



Faisabilité d'une mesure de l'angle α
via le canal $B \rightarrow 3\pi$ dans l'expérience
LHCb

Arnaud Robert

LPC Clermont-Ferrand



LHCb : Une expérience dédiée à l'étude de la violation de la symétrie CP.

Pourquoi étudier la violation de CP ? \Leftrightarrow Origine de l'asymétrie matière - antimatière dans l'univers .

3 Conditions sont nécessaires pour expliquer le mécanisme de baryogénèse (Sakharov 1967):

- Violation du nombre baryonique **B**.
- Evolution de l'univers hors équilibre thermodynamique.
- Violation des symétries **C** et **CP**.

\Rightarrow Il existe un lien intrinsèque entre la physique des particules et la cosmologie.

\Rightarrow Motivation pour tester la validité et la robustesse des modèles utilisés .



Axiomes de la théorie quantique des champs :

- ⇔ Théorème CPT
- ⇔ Invariance de la physique sous Conjugaison de charge, Parité et renversement du Temps conjoints.

Aucune hypothèse n'interdit une violation individuelle (ou couplée)
Conformément aux observations:

- ⇒ Violation de P dans l'interaction faible (Wu et al. 1956).
- ⇒ Violation de CP dans le système des kaons neutres (Cronin et al. 1964)
- ⇒ Violation de CP dans le système des mésons beaux (BABAR/BELLE 2000)



Comment violer CP dans le modèle standard ?

* Influence des configurations non perturbatives dans le secteur de jauge (Termes Topologiques).

$$L_{Weak} = \theta_w \frac{g_2}{8\pi} W_a^{\mu\nu} \tilde{W}_{\mu\nu}^a \quad \theta_w \rightarrow 0$$
$$L_{Strong} = \theta_s \frac{g_3}{8\pi} G_a^{\mu\nu} \tilde{G}_{\mu\nu}^a \quad \theta_s \neq 0 \quad (\theta_s \leq 10^{-10})$$

\Leftrightarrow *Origine et problème de la violation de CP forte.*

* Secteur scalaire couplant aux fermions \Leftrightarrow lagrangien non invariant sous CP via les termes de Yukawa (n>2 générations de quarks).

* Diagonalisation \Leftrightarrow matrice de mélange des quarks dite matrice de Cabibbo - Kobayashi - Maskawa (CKM).

\Leftrightarrow *Source de violation de CP que LHCb va étudier*



Quid de la Matrice CKM

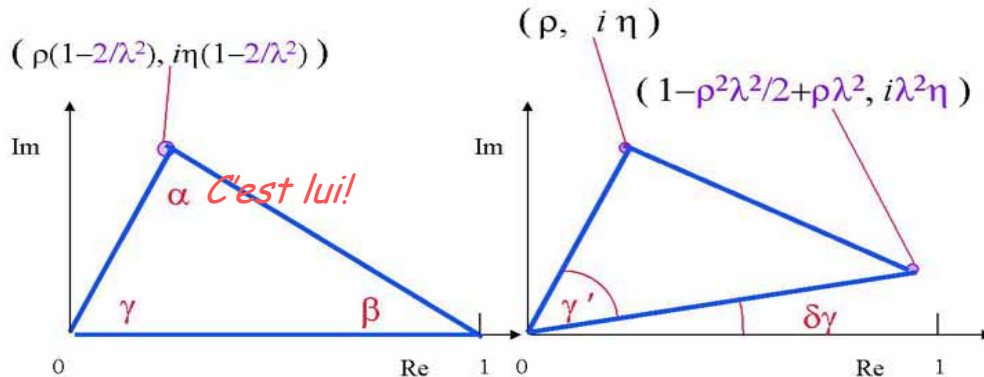
Dans la paramétrisation dite de Wolfenstein:

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} \overset{(d)}{1 - \lambda^2/2} & \overset{(s)}{\lambda} & \overset{(b)}{A\lambda^3(\rho - i\eta)} \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^3 & 1 \end{pmatrix} + O(\lambda^4) \begin{matrix} (u) \\ (c) \\ (t) \end{matrix}$$

Matrice 3X 3 unitaire \Leftrightarrow 6 relations indépendantes dont 2 sont de même ordre en $\lambda \Leftrightarrow$ 2 triangles « non plats ».

