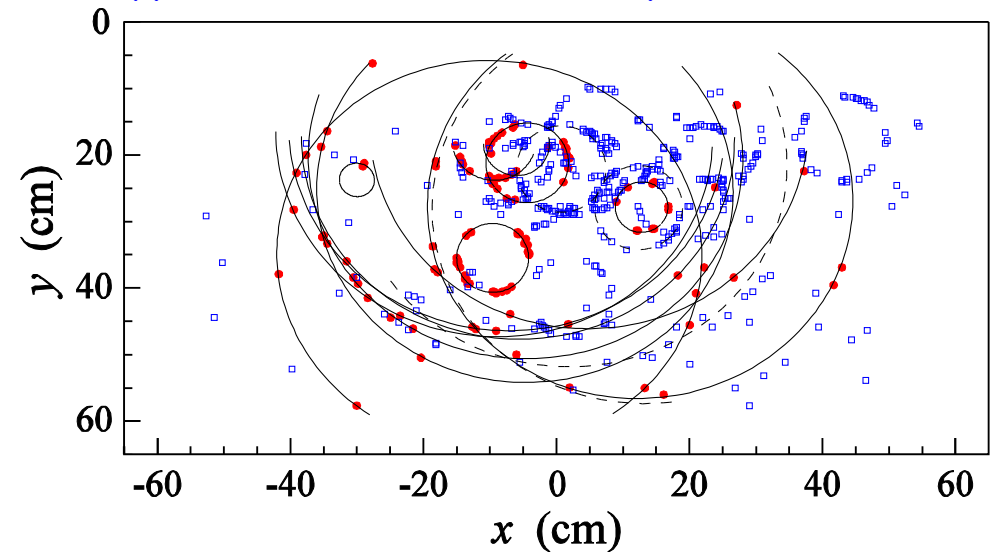
Test beam:
 $e-\pi$ separation



Exit/entrance windows

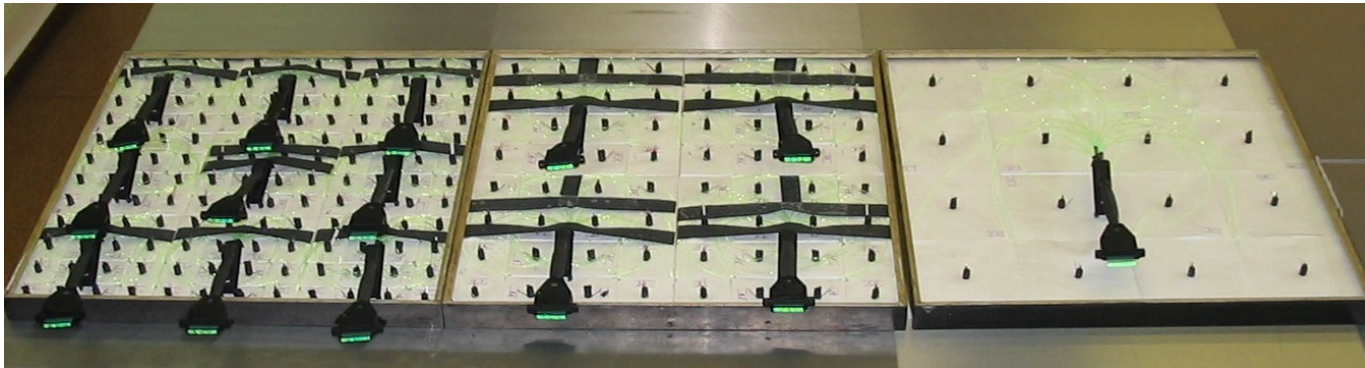


Typical event in the RICH1 photon detectors



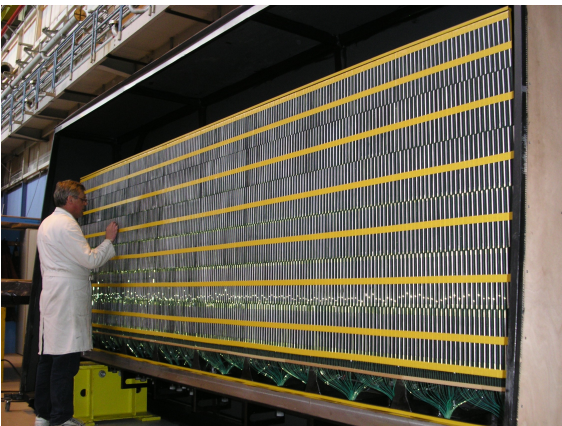
Calorimeters

- ◆ Preshower
- ◆ Pb converter sandwiched between two scintillator planes with 16k scintillating pads



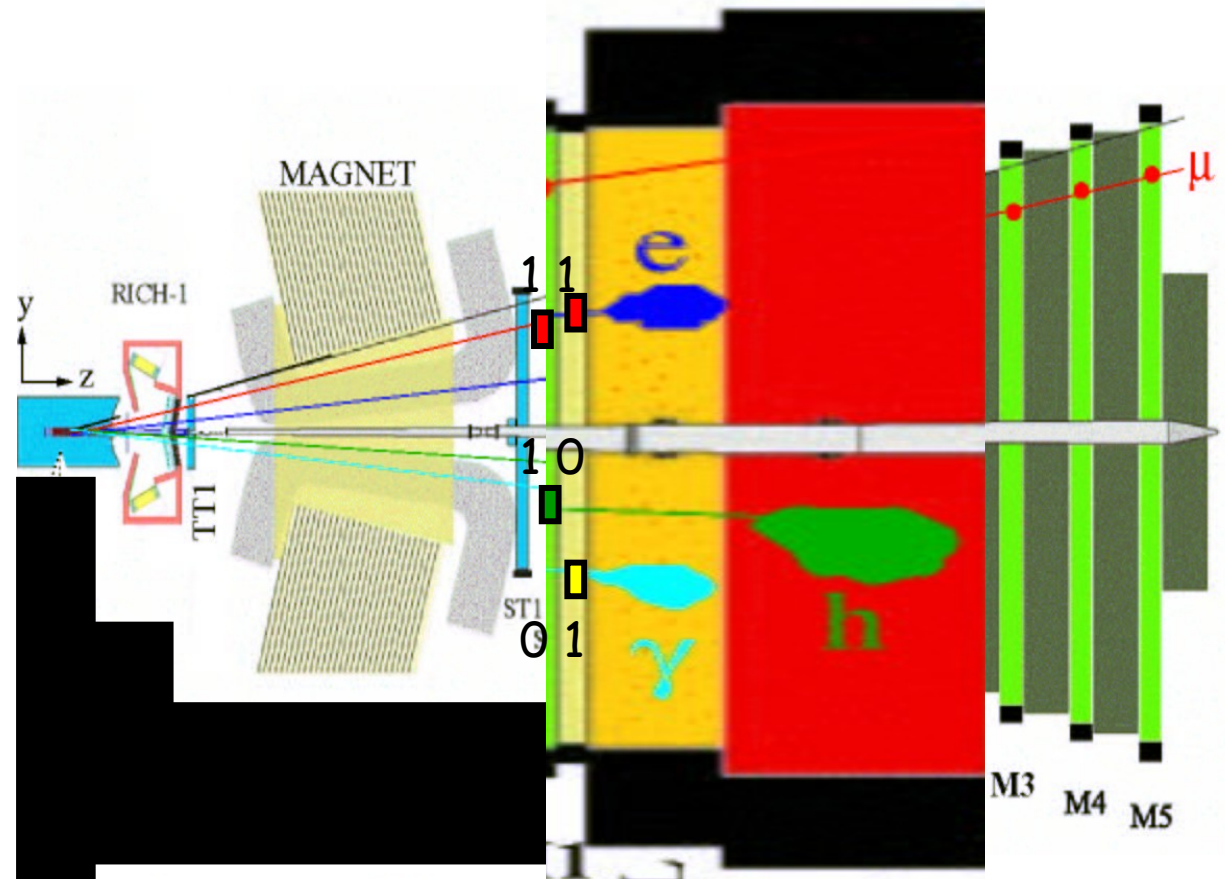
- ◆ ECAL
- ◆ "Shashlik" type modules
2mm Pb/ 4mm scintillator
- ◆ Readout via WLS fibres
- ◆ $\sigma E/E = 10\%/\sqrt{E} + 1.5\%$

Calorimeters system crucial
for
level-0 trigger:
read in less than 25 ns !



