Desintégrations semileptoniques du charm dans BaBar. Exemple: $D^{+} \rightarrow K^{-}\pi^{+}e^{+}\nu$

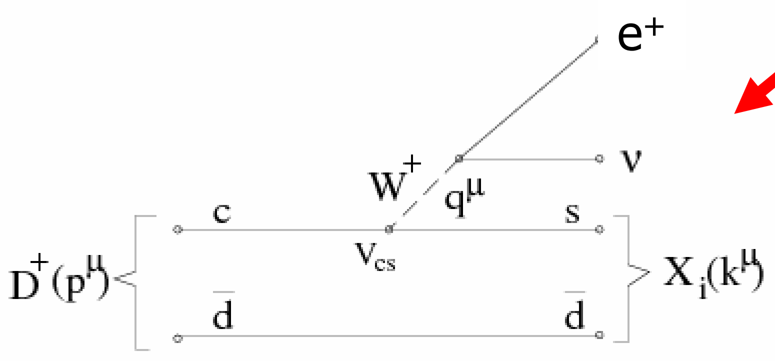
Arantza Oyanguren(IFIC Valencia), <u>João Costa</u> ,Justine Serrano,Patrick Roudeau

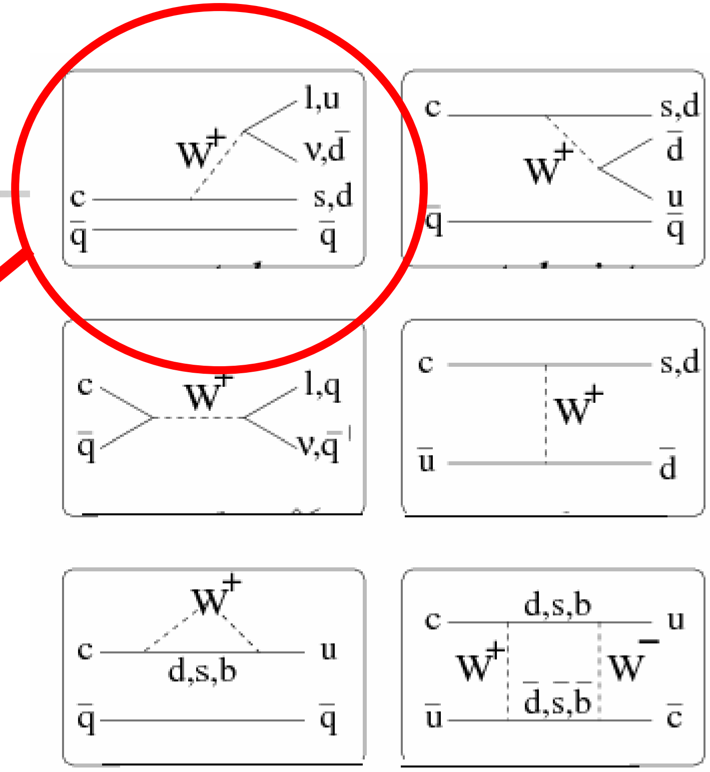
LAL Orsay

- JRJCpedia ou ***"A hitchiker's guide to the title"***
- Introduction
- Overview de l'analyse
- Controle du background, corrections au MC
- Procedure de Fit
- Conclusions et perspectives

JRJCPEDIA:

- **D meson = état lié(quark c, antiquark q)**
- **Desintégrations semileptoniques:**





lepton est la signature de cette desintégration

On travaille dans un environnement propre pour étudier le système ***X_i*** hadronique

JRJCPEDIA:

element de matrice du processus:

$$\mathcal{M} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cs} \mathcal{H}^\alpha \mathcal{L}_\alpha$$

$$\mathcal{H}^\alpha = \langle X_i \, | V^\alpha - A^\alpha | \, D \rangle$$

Défini a partir des observables 4-V et de *facteurs de forme*

$$\mathcal{L}_\alpha = \bar{u}_\nu \, \gamma_\alpha \, (1 - \gamma^5) \, u_\mu$$

Forme bien définie

!! Factorisation des termes hadronique et leptonique !!

Mesure de précision des facteurs de forme

Facteurs de forme (f.f.) representent toute l'interaction entre les hadrons.
Mais on ne peut pas calculer les f.f. à partir de principes premiers de QCD.
Faut recourir à des modèles.

JRJCPEDIA:

- Le courant hadronique pour différentes desintégrations:

Cas D -> P e ν, desintégration dans un état pseudo-scalaire

$$\langle X^{escalar}(k)\ |V^\mu - A^\mu|\ D(p)\rangle = f_+(q^2)\ (p+k)^\mu - (\frac{M_D - m_{K\pi}}{M_D + m_{K\pi}})\ f_-(q^2)\ q^\mu$$

seulement la composante vectorielle du courant V-A rentre en jeu, on a 2 f.f.

Cas D -> V e ν, desintégration dans un état vecteur

$$\mathcal{H}^\mu = \langle X^{vetor}(k)\ |V^\mu - A^\mu|\ D(p)\rangle$$
$$= (M_D + m_{K\pi})\, A_1(q^2)\, \epsilon^{*\mu} - \frac{2\, A_2(q^2)}{M_D + m_{K\pi}} \epsilon^*.p\ p^\mu$$
$$+ \frac{2\, A_3(q^2)}{M_D + m_{K\pi}}\ \epsilon^*.p\ q^\mu - i\ \frac{2\, V(q^2)}{M_D + m_{K\pi}} \epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} \epsilon^*_\nu p_\rho k_\sigma$$

4 f.f.,
ε^* vecteur de polarisation de l'état final

Dans le cas d'un electron f_- et A_3 disparaissent car sont proportiennelles a la mass de l'electron ~0

Ce qu'il faut retenir:
Les desintégrations semileptoniques sont un outil qui utilise les interactions electrofaibles pour étudier des effets de QCD

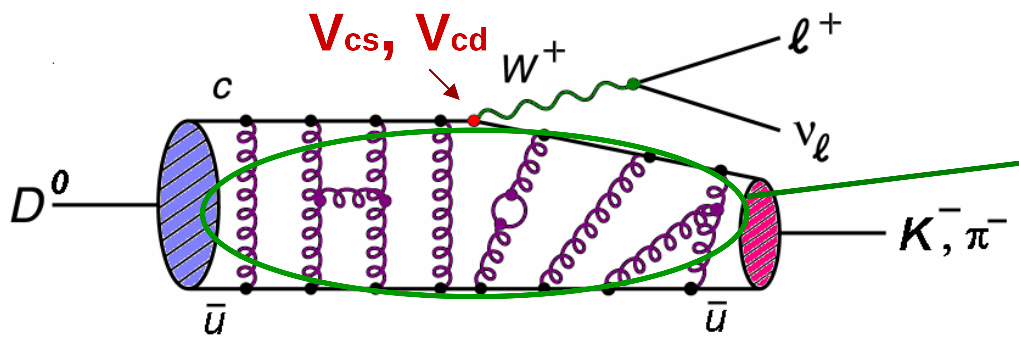
...Introduction

Pour extraire des valeurs de paramètres électrofaibles (éléments de la matrice CKM) de certaines mesures on a besoin de connaître la valeur de paramètres hadroniques.

Il y a un grand effort de la comunauté LQCD pour améliorer les méthodes de calcul qui débouchent sur une plus grande précision

Il faut les valider

"Charm semileptonic decays"

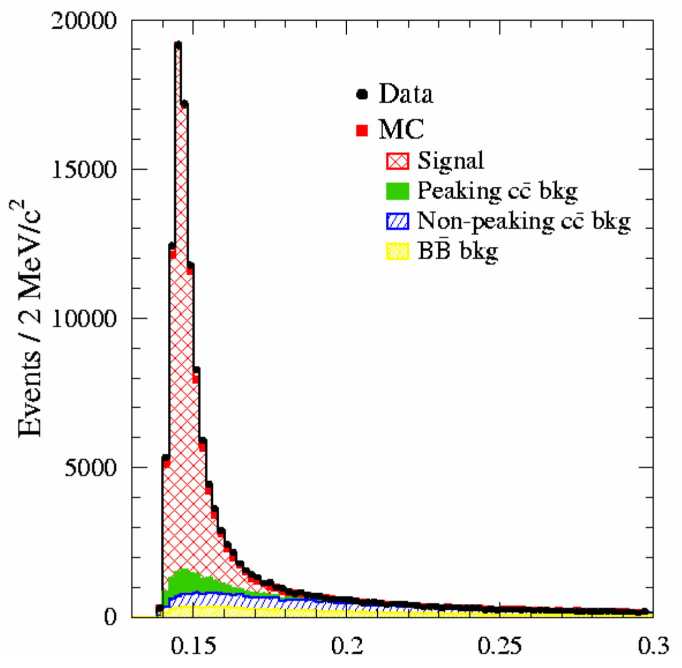


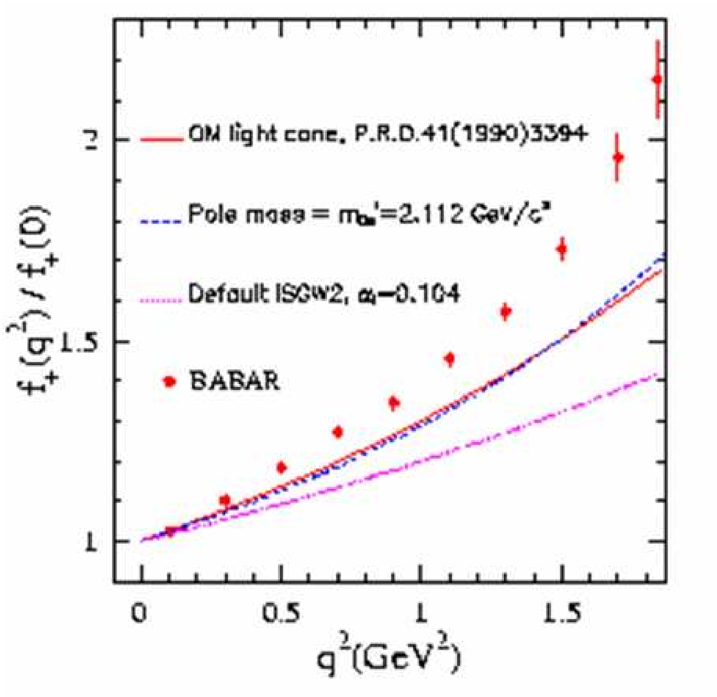
Mesure des facteurs de forme

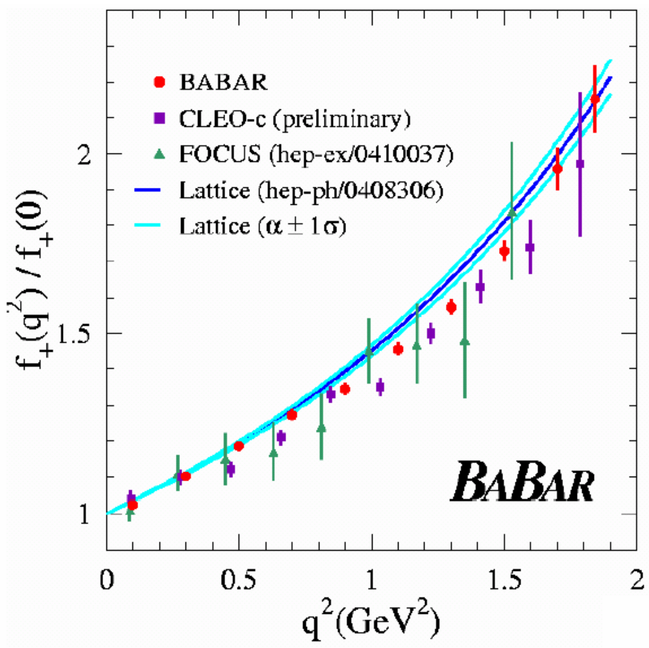
Dans d'autres mots:

• D→Keν:

On exclut des modèles et on obtient des résultats même plus précis que LQCD







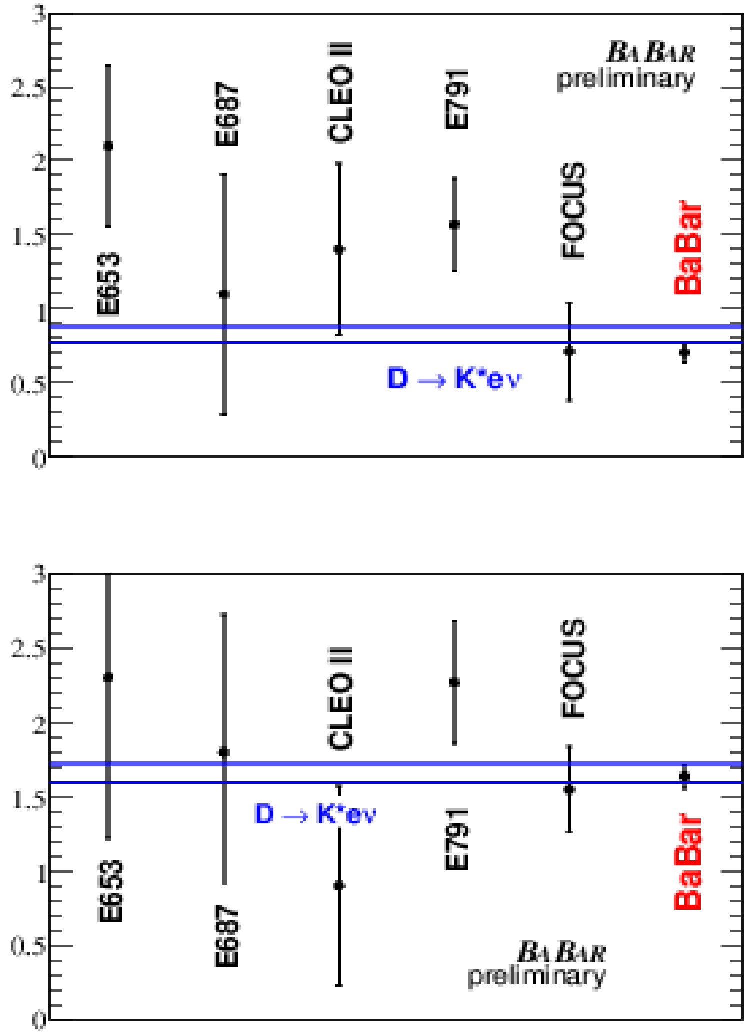
● $D_s \to \varphi e \nu$:

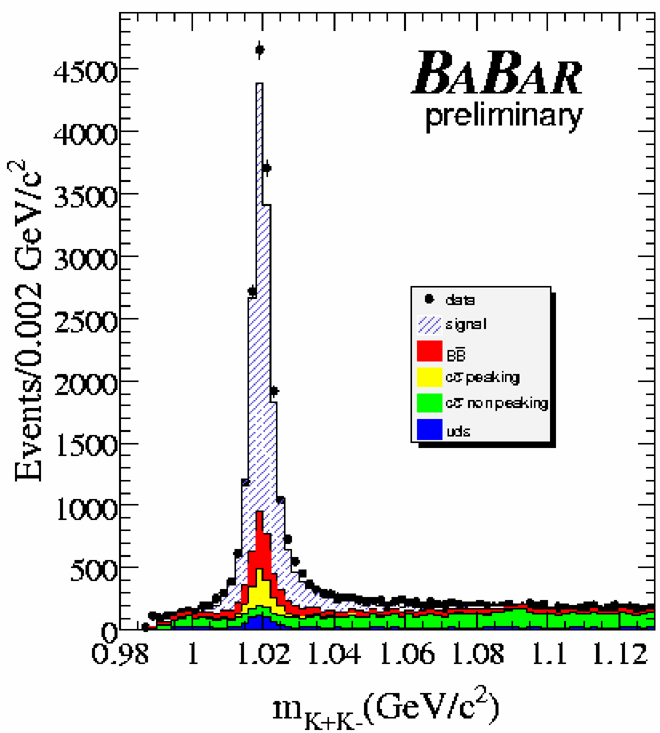
quelques résultats préliminaires

r2 et rV sont les rapports entre différents facteurs de forme a q^2 égale à 0

r_2

r_v



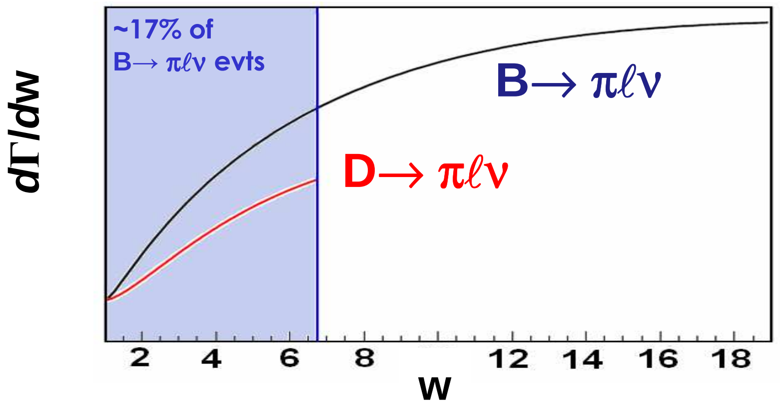


Techniques validées dans le secteur du charme peuvent être utilisées dans le secteur du B pour améliorer la précision dans les determinations des paramètres de la matrice CKM

$$\frac{d\Gamma(B \to \pi e \overline{\nu}_e)/dE_\pi}{d\Gamma(D \to \pi e \overline{\nu}_e)/dE_\pi} = \left|\frac{V_{ub}}{V_{cd}}\right|^2 \left(\frac{M_B}{M_D}\right) \left|\frac{f_+^{B\to\pi}}{f_+^{D\to\pi}}\right|^2$$

Decay SL Charme

Travail pour LQCD

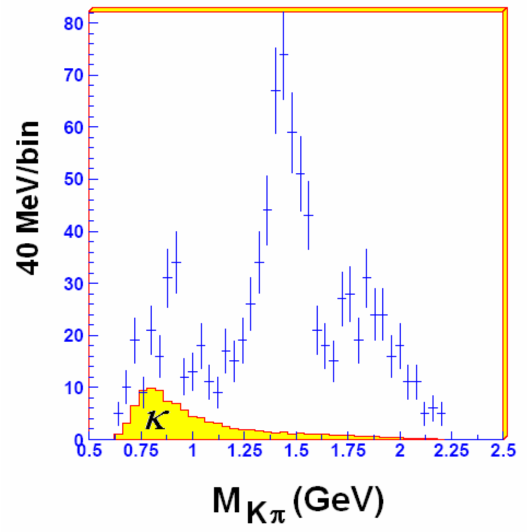


Les désintégrations semileptoniques du charme permettent aussi d'obtenir d'autres informations importantes:

ex: déphasage entre differents états orbitaux en désintégrations semileptoniques à 4 corps (D_{l4})

ex: masse du système hadronique en désintégrations semileptoniques à 4 corps (Dl4) :

$D \to K\pi l\nu$, $D_s \to KKl\nu$, ... (in particular, 0^+ states)



$J/\psi \to \overline{K^*}(892)^0 K^+\pi^-$

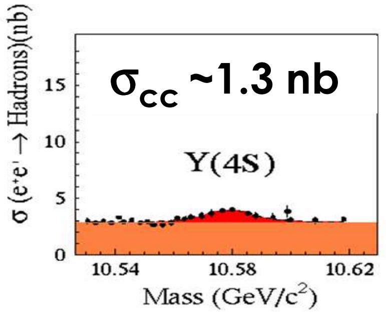
(BES, hep-ex/0304001)

ex: determination de paramètres de théorie chirale, determination de la masse du quark s

BaBar vs CLEO-c

- Grande luminosité integrée

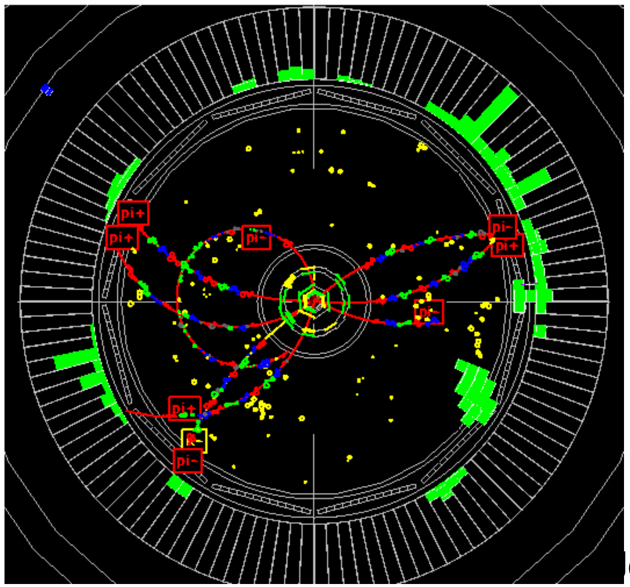
>400 fb^{-1}



- fragmentation (D, D_s, Λ_c,…)

