

Désintégrations semileptoniques du D un terrain de jeu pour le réseau et les théories effectives

Sébastien Descotes-Genon

Laboratoire de Physique Théorique
CNRS & Université Paris-Sud 11, 91405 Orsay, France

6 March 2007



En guise d'introduction

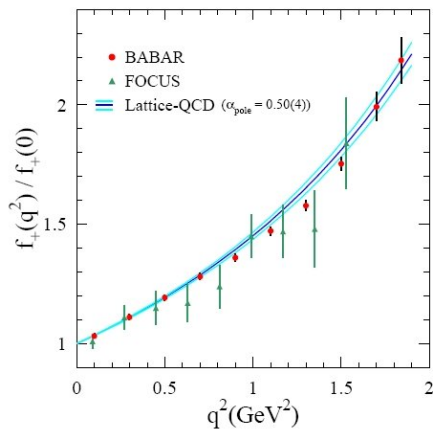
GDR Physique subatomique et calculs sur réseau
⇒ Convergence entre expérience, réseau, théorie

- Sujets déjà établis susceptibles de progrès
- Elaboration de nouveaux projets

Discussions sur désintégrations semileptoniques du D

A.Oyanguren, J. Pinto, P. Roudeau, J. Serrano...
SDG, B. Haas A. Le Yaouanc, O. Pène, L. Lellouch...

$D \rightarrow K$ et $D \rightarrow \pi$: facteurs de forme

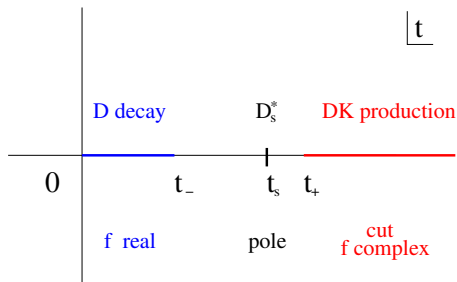


Babar coll.

$$\langle K(p') | \bar{s} \gamma_\mu c | D(p) \rangle = \left(p_\mu + p'_\mu - q_\mu \frac{m_D^2 - m_K^2}{q^2} \right) f_+(t) + \frac{m_D^2 - m_K^2}{q^2} q_\mu f_0(t)$$

Pour $D \rightarrow K l \nu$
deux facteurs de forme (en principe)
fonctions de $t = q^2 = (p - p')^2$

Structure analytique



Une coupure le long de l'axe réel

$$t_- = (m_D - m_K)^2 \quad 1.87 \text{ GeV}^2$$

$$t_s = m_{D_s^*}^2 \quad 4.46 \text{ GeV}^2$$

$$t_+ = (m_D + m_K)^2 \quad 5.56 \text{ GeV}^2$$

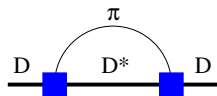
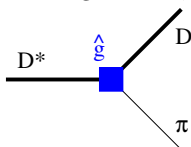
- Réseau

- Test du réseau pour la dépendance en q^2
- Détermination de $f_+(0)$, d'où $|V_{cs}|$

- Théories effectives

- Autour du pole du D_s^* : $f_+(t) \sim \frac{f_{D_s^*} m_{D_s^*} g_{D_s^* D K} / 2}{m_{D_s^*}^2 - q^2} + \dots$
- Relié par $SU(3)$ à $g_{D^* D \pi}$, et lié à \hat{g} de $HM\chi PT$

$$\begin{aligned} \hat{g} &= \frac{f_\pi g_{D^* D \pi}}{2\sqrt{m_D m_{D^*}}} \\ &= Cst + O(1/m_D) \end{aligned}$$



- Controverse sur la valeur de $g_{D^* D \pi}$

$$17.9 \pm 0.3 \pm 1.9$$

Experiment

$$18.8 \pm 2.3^{+1.1}_{-2.0}$$

Lattice

$$10.5 \pm 0.3$$

LCSR

$$[17, 25]$$

LCSR + rad exc

CLEO

Abada et al.

Khodjamirian et al.

Becirevic et al.

(Quasi) interpolation : $f_+(0)$

- Facile puisque fonction lisse
- Toutes les paramétrisations “raisonnables” se valent

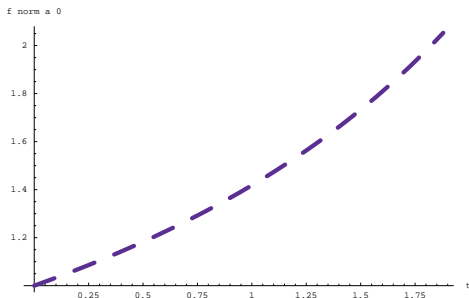
Extrapolation : \hat{g}

- Plus dangereux
- Information physique guide nécessaire

Comment différentes paramétrisations se comportent-elles ?
Consensus sur les résultats ?

Polynome en t

Le plus simple : $f_+(t) = f_+(0)[1 + at + bt^2 + \dots]/(t_1 - t)$



- Linéaire : Bon accord avec les données (montré ici)
- Quadratique : Légère amélioration (rien de dramatique)

- 2 poles : D_s^* + pole eff pour autres singularités (poles, coupure)

$$f_+(t) = f_+(0) \frac{1 - \delta t/m_{D_s^*}^2}{(1 - t/m_{D_s^*}^2)(1 - \beta t/m_{D_s^*}^2)}$$

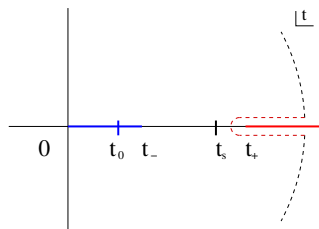
- Symétrie de quark lourd pour simplifier l'expression $\delta = 0$, $\beta = \alpha$

Meilleure valeur pour les données : $\alpha \sim 0.36$

- Satisfaisant en tant que paramétrisation effective
- Nettement plus loin que le deuxième pôle réel (~ 0.6)
- Mais basé sur relations de HQET avec fortes corrections

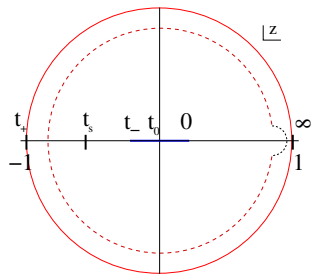
Loin de limite asymptotique $\lim_{m_c \rightarrow \infty} \alpha \rightarrow 1$

Boyd; Caprini, Lellouch, Neubert. . .



$$z(t, t_0) = \frac{\sqrt{t_+ - t} - \sqrt{t_+ - t_0}}{\sqrt{t_+ - t} + \sqrt{t_+ - t_0}} \propto t_0 - t$$

$$|z| \text{ petit: } t_0 = t_+ - \sqrt{t_+(t_+ - t_-)}$$



$$f_+(t) = \frac{1}{P(t)\phi(t, t_0)} \sum_{k=0}^{\infty} a_k z^k$$

- $P(t) = z(t, m_{D_s^*}^2)$ pour sortir le pole du D_s^*
- $\phi(t, t_0)$ facteur cinématique "bien choisi"

Coefficients bornés $\sum_{k=0}^{\infty} a_k^2 = O(1)$

$$\begin{aligned}\Pi^{\mu\nu}(q) &= i \int d^4x e^{iqx} \langle 0 | T V^\mu(x) V^{\dagger\nu}(0) | 0 \rangle \\ &= (q^\mu q^\nu - g^{\mu\nu} q^2) \Pi_1(q^2) + g^{\mu\nu} \Pi_0(q^2)\end{aligned}$$

- Partie imaginaire = $\frac{1}{2} \sum_\Gamma (2\pi)^4 \delta^4(p_\Gamma - q) \langle 0 | V^\mu(0) | \Gamma \rangle \langle \Gamma | V^{\dagger\nu}(0) | 0 \rangle$
Somme contrib. pos. $\frac{\eta}{48\pi} \frac{[(t-t_+)(t-t_-)]^{3/2}}{t^3} |f_+(t)|^2 \leq \text{Im}\Pi_1(t)$

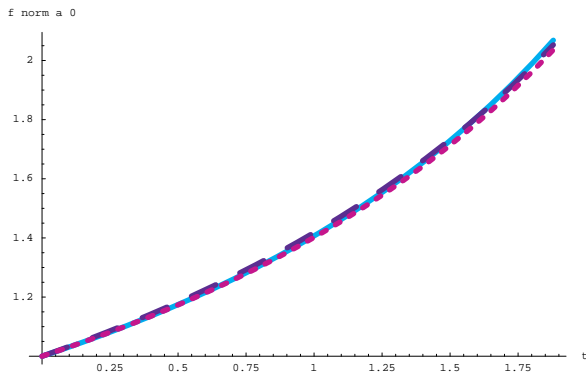
$$\sum_{k=0}^{\infty} a_k^2 = \frac{1}{\pi} \frac{dt}{t-t_0} \frac{\sqrt{t_+ - t_0}}{\sqrt{t - t_+}} |P_\phi F|^2 \leq \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{t \text{Im}\Pi_1(t)}{(t+Q^2)^3}$$

- ϕ ainsi fixé \implies coefficients a_k bornés $\sum_k a_k^2 = O(1)$

malheureusement contrainte très lâche sans info complémentaire
(Borne sur $\text{Im}\Pi$ par pQCD largement surestimée)

Trois paramétrisations dans la région physique

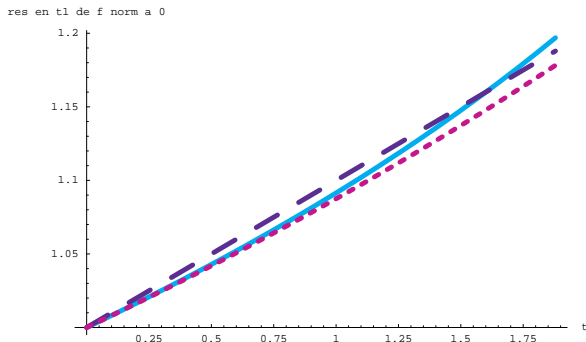
$$\frac{f_+(t)}{f_+(0)} \text{ dans la région physique}$$



Bleu clair : Hill, bleu foncé : Linéaire, violet : BK

Trois paramétrisations sans le pôle

$$\frac{(t_1-t)f_+(t)}{t_1 f_+(0)} \text{ dans la région physique}$$

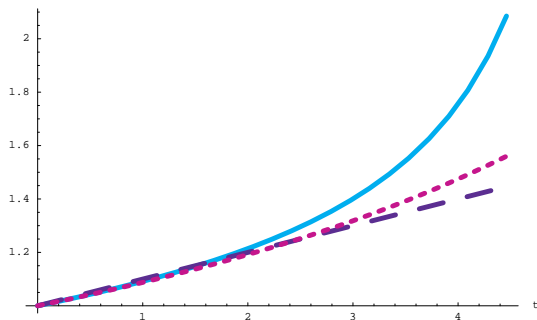


Bleu clair : Hill, bleu foncé : Linéaire, violet : BK

Trois paramétrisations extrapolées

$\frac{(t_1-t)f_+(t)}{t_1 f_+(0)}$ extrapolé jusqu'au pôle du D_s^*

res en t1 de f norm a 0



Bleu clair

Hill

$\hat{g} \sim 1.02 !$

Bleu foncé

Linéaire

$\hat{g} \sim 0.71$

Violet

BK

$\hat{g} \sim 0.76$

Difficile extrapolation

Pb avec Hill : divergence en t_+ car zéro de $\phi(t_+, t_0) = 0$!

⇒ Structure de ϕ imposée par contrainte d'unitarité

⇒ Une contrainte peu efficace

$$\sum_{k=0}^{\infty} a_k^2 \leq (0.11)^2 \quad a_0 = 0.0224 \quad a_1 = -0.0062 \quad a_2 = 0.0019$$

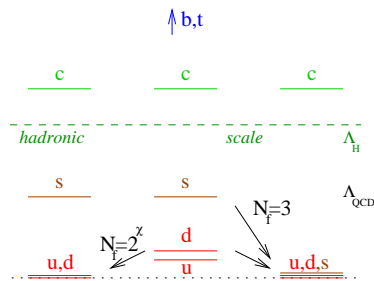
Traitement de la coupure (log) proche de D_s^* non satisfaisant

- Paramétrisation en t : absente (div absente)
- Becirevic Kaidalov : pole éloigné
- Hill : pole sur le début de la coupure (div trop forte)

⇒ Info physique supplémentaire nécessaire pour extrapoler : réseau ?

$D \rightarrow K\pi$: déphasages

Trois limites chirales



$$m_u, m_d \rightarrow 0$$

$$N_f = 3 : m_s \rightarrow 0$$

$$N_f = 2 : m_s \text{ physique}$$

$$N_f = 2^{\text{lat}} : \text{pas de quark } s$$

2 versions de χ PT

$N_f = 2$: π slt d.o.f (peu de param. & processus)
 $N_f = 3$: π, K, η d.o.f (plus de param. & processus)

Quelques questions en suspens

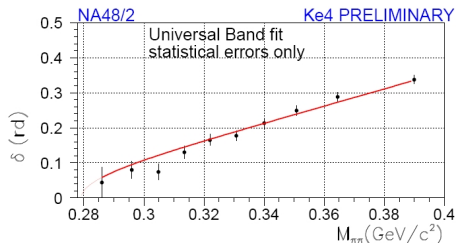
- Domaine de validité de ces théories
 - valides pour les masses de quark expérimentales ?
 - valides pour les masses de quark simulées sur réseau ?
- Dépendance en m_s forte ou faible ?
 - Peut-on relier $N_f = 2$ et $N_f = 3$ par un développement en m_s ?
 - Diminution attendue des paramètres d'ordre quand $m_s \rightarrow 0$ (comme le condensat de quarks)

Nécessité de tester expérimentalement

χ PT pour $N_f = 2$ et $N_f = 3$

Implications pour extrapolations sur réseau

Tester $N_f = 2$ χ PT : $K_{\ell 4}$



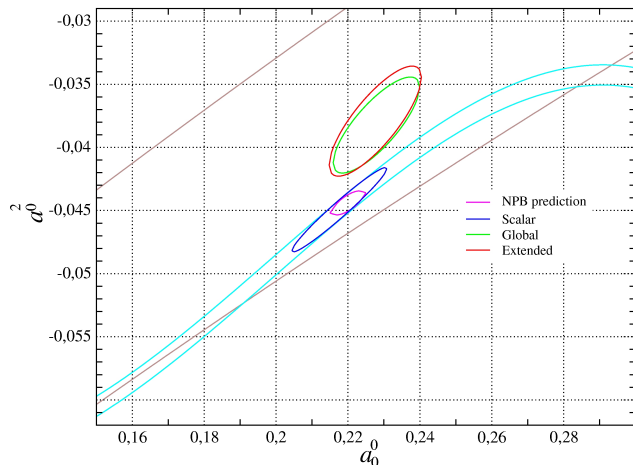
- $K \rightarrow \pi\pi\ell\nu$ phase liée par le th. de Watson aux déphasages $\pi\pi$ (interférence entre ondes S et P)
- Relations de dispersion (équations de Roy) pour reconstruire l'amplitude dans une région cinématique où χ PT convergerait vite
- Comparaison avec "prédictions" (estimations) de χ PT

Résultats souvent indiqués en termes des longueur de diffusion (a_0^0, a_0^2)

Colangelo, Gasser, Leutwyler
SDG, Fuchs, Girlanda, Stern

(a_0^0, a_0^2) avant 2007

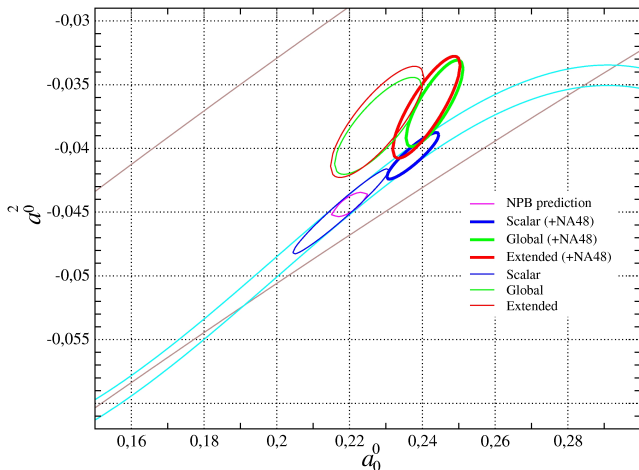
Données de Brookhaven E865 data + données plus anciennes, plusieurs fits



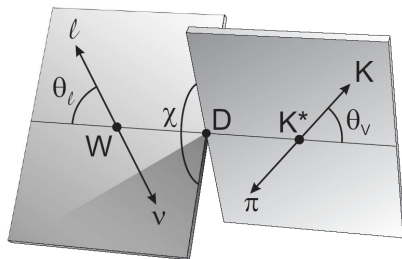
“Quark condensate accounts for 94% of M_π^2 ” (Colangelo, Gasser, Leutwyler)

(a_0^0, a_0^2) en 2007

Nouvelles données prel de NA48, en accord marginal avec E865



Condensat de quark : 80% de M_π^2 (LO expansion en m_u et m_d slt !)



Même exercice
avec $D \rightarrow K\pi l\nu$
pour $\pi K \rightarrow \pi K$

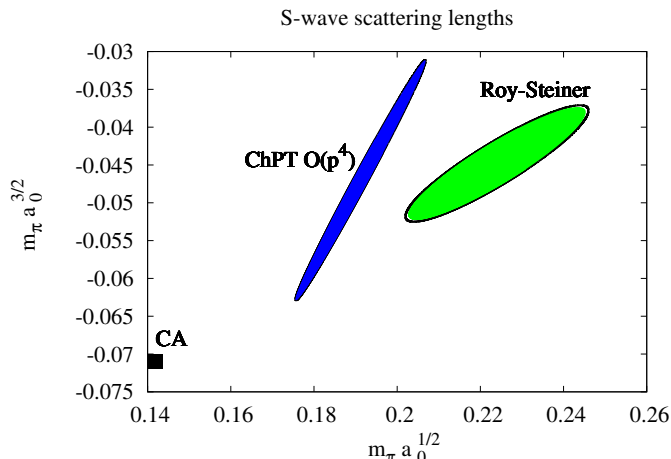
5 paramètres cinématiques

3 facteurs de forme

- F_1 (ondes $S, P \dots$), et $F_{2,3}$ (onde $P \dots$)
- dépendant de $s_{K\pi}$, $s_{l\nu}$ et $\cos \theta_K$
- phases identiques à diffusion πK (Th. Watson)

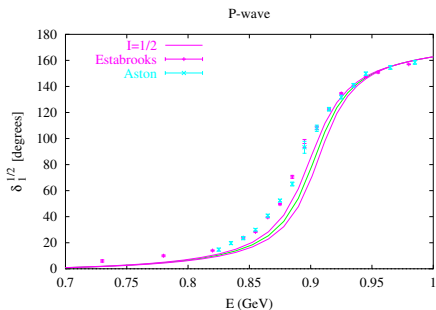
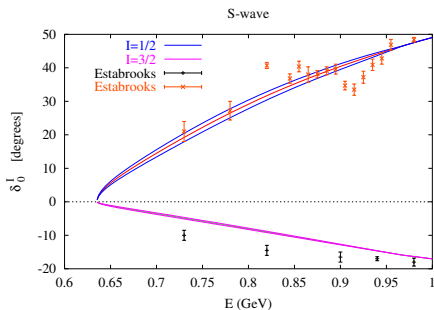
Déphasages par Roy-Steiner (1)

Par équations de Roy-Steiner et anciennes données, contraintes sur les longueurs de diffusion



Déphasages par Roy-Steiner (2)

Par équations de Roy-Steiner et anciennes données, contraintes sur les déphasages à basse énergie



Implications

$$\frac{d^5\Gamma}{ds_{l\nu} ds_{K\pi} d\cos\theta_K d\cos\theta_l d\phi} \propto |F_i|^2, \text{Re } F_i F_j^*, \text{Im } F_i F_j^*$$

Deux approches différentes

- Certains rapports de moments isolent $[\delta_S - \delta_P](s)$ (Pais-Treiman)
- Analyse angulaire et en masse invariante complète (à la NA48)
- Déphasages au-dessus de 1 GeV : input pour relations de dispersion
- Déphasages au-dessus de 1 GeV : πK à basse énergie et χ PT

Question actuelle : dépendance en $s_{K\pi}$ des F_i

A plus long terme: Comparaison entre $N_f = 2$ et $N_f = 3$ χ PT
Implications pour extrapolations chirales sur le réseau ?

Désintégration semileptoniques du D : un test pour réseau et th. eff.

- $D \rightarrow Kl\nu$
 - Test pour QCD sur réseau (dépendance en t)
 - Outils théoriques analytiques (rel. disp., saturation par res.)
 - Question des extrapolations hors de la région physique
- $D \rightarrow K\pi l\nu$
 - Test du secteur étrange de χ PT
 - Comparaison entre limites chirales $N_f = 2$ et $N_f = 3$
 - Implications potentielles pour extrapolation sur réseau