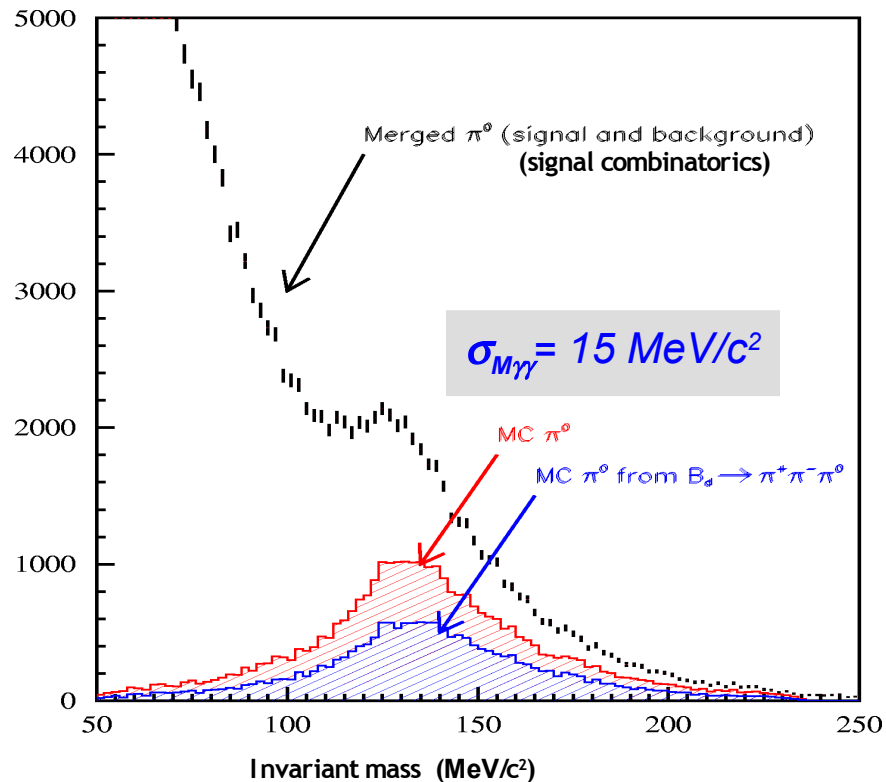
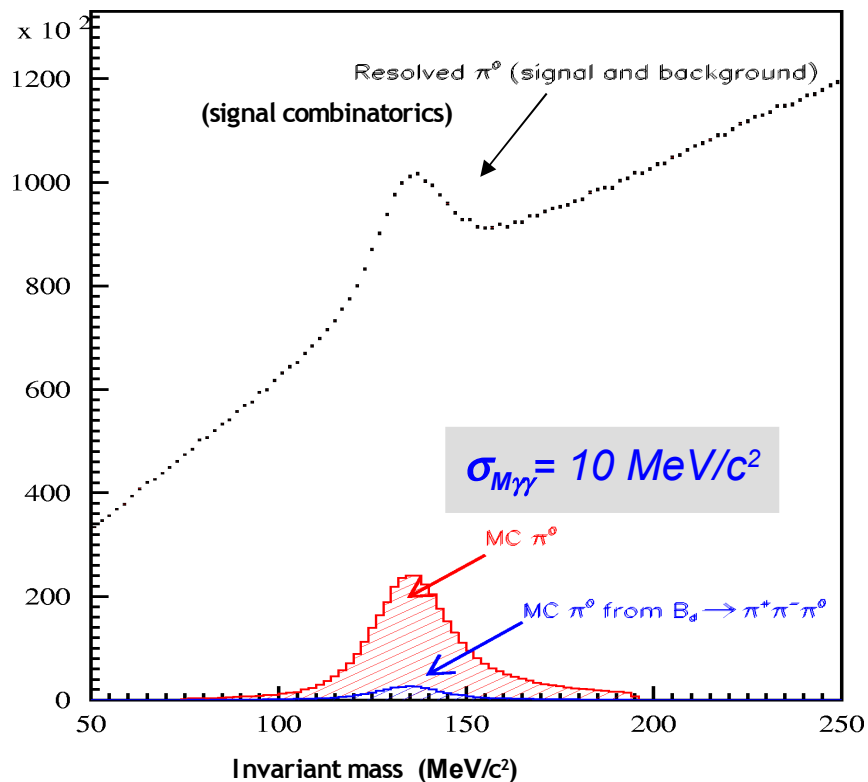
- ◆ HCAL
- ◆ 4mm scintillator/ 16mm iron
- ◆ Readout via WLS fibres
- ◆ $\sigma E/E = 75\%/\sqrt{E} + 10\%$

Calorimeters



- Spd & Prs validate the charged and EM nature of incoming particle, respectively.

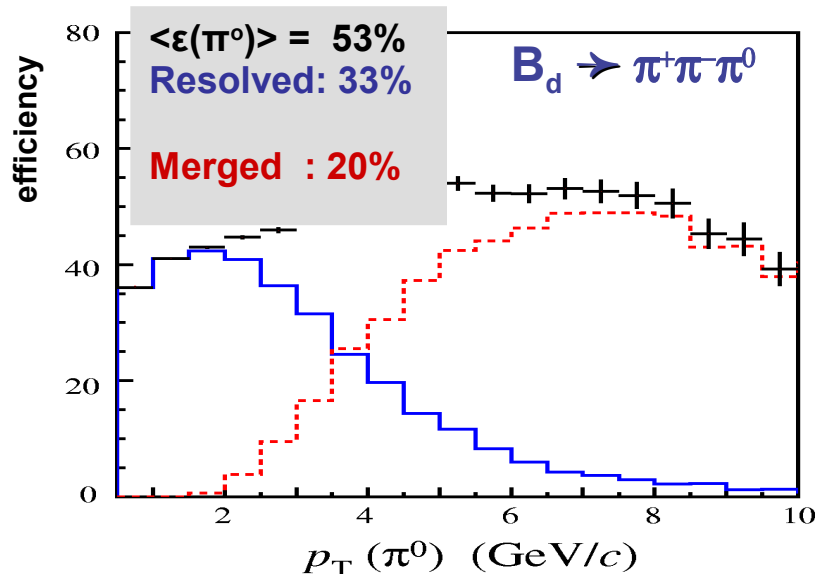
EXPERIMENTAL CHALLENGE NEUTRAL PIONS RECONSTRUCTION



γ Identification is based on calo-cluster neutrality
(anti-track matching) and kinematics

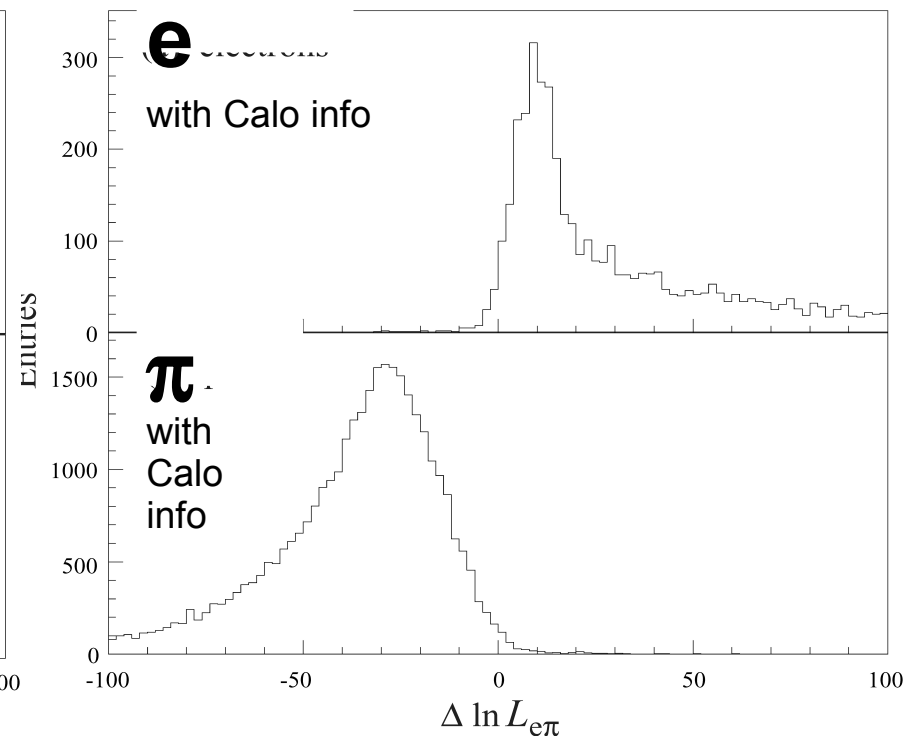
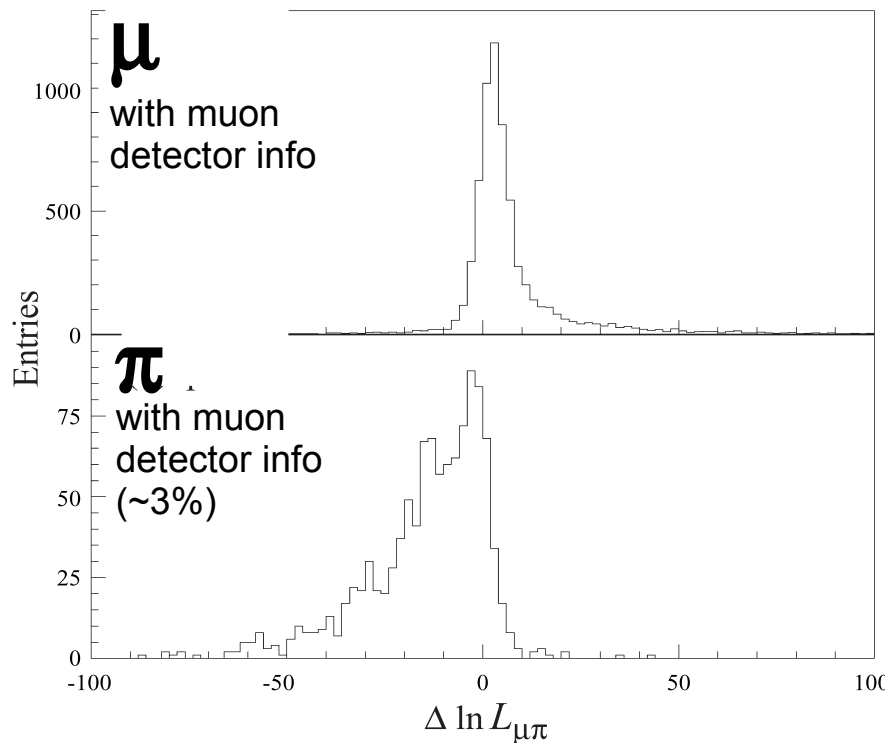
2 kinds of reconstructed π^0 's :