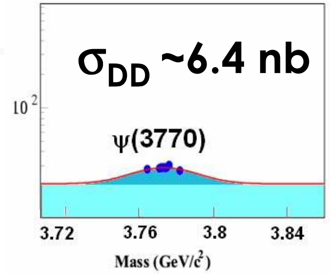
- grand challenge : controle du bruit fond

$c\bar{c}$



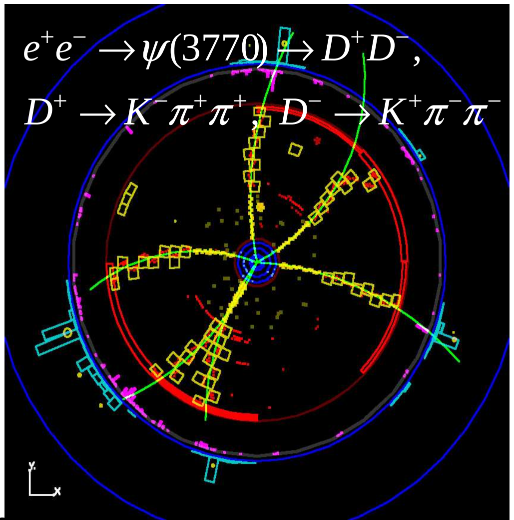
- Pur $D\bar{D}$, pas de particules en plus

- moins de bruit de fond



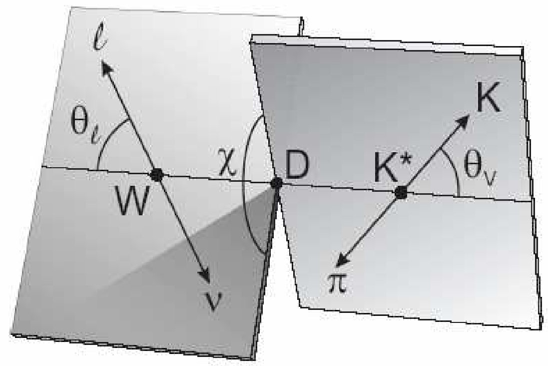
- faible statistique : 281 pb^{-1} $D\bar{D}$

314 pb^{-1} $D_s^*D_s$



- $D \to K\pi e\nu$:

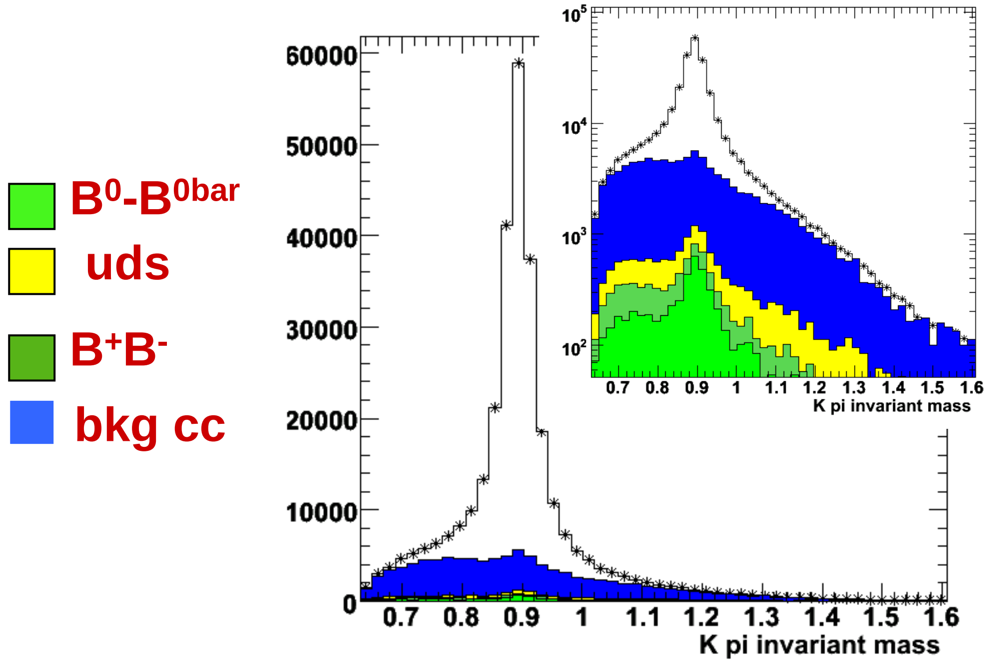
  - 4 body decay → 5 variables
    { q^2, $\cos(\theta_v = \theta_K)$, $\cos(\theta_l)$, χ, $m_{K\pi}$ }



- Canal dominé par K^*_0 ($J^P = 1^-$) mode de désintegration
  - 3 f.f. $(A_1, A_2, V) \to (H_+, H_-, H_0)$

But de l'étude:

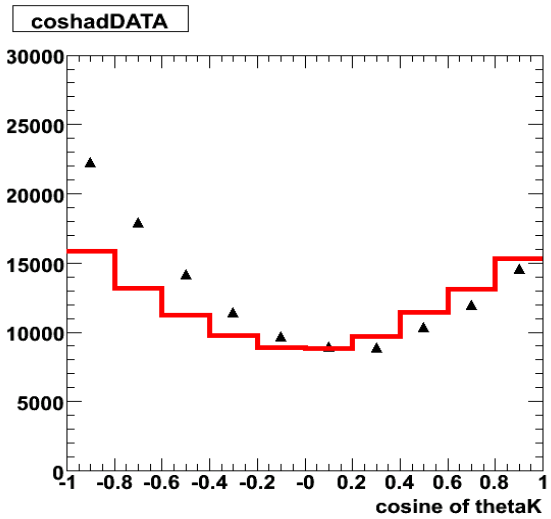
- Caractériser l'onde S
- mesurer avec le plus de détail possible les facteurs de forme de l'onde P
- Rechercher l'onde D



s + p :

$$F_1 = F_{1s}e^{i\varphi s} + F_{1p}e^{i\varphi p}\cos(\theta_K)$$
$$F_2 = F_{2p}e^{i\varphi p}$$
$$F_3 = F_{3p}e^{i\varphi p}$$

$$(F_{1P}, F_{2P}, F_{3P}) \leftrightarrow (H_+, H_-, H_0)$$



generic MC signal

data (bkg soustrait)

Ce qu'il faut retenir:
On mesure l'onde S par l'effet d'interference avec l'onde P

OVERVIEW

Avant l'été dernier, j'ai essayé une méthode pour mesurer le déphasage entre les ondes S et P où on n'a pas besoin de connaitre la paramétrisation du f.f. de l'onde S

Idée: Utiliser le rapport entre Moments de variables angulaires

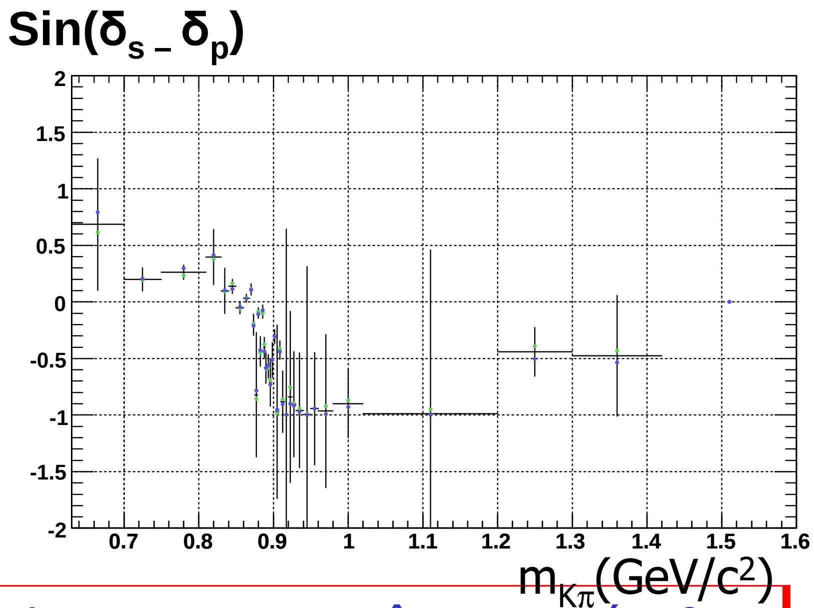
$$\langle I_4 \rangle = \frac{1}{16\pi}\langle F_1 F_{2p} \rangle \cos(\delta_s - \delta_p)$$

$$\langle I_5 \rangle = \frac{1}{4\pi}\langle F_{1s} F_{3p} \rangle \cos(\delta_s - \delta_p)$$

$$\langle I_7 \rangle = \frac{1}{4\pi}\langle F_{1s} F_{2p} \rangle \sin(\delta_s - \delta_p)$$

$$\langle I_8 \rangle = \frac{1}{16\pi}\langle F_{1s} F_{3p} \rangle \sin(\delta_s - \delta_p)$$

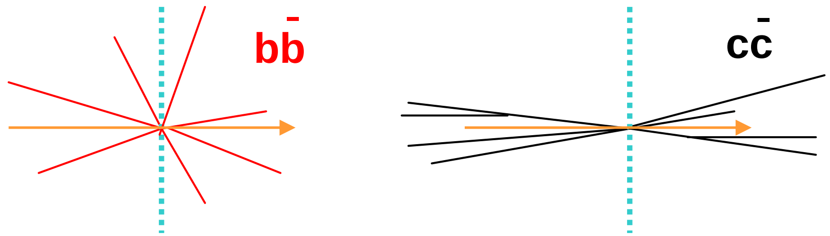
$$Sin(\delta_s - \delta_p) = \frac{4\langle I_8 \rangle}{A_{F_{1s}F_{3p}}} = \frac{\langle I_7 \rangle}{A_{F_{1s}F_{2p}}}$$



Malheureusement: Barres d'erreur trop grandes pour pouvoir être compétitif.