Unitarity Triangle

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



Unitarity Triangle

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

\Leftrightarrow *Mesure indépendante des cotés et des angles: **test de validité du modèle standard.***

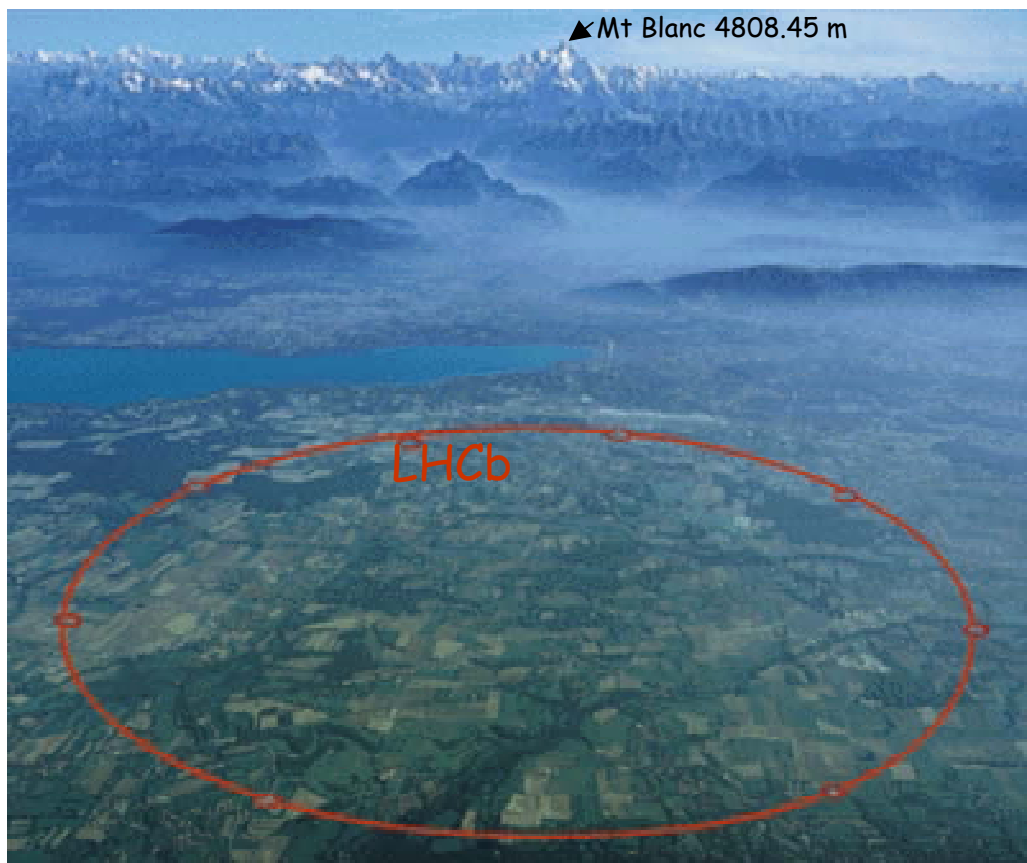
\Leftrightarrow *Levée de dégénérescence obtenue en poussant le développement à l'ordre λ^5 : **importance d'une mesure de précision.***



Le Large Hadron Collider (LHC) et l'expérience LHCb.



↔ Le LHC un collisionneur pp au CERN opérationnel en 2007 avec 4 expériences (Atlas, Alice, CMS et LHCb).

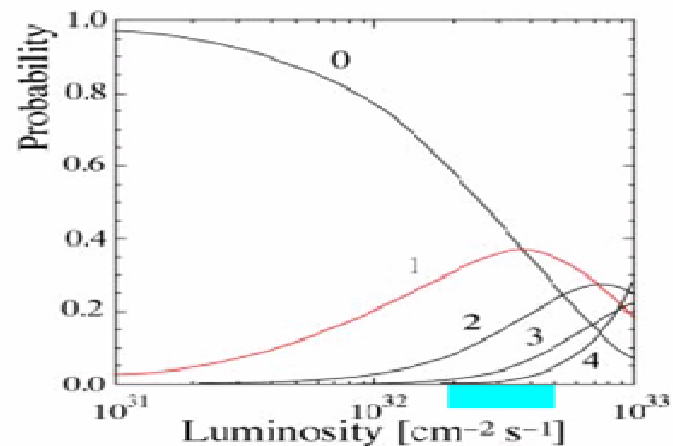


Quelques caractéristiques intéressantes :