- Resolved $\pi^0 \rightarrow$ *Pair of isolated photons*
 - Merged $\pi^0 \rightarrow$ *Pair of photons merged within a single cluster (large P_T)*
- \Leftrightarrow *use of cluster shape*



Charged lepton identification (TDR)

- Build combined $\Delta \ln L$ variables using information from muon detector, calorimeters, and RICHes
 \Rightarrow both muon and electron ID significantly improved



$$\varepsilon(\mu \rightarrow \mu) = 93\%, \quad \varepsilon(\pi \rightarrow \mu) = 1\%$$

$$\varepsilon(e \rightarrow e) = 95\%, \quad \varepsilon(\pi \rightarrow e) = 0.7\%$$

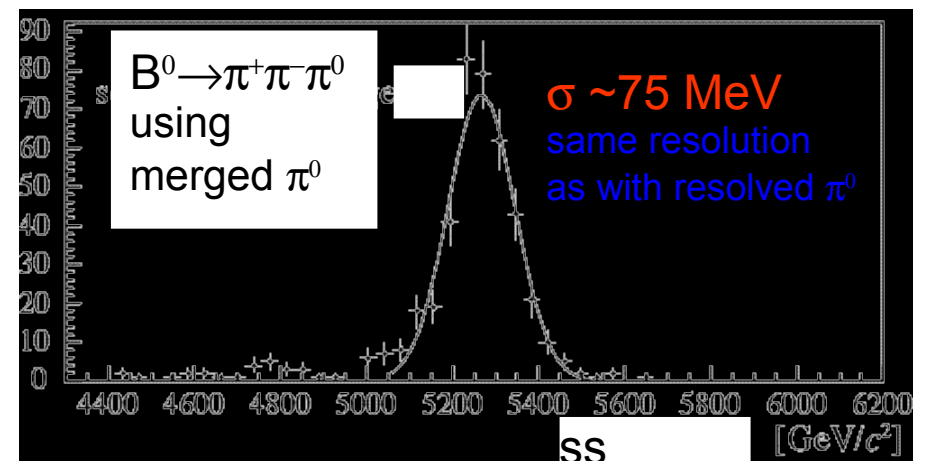
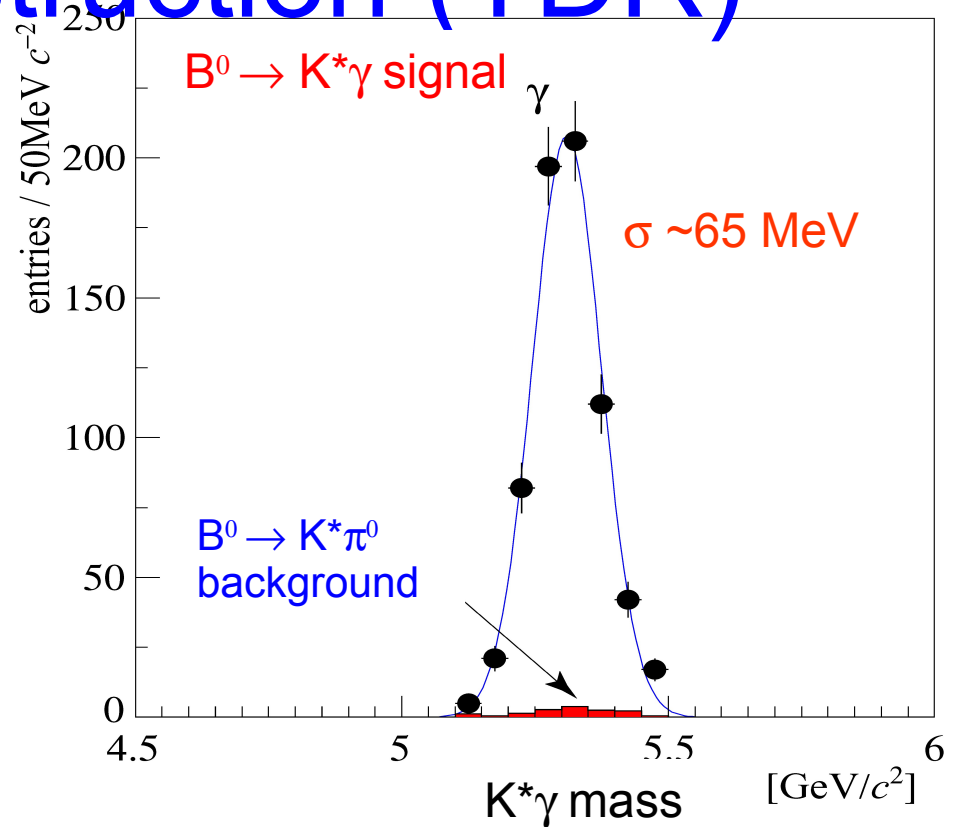
$p_\mu > 3 \text{ GeV}$ and in MUON acceptance e from $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$ in CALO acceptance

γ and π^0 reconstruction (TDR)

- ▶ γ with high E_T ($> 2-3$ GeV):
 - easy to trigger
 - used to reconstruct radiative B decays such as $B^0 \rightarrow K^* \gamma$ and $B_s \rightarrow \phi \gamma$
 - γ pairs from hard π^0 can “merge” and be reconstructed as single γ

- ▶ Resolved π^0 (2 γ clusters):
 - $\sigma(m_{\gamma\gamma}) \sim 10$ MeV

- ▶ Merged π^0 (single cluster):
 - core $\sigma(m) \sim 15$ MeV
 - Larger $p_T(\pi^0)$ → less comb. bkg.

