

# Désintégrations semileptoniques du charme dans BaBar

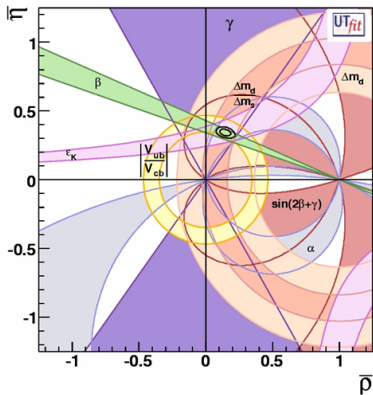
João Costa

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire

BaBar France '08, LPNHE Paris

Les désintégrations semileptoniques du charme permettent de tester les prédictions des calculs de QCD sur réseau (LQCD). Ces techniques, validées dans le secteur du charme, pourront être utilisées ensuite dans le secteur des B afin d'améliorer la précision sur la détermination des paramètres de la matrice CKM.

Global fit



contraintes sur  $\rho$  and  $\eta$   
dependent des **Calculs sur Réseau**

- $\Delta m_d \leftarrow f_{B_d} \sqrt{\widehat{B}_{B_d}}$
- $\frac{\Delta m_d}{\Delta m_s} \leftarrow \xi$
- $\epsilon_K \leftarrow \widehat{B}_K$
- $\frac{V_{ub}}{V_{cb}} \leftarrow$  **Facteurs de forme**

Les résultats du Réseau doivent être valides

## Interet pour le systeme $K\pi$

Plusieurs etudes charmless ont le  $K^*$  comme signal ou composante du bruit de fond.

Important de connaitre aussi le systeme  $K\pi$  en onde S.

## Competition

Plusieurs experiences sont en position d'etudier les desintegrations semileptoniques du charme.

### CLEO-c

- environnement propre
- peu de stat  $\propto 10^6$
- pour le  $D_s$  besoin de tagging  
 $\searrow \epsilon$

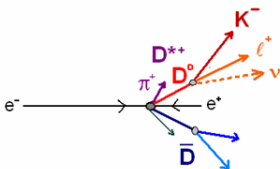
### BABAR

- Large stat  $\propto 10^9$
- Plusieurs types de hadrons-c issus de la fragmentation
- pas de tagging,  $\nearrow \epsilon$
- Bkg a controler

Belle: Environnement similaire a BaBar, ont analyse ( $D^0 \rightarrow K^- / \pi^- l^+ \nu$ ) ou  $l=(e, \mu)$  et avec reconstruction totale de l'evenement

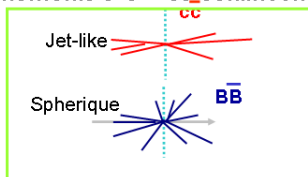
## Vue d'ensemble

## analyses "untagged"



## Reconstruction du canal

$$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+, \quad D^0 \rightarrow h^- \ell^+ \nu$$

$$D^{(*)}_{(s)-} \rightarrow h^+ h^- l^+ n$$
En evenements  $e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$  continuum

Determiner  $q^2 = (p_D - p_K)^2 = (p_\ell + p_\nu)^2 \leftarrow 1c \text{ ou } 2c \text{ fits } (m_D, m_{D^*})$

Reduire le bkg  $\leftarrow$  Discriminants Fisher (bb and cc)

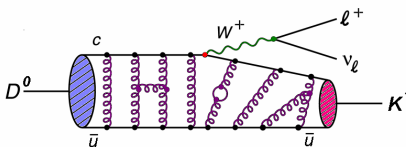
Extraire parametres  $\leftarrow$  Unfolding: metode SVD ou fit Likelihood 4-5 dim