• Energie dans le centre de masse: $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$.

$$\sigma_{b\bar{b}} = 500 \mu\text{b}$$

$\sim 10^{12}$ évènements bb par an: « usine à B_d & B_s & B_u »

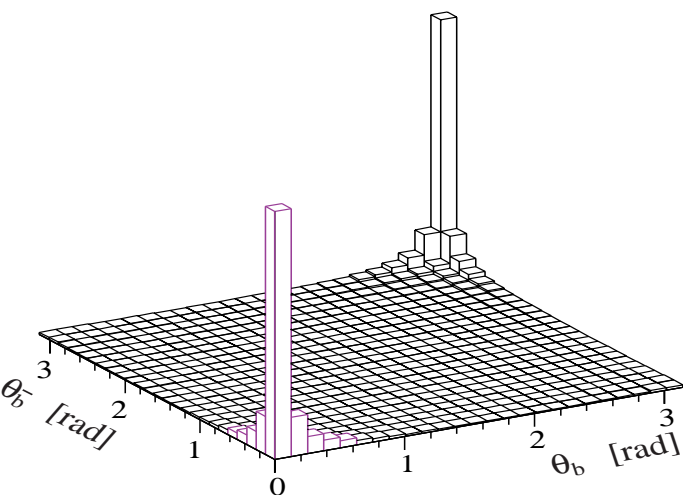




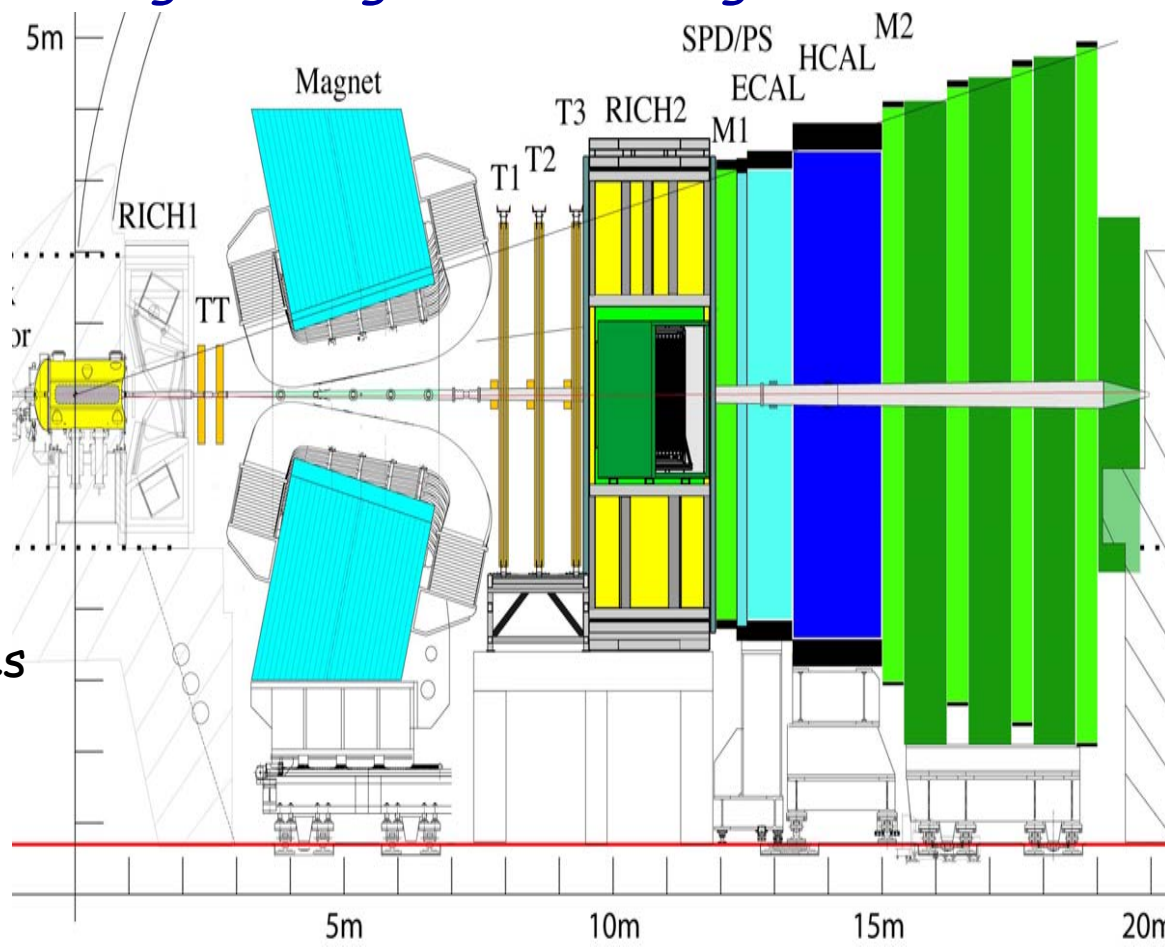
Petit zoom sur le Détecteur LHCb



- ↔ Objectif: *mesures de précision* sur les angles CKM via l'étude des désintégrations de mésons beaux (*en incluant le B_s !*).
- ↔ Processus dominant pour la production de beauté: « Fusion de gluons »
- ↔ Influence sur les distributions angulaires guidant le design du détecteur



Distribution angulaire des paires bb produites ↔ structure en spectromètre simple bras.





