

# Test du formalisme CKM par une usine à B

Stéphane Plaszczynski and Marie-Hélène Schune -LAL-ORSAY

- Test de la matrice CKM
  - Position du problème
  - Les difficultés
  - Une solution
- Ou sommes nous? ou allons nous?
  - 1997
  - inclure les limites sur  $\Delta m_{B_s}$
  - Représentation ( $\sin 2\alpha$ ,  $\sin 2\beta$ )
  - influence d'une usine à B ( $BABAR$  sous différents scénarios)
- Que dire sur la NP?
  - Quand invoquera-t-on la NP?
  - L'analyse “model-independent”
  - Résultats
- Résumé

# Position du problème

La matrice CKM est caractérisée par **4 paramètres**:

- $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}, \delta$  (PDG)
- $\lambda, A, \rho, \eta$  (Wolfenstein)
- $\lambda, A, \sin 2\alpha, \sin 2\beta$
- ...

$\lambda = \sin \theta_c = .2205 \pm .0018$  bien connue  $\rightarrow$  **3 paramètres** à déterminer

On a un ensemble de **mesures**

measurement	central value	exp. error	model-dep. errors
$ V_{bc} $	.039	.004	-
$ \frac{V_{bu}}{V_{bc}} $	.080	.005	.020
$\Delta m_{B_d} (ps)^{-1}$	.472	.018	-
$ \epsilon_K  (10^{-3})$	2.258	.018	-
$\Delta m_{B_s} (\mathcal{A})$			
$a_\alpha$	?	0.085	
$a_\beta$	?	0.059	

Contraintes

$$\begin{aligned}
 1997: 4 - 3 &= +1 \text{ d.o.f} \\
 +\Delta m_{B_s} &= +2 \text{ d.o.f} \\
 +\text{Babar} &= +4 \text{ d.o.f}
 \end{aligned}$$

On a une **description théorique** qui relie les 2:

$$|V_{bc}|(\textcolor{red}{A}) = A\lambda^2 \quad (1)$$

$$|\frac{V_{bu}}{V_{bc}}|(\rho, \eta) = \lambda \sqrt{\rho^2 + \eta^2} \quad (2)$$

$$\Delta m_{B_d}(A, \rho, \eta) = \frac{G_F^2}{6\pi^2} A^2 \lambda^6 [(1-\rho)^2 + \eta^2] m_W^2 m_{B_d} (f_{B_d} \sqrt{B_{B_d}})^2 \eta_B S(\frac{\bar{m}_t^2}{m_W^2}) \quad (3)$$

$$|\epsilon_K|(A, \rho, \eta) = \frac{G_F^2}{6\sqrt{2}\pi^2} \frac{m_W^2}{\Delta m_K} m_K f_K^2 B_K A^2 \lambda^6 \eta [-\eta_1 S(x_c) + A^2 \lambda^4 (1-\rho) \eta_2 S(x_t) + \eta_3 S_{ij}(x_c, x_t)] \quad (4)$$

$$a_\alpha = \sin 2\alpha (\rho, \eta) = \frac{2\eta(\eta^2 + \rho^2 - \rho)}{(\rho^2 + \eta^2)((1-\rho)^2 + \eta^2)} \quad (5)$$

$$a_\beta = \sin 2\beta (\rho, \eta) = \frac{2\eta(1-\rho)}{((1-\rho)^2 + \eta^2)} \quad (6)$$

En principe un problème d'estimation simple (likelihood,  $\chi^2$ ):

$$\chi^2(A, \rho, \eta) = \sum_Y \left[ \frac{Y^{mes} - Y(\textcolor{red}{A}, \rho, \eta)}{\sigma^{mes}} \right]^2$$

2 aspects:

- au minimum: meilleurs estimateurs:  $(\hat{A}, \hat{\rho}, \hat{\eta})$  + régions @95% CL
- $P(\chi^2_{min})$  test de la description théorique (on peut utiliser 'Prob' si les erreurs sont gaussiennes  $\simeq \exp$ )

# Le problème des erreurs théoriques

Des paramètres QCD (non perturbatifs) entrent dans les calculs:  
p.ex  $f_{B_d}\sqrt{B_{B_d}}$ ,  $B_K$ ..ou des modèles d'extrapolation pour  $|\frac{V_{bu}}{V_{bc}}|$

Différentes méthodes d 'estimation:

Réseaux, règles de somme, modèles de quarks..

Chacune (chaque groupe) fournit des estimations + “erreur”

Questions:

- qui croire?
- quelle valeur moyenne? (la moyenne des estimations?)
- quelle erreur? (la dispersion des estimations? une méthode?)
- quelle densité de probabilité (sûrement pas gaussien. Plate?  
→ problème Bayesien...)

# Une solution

Faire un choix conservatif d'une fenêtre pour ces paramètres:

(choix  $B_{ABAR}$ )

Theoretical est.	lower bound	intermediate value	higher bound
$<\frac{V_{bu}}{V_{bc}}>$	0.06	0.08	0.10
$f_{B_d}\sqrt{B_{B_d}}$	.160	.200	.240
$B_K$	.60	.80	1.0

- Faire un “scan” de ces valeurs:  
un choix de  $M = <\frac{V_{bu}}{V_{bc}}>, f_{B_d}\sqrt{B_{B_d}}, B_K$  = un Modèle théorique

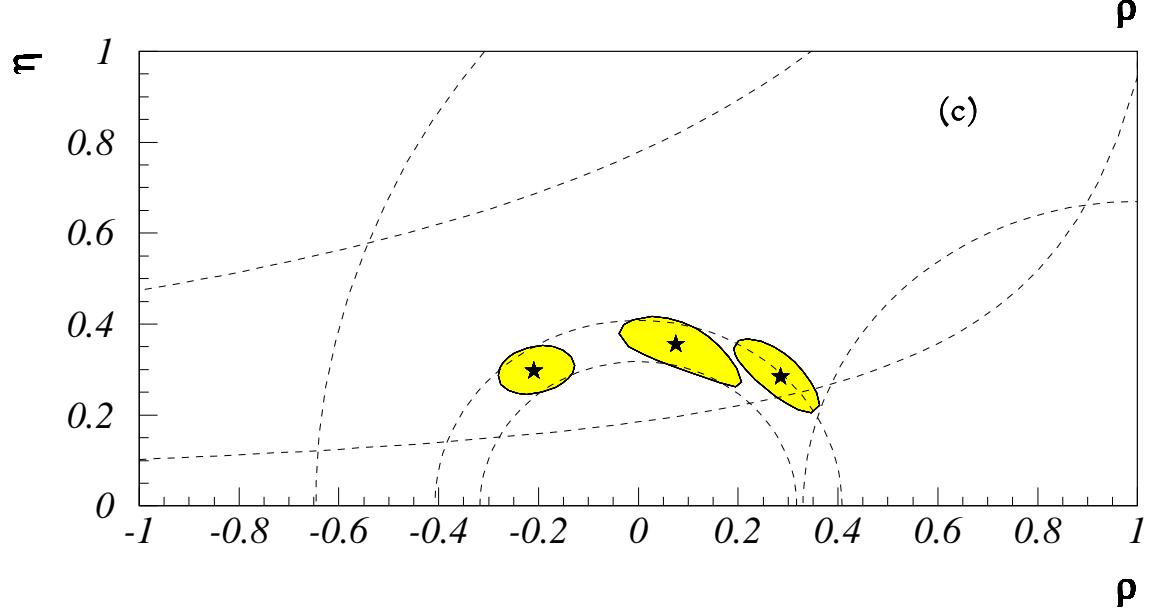
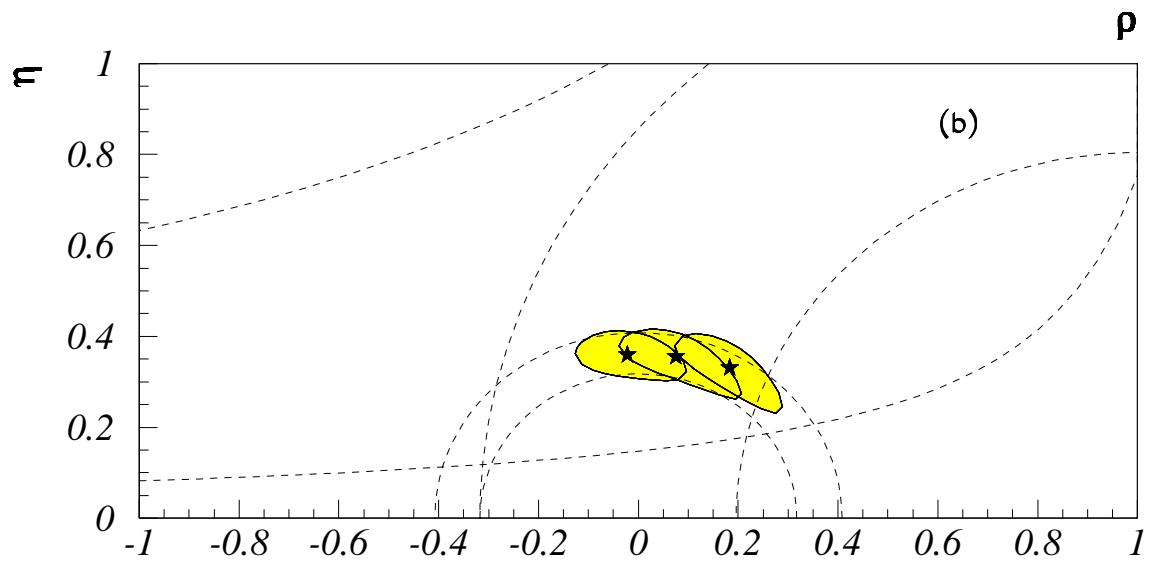
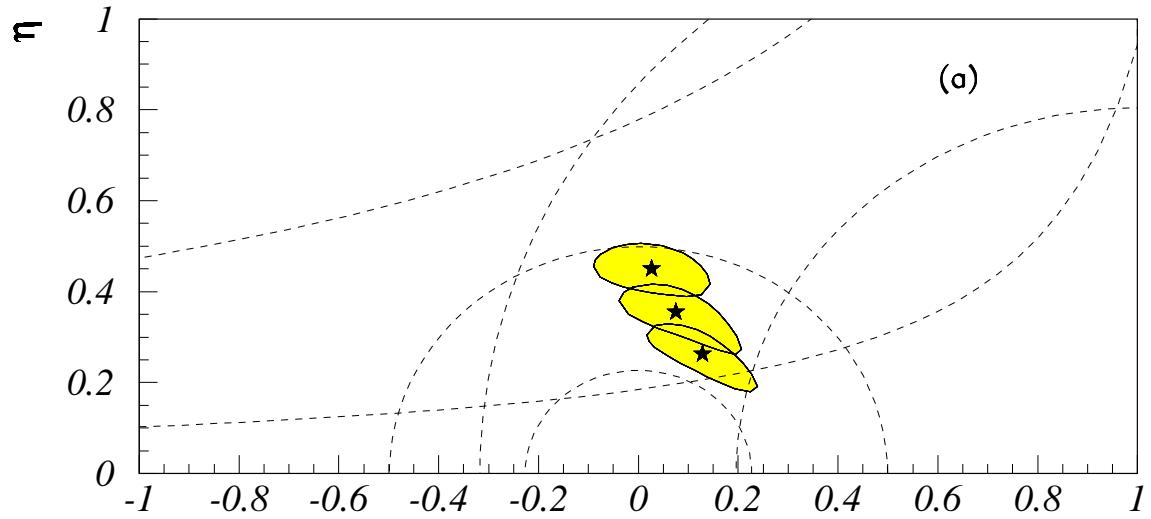
- construire:

$$\chi_M^2(A, \rho, \eta) = \sum_Y \left[ \frac{<Y> - Y_M(A, \rho, \eta)}{\sigma_Y} \right]^2 \quad (7)$$

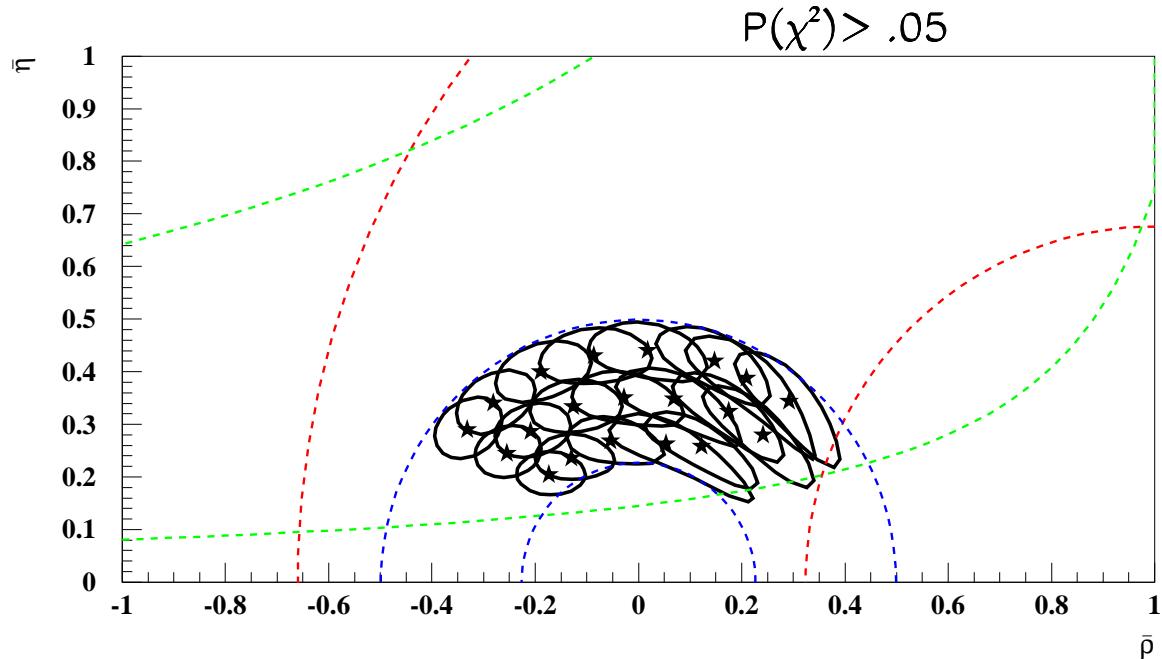
où  $\sigma_Y$  est purement expérimental (=gaussien)

- Minimiser
- Si  $Prob(\chi_{min}^2) \leq$  cutoff (5%) on refuse M (si tous les M sont refusés → problème...)
- on détermine un contour à 95%CL dans un plan
- prochain M

On ignore quel contour est le bon mais l'un est bon. L'ensemble des contours est à coup sur une région de confiance à au moins 95%



Triangle 1997:  $|V_{cb}|$ ,  $|\frac{V_{ub}}{V_{cb}}|$ ,  $|\varepsilon_K|$ ,  $\Delta m_{B_d}$



Experimental inputs	Theoretical scan
$\Delta m_s = 0.472 \pm 0.018 \text{ ps}^{-1}$	$0.16 < f_B \sqrt{B_B} < 0.24 \text{ GeV}$
$ \varepsilon_K  = 0.002258 \pm 1.8E-05$	$0.6 < B_K < 1$
$ V_{ub}/V_{cb}  =  V_{ub}/V_{cb} _T \pm 0.005$	$0.06 <  V_{ub}/V_{cb} _T < 0.1$
$ V_{cb}  = 0.039 \pm 0.004$	
$\tilde{m}_t = 165 \pm 8 \text{ GeV}$	

The enveloppe of all the contours sets a *more than 95 % CL*

# Utilisation optimale de $\Delta m_{B_s}$

- Probabilité de désintégration:

$$\mathcal{P}[B_s(0) \rightarrow (\bar{B}_s(t))] = \frac{1}{2\tau} e^{-t/\tau} (1 \pm \cos \Delta m_{B_s} t) \quad (8)$$

On rajoute un terme d amplitude qui est **mesuré** pour chaque valeur de  $\Delta m_{B_s}$

$$\mathcal{P}[B_s(0) \rightarrow (\bar{B}_s(t))] = \frac{1}{2\tau} e^{-t/\tau} (1 \pm \mathcal{A} \cos \Delta m_{B_s} t) \quad (9)$$

→ Si  $\mathcal{A}$  est compatible avec 1 et incompatible avec 0, cette valeur de  $\Delta m_{B_s}$  est mesurée. Pas le cas à présent.

- Inclusion dans le  $\chi^2$ :

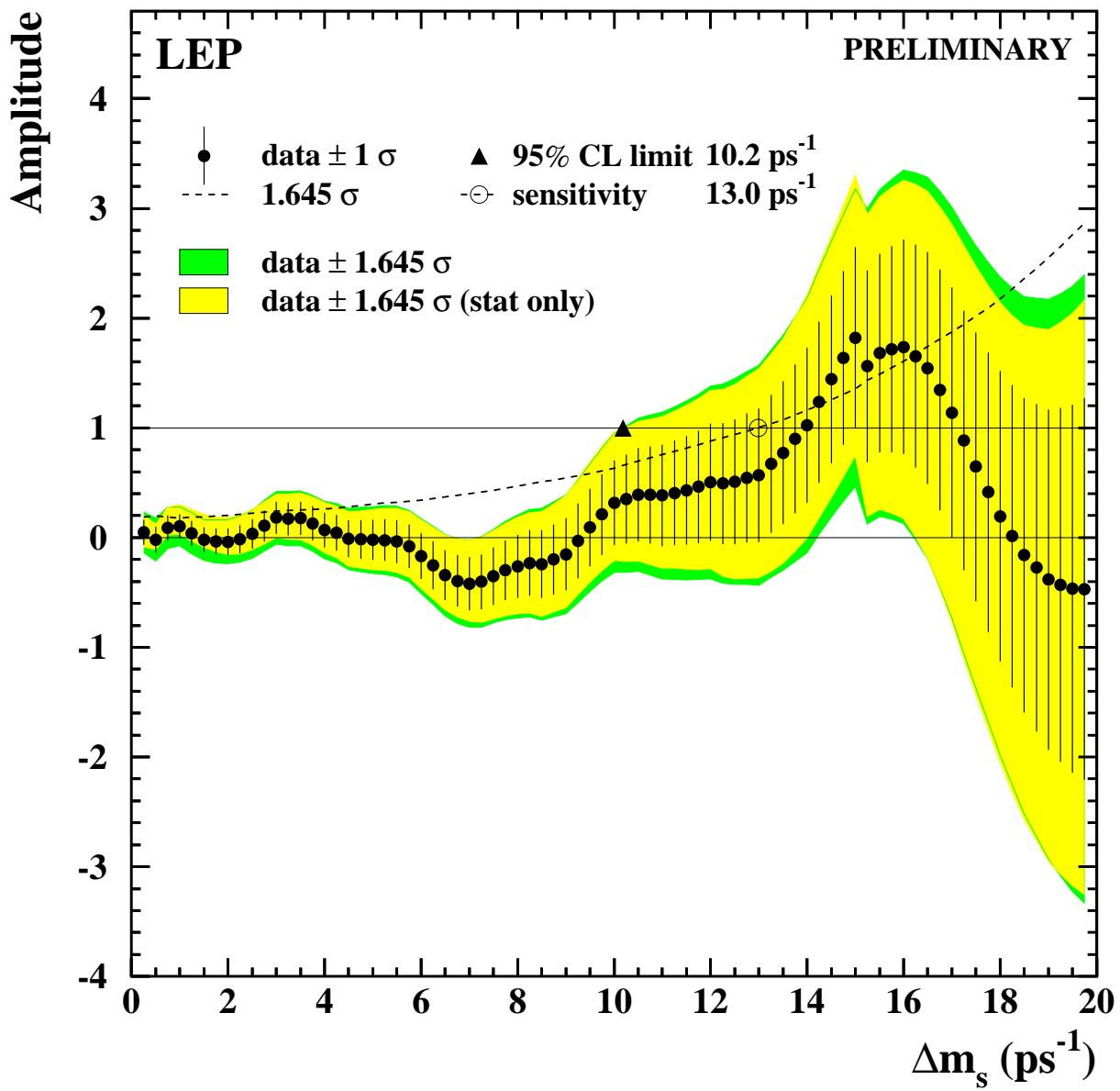
on rajoute:

$$\chi^2(A, \rho, \eta) = \left( \frac{\mathcal{A}(\Delta m_{B_s}(A, \rho, \eta)) - 1}{\sigma_{\mathcal{A}}} \right)^2 \quad (10)$$

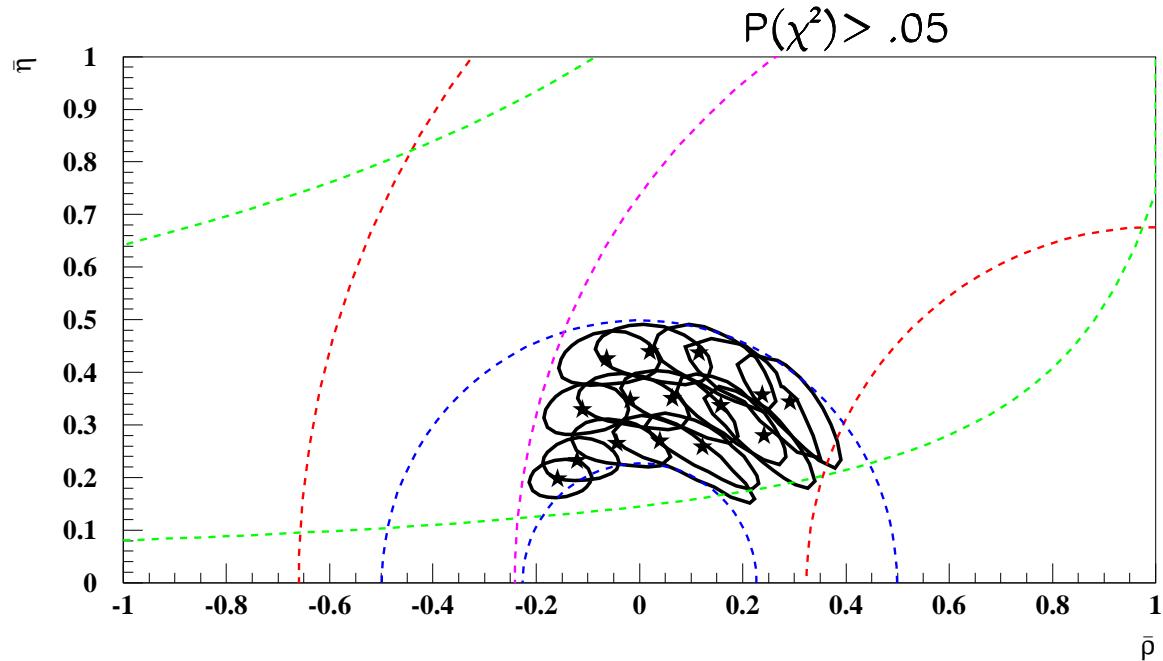
$$\Delta m_{B_s}(A, \rho, \eta) = \frac{G_F^2}{6\pi^2} m_W^2 m_{B_s} (f_{B_d} \sqrt{B_{B_d}} \xi_s)^2 \eta_B S\left(\frac{\bar{m}_t^2}{m_W^2}\right) |A\lambda^2|^2 \quad (11)$$

→ De cette manière toute l information de la mesure des amplitudes est utilisée (pas seulement la limite à 95 %)

Jerusalem:



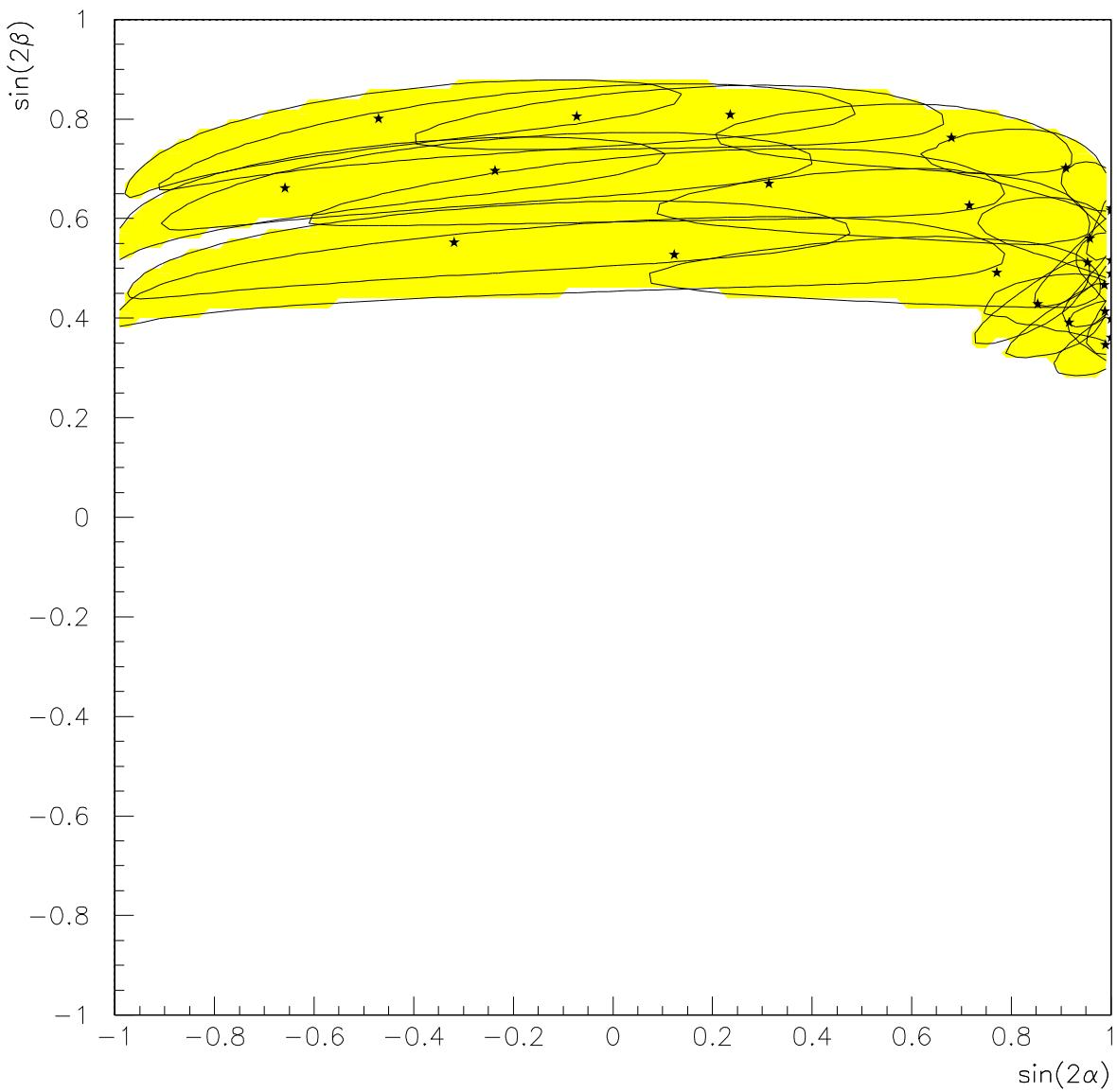
$$|V_{cb}|, \left| \frac{V_{ub}}{V_{cb}} \right|, |\varepsilon_K|, \Delta m_{B_d} + \Delta m_{B_s}:$$



Experimental inputs	Theoretical scan
$\Delta m_d = 0.472 \pm 0.018 \text{ ps}^{-1}$	$0.16 < f_b \sqrt{B_b} < 0.24 \text{ GeV}$
$ \varepsilon_K  = 0.002258 \pm 1.8E-05$	$0.6 < B_K < 1$
$ V_{ub}/V_{cb}  =  V_{ub}/V_{cb}  \pm 0.005$	$0.06 <  V_{ub}/V_{cb}  < 0.1$
$ V_{cb}  = 0.039 \pm 0.004$	$1.217 < \xi_s < 1.217$
$\tilde{m}_t = 165 \pm 8 \text{ GeV}$	

Avec un autre jeu de paramètres:  $A, \sin 2\alpha, \sin 2\beta$   
 On minimise

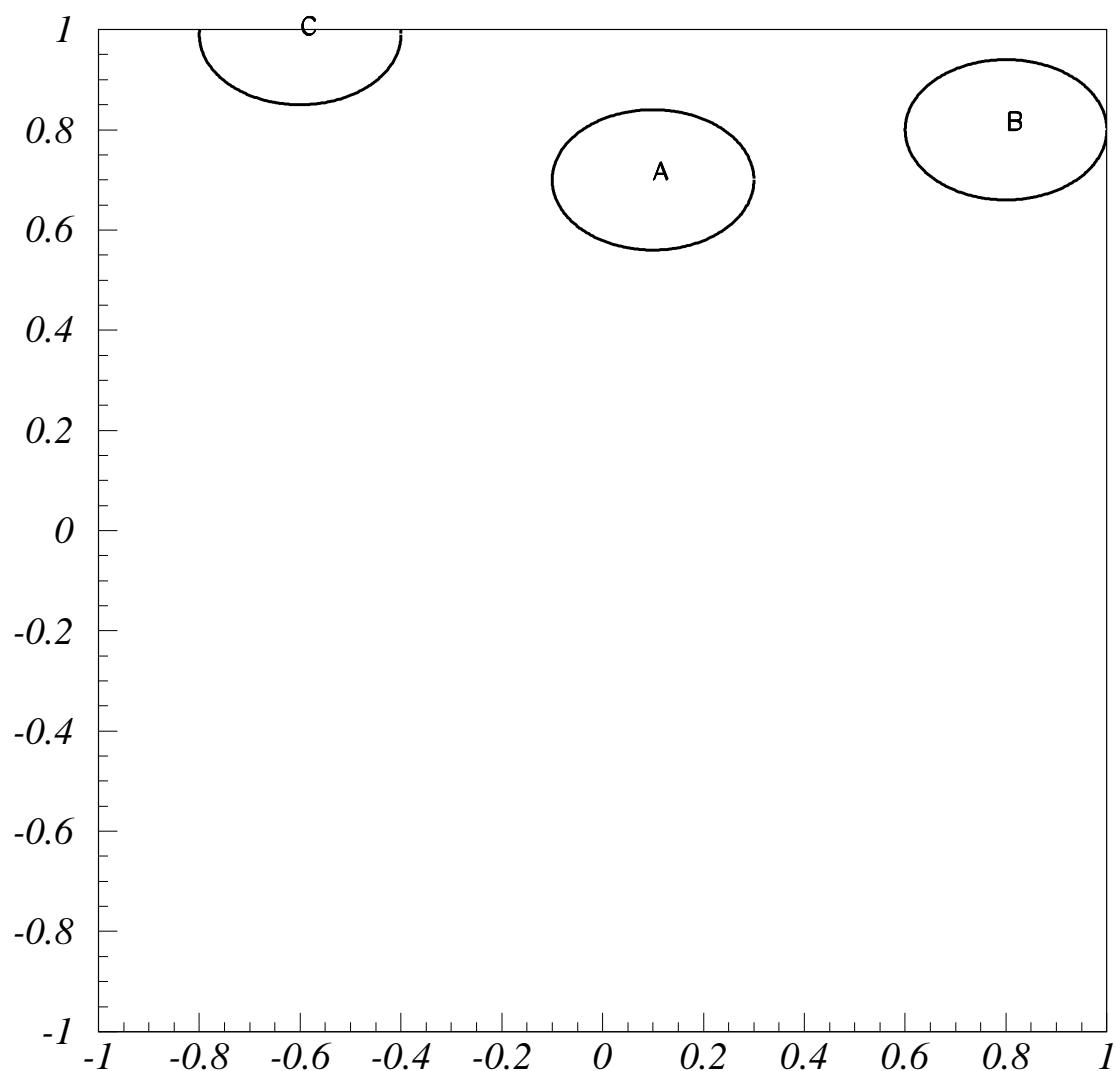
$$\chi^2(A, \sin 2\alpha, \sin 2\beta)$$



- $\sin 2\alpha$  n'est pas contraint
- $\sin 2\beta$  est déjà contraint

→ une usine à B mesure  $\sin 2\alpha$  et constraint le SM (SUSY?) par  $\sin 2\beta$  (p.ex  $a_{\psi K_S}$ )

Scénarios possibles pour  $B_{ABAR}$  (1 année “TDR”):

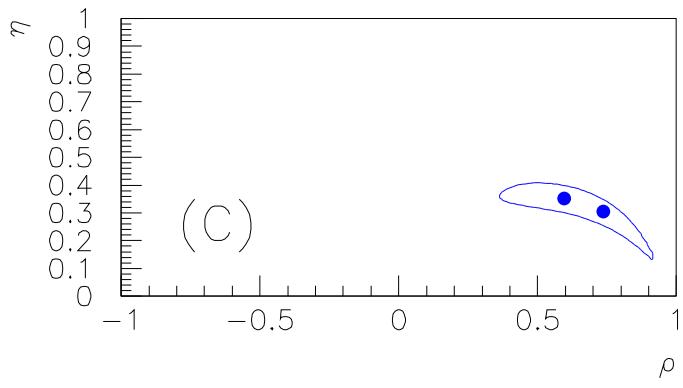
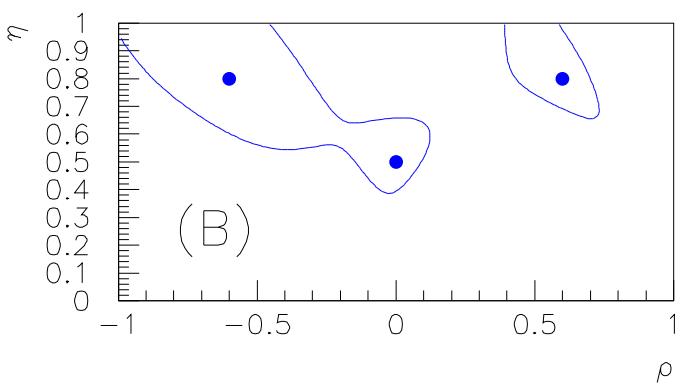
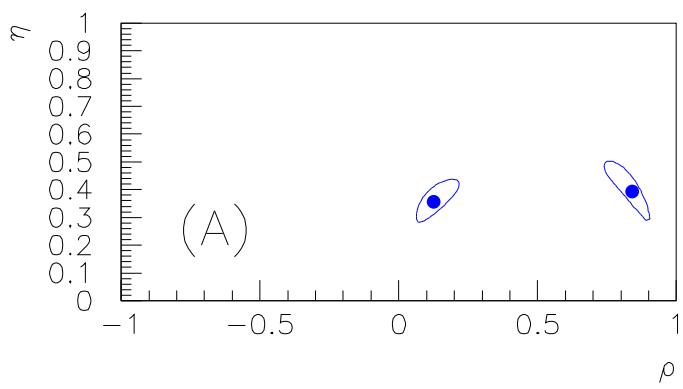


## Le problème des ambiguïtés: une mesure de $(\sin 2\alpha, \sin 2\beta)$

fournit 4 possibilités en  $\rho, \eta$ :

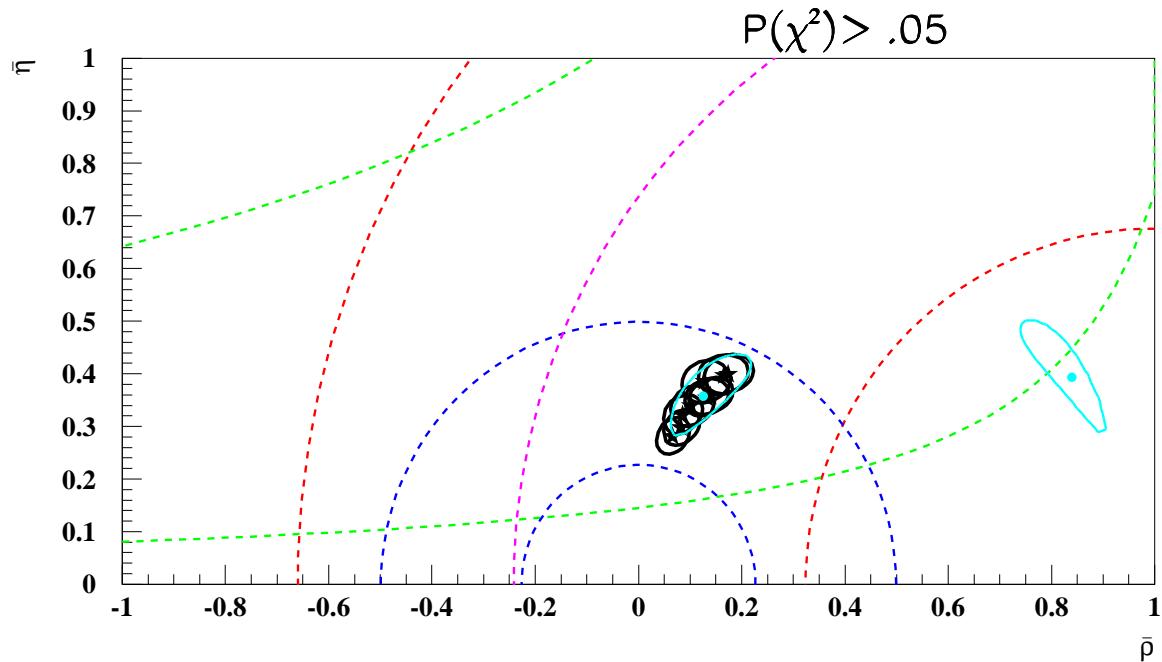
$$\alpha \text{ et } \frac{\pi}{2} - \alpha \rightarrow \sin 2\alpha$$

$$\beta \text{ et } \frac{\pi}{2} - \beta \rightarrow \sin 2\beta$$



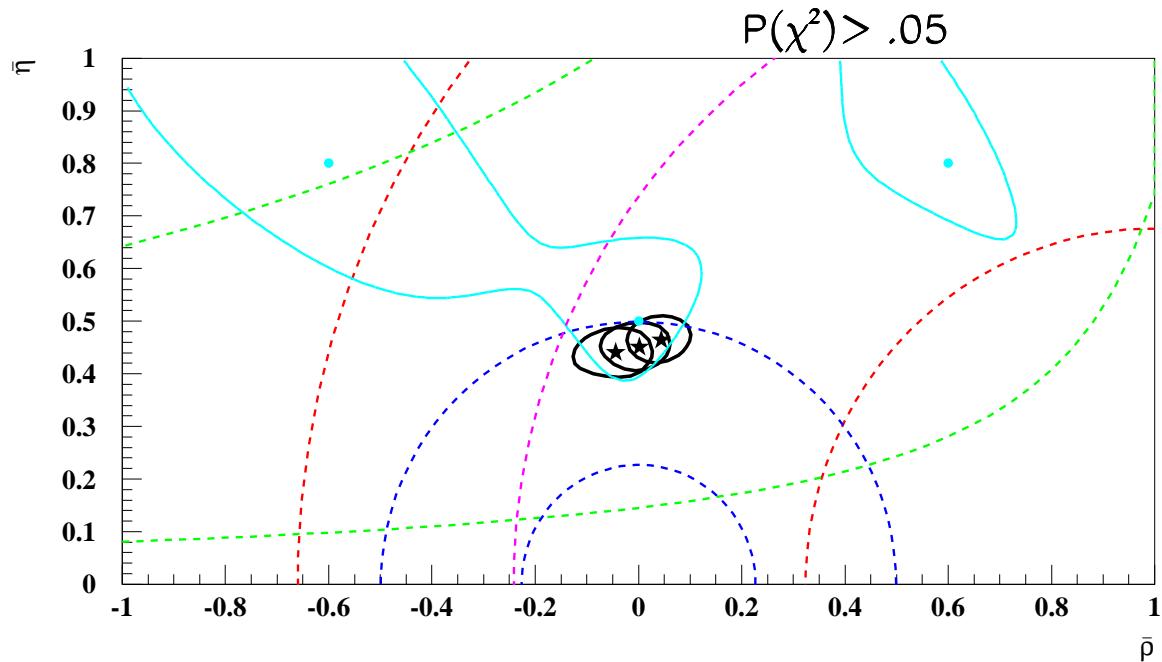
Permet de déterminer les paramètres CKM mais peut cacher la NP.

Scenario A:



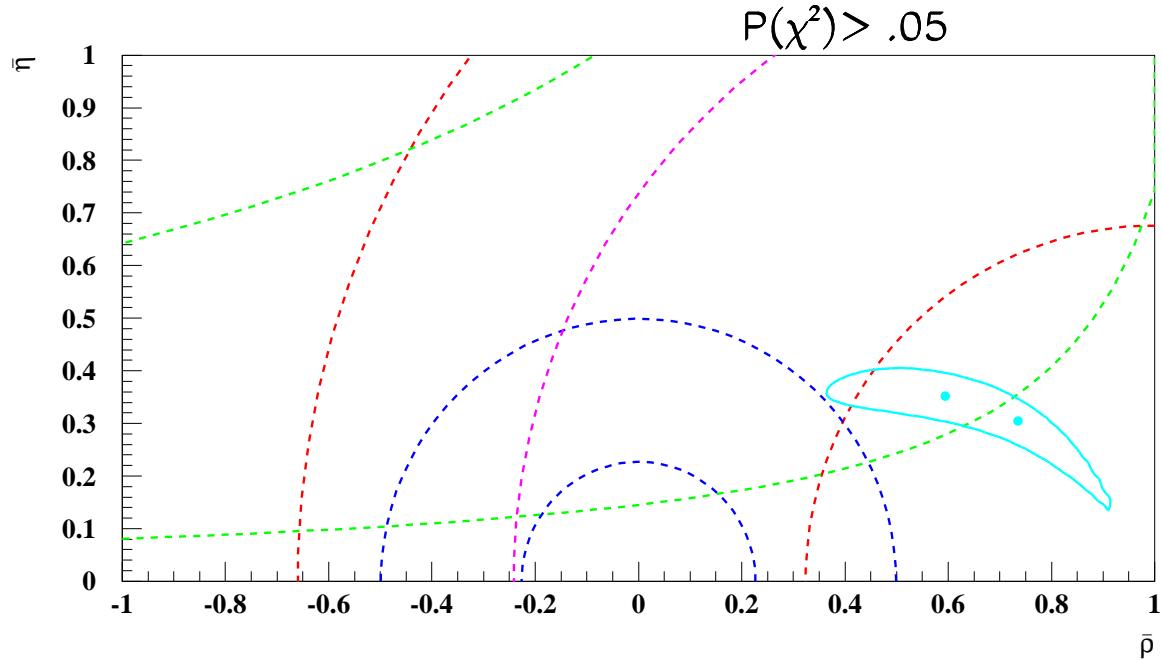
Experimental inputs	Theoretical scan
$\Delta m_d = 0.472 \pm 0.018 \text{ ps}^{-1}$	$0.16 < f_B \sqrt{B_B} < 0.24 \text{ GeV}$
$ e_K  = 0.002258 \pm 1.8E-05$	$0.6 < B_K < 1$
$ V_{ub}/V_{cb}  =  V_{ub}/V_{cb} _t \pm 0.005$	$0.06 <  V_{ub}/V_{cb} _t < 0.1$
$ V_{cb}  = 0.039 \pm 0.004$	$1.217 < \xi_s < 1.217$
$\bar{m}_t = 165 \pm 8 \text{ GeV}$	
$\sin 2\alpha = 0.1 \pm 0.085$	
$\sin 2\beta = 0.7 \pm 0.059$	

Scenario B:



Experimental inputs	Theoretical scan
$\Delta m_d = 0.472 \pm 0.018 \text{ ps}^{-1}$	$0.16 < f_B \sqrt{B_B} < 0.24 \text{ GeV}$
$ e_K  = 0.002258 \pm 1.8E-05$	$0.6 < B_K < 1$
$ V_{ub}/V_{cb}  =  V_{ub}/V_{cb} _t \pm 0.005$	$0.06 <  V_{ub}/V_{cb} _t < 0.1$
$ V_{cb}  = 0.039 \pm 0.004$	$1.217 < \xi_s < 1.217$
$\bar{m}_t = 165 \pm 8 \text{ GeV}$	
$\sin 2\alpha = 0.8 \pm 0.085$	
$\sin 2\beta = 0.8 \pm 0.059$	

Scenario C:



Experimental inputs	Theoretical scan
$\Delta m_d = 0.472 \pm 0.018 \text{ ps}^{-1}$	$0.16 < f_B \sqrt{B_B} < 0.24 \text{ GeV}$
$ e_K  = 0.002258 \pm 1.8E-05$	$0.6 < B_K < 1$
$ V_{ub}/V_{cb}  =  V_{ub}/V_{cb} _t \pm 0.005$	$0.06 <  V_{ub}/V_{cb} _t < 0.1$
$ V_{cb}  = 0.039 \pm 0.004$	$1.217 < \xi_s < 1.217$
$\bar{m}_t = 165 \pm 8 \text{ GeV}$	
$\sin 2\alpha = -0.6 \pm 0.08$	
$\sin 2\beta = 0.99 \pm 0.059$	

## Comment lever ces ambiguïtés?

- mesurer un terme  $A_1 \sin 2\alpha + A_2 \cos 2\alpha$  p.ex par l'étude du Dalitz plot de  $B^0 \rightarrow \rho\pi$  (dû aux effets d interférence dans l état final) ou les contributions des pingouins.

*Ref: A. Snyder et H. Quinn PRD.48 (1993)2139*

*BABAR physics book (en préparation)*

- Fleisher-Mannel: limite avec de très faibles incertitudes théoriques

$$\sin^2 \gamma \leq R \equiv \frac{\Gamma(B_d \rightarrow \pi^\mp K^\pm)}{\Gamma(B^\pm \rightarrow \pi^\pm K)}$$

motivé par la mesure de CLEO:  $R = 0.65 \pm 0.40$  R sera mesuré par les usines à B beaucoup plus précisément.

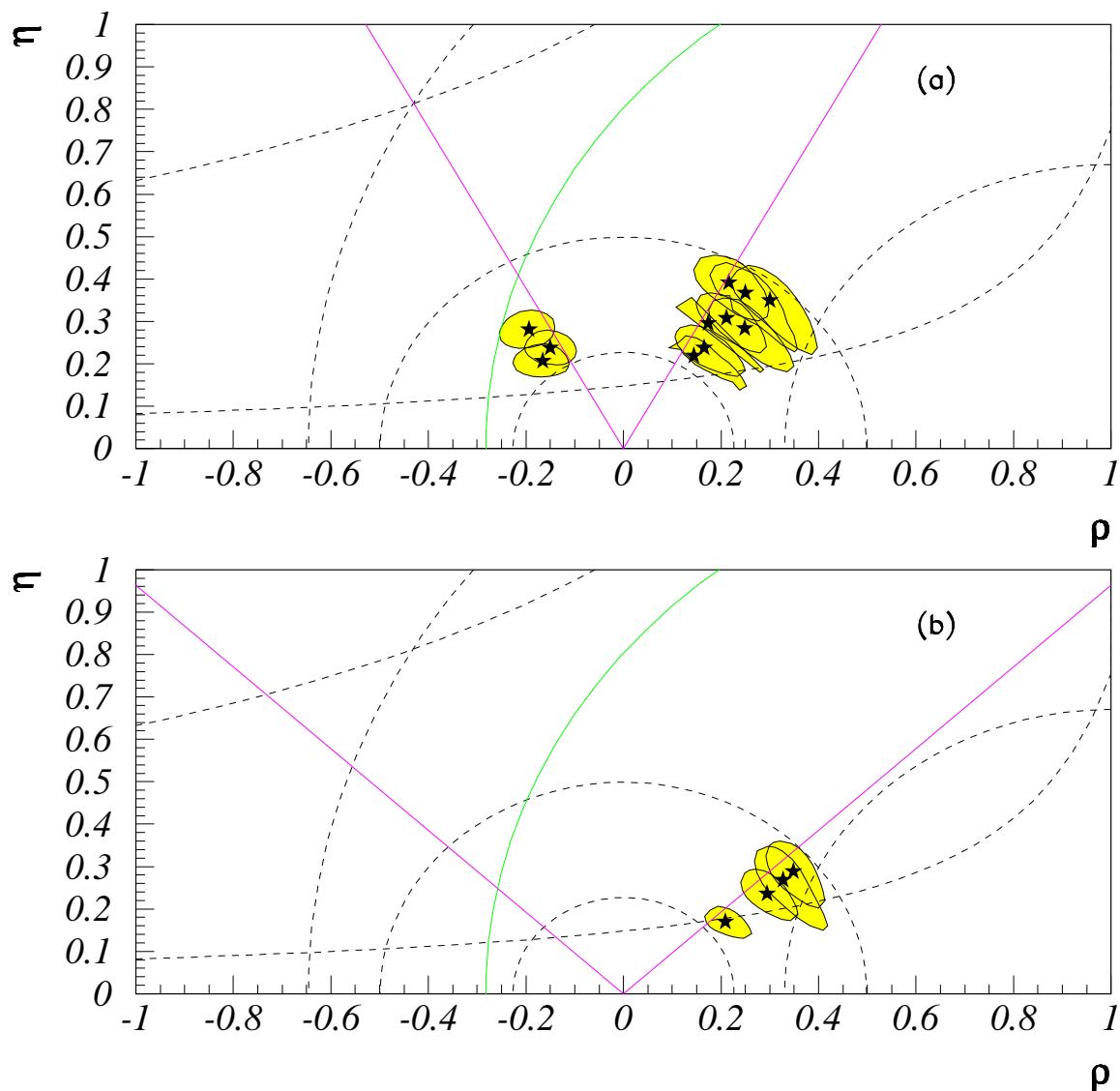
*Ref: R. Fleisher and T.Mannel hep/ph 9704423*

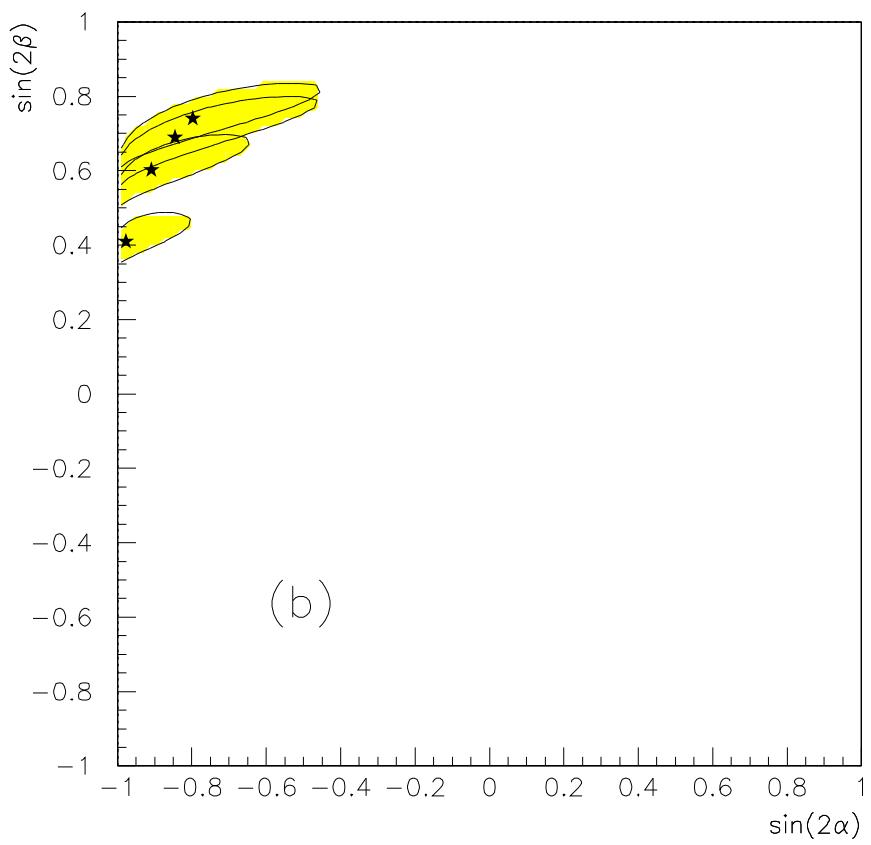
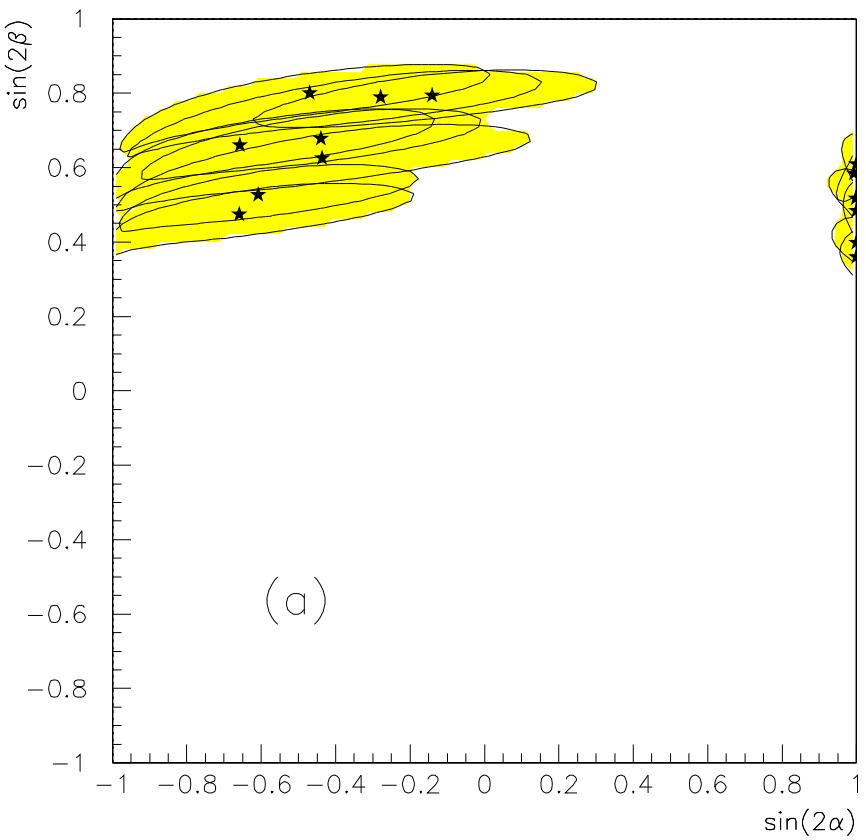
*Y.Nir, Y. Grossman, S.Plaszczynski and M.H Schune hep/ph 9709288*

- Asymétrie CP en  $D^*\pi$  (par une reconstruction inclusive des  $D^* \rightarrow \pi_s X$ ) permet d obtenir : $\sin(2\beta + \gamma)$  avec une précision  $\simeq 2.2 * \sigma(a_{\psi K_S})$

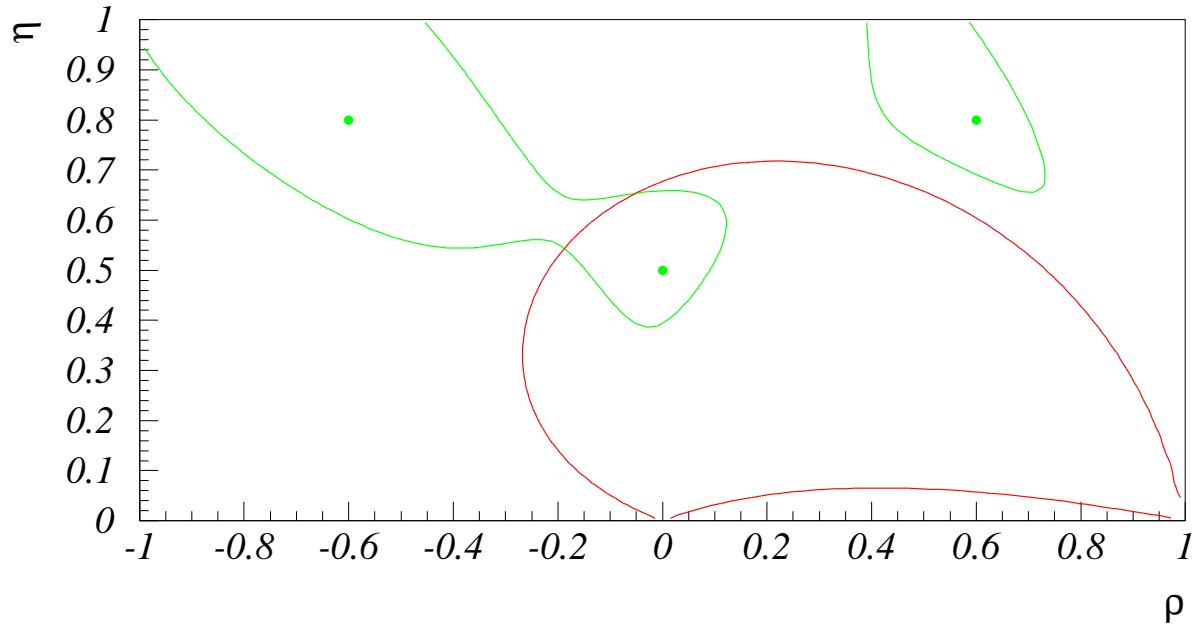
*Ref: J. Gronberg, 4<sup>th</sup> BABAR physics workshop, Caltech, Sept 97.*

$$R = 0.65 \pm 0.08 \text{ et } R = 0.35 \pm 0.08$$





$$\sin(2\beta + \gamma) = 0.9 \pm 0.22 + scenario(B)$$



## Que dire en cas d'incompatibilité

incompatibilité si aucun M ne satisfait  $Prob(\chi^2_{min})_M \leq cutoff$

- problème expérimental? (erreurs réalistes, corrélations...)
- problème dans les descriptions théoriques (paramètres scannés, autres paramètres?...)
- NP? (SUSY?)

Que dire alors?

“Model Independent analysis” : (*Grossman,Nir,Worah/hep-ph 9704287*)  
dans la plupart des modèles de NP:

- NP affecte  $B - \bar{B}$  and  $K - \bar{K}$  mixing, mais  $\bar{b} \rightarrow \bar{c}c\bar{s}$  ( $a_{\psi K_S}$ ),  $\bar{b} \rightarrow \bar{u}u\bar{d}$  ( $a_{\pi\pi}$ ) et les désintégrations s.l pour  $|V_{bu}| / |V_{bc}|$  sont dominées par les diagrammes en arbre du SM.
- $V_{CKM} \simeq V_{CKM}^\dagger$   
 $\rightarrow$  seulement 2 nouveaux paramètres  $r_d, \theta_d$  :

$$(r_d e^{i\theta_d})^2 = \frac{\langle B^0 | H_{eff}^{full} | \bar{B}^0 \rangle}{\langle B^0 | H_{eff}^{SM} | \bar{B}^0 \rangle}$$

Les observables sont modifiées par:

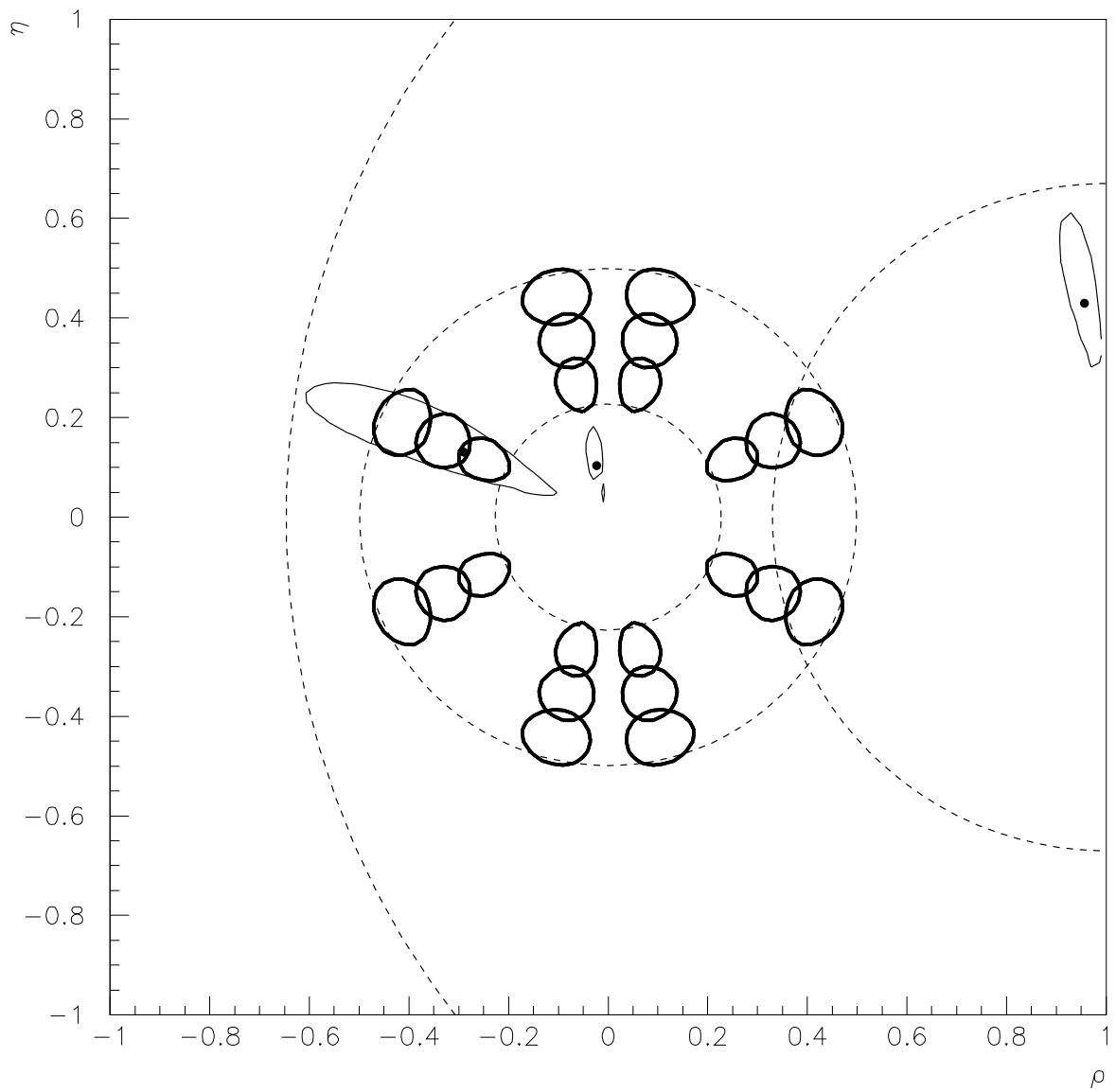
- $\Delta m_{B_d}(A, \rho, \eta, r_d) = r_d^2 \times \Delta m_{B_d}(A, \rho, \eta)$
- $a_\alpha(\rho, \eta, \theta_d) = \sin 2[\alpha(\rho, \eta) - \theta_d]$
- $a_\beta(\rho, \eta, \theta_d) = \sin 2[\beta(\rho, \eta) + \theta_d]$

contraintes:

- $(|V_{bc}|, |V_{bu}|, \Delta m_{B_d}, a_\alpha, a_\beta) = 5$  mesures
- $(A, \rho, \eta + r_d, \theta_d) = 5$  paramètres  $\rightarrow$  OK

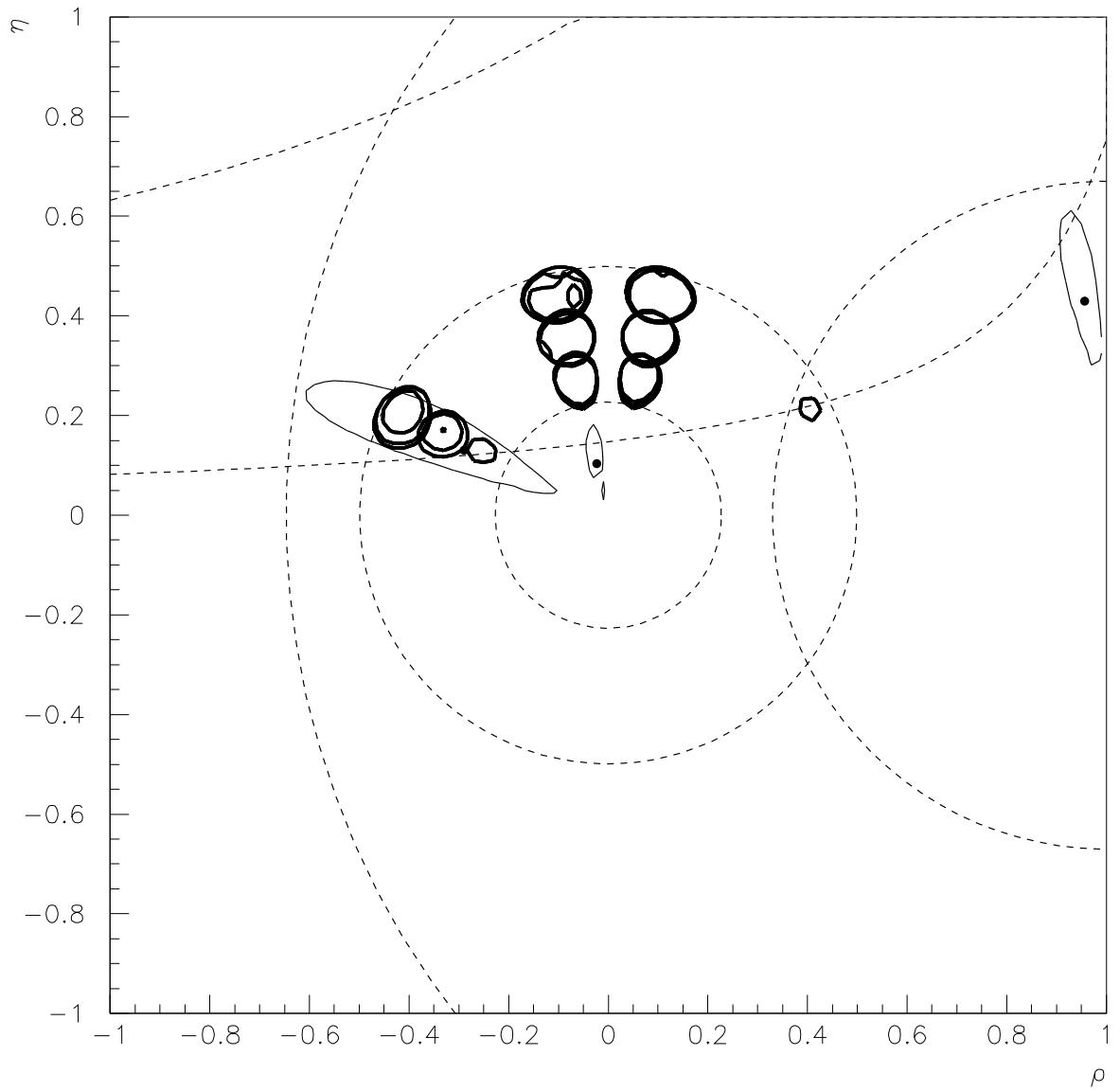
On refait un fit en  $\rho, \eta$  avec

$$|V_{bc}|, \left| \frac{V_{bu}}{V_{bc}} \right|, \Delta m_{B_d} \text{ (1997)} + a_{\psi K_S} = 0.2 \pm 0.059 - a_{\pi\pi} = 0.6 \pm 0.085$$



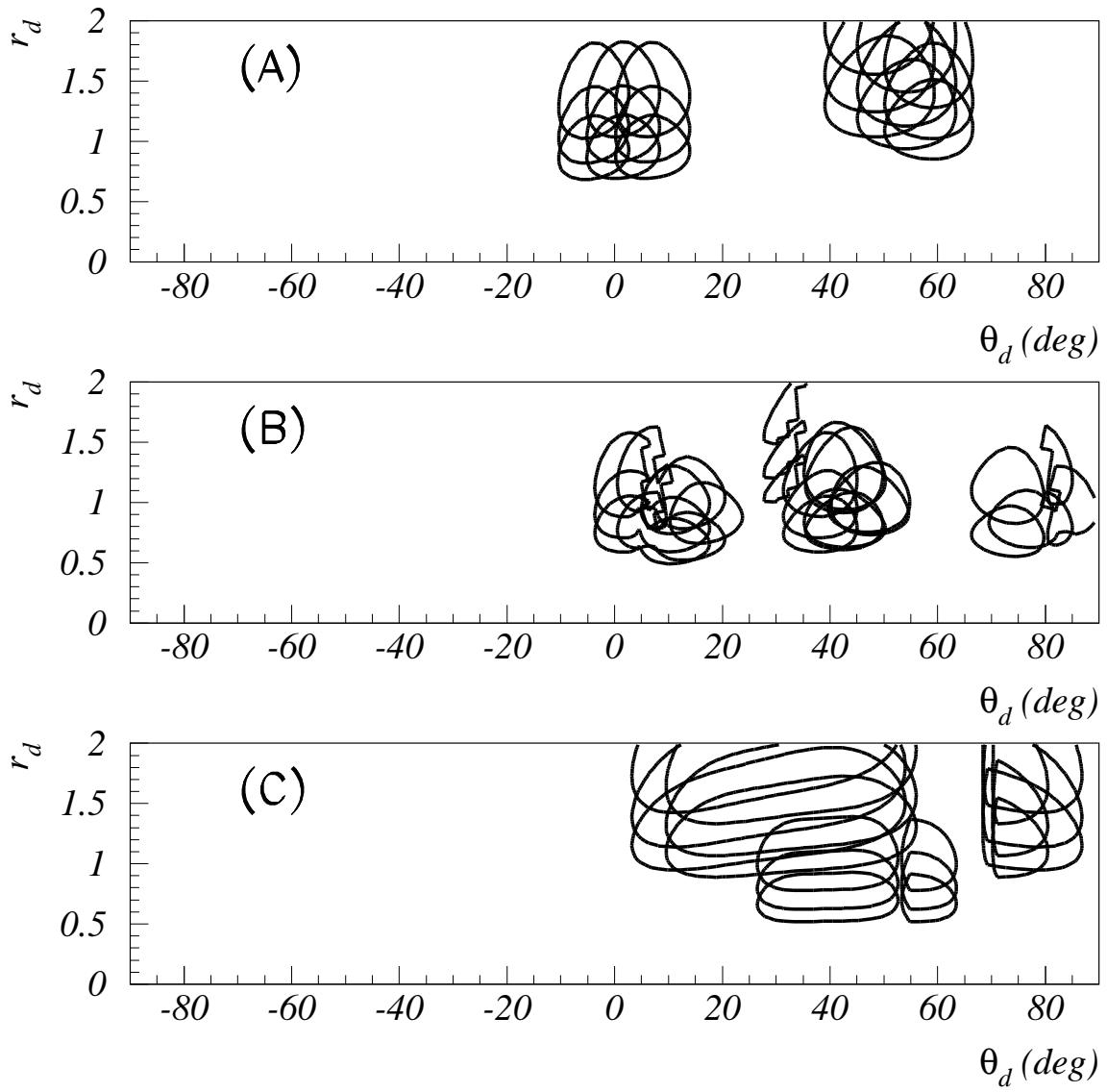
→ 8 ambiguïtés

En rajoutant l'hypothèse que  $\varepsilon_K$  peu affecté par NP