Validation methode  $\leftarrow$  Echantillons de controle

Normalization ff  $\leftarrow$  mesure de rapport d'embranchement

## Desintégration a 3 corps

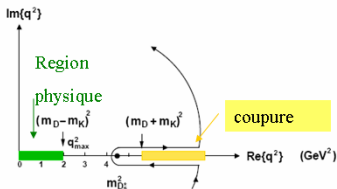
- 2 variables:  $q^2$ ,  $\cos \theta_e$
- 1 facteur de forme  $f_+(q^2)$
- distr. angulaire  $\propto \sin^2 \theta_e$



$$\frac{d\Gamma}{dq^2} = \frac{G_F^2 |V_{qq'}|^2 P_{P'}^3}{24\pi^3} |f_+(q^2)|^2$$

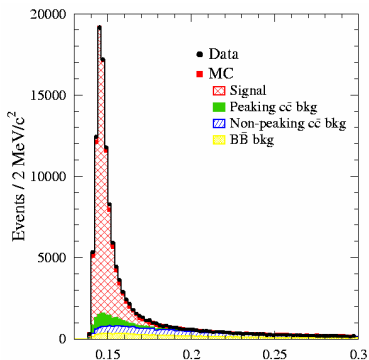
$$|f_+(q^2)| = \frac{f_+(0)}{1 - \frac{q^2}{m_{\text{pole}}^2}}$$

$$|f_+(q^2)| = \frac{f_+(0)}{\left(1 - \frac{q^2}{m_{D_s^*}^2}\right) \left(1 - \frac{\alpha_{\text{pole}} q^2}{m_{D_s^*}^2}\right)}$$

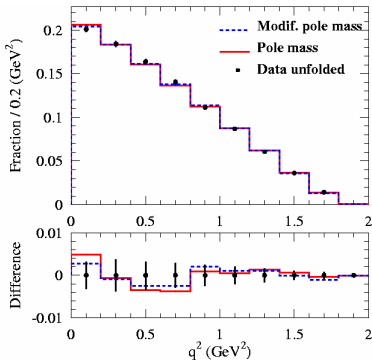


On peut fitter la masse du pole (modele du pole simple) ou  $\alpha$  du modele BK.  
 $m_{D_s^*}$  est la masse spectroscopique.

$$D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+; D^0 \rightarrow K^-e^+\nu_e$$



(a)  $\delta_m = m_{K^-e^+\nu\pi^+} - m_{K^-e^+\nu}$



(b)  $q^2$  after unfolding and bkg subtraction

## Analyse faite avec R1-2

Canal Cabibbo allowed

On a 85000 evenements signal (13% de bkg)

Publication: Phys.Rev.D76:052005,2007

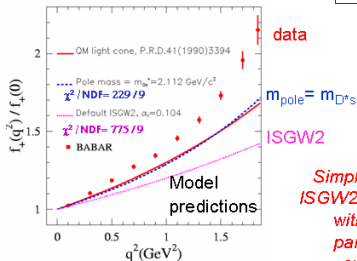
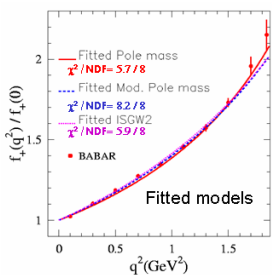
$$D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+; D^0 \rightarrow K^-e^+\nu_e$$

**Simple pole**  $f_+(q^2) = \frac{f_+(0)}{1 - \frac{q^2}{m_{\text{pole}}^2}}$   $m_{\text{pole}} = 1.893 \pm 0.012 \pm 0.015 \text{ GeV}/c^2$   
 Model prediction:  $m_{D^*s} = 2.112 \text{ GeV}/c^2$

**Modified pole**  $f_+(q^2) = \frac{f_+(0)}{\left(1 - \frac{q^2}{m_{D^*s}^2}\right)\left(1 - \alpha_{\text{pole}}\frac{q^2}{m_{D^*s}^2}\right)}$   $\alpha_{\text{pole}} = 0.359 \pm 0.023 \pm 0.029$   
 Lattice computation (HPQCD):  $\alpha_{\text{pole}} = 0.50(4)$