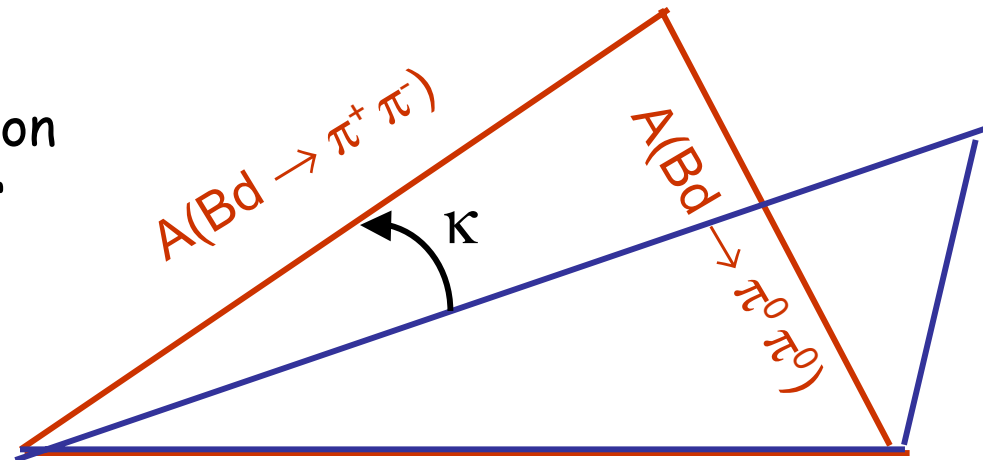
Mesure de l'angle α : comment y parvenir ? (1)

⇔ *Idée première : analyse temporelle du canal $B_d^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$*

⇔ *Il n'est possible de mesurer qu'une valeur effective α_{eff} de α (processus pingouins...)*

La prescription de Gronau-London (SU(2)...) permet de contourner le problème.

$$2\alpha = 2\alpha_{eff} - \kappa$$



$$A(B^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0) = A(B^- \rightarrow \pi^- \pi^0)$$

- *Problème de la faisabilité de la mesure de $B_d^- \rightarrow \pi^0 \pi^0$ dans LHCb ???.*
- *Présence d'ambiguïtés discrètes.*