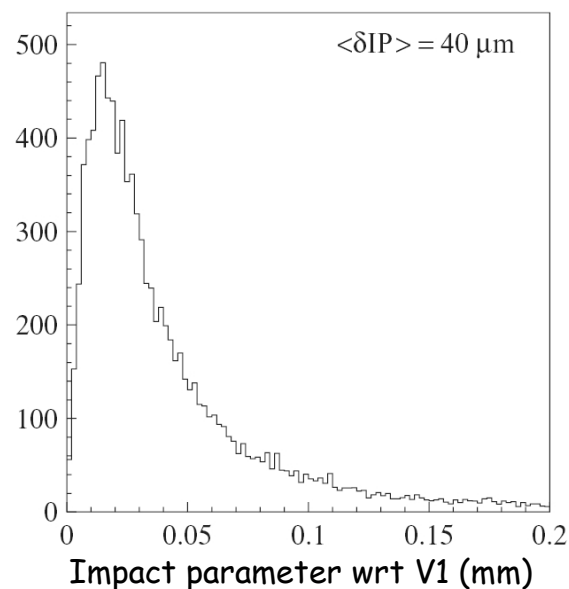
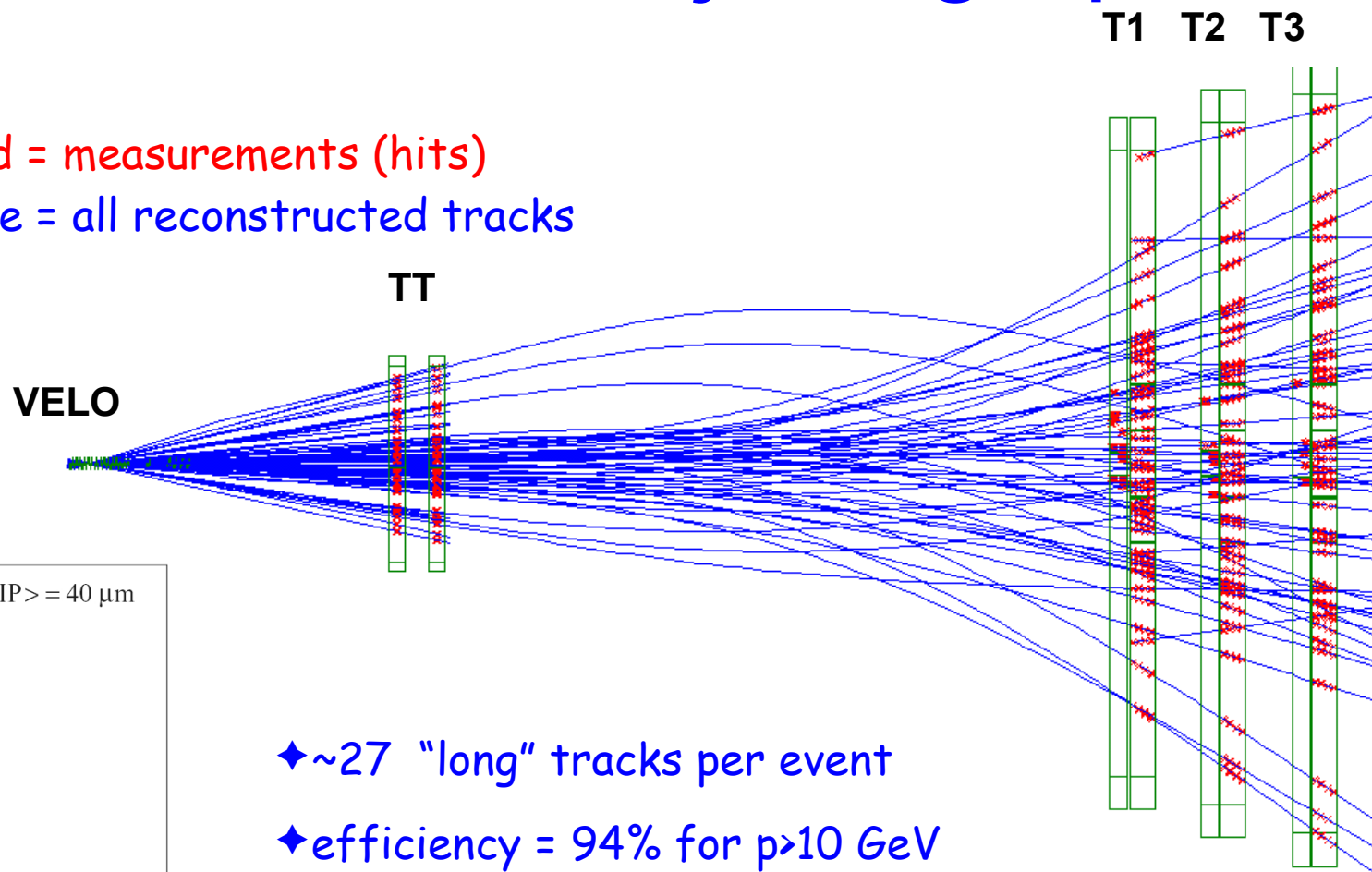


Performance du trajectographe

bb event:

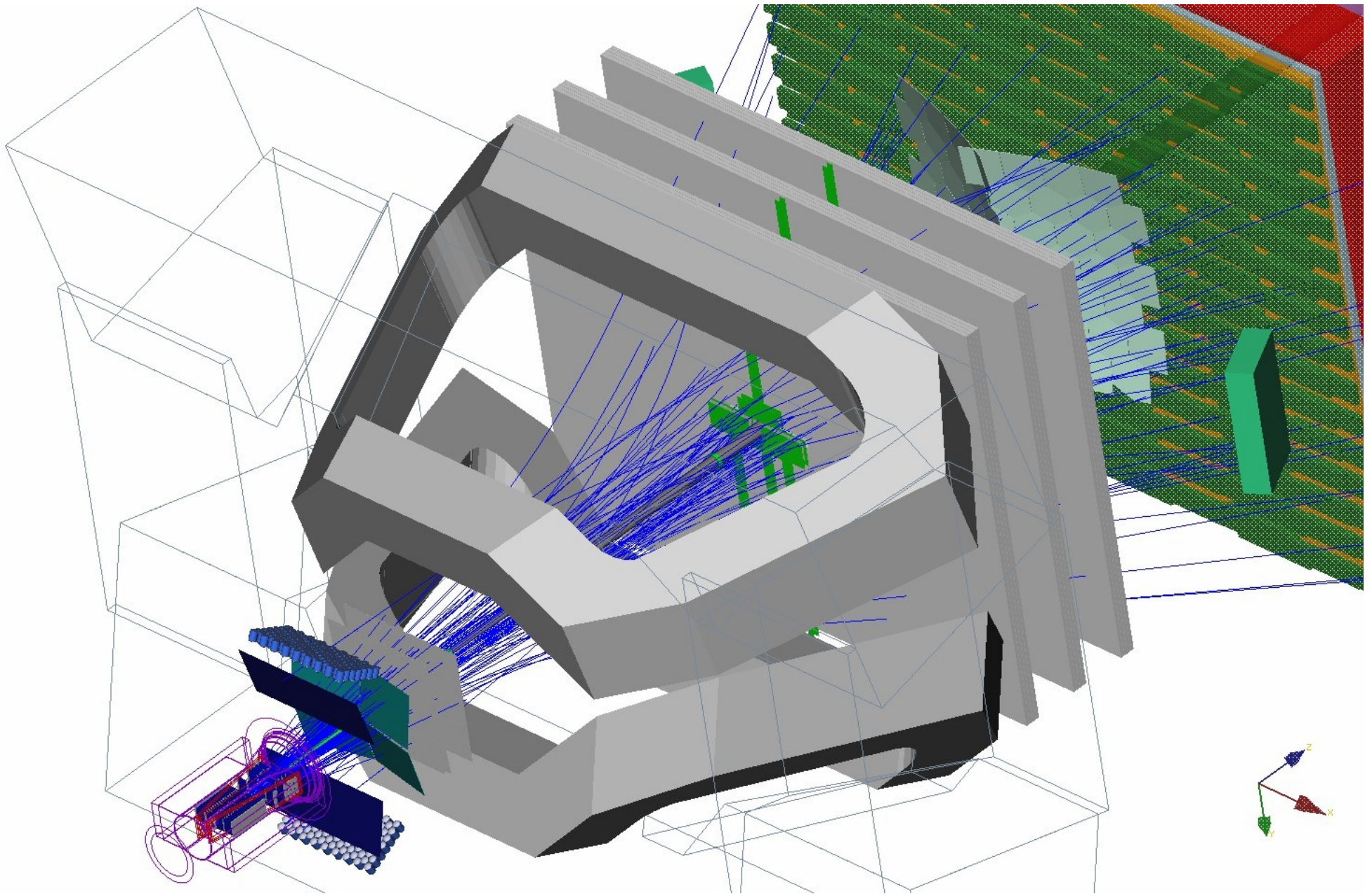
Red = measurements (hits)