Méthode d'étude actuelle: ***Fit à 5D*** pour mesurer la dépendance dans la masse et le facteur de forme de l'onde S plus les facteurs de forme de l'onde P et la masse du $K^*_0(892)$

- **Base de l'analyse:**



  - **"Untagged analyses":**

    → **beaucoup de statistique**

    → **Bruit de fond non négligea**

  - **Evts du continuum**

    → **utiliser des variables "event shape" pour enlever** $B\bar{B}$**'s**

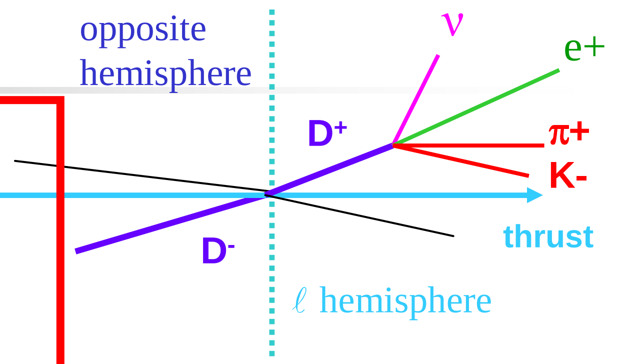
    → **utiliser la topologie de l'événement ainsi que variables cinématiques de façon a réduire le bruit de fond CCbar**

  - **Fit cinématique pour extraire** $q^2=(p_\ell+p_\nu)^2=(p_{Xc}-p_{Xq})^2$

    → **Input: énergie manquante dans l'événement et l'estimation de la direction du D**

  - **Data control samples: tester l'efficacité de reconstruction, la résolution, controle des systématiques ...**

- **Reconstruction de l'évènement :**



- **Definir 2 hemisphères**

Prendre π^+, K^- , ℓ dans le même hemisphère

- **Impulsion du lepton > 0.5 GeV**
- **Calculer direction D(- $p_{\text{all particles} \neq \pi+,K-,l}$)**
- **calculer l'énergie manquante dans l'hemisphère du ℓ**
- **Fitter $p_D = p_{K+} + p_{K-} + p_\ell + p_\nu$**
- **Calculer les variables cinématiques :**

q^2 , θ_v, θ_l, χ , $m_{K\pi}$

→ **fit avec une contrainte m_D**

- **Réduire le bruit de fond** → **analyse Fisher ($b\bar{b}$ and $c\bar{c}$ events)**
- **Extraire les paremètres des ff** → **Maximum log likelihood fit**

Principaux bruits de fond:

BEAUTÉ $B \rightarrow D$

CHARM

- $D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+$, $D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu$
- $D \rightarrow K^- e^+ \nu$, fragmentation π
- $D \rightarrow K^- \pi^+$, conversion e^+

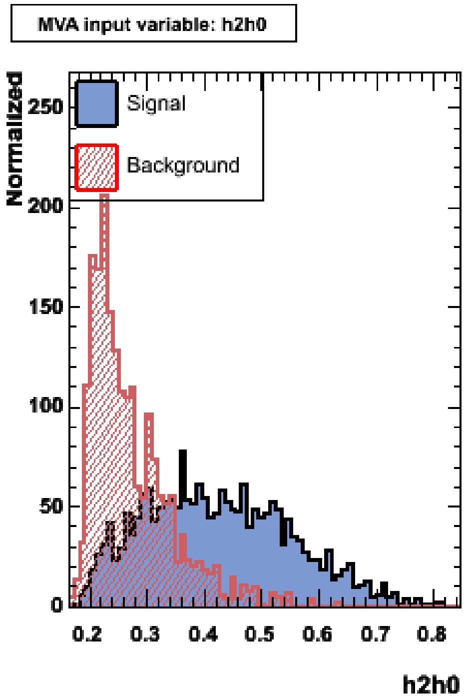
Comment les enlever: Utilisation de discriminants de Fisher

= Combinaison linéaire d'observables qui maximize la séparation entre le signal et le bruit de fond (BB, CC)

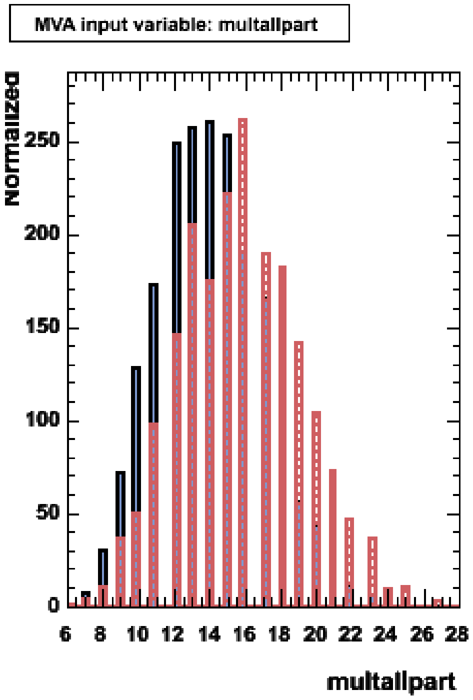
Bruit de fond BB

Variables de Fisher:

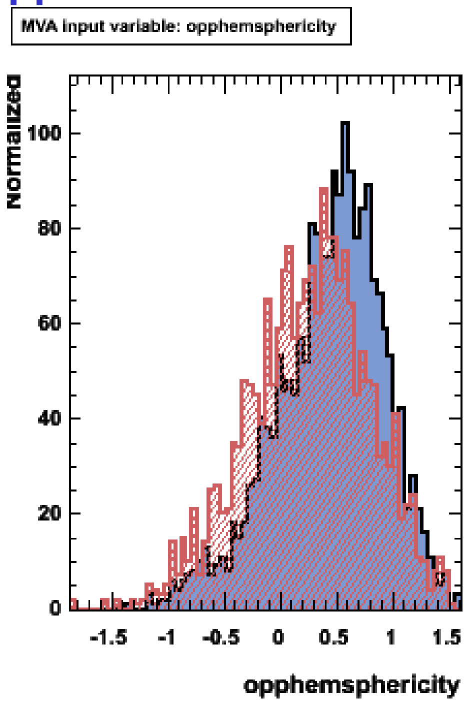
R2



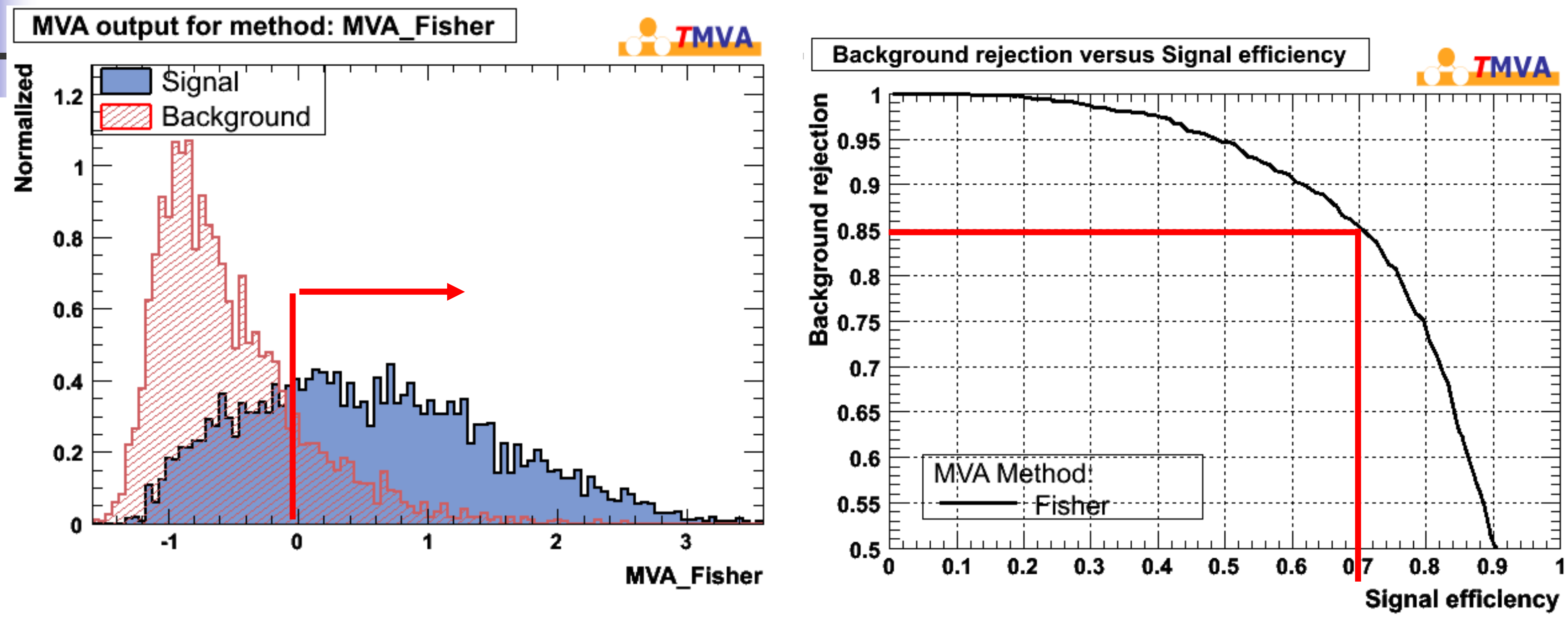
Multiplicité



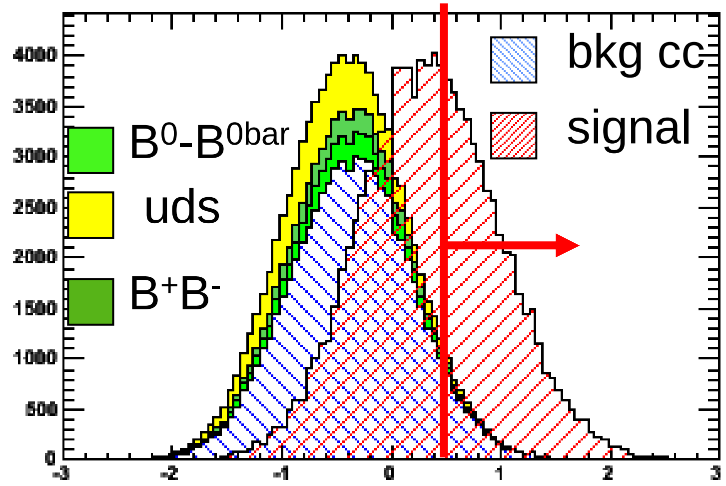
Sphéricité de l'hemisphére opposé

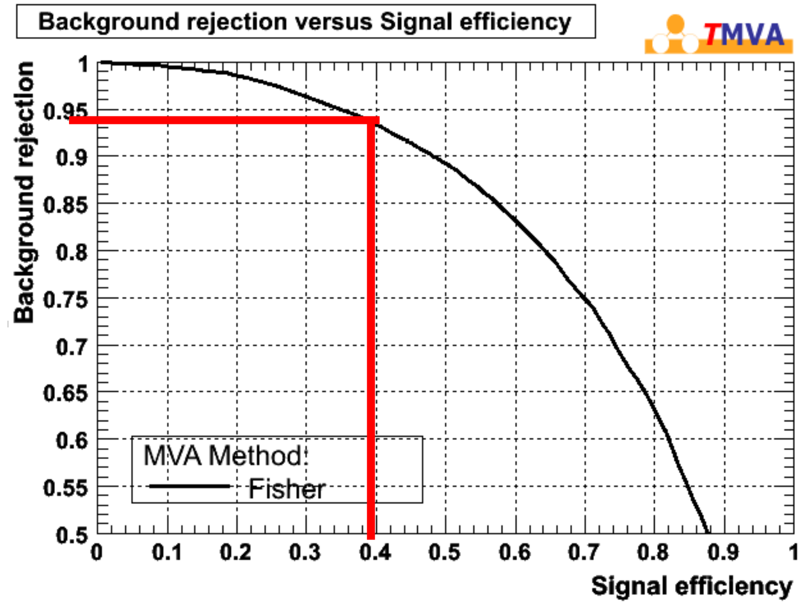


Bruit de fond BB



- signal efficiency of 0.7
- background rejection of 0.85





signal efficiency 0.4
c bkg rejection 0.94

non charm bkg wiped out

MC for 100 fb^{-1}

	signal	c bkg	Non c bkg
Fisher>0.5	70 321	26 872	4 692
Fisher>1.41	8 550	848	204

Background control

La stratégie pour controler le bruit de fond associe les corrections MC et les poids avec un fit des distributions de Fisher pour les données.
On utilise comme input les distributions Signal/Bkg Fisher CC-bar