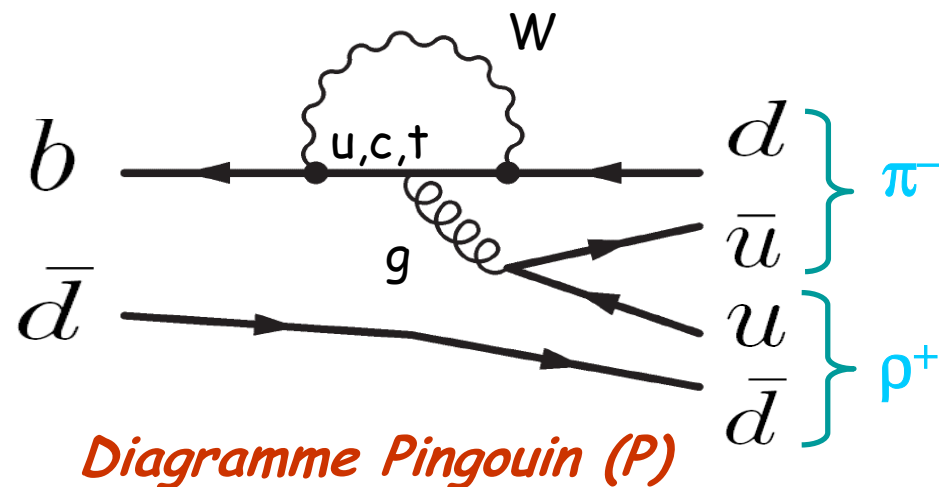
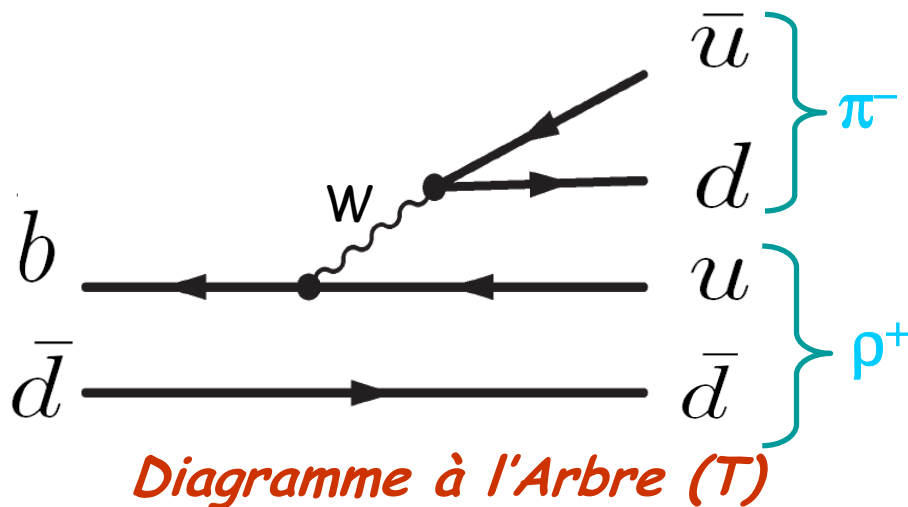


Mesure de l'angle α : comment y parvenir ? (2)

⇔ **Approche de Quinn & Snyder (1993)**: analyse dans l'espace de phase de la distribution des évènements $B_{d^-} \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ (BR $\sim 2 \cdot 10^{-5}$)

- Etat final à 3π : superposition de 3 états intermédiaires $B_{d^-} \rightarrow \rho \pi^- \rightarrow \pi \pi \pi$
- ⇔ Interférences des 3 voies $\{\rho^+, \rho^-, \rho^0\}$ ⇔ information sur la phase α .

⇔ 2 types de processus peuvent contribuer:





Principe de l'extraction de α



\Leftrightarrow L'amplitude du processus $B_d \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ est donnée par

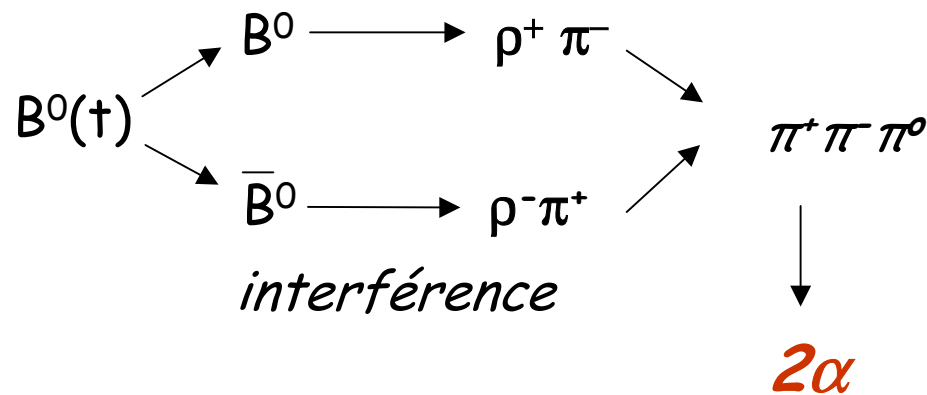
$$A_{3\pi} = f^+ \cos \theta^+ A^{+-} + f^- \cos \theta^- A^{-+} + f^0 \cos \theta^0 A^{00}$$