Blue = all reconstructed tracks

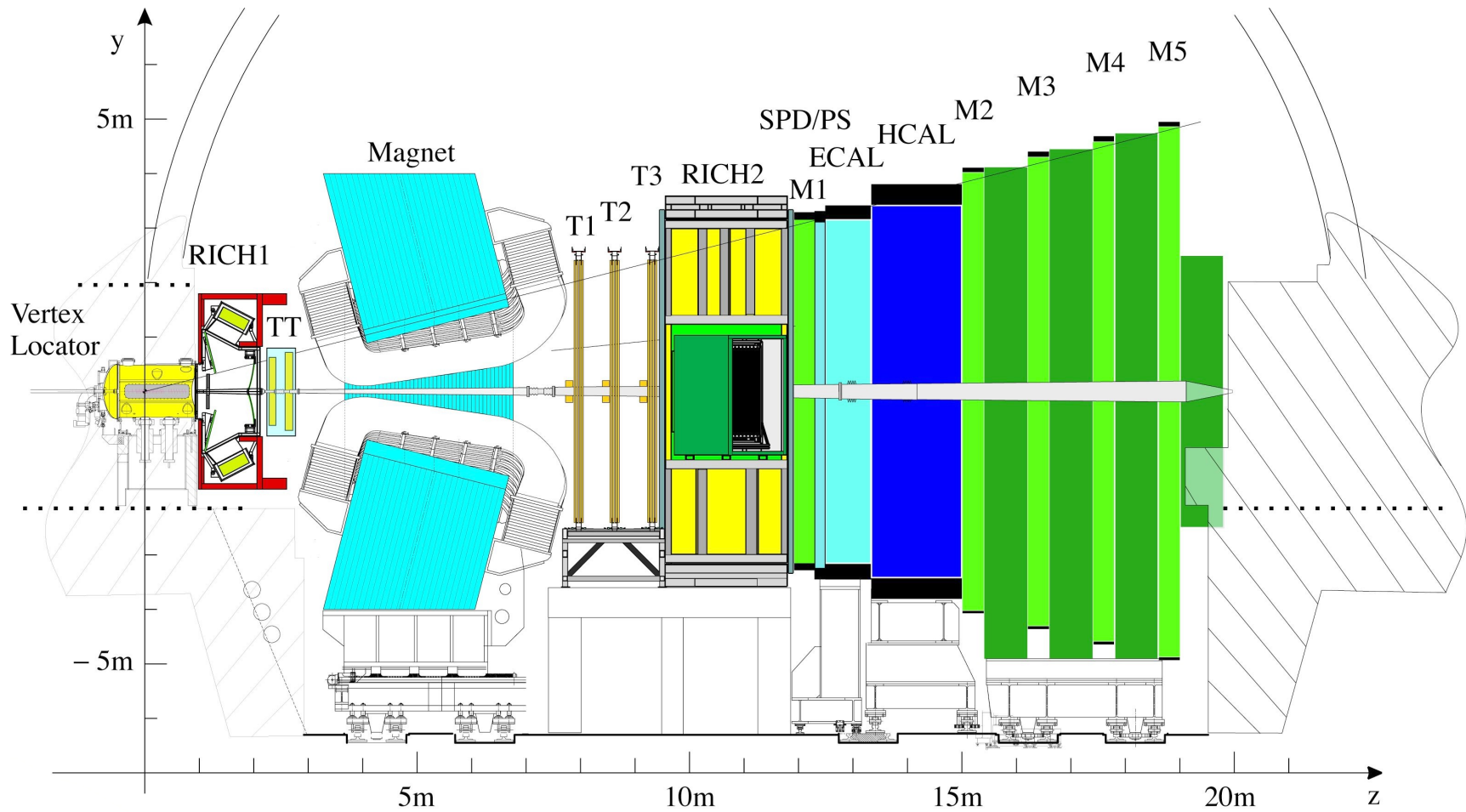


- ◆ ~27 "long" tracks per event
- ◆ efficiency = 94% for $p > 10 \text{ GeV}$
- ◆ $\delta p/p = 0.35\text{-}0.55\%$
- ◆ δIP peaks at $20 \mu m$, $\langle \delta IP \rangle = 40 \mu m$

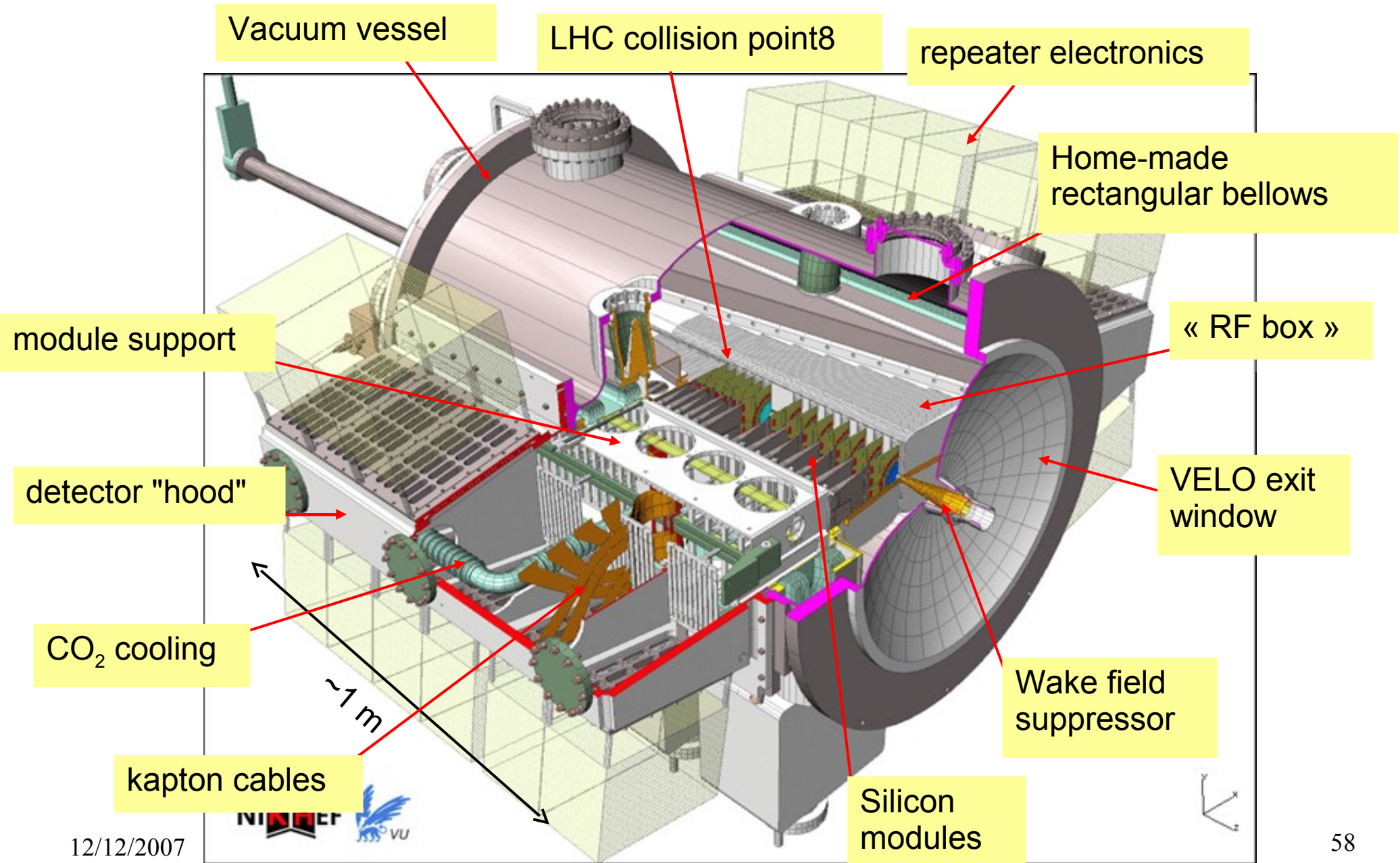
Introduction



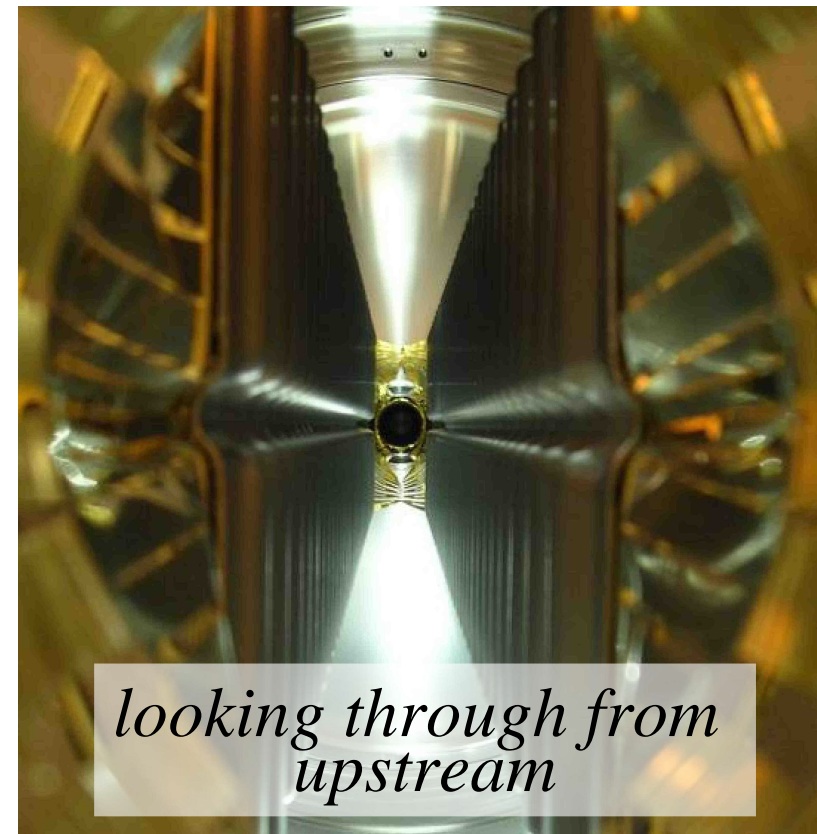
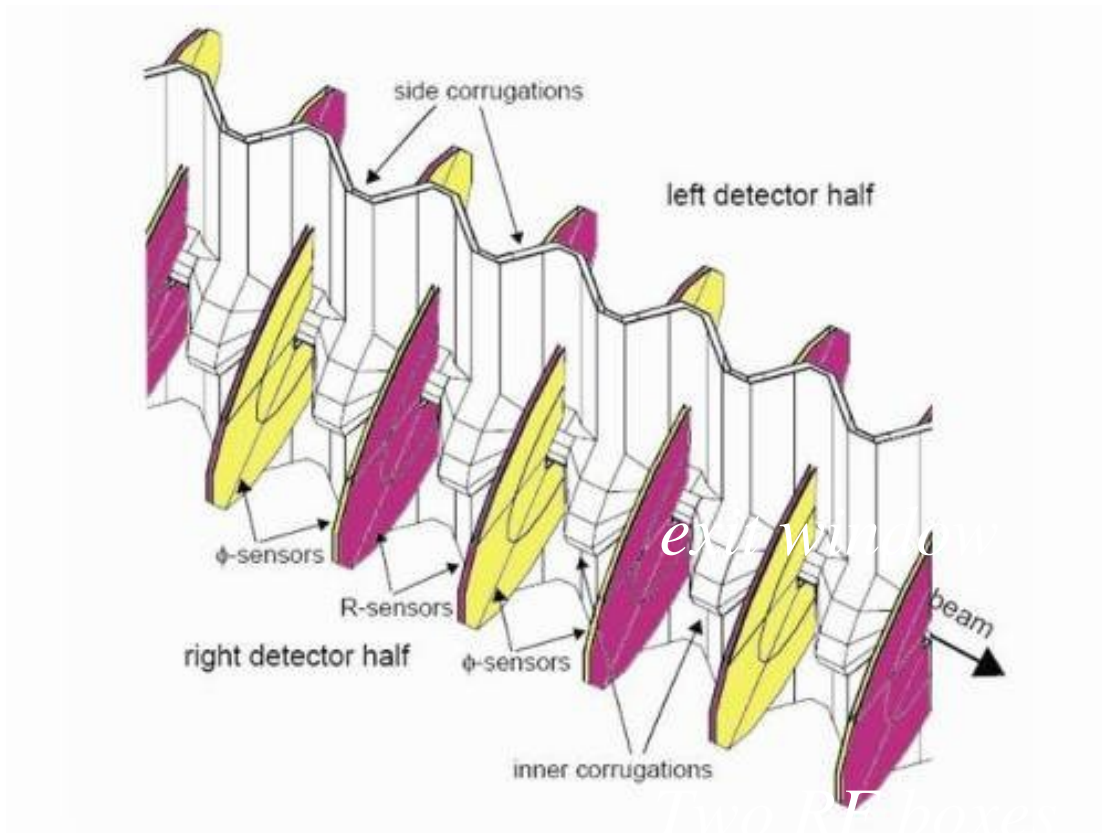
Introduction