Étapes de l'étude:

- Étudier l'effet des corrections dans les dans les discriminants de Fisher pour WS
- Transposer pour RS et effectuer des corrections dans les variables de SIGNAL
- Fitter data Fisher-cc distribution using as PDF the MC SIG/BKG Fisher-cc distributions

Pourquoi WS:

Les canaux de désintégration dominants WS & RS cc-BKG sont sensiblement les mêmes, cependant l'hierarchie n'est pas la même et le nombre total d'événements different

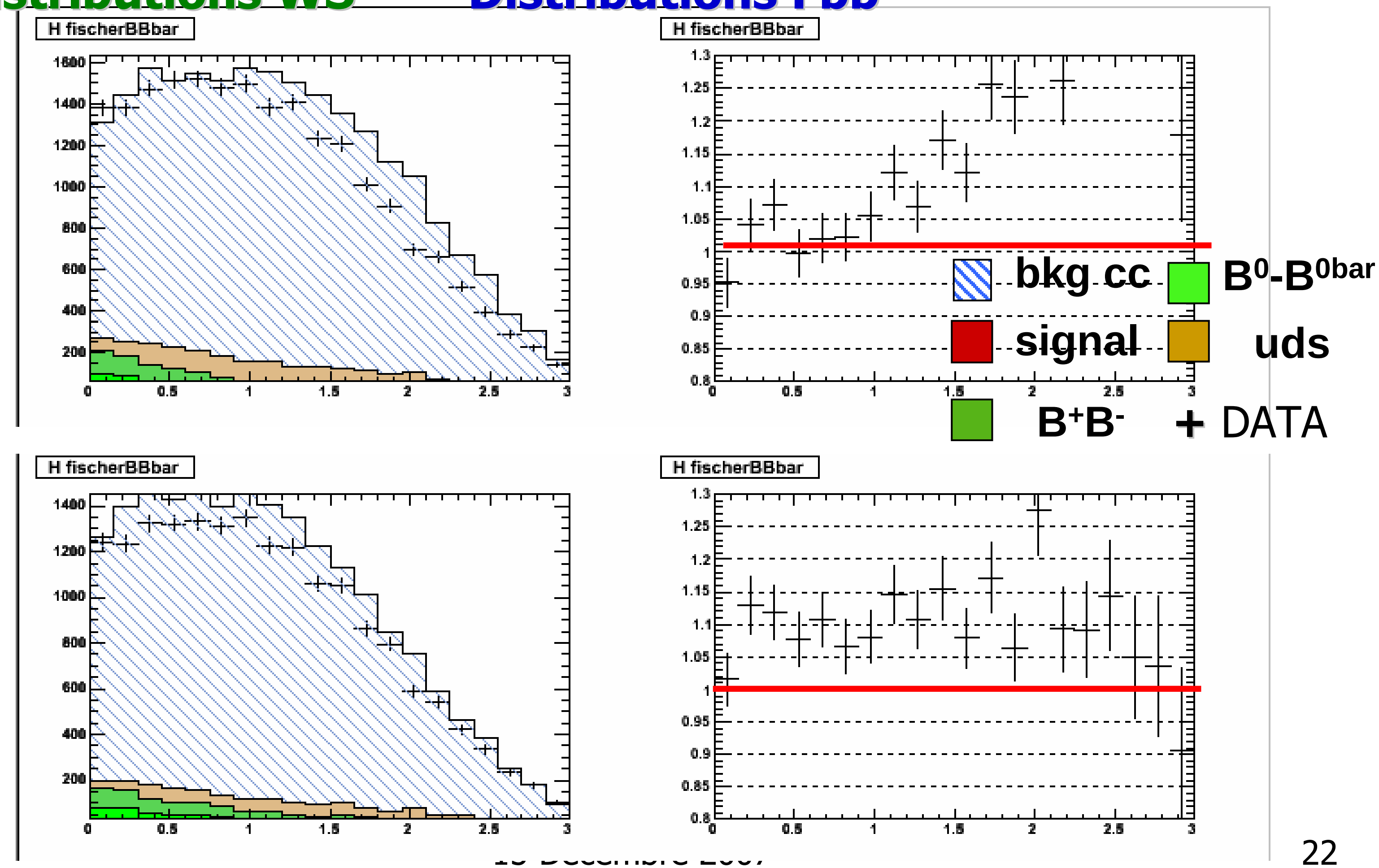
MC corrections

Les principaux canaux du bruit de fond charme ont toujours un pion de fragmentation.

Distributions WS **Distributions Fbb**

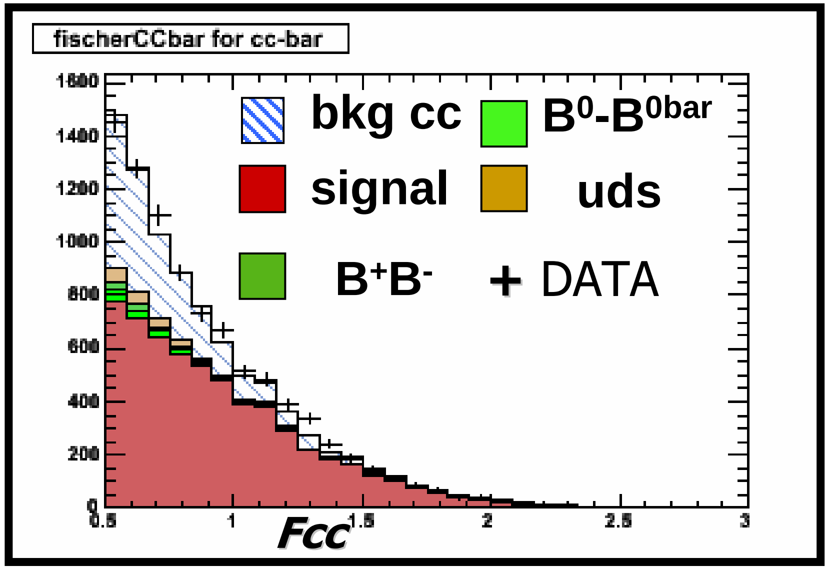
Avant les corrections

Après les corrections

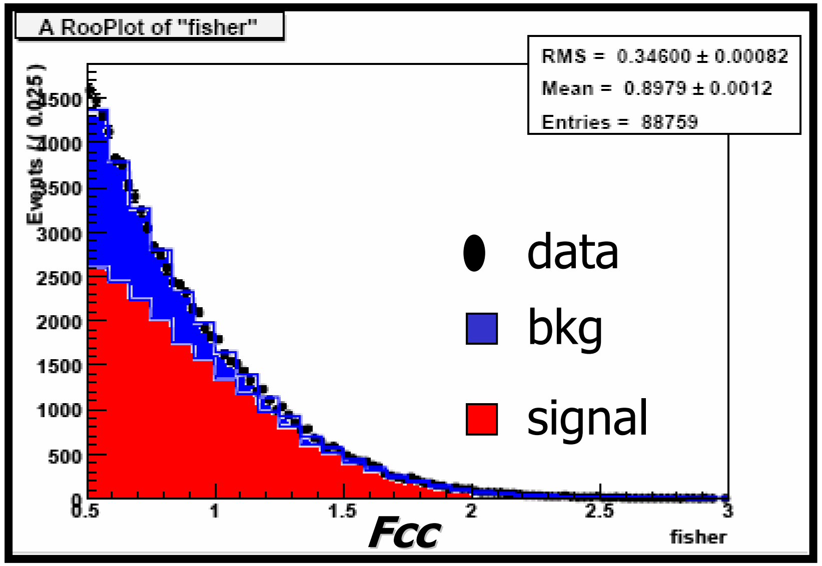


BKG estimation

Quand on a un bon accord entre le MC et les données experimentales, on procède à l'évaluation du bruit de fond pour l'analyse



metode A:
Estimation de bruit de fond Monte Carlo normalizé a la luminosité



metode B:
Estimation de signal et bruit de fond normalizé au nombre de evenements dans les données

Fitting procedure

Utiliser 5 bins égaux pour chaque variable reconstruite et effectuer minimisation log-likelihood :

$$\mathcal{L} = -\sum_{i=1}^{nbins} \ln \mathcal{P}(n_i^{data} | n_i^{MC}).$$

Nombre de événements dans bin i

Nombre de événements expectés de MC dans bin i

résultats dans n_i^{MC} :

• Le nombre de événements bkg estimés à partir de MC (normalizés a la lumi data).