\Leftrightarrow Le système $B^0-\bar{B}^0$ est un système à 2 états: il existe aussi une oscillation temporelle entre ces 2 états.

$$A^{+-} = e^{-i\alpha} T^{+-} + P^{+-}$$

$$A^{-+} = e^{-i\alpha} T^{-+} + P^{-+}$$

$$A^{00} = e^{-i\alpha} T^{00} + P^{00}$$

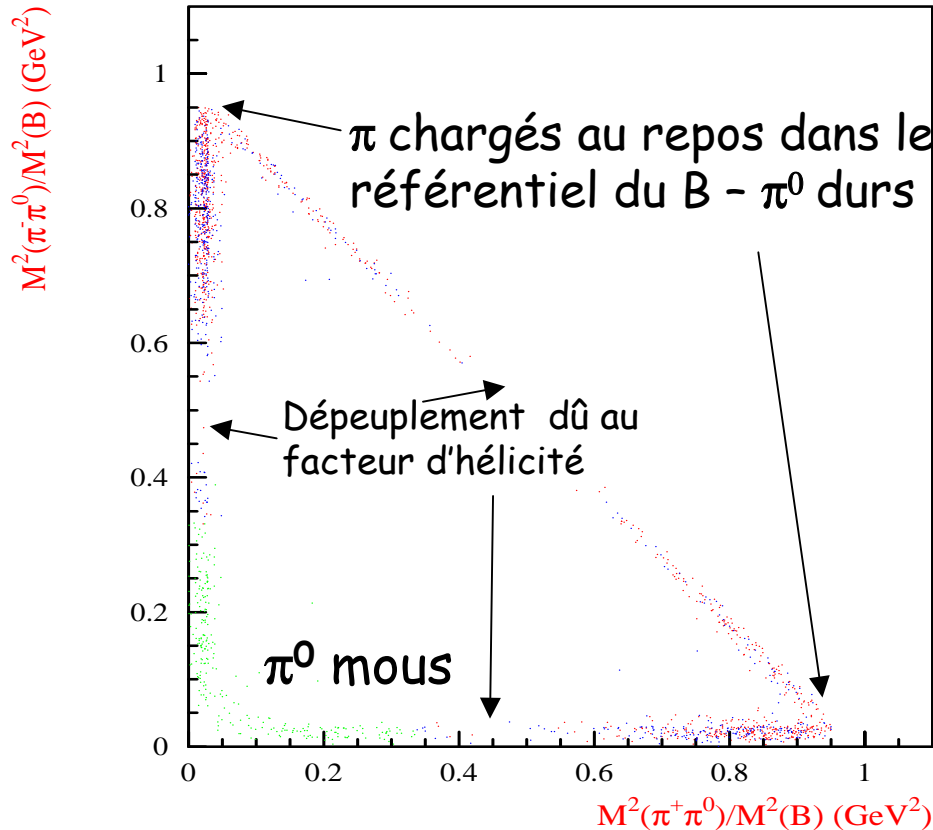


Etude de la distribution en temps et en espace de phase des événements \Leftrightarrow extraction de α indépendamment des processus pingouins et sans ambiguïté discrète.



Reconstruction dans LHCb (1)

⇔ La cinématique des pions dépend de la position dans le corrélogramme de Dalitz (Désintégration à 3 corps).



⇔ Dans LHCb il existe 2 configurations pour la reconstruction des pions neutres $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

- Configuration résolue: 2 amas distincts dans le calorimètre EM. (vert+bleu).
- Configuration mélangée (π^0 durs): 1 amas unique ⇔ algorithme de reconstruction dédié (rouge).