Velo overview



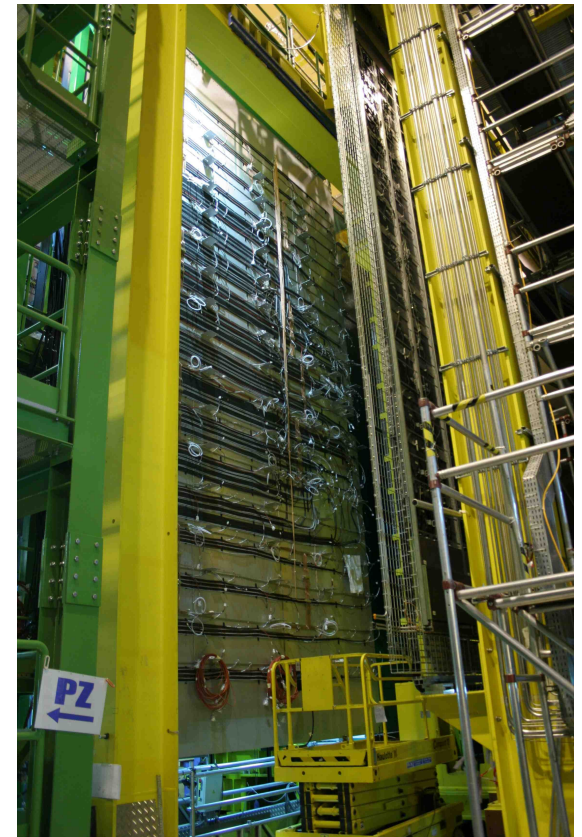
Velo overview



Chambres à muons



C-side M2 station completed



A-side M2 wall

Calo



12/12/2007

S. POSS JRJC 2007

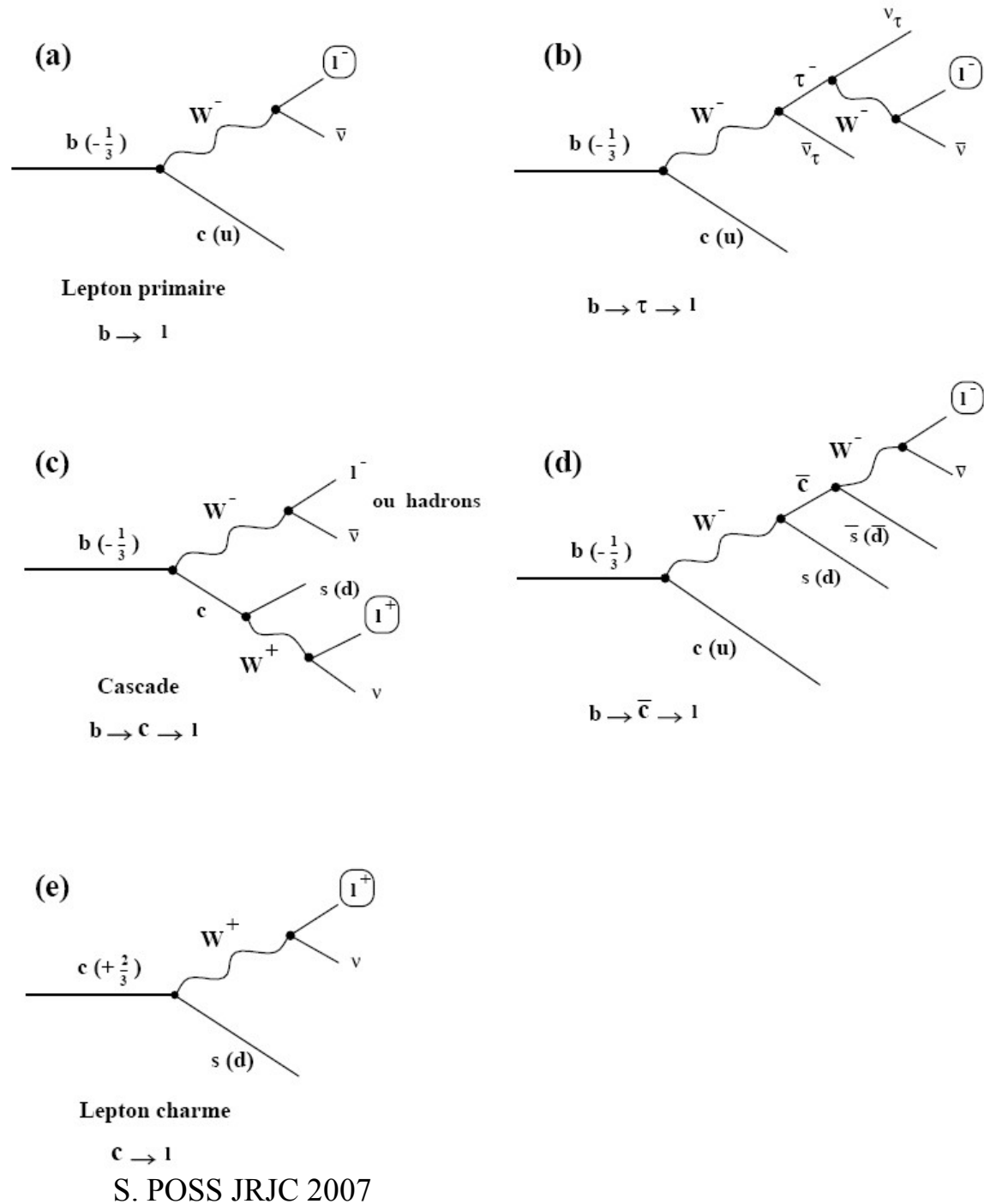
ECAL:

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{10\%}{\sqrt{E}} \oplus 1\%$$