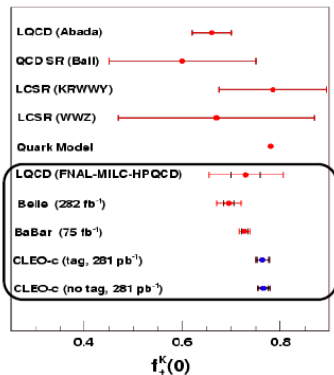
**ISGW2**  $f_+^{\text{ISGW2}}(q^2) = \frac{f_+(q_{\text{max}}^2)}{(1 + \alpha_I(q_{\text{max}}^2 - q^2))^2}$   $\alpha_I = 0.222 \pm 0.005 \pm 0.006 \text{ GeV}^{-2}$   
 Model prediction:  $\alpha_I = 0.104 \text{ GeV}^{-2}$

popular model,  
used in the  
Babar MC

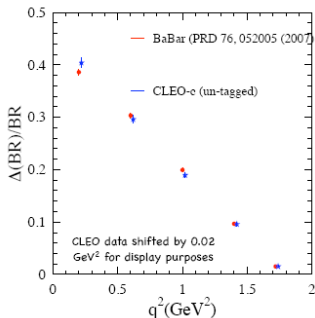


Simple pole and  
ISGW2 form factors  
with default  
parameters  
excluded

$$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+; D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu_e$$



$$f_+(0)_{LQCD} = 0.73 \pm 0.08$$



## Results

experiment	stat	$m_{pole} (GeV/c^2)$	$\alpha_{pole}$
CLEO-c	281 $pb^{-1}$	$1.97 \pm 0.03 \pm 0.01$	$0.21 \pm 0.05 \pm 0.03$
FOCUS	13k evts	$1.93 \pm 0.05 \pm 0.03$	$0.28 \pm 0.08 \pm 0.07$
Belle	282 $fb^{-1}$	$1.82 \pm 0.04 \pm 0.03$	$0.52 \pm 0.08 \pm 0.06$
BaBar	75 $fb^{-1}$	$1.884 \pm 0.012 \pm 0.015$	$0.38 \pm 0.02 \pm 0.03$

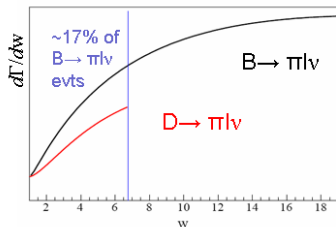


$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+; D^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$  Colaboration Orsay/Valencia

 Motivation additionelle :  $V_{ub}$ 

- $\frac{d\Gamma(B \rightarrow \pi l \nu) \div dw}{d\Gamma(D \rightarrow \pi l \nu) \div dw} = \left| \frac{V_{ub}}{V_{cd}} \right|^2 \frac{M_B}{M_D} \left| \frac{f_+^{B \rightarrow \pi}}{f_+^{D \rightarrow \pi}} \right|^2$  ssi  $p_{B \rightarrow \pi} = p_{D \rightarrow \pi}$
- $w = \frac{M^2 + m_\pi^2 - q^2}{2Mm_\pi}$
- Cabibbo suppressed

- Bruit de fond plus important par rapport au  $Ke\nu$  puisque la source principale de fond vient de pions


 on a besoin que  $w_D = w_B$ 

 Possible avec  $w \in [1.6, 7]$  ce qui correspond a:

$$q_D^2 \in [0, 2.975] \& q_B^2 \in [18, 26.4]$$

$$D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+; D^0 \rightarrow \pi^-e^+\nu_e$$

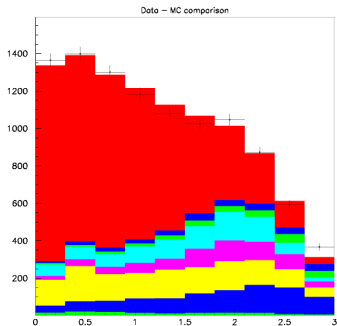
- Runs 1-5
- stat: S=5814  
bkg=4416
- Composition Bkg:  
 $B\bar{B} = 525$ ,  $c\bar{c}_{peak.} = 2831$ ,  
 $c\bar{c}_{n.peak.} = 914$ ,  $(uds + \tau) = 146$