⇔ Analyse particulière à chaque cas



Objectif: Estimer la sensibilité de la mesure sur α

↔ Etape I : Estimation de quantité annuelle de signal attendue et de la contamination en bruit de fond issue des autres produits de désintégration des hadrons beaux.

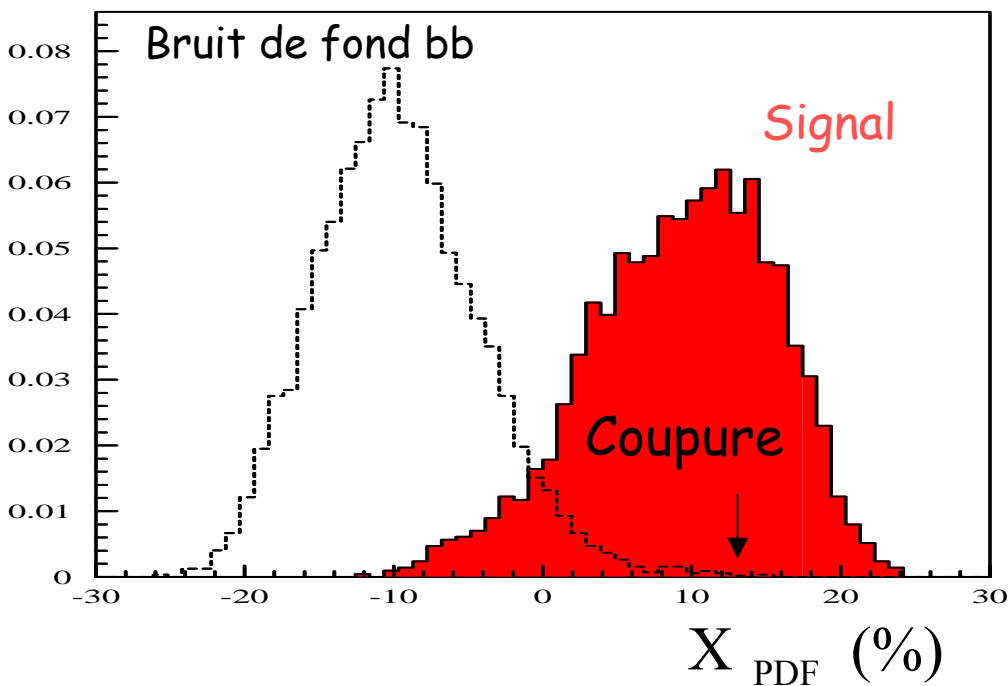
Statistique des échantillons simulés utilisés pour l'étude :

- *Signal : $3 \cdot 10^5$ $B_d \rightarrow 3\pi$ (~1 semaine de prise de donnée).*
- *Bruit de fond inclusif : $10.5 \cdot 10^6$ bb (~4 mn !).*
- *Bruits de fond spécifiques présentant une topologie proche du signal ($B \rightarrow K^* \pi^0$, $B \rightarrow \pi\pi \dots$)*



Tentative d'estimation de B/S...

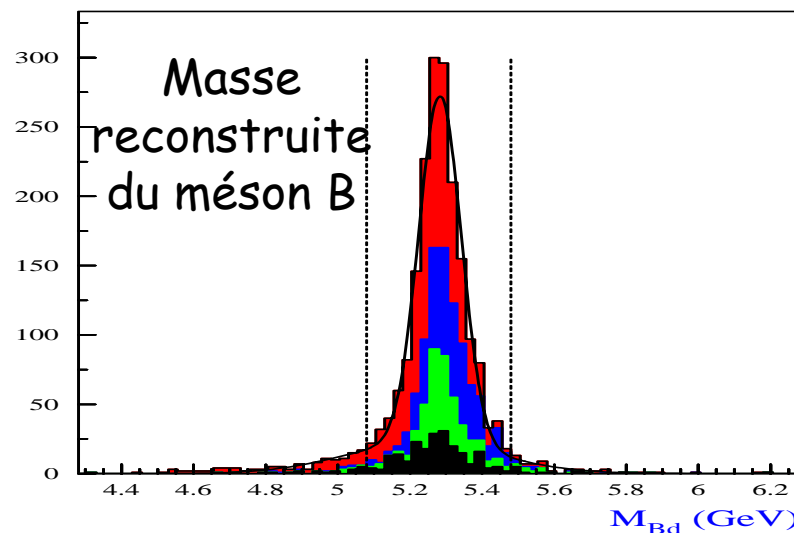
Principe de l'analyse : « Probability Density Function »