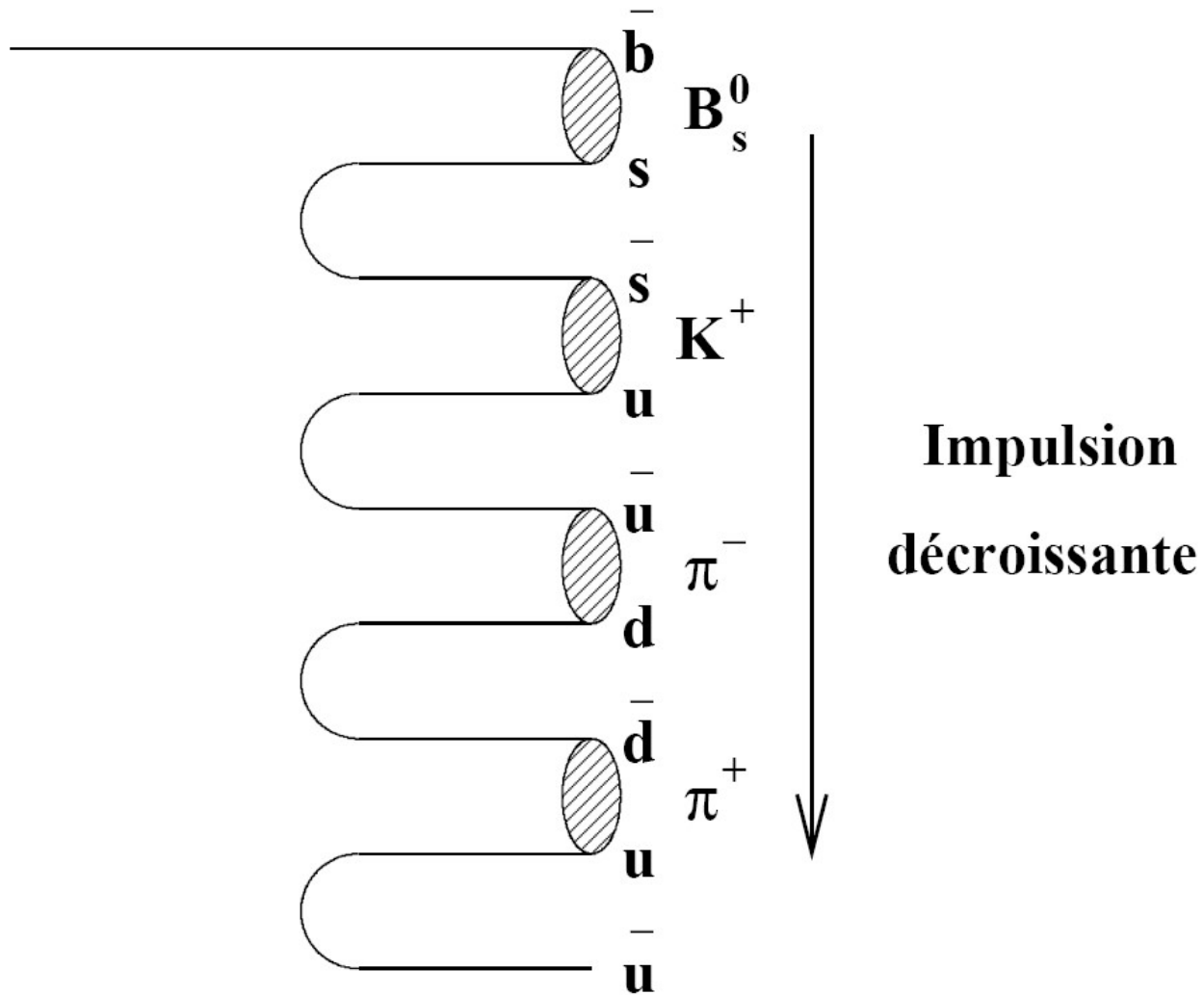
HCAL:

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{80\%}{\sqrt{E}} \oplus 10\%$$

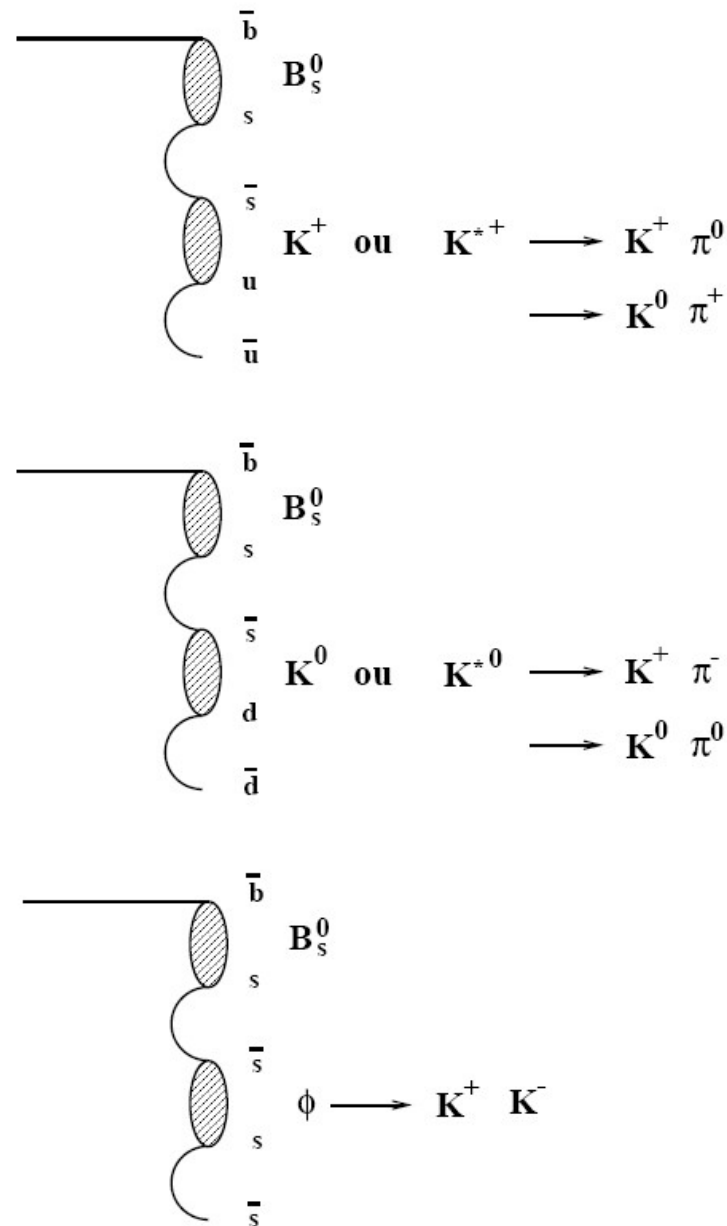
Différentes sources de leptons



Hadronisation d'un quark b avec distribution de charge des particules produites

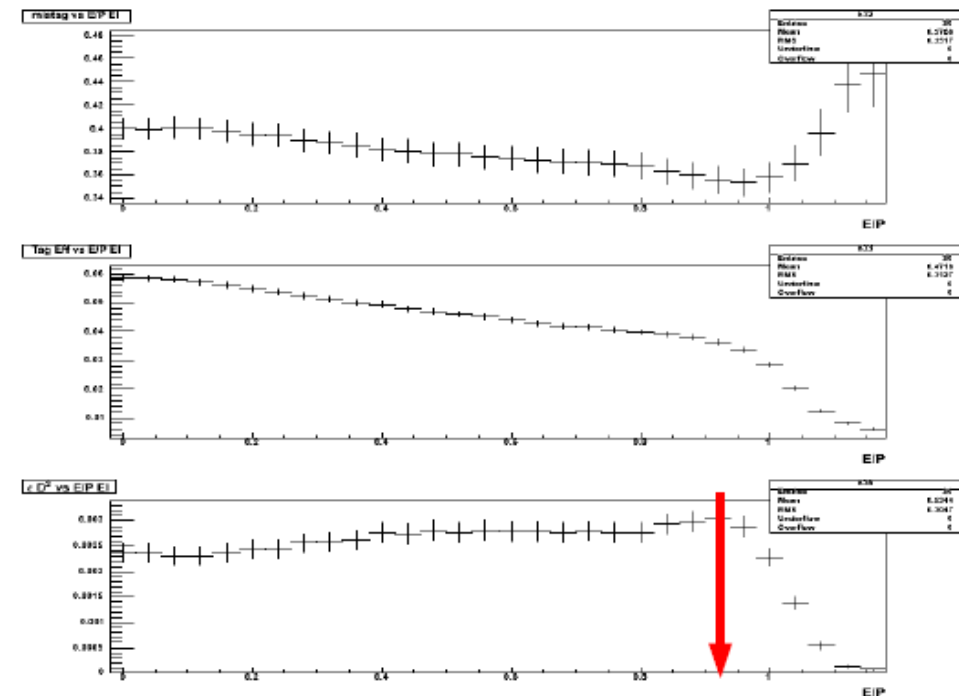
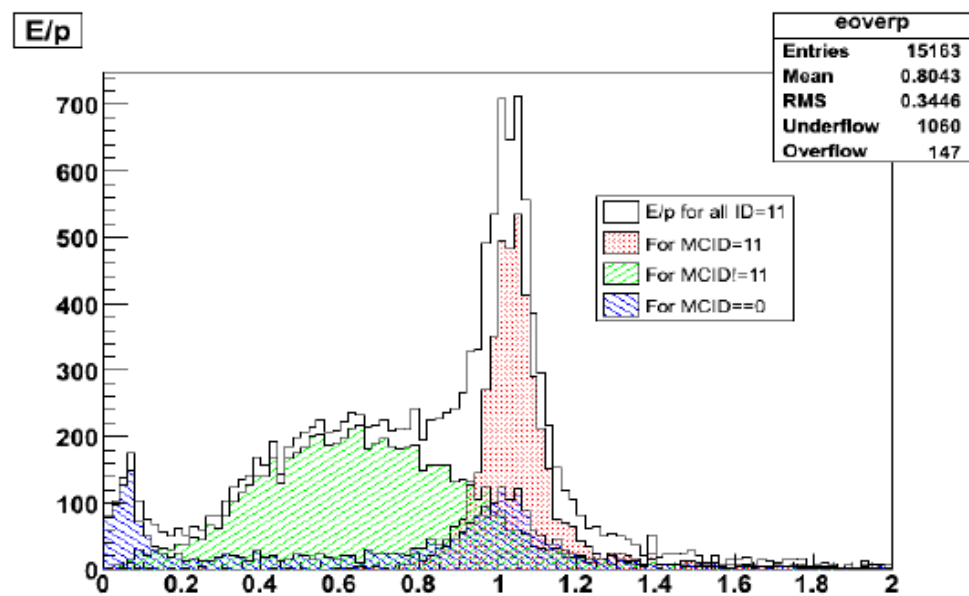


Corrélations de charge entre B_s et traces de fragmentations



Électron

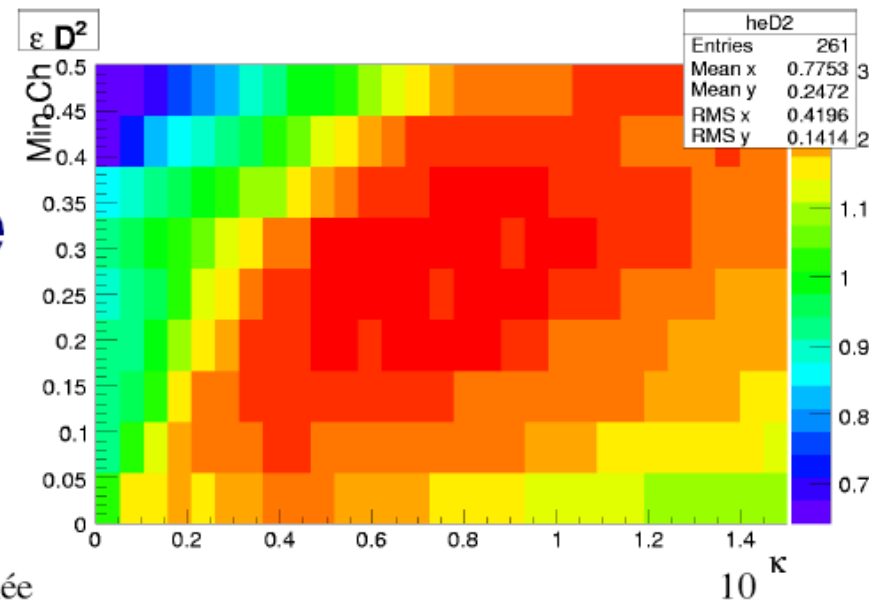
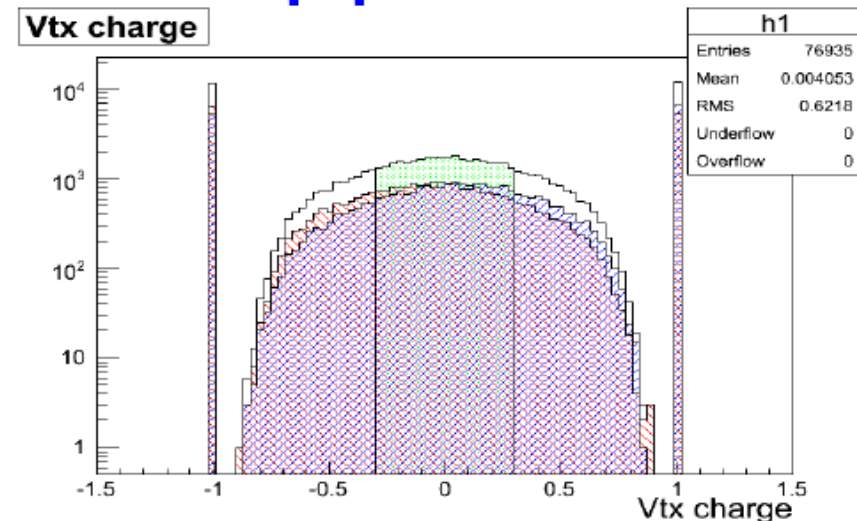
- Optimisation de la sélection des électrons
 - Coupures sur le PID (RICH, CALO), l'impulsion, l'impulsion transverse, la qualité de la trace, le dépôt d'énergie dans le détecteur de vertex et E/p (issu du calorimètre)



Valeur des coupures incluses dans le code officiel

Vertex Inclusif du côté opposé

- Définition :
$$Q_{vtx} = \frac{\sum_i p_{Ti}^{\kappa} Q_i}{\sum_i p_{Ti}^{\kappa}}$$
- Reconstruction d'un vertex inclusif par maximum de vraisemblance
- Optimization de κ et coupure centrale
- Utilisation inclusive ou exclusive selon les autres taggers disponibles
- Inclu dans le code officiel







Control channels

- **Idea:** accumulate high statistics in flavour-specific modes
- ω can be extracted by:
 - **B^\pm :** just comparing tagging with observed flavour
 - **B_d and B_s :** fitting known oscillation

	Channel	Yield/ 2 fb^{-1}	$\delta\omega / \omega$ (2fb^{-1})
Similar to signal	$B^+ \rightarrow J/\psi(\mu\mu)K^+$	1.7 M	0.4%
	$B^+ \rightarrow D^0\pi^+$	0.7 M	0.6%
	$B^0 \rightarrow J/\psi(\mu\mu)K^{*0}$	0.7 M	0.6%
	$B_s \rightarrow D_s^+ \pi^-$	0.12 M	2%
Semi-leptonics	$B_d^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu$	9 M	0.16%
	$B^+ \rightarrow D^{0(*)} \mu^+ \nu$	3.5 M	0.3%
	$B_s \rightarrow D_s^{(*)} \mu^+ \nu$	2 M	1%

$B/S \sim 0.2-0.8$

B physics at LHC: (dis)advantages

	$e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow BB$ PEPII, KEKB	$pp \rightarrow bbX$ ($\sqrt{s} = 14$ TeV, $\Delta t_{\text{bunch}} = 25$ ns) LHC (LHCb-ATLAS/CMS)	
Production σ_{bb}	1 nb	$\sim 500 \mu\text{b}$	
Typical bb rate	10 Hz	100-1000 kHz	
bb purity	$\sim 1/4$	$\sigma_{bb}/\sigma_{\text{inel}} = 0.6\%$ Trigger is a major issue !	
Pileup	0	0.5-5	
b-hadron types	B^+B^- (50%) $B^0\bar{B}^0$ (50%)	B^+ (40%), B^0 (40%), B_s (10%) B_c ($< 0.1\%$), b-baryons (10%)	
b-hadron boost	Small	Large (decay vertexes well separated)	
Production vertex	Not reconstructed	Reconstructed (many tracks)	
Neutral B mixing	Coherent $B^0\bar{B}^0$ pair mixing	Incoherent B^0 and B_s mixing (extra flavour-tagging dilution)	
Event structure	BB pair alone	Many particles not associated with the two b hadrons	

The LHC environment

	B factories	Tevatron	LHC
Prod. σ_{bb}	1 nb	100 μb	500 μb
bb rate	10 Hz	0.3 Hz	100 KHz
Purity	$\sim 1/4$	$\sim 0.2\%$	$\sigma_{bb}/\sigma_{\text{inel}} \sim 0.6\%$
Event struct.	BB pair	Many particles not from B	



Trigger an important issue!

Relevant rates:

- LHC: **40 MHz**, 2 bunches full: **30 MHz**
- At least 2 tracks in acceptance **10 MHz**
- bb: **100 kHz**
 - Decay of one B in acceptance: **15 kHz**
 - relevant decays **BR $\sim 10^{-4} - 10^{-9}$**

Atlas/CMS trigger output: 100Hz; $\sim 1\text{MB/evt}$

Particles reconstructed

Type	$\langle n \rangle$
π^\pm	25
K^\pm	10
μ^\pm	0.5
$\gamma (p_T > 2.5\text{GeV})$	~ 1

Extract ω in Bd2JPsiK* using RooFit (1)

- Signal model description :

- Mass : gaussian

- Decay :

- Simple : pdf sig $\propto \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \otimes \text{Gauss}(t, 0, \sigma)$

- Simple with oscillations : pdf sig $\propto \frac{1}{2\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \times (1 + \cos(\Delta m_d t)) \otimes \text{Gauss}(t, 0, \sigma)$

- Complex : pdf sig $\propto \frac{1}{2\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \times (1 + \mu(1 - 2\omega) \cos(\Delta m_d t)) \otimes \text{Gauss}(t, 0, \sigma)$

- μ is +/-1/0 according to UnMixed / Mixed / untagged

- Bkg model :

- Mass : exponential

- Decay :

- Simple : pdf bkg $\propto \frac{1}{\tau_B} e^{-\frac{t}{\tau_B}} \otimes \text{Gauss}(t, 0, \sigma)$

- With tagging :

$$\text{pdf bkg} \propto \frac{1}{\tau_B} e^{-\frac{t}{\tau_B}} \times \left(\frac{1 + \mu(1 - 2\omega_B)}{2} + (\mu = 0) \times \frac{1}{2} \right) \otimes \text{Gauss}(t, 0, \sigma)$$