## Challenges

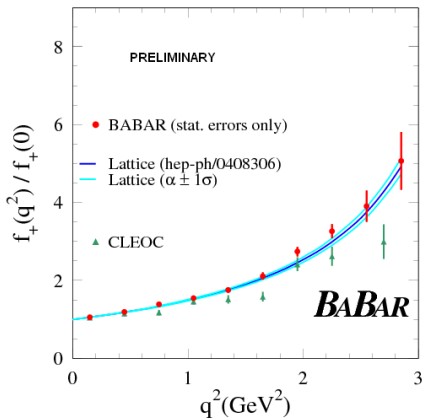
Controle du bkg

## Competition

Resultat preliminaire de CLEO-C deja publie( $280pb^{-1}$ ):1200 signaux



$$D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+; D^0 \rightarrow \pi^-e^+\nu_e$$

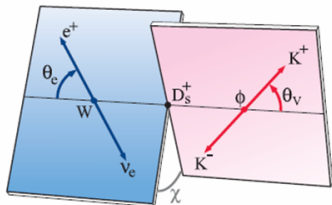


## Resultats preliminaires

Forme des ff en accord avec predictions LQCD.

Desaccord avec CLEO-c.

Analyse en cours, resultats finaux attendus bientot.



## Desintegration 4 corps

5 variables dynamiques:

$m_V$ ,  $q^2$ ,  $\cos \theta_e$ ,  $\cos \theta_{h^+}$ ,  $\chi$

## Objectifs

- Desintegration en etats Vecteur  $\rightarrow$  3 facteurs de forme ( $A_1(q^2)$ ,  $A_2(q^2)$ ,  $V(q^2)$ ) en pole simple
- $rV = \frac{V(0)}{A_1(0)}$ ,  $r2 = \frac{A_2(0)}{A_1(0)}$ ,  $m_A$

## Resonances et ondes S

- Interference entre ondes S ( $l=0$ ) et P ( $l=1$ ) permet analyse d'ondes S
- Resonance parametre par masse, largeur et facteur Blatt-Weisskopf

## Decay rate

- $$\frac{d^5\Gamma}{dm_{hh}^2 dq^2 d\chi d \cos \theta_e d \cos \theta_{h^+}} = \frac{G_F^2 |V_{cs}|^2}{(4\pi^6) m_D^3} p_{h^+ h^-} m_D \frac{2p^*}{m} I(m_{hh}^2, q^2, \cos \theta_e, \cos \theta_{h^+}, \chi)$$
- $$I = I_1 + I_2 \cos \theta_e + I_3 \sin^2 \theta_e \cos 2\chi + I_4 \sin 2\theta_e \cos \chi + I_5 \sin \theta_e \cos \chi + I_6 \cos \theta_e + I_7 \sin \theta_e \sin \chi + I_8 \sin 2\theta_e \sin \chi + I_9 \sin^2 \theta_e \sin 2\chi$$
- $$I_1 = 0.25(|F_1|^2 + 1.5 \sin^2 \theta_e (|F_2|^2 + |F_3|^2))$$

## Developpement des ff en ondes partielles

- $$F_1 = F_{10} e^{i\delta_S} + F_{11} e^{i\delta_P} \times \cos \theta_{h^+}$$
- $$F_2 = \frac{F_{21} e^{i\delta_P}}{\sqrt{2}}$$
- $$F_3 = \frac{F_{31} e^{i\delta_P}}{\sqrt{2}}$$

ou  $F_{ij}$  j represente l'etat orbital.