- 2 types de variables considérées:
 - Cinématiques (Pt...)
 - Isolation et qualité de la reconstruction des vertex.

$$S(\vec{x}) = \prod_i s_i(x_i)$$
$$B(\vec{x}) = \prod_i b_i(x_i)$$

Après sélection, on attend 11 000 evts reconstruits chaque année avec un rapport $B/S \sim 1$

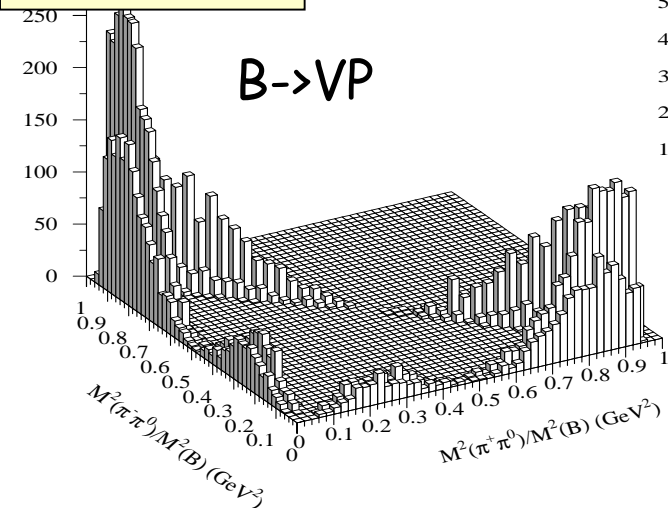




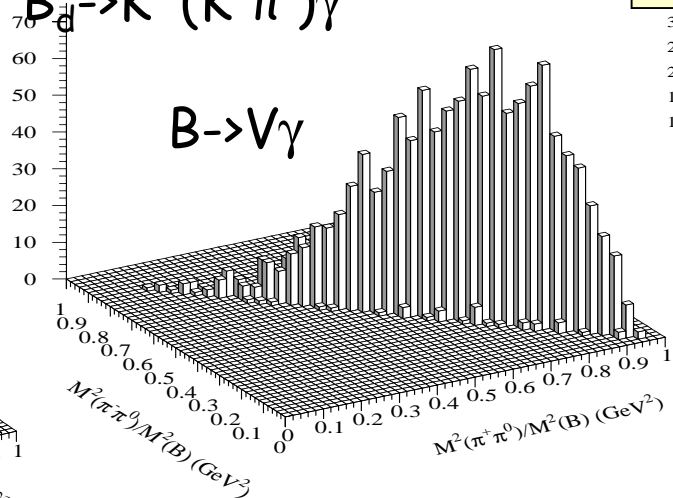
⇔ Améliorations pour l'étape I:

- Prise en compte des corrélations entre variables via une analyse par réseau de neurones.
- Améliorations de l'identification des pions neutres et études de l'influence de bruits de fond particulièrement « toxiques ».

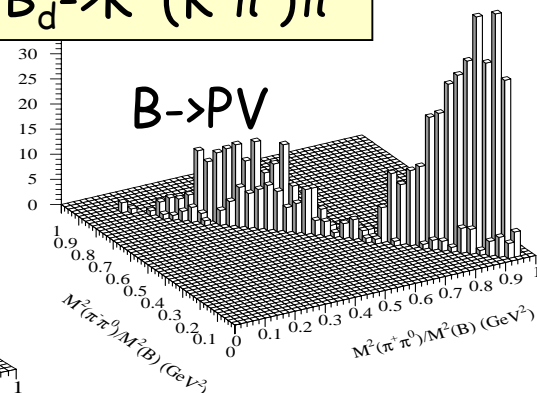
$B_d^- \rightarrow \rho(\pi\pi)\pi$



$B_d^- \rightarrow K^*(K^+\pi^-)\gamma$



$B_d^- \rightarrow K^*(K^+\pi^-)\pi^0$





⇔ *Passage à l'étape II : Application de l'analyse à l'extraction de α :
détermination de σ_α*