•Le nombre de événements signal éxpéctés se déduit en applicant un poids W au générateur de signal MC

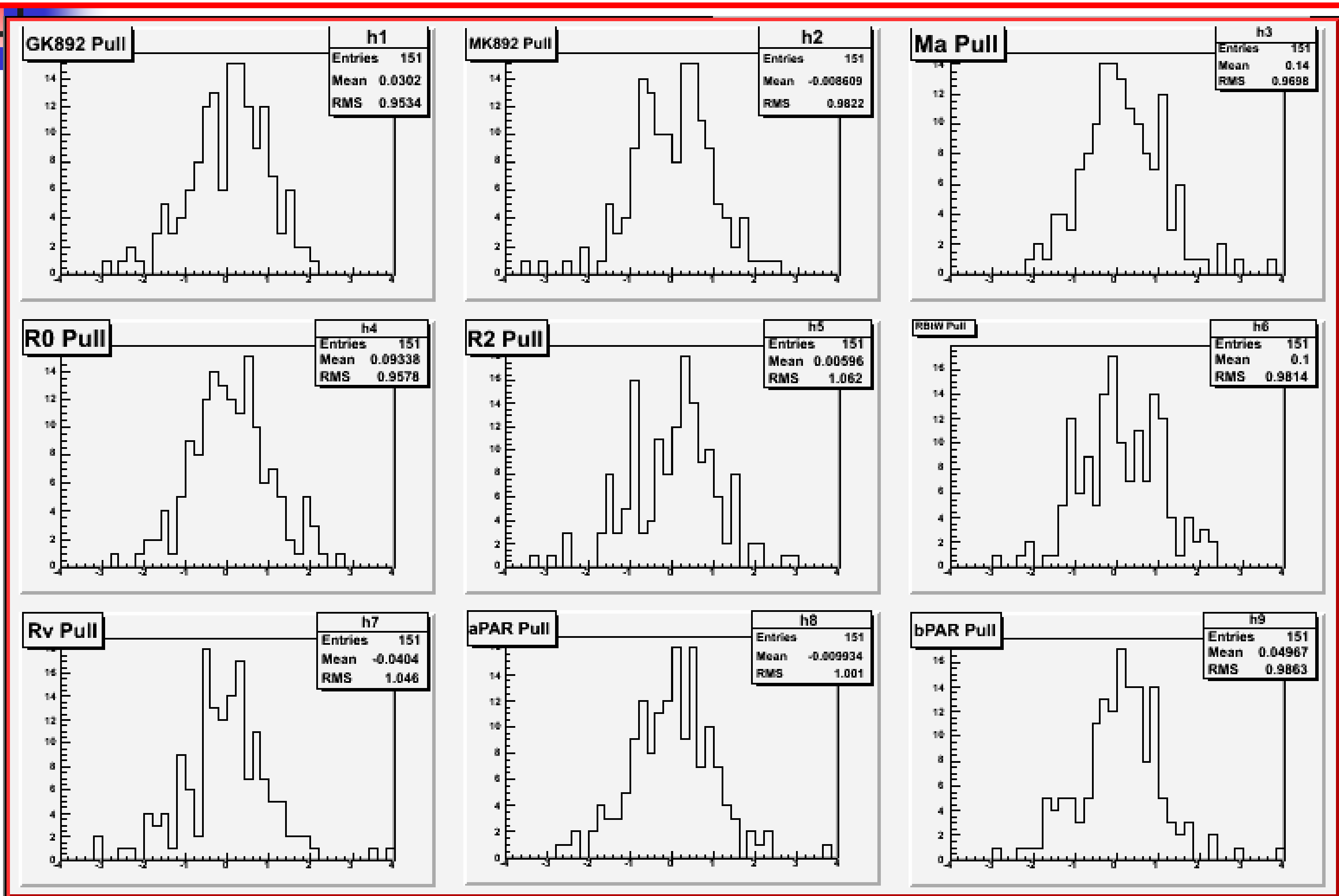
$$n_i^{MC} = N_S \frac{\sum_{j=1}^{n_i^{signal}} w_j(\lambda_k)}{W_{tot}(\lambda_k)} + n_i^{bckg.}$$

N_s est un paramètre

La procedure de fit à été testé avec des simulations TOY

FIT validation

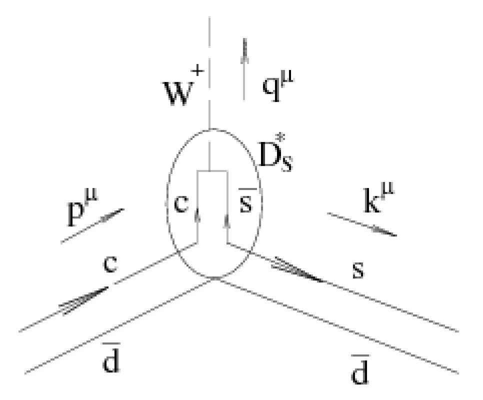
Resultat du fit en 5D sur un échantillon TOY de 40 K de onde S+P avec des valeurs reasonables pour les paramètres.
Pas d'effets de reconstruction considerés, pas de bruit de fond



Conclusions et perspectives

- Les desintégrations semileptoniques offrent un terrain important pour tester LQCD
- Donnent aussi des résultats importants pour les théories de basse énergie
- Dans mon canal, l’heure de fitter les données arrive bientôt
- Merci

- BACK- UP



W+
q^μ
D*s
p^μ
c
s̄
k^μ
c
s
d̄
d̄

$$d^5\Gamma \propto (P_{K\pi}P^* / m_{K\pi}) I(m_{K\pi}, q^2, \chi, \cos\theta_l, \cos\theta_K) d^5x$$

$P_{K\pi}$ = *momentum of* $(K\pi)$ *system in* D *c.m.*

P^* = *momentum of* K *in* $(K\pi)$ *c.m.*

$$I = I_1 + I_2\cos(2\theta_l) + I_3\sin^2\theta_l\cos 2\chi + I_4\sin(2\theta_l)\cos\chi + I_5\sin\theta_l\cos\chi + I_6\cos\theta_l$$
$$+ I_7\sin\theta_l\sin\chi + I_8\sin(2\theta_l)\sin\chi + I_9\sin^2\theta_l\sin(2\chi)$$

$$I_1 = \frac{1}{4}\left\{|F_1|^2 + \frac{3}{2}\sin^2\theta_K(|F_2|^2 + |F_3|^2)\right\}$$
$$I_2 = -\frac{1}{4}\left\{|F_1|^2 - \frac{1}{2}\sin^2\theta_K(|F_2|^2 + |F_3|^2)\right\}$$
$$I_3 = -\frac{1}{4}[|F_2|^2 - |F_3|^2]\sin^2\theta_K$$
$$I_4 = \frac{1}{2}Re(F_1^* F_2)\sin\theta_K$$
$$I_5 = Re(F_1^* F_3)\sin\theta_K$$
$$I_6 = Re(F_2^* F_3)\sin^2\theta_K$$
$$I_7 = Im(F_1 F_2^*)\sin\theta_K$$
$$I_8 = \frac{1}{2}Im(F_1 F_3^*)\sin\theta_K$$
$$I_9 = -\frac{1}{2}Im(F_2 F_3^*)\sin^2\theta_K$$

$$I_1 = \frac{1}{4}\left\{|F_1|^2 + \frac{3}{2}\sin^2\theta_K(|F_2|^2+|F_3|^2)\right\}$$

$$I_2 = -\frac{1}{4}\left\{|F_1|^2 - \frac{1}{2}\sin^2\theta_K(|F_2|^2+|F_3|^2)\right\}$$

$$I_3 = -\frac{1}{4}[|F_2|^2 - |F_3|^2]\sin^2\theta_K$$

$$I_4 = \frac{1}{2}Re(F_1^* F_2)\sin\theta_K$$

$$I_5 = Re(F_1^* F_3)\sin\theta_K$$

$$I_6 = Re(F_2^* F_3)\sin^2\theta_K$$

$$I_7 = Im(F_1 F_2^*)\sin\theta_K$$

$$I_8 = \frac{1}{2}Im(F_1 F_3^*)\sin\theta_K$$

$$I_9 = -\frac{1}{2}Im(F_2 F_3^*)\sin^2\theta_K$$

Interference terms

Each I_i term has a different combination of angular variables dependence, they are orthogonal states

---

To extract the phase shift we follow *Pais & Treiman*

$$\int I Cos(\theta_l) Cos(\chi) dq^2 dCos(\theta_K) dCos(\theta_l) d\chi$$

$$\int I Cos(\chi) dq^2 dCos(\theta_K) dCos(\theta_l) d\chi$$

$$\int I Sin(\chi) dq^2 dCos(\theta_K) dCos(\theta_l) d\chi$$

$$\int I Cos(\theta_l) Sin(\chi) dq^2 dCos(\theta_K) dCos(\theta_l) d\chi$$

$$\langle I_4 \rangle = \frac{1}{16\pi}\langle F_1 F_{2p}\rangle \cos(\delta_s - \delta_p)$$

$$\langle I_5 \rangle = \frac{1}{4\pi}\langle F_{1s} F_{3p}\rangle \cos(\delta_s - \delta_p)$$

$$\langle I_7 \rangle = \frac{1}{4\pi}\langle F_{1s} F_{2p}\rangle \sin(\delta_s - \delta_p)$$

$$\langle I_8 \rangle = \frac{1}{16\pi}\langle F_{1s} F_{3p}\rangle \sin(\delta_s - \delta_p)$$