$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$ ; these de Justine Serrano (Avril 2008)

## Analysis dans region $\phi$ , masse est $\int$

4 variables:  $q^2$ ,  $\cos\theta_e$ ,  $\cos\theta_{h^+}$ ,  $\chi$

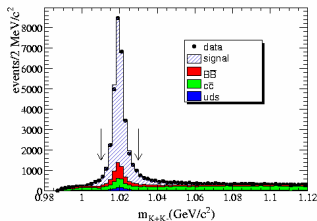
Analyse dans la region

$m_{K^+K^-} = [1, 01, 1.03] \text{ GeV}/c^2$

Stat: 32000 avec 18% de bkg ( surtout peak.)

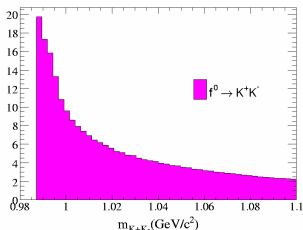
Publication: Phys. Rev. D 78, 051101(R) (2008)

Possibilite d'autre publication

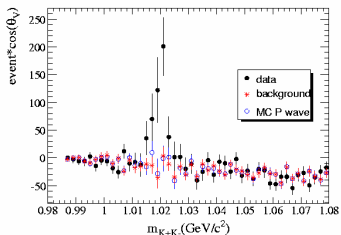


## S wave $\rightarrow f_0$

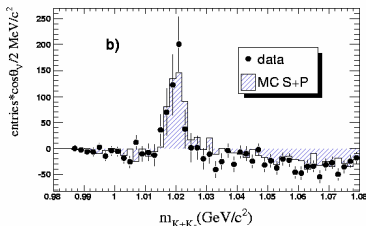
- $F_{10} = r_0 f_{10}(q^2) A_{f_0}(m)$
- $r_0$  normalisation
- $A_{f_0}(m)$   $f_0$  amplitude(Flatte)



$$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$$



(c) data vs MC sans onde S

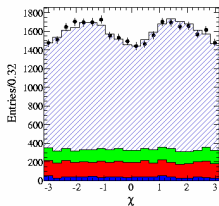
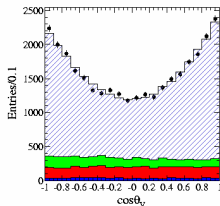
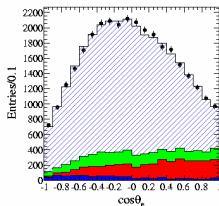
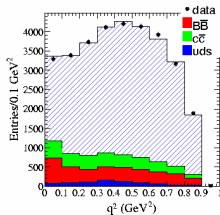


(d) data vs resultat de fit avec onde S

On n'est sensible qu'à la composante  $s\bar{s}$  du  $f_0$

$$\frac{BR(D_s^+ \rightarrow f_0 e^+ \nu_e)^{\Delta m} \times BR(f_0 \rightarrow K^+ K^-)}{BR(D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e)^{\Delta m}} = 0.22^{+0.12}_{-0.08} \pm 0.03\%$$

$$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$$



## Resultats

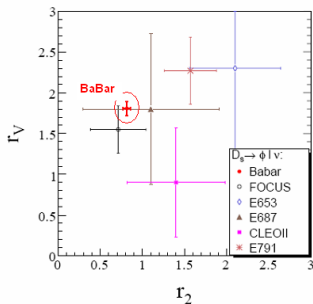
- $rV = 1.849 \pm 0.060$
- $r2 = 0.763 \pm 0.071$
- $m_A = 2.28_{-0.18}^{+0.23} \text{ GeV}/c^2$
- $r_0 = 15.1 \pm 2.6 \text{ GeV}^{-1}$

Onde S observée pour la première fois!

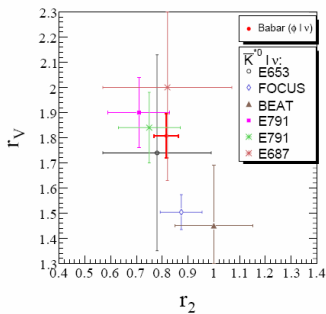


$$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$$

Fixant les masses des poles:



(e) Resultats mondiaux pour  $r_2$  et  $r_V$

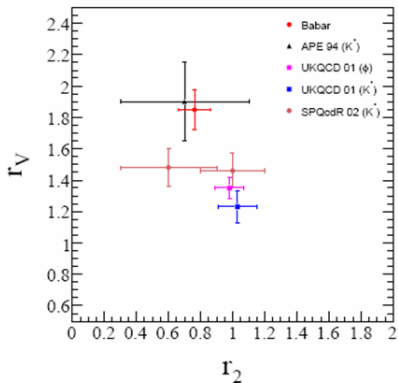


(f) Comparaison the rapports  $r_2$  et  $r_V$  avec ceux de  $D^+ \rightarrow K^{*0} e^+ \nu_e$

	$D_s^+ \rightarrow \phi e^+ \nu_e$	$D^+ \rightarrow K^{*0} e^+ \nu_e$
$r_V$	$1.807 \pm 0.046 \pm 0.075$	$1.62 \pm 0.08$
$r_2$	$0.816 \pm 0.036 \pm 0.030$	$0.83 \pm 0.05$

$$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$$

Calcul Réseau pour  $D^+ \rightarrow K^{*0} \ell^+ \nu$  et  $D_s^+ \rightarrow \phi \ell^+ \nu$ :



- $r_2$  compatible avec résultats réseau
- la valeur de  $r_V$  est plus grande que les derniers calculs réseau
- Les calculs réseau pour  $D_s$  sont plus précis que ceux pour  $D$
- UKQCD (2001) donne  $A_1(0) = 0.63 \pm 0.02$ , compatible avec notre résultat

$$A_1(0) = 0.607 \pm 0.011 \pm 0.020 \pm 0.018$$

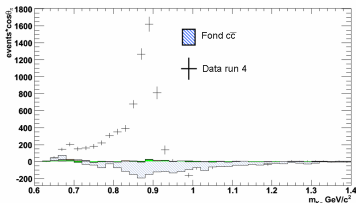
Tous ces calculs utilisent des approximations "quenched"

Ce sera intéressant d'avoir des résultats unquenched !!

$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ e^+ \nu_e$ ; these de l'orateur

## Analyse dans tout le spectre de masse

5 variables:  $q^2$ ,  $\cos \theta_e$ ,  $\cos \theta_{h^+}$ ,  $\chi$ ,  $m_{hh}$   
Run4, stat: 78000 avec 30% de bkg ( $\approx c\bar{c}$ )  
Fit des ondes S et P

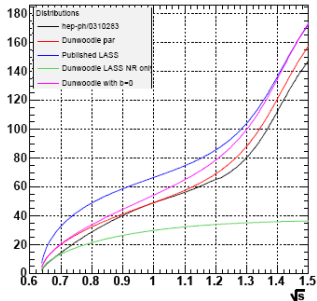


## S wave $\rightarrow$ LASS+ $K_0^*(1430)$

- $F_{10} = p_{K\pi} m_D R_0 \frac{1}{1 - \frac{q^2}{m_A^2}} A_S(m)$
- $R_0$  normalisation
- LASS par. pour NR:  

$$A_S(m) = \sin(\delta_{NR}) e^{i(\delta_{NR})} + e^{2i(\delta_{NR})} \sin \delta_{K_0^*(1430)} e^{i\delta_{K_0^*(1430)}}$$
- $\cot \delta_{NR} = \frac{1}{ap^*} + \frac{bp^*}{2}$

$\delta_S$



$$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ e^+ \nu_e$$

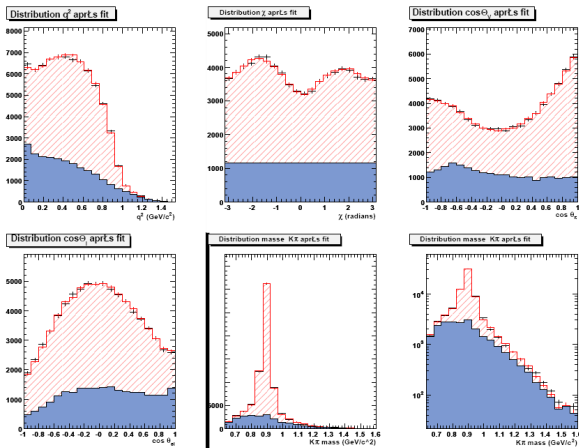


Figure: MC with preliminary fitted parameters vs data, using 20 bins per variable. **signal**, **background**, + data

# $D^+ \rightarrow K^-\pi^+e^+\nu_e$ Preliminary results avec Run4

variable	Result	PDG 2006	LASS	FOCUS
$\Gamma(K_0^*)(GeV/c^2)$	$0.0455 \pm 0.0005 \pm 0.0003$	$0.0503 \pm 0.0006$		$0.0478 \pm 0.0009^{+0.0013}_{-0.001}$
$M(K_0^*)(GeV/c^2)$	$0.8942 \pm 0.0002 \pm 0.0001$	$0.896 \pm 0.0003$		$0.8954 \pm 0.0003^{+0.0004}_{-0.0004}$
$m_A(GeV/c^2)$	$2.74 \pm 0.23 \pm 0.21$			
$R_V$	$1.57 \pm 0.04 \pm 0.03$	$1.62 \pm 0.08$		$1.50 \pm 0.06 \pm 0.04$
$R_2$	$0.83 \pm 0.04 \pm 0.03$	$0.83 \pm 0.05$		$0.88 \pm 0.05 \pm 0.06$
$R_0$	$0.251 \pm 0.010 \pm 0.008$		$-\pm -$	
$a_S(GeV/c)$	$2.22 \pm 0.17 \pm 0.16$		$1.95 \pm 0.09$	
$r_0(GeV/c)$	$3.32 \pm 0.29 \pm 0.22$		$3.4 \pm 0.5?$	
$N_s$	$52550 \pm 357 \pm 400$			
$N_b$	$23051 \pm 297 \pm 379$			

## En cours

- Utilisation des distributions de la var. de Fisher pour evaluer le taux de bkg
- Smoothing du background a 5D pour enlever l'effet de fluctuations
- Resultats attendus bientot

# $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+; D^0 \rightarrow K_S \pi^- e^+ \nu_e$ ; Groupe de Univ. South Carolina

## Differente methode d'analyse

- Analyse dans la region du  $K^*$ , masse integree  $\rightarrow$  fit a 4D. Stat utilise  $358 fb^{-1}$
- Etude des ff de l'onde P ainsi que l'amplitude et phases d'autres composantes (non-res,  $\kappa$ , etc..)

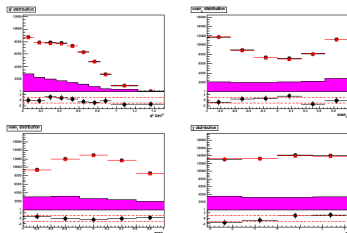


Figure: Projection sur les variables du fit preliminaire

## Conclusion

- Les desintegrations semileptoniques de charme ont le potentiel de valider les calculs sur reseau a travers les mesures de facteurs de forme. Cela requiert mesures ayant grande precision experimentale ce qui entraine large statistiques et bon control des systematiques.
- $D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu$  et  $D_s \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$  ont donne resultats precis et nouveaux resultats sont attendus bientot pour les canaux  $\pi e \nu$  et  $K \pi e \nu$ .
- Grace a une methode originelle pour la reconstr. des desintegrations SL, Babar est competitive avec les usines a charme

## Perspectives

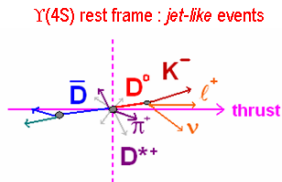
- Autres canaux peuvent etre analyses:  $D_s \rightarrow \eta(\eta') e \nu$ ,  $D^+ \rightarrow \pi \pi e \nu$ , desintegrations des baryons charmes.
- Plus de stat. peut etre ajoute a  $D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu$

Merci!

- Define two hemispheres:

- ▶ take soft  $\pi^+$ ,  $K^-$  and  $l^+$  in the same hemisphere

$$\text{Cuts} \begin{cases} \bullet p_{\ell}^*, p_{\ell} > 0.5 \text{ GeV} \\ \bullet \cos\theta_{\text{thrust}} < 0.6 \end{cases}$$



- Compute D direction ( $-P_{\text{all particles} \neq K, l}$ )
- Compute the missing energy in the lepton hemisphere
- Fit  $p_D = p_K + p_l + p_n$ 
  - ▶ From  $p_K, p_l$ , computed  $E_{\text{miss}}$  and  $D^0$  direction
  - ▶ Constraints using  $m_D$  and  $m_{D^*}$  (1c or 2c fit)
- Compute  $q^2 = (p_D - p_K)^2$





$$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+; D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu_e$$

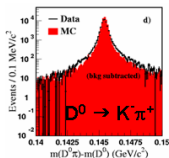
➤ Branching fraction measured relatively to  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ :

$$R_D = \frac{BR(D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu_e)_{\text{data}}}{BR(D^0 \rightarrow K^- \pi^+)_{\text{data}}}$$

Same reconstruction method and selection criteria as for SL channel, apart from :

$$D^0 \rightarrow K^- \pi^+$$

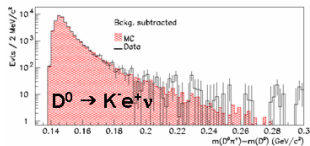
$m(K\pi)$  cut (1.83, 1.89 GeV)



$$D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu$$

1C and 2C kinematical fits

$\delta m$  cut ( $\delta m < 0.160$  GeV)



We obtain:

$$R_D = 0.9269 \pm 0.0072 \pm 0.0119$$

$$\rightarrow BR(D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu) = (3.522 \pm 0.027 \pm 0.045 \pm 0.065)\% \quad (\text{using the world average for } Br(D^0 \rightarrow K^- \pi^+) = 3.80 \pm 0.07 \%)$$

$$\rightarrow f_+(0) = 0.727 \pm 0.007 \pm 0.005 \pm 0.007$$

statistics

systematics

$$\text{Belle: } f_+(0) = 0.695 \pm 0.007 \pm 0.022$$

$$\text{Lattice: } f_+(0) = 0.73 \pm 0.03 \pm 0.07$$

$$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$$

rapport d'embranchement mesure relatif a to  $D_s^+ \rightarrow \phi \pi^+$  :

$$R_{D_s} = \frac{BR(D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu)_{data}^{\Delta m1}}{BR(D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+)_{data}^{\Delta m2}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \Delta m1 = [1.01, 1.03] \text{ GeV}/c^2 \\ \Delta m2 = [1.0095, 1.0295] \text{ GeV}/c^2 \end{cases}$$

Utilisant mesure de CLEO-c

$$BR(D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+)_{data}^{\Delta m2} = (1.99 \pm 0.10 \pm 0.05)\%$$

On a:  $R_{D_s} = 0.5577 \pm 0.0065 \pm 0.0168$

→  $BR(D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu)_{data}^{\Delta m1} = (1.110 \pm 0.013 \pm 0.033 \pm 0.062)\%$

→ Apres correction pour region de masse et onde S :  $BR(D_s^+ \rightarrow \phi e^+ \nu) = (2.606 \pm 0.031 \pm 0.086 \pm 0.150)\%$

$$\Gamma = \frac{\hbar BR(D_s^+ \rightarrow \phi e^+ \nu_e)}{\tau_{D_s}} = \frac{2G_F^2 |V_{cs}|^2}{3(4\pi)^3 m_{D_s}^2} |A_1(0)|^2 I$$

→  $A_1(0) = 0.607 \pm 0.011 \pm 0.020 \pm 0.018$

statistique

systematique

Inputs  
exterieurs