Only one of these moments is non-zero for each one of these integrations

C background

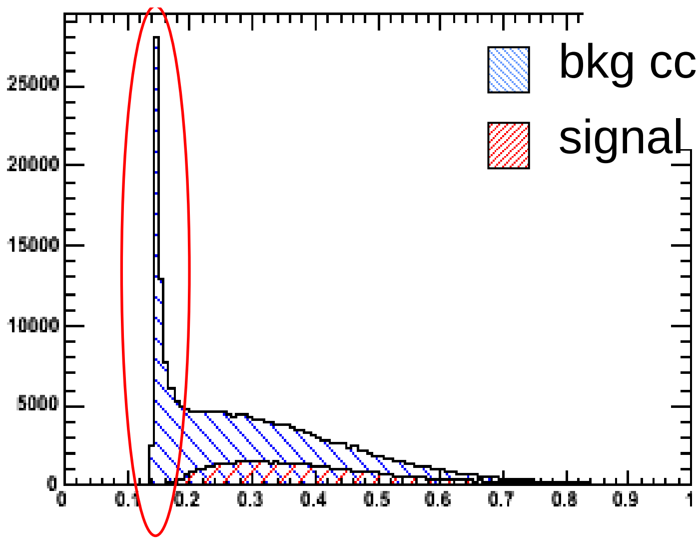
$\delta m = M(D^0 \pi^+) - M(D^0)$

$D^* \rightarrow D^0 \pi^+$ signature

$\quad \rightarrow K^- e^+ \nu$

$\delta m > 0.18$ GeV
takes out 27% of bkg cc

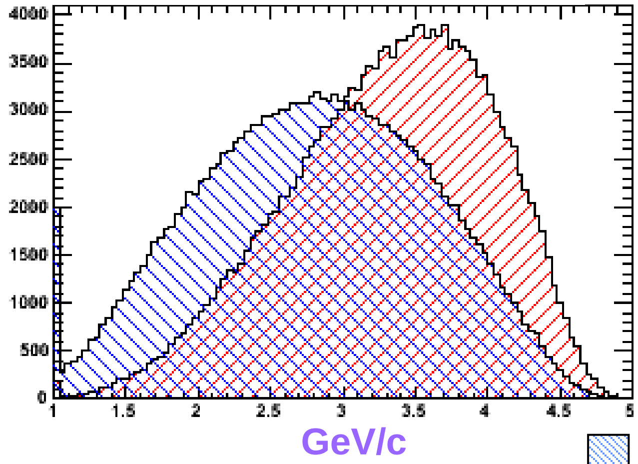
δM



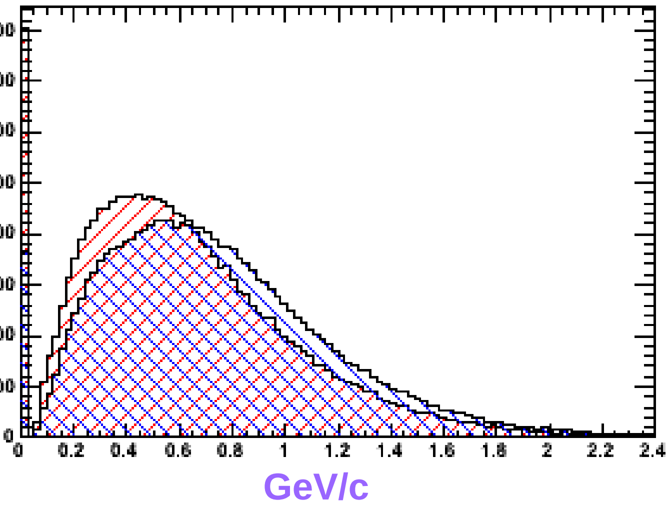
Training variables for ccbar Fisher:

- **Reconstructed momentum of D in c.m.**
- **Ratio between track-(beam/D decay) vtx distance("rRatio")**
- **D flight significance(=Dflight/error)**
- **X^2 probability for mass constrained fit**
- **Kπe vertex probability**
- **spectator system mass spectrum**
- **Momentum of leading particle in spectator system**

Reconstructed D momentum



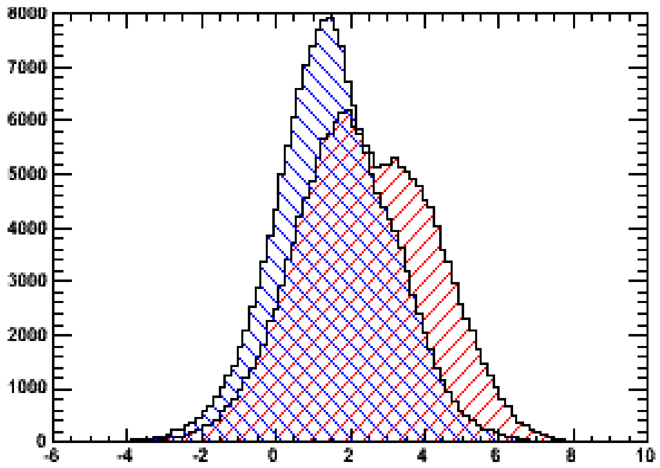
Leading particle momentum



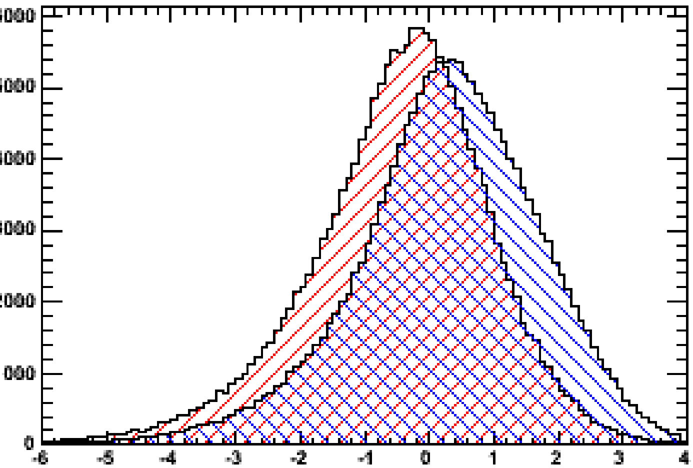
bkg cc

signal

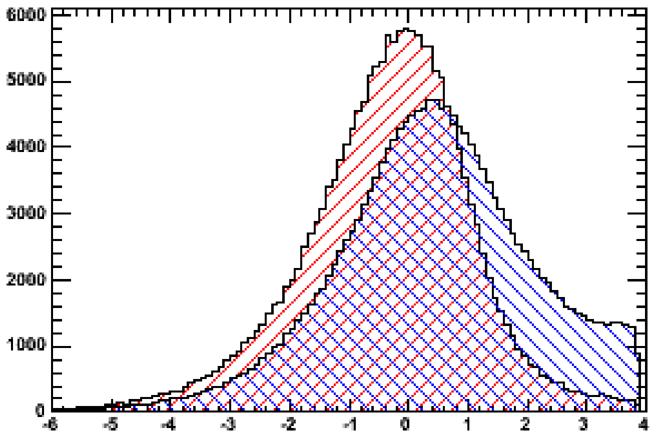
D flight significance



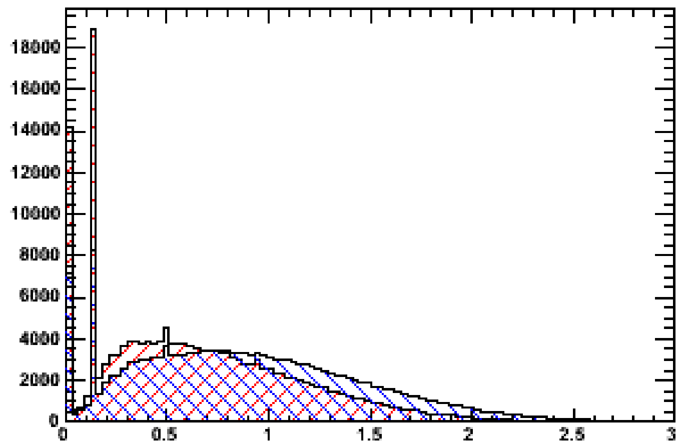
X2 probability for mass constrained fit

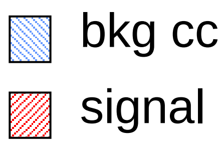


Kπe vertex probability

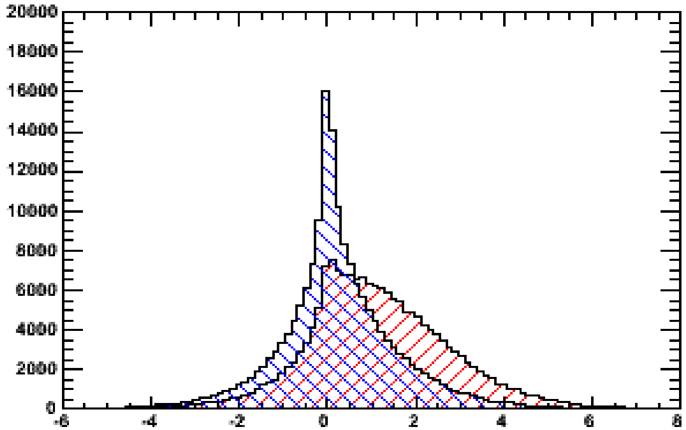


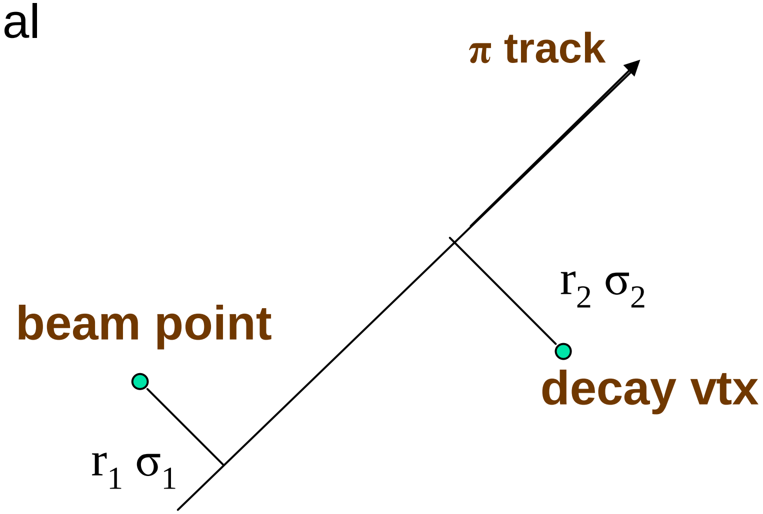
spectator system mass



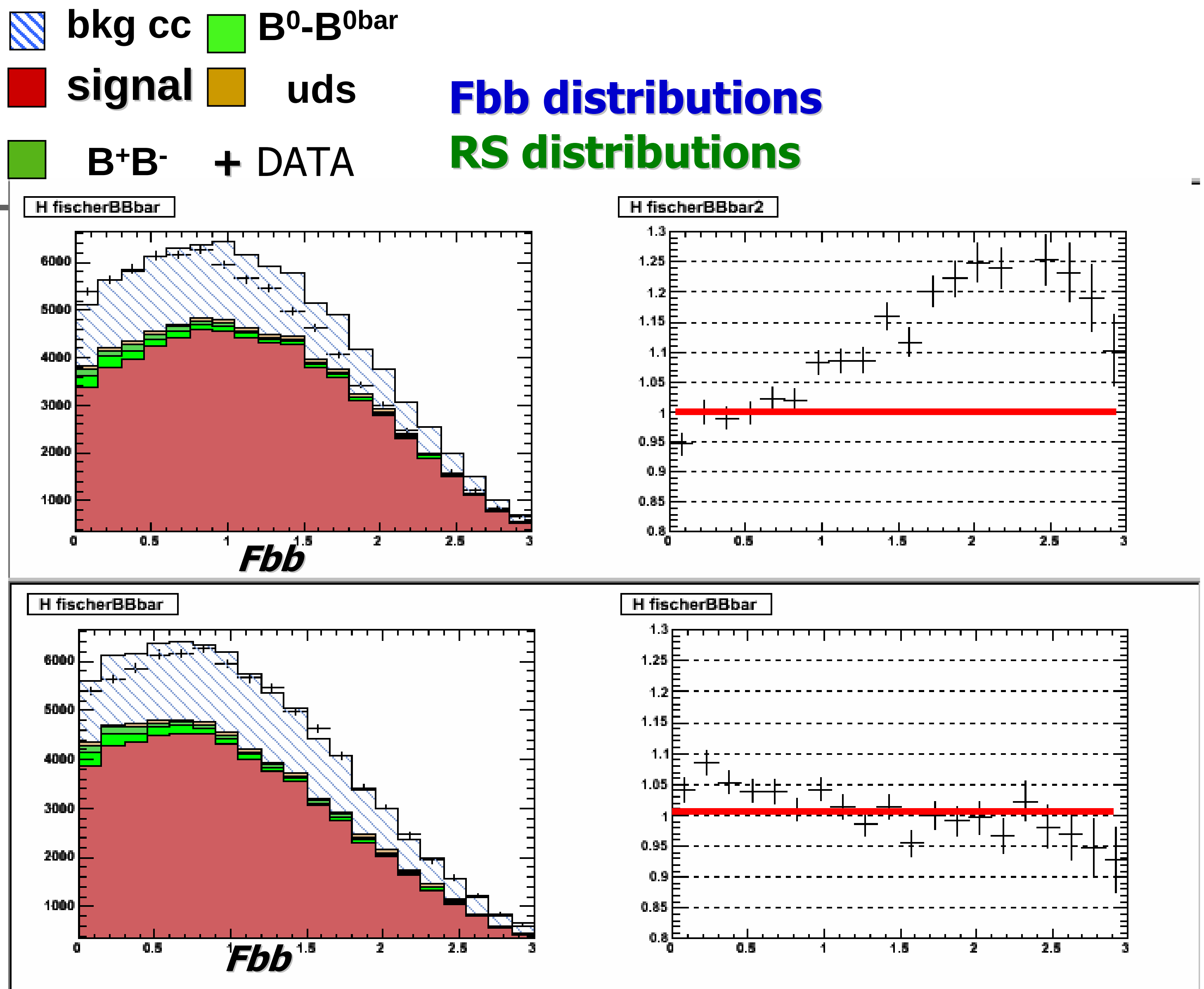


rRatio





MC corrections



Before corrections

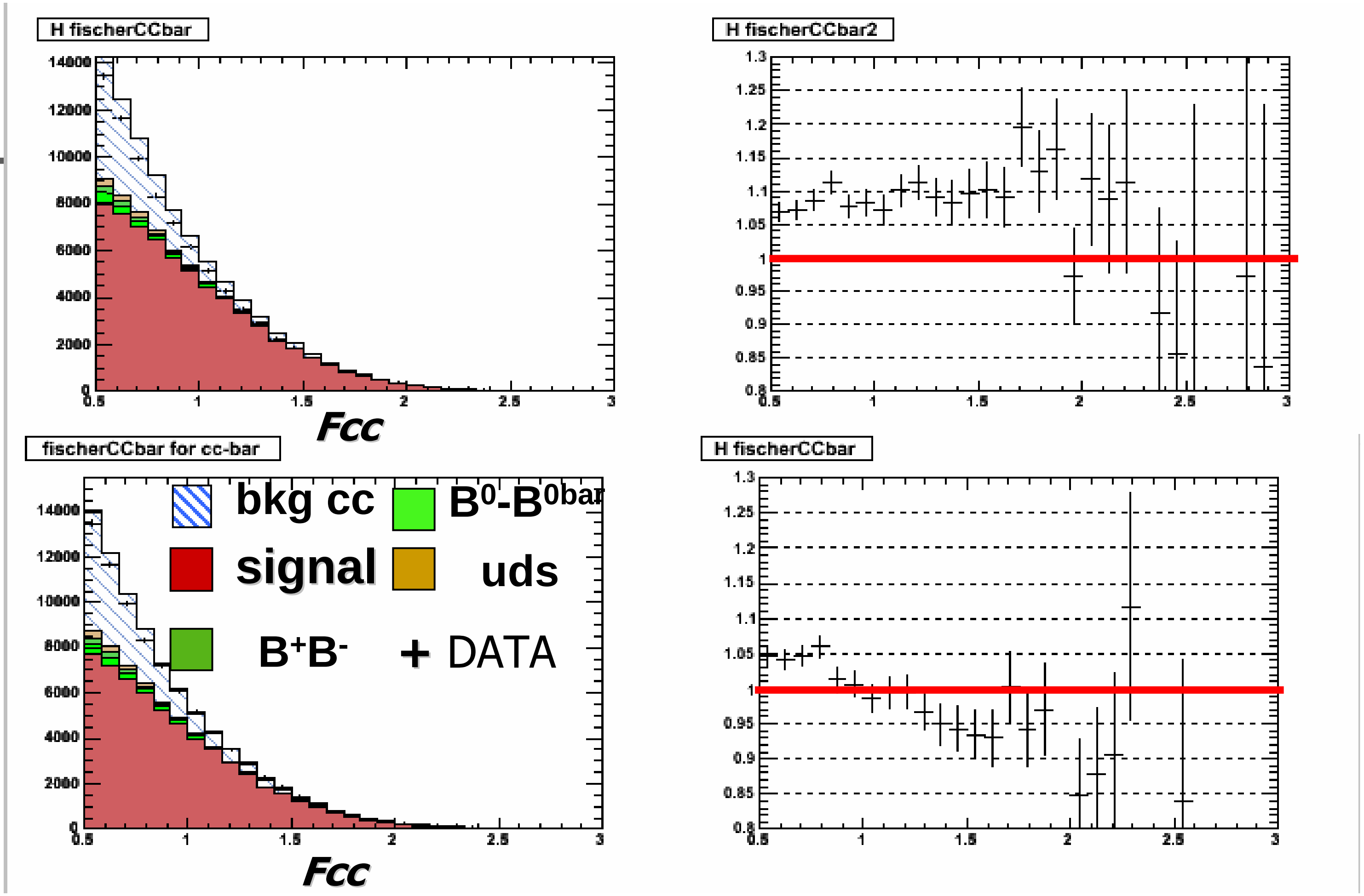
After corrections

MC corrections

RS distributions Fcc distributions

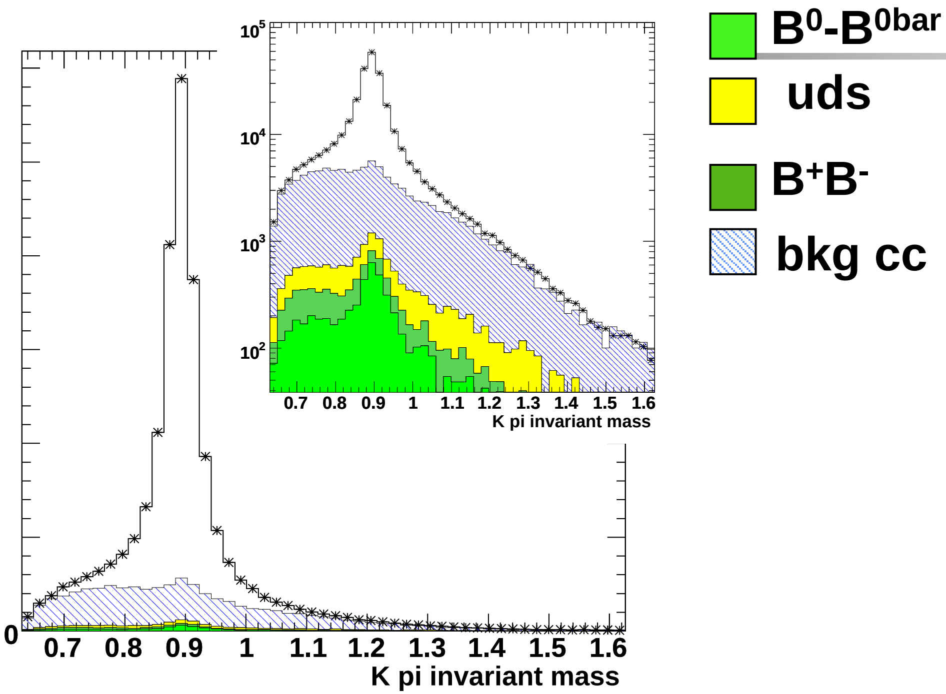
Before corrections

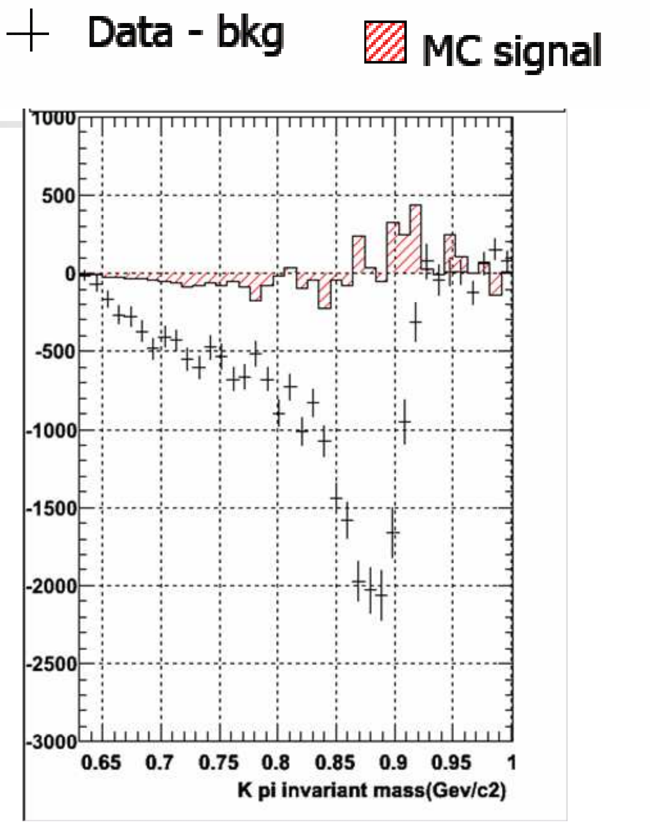
After corrections



Good improvement in Fbb,
Fcc has a less straight shape.
Signal decay model is not corrected. Signal shape may be dependent of decay model. More studies are in progress

BaBar Runs 1-5 data information





EvtGen signal
K^{*0},NR,K^*_{1430}
no interference

With a non optimized background cut selection I get 200k signal events and ~100k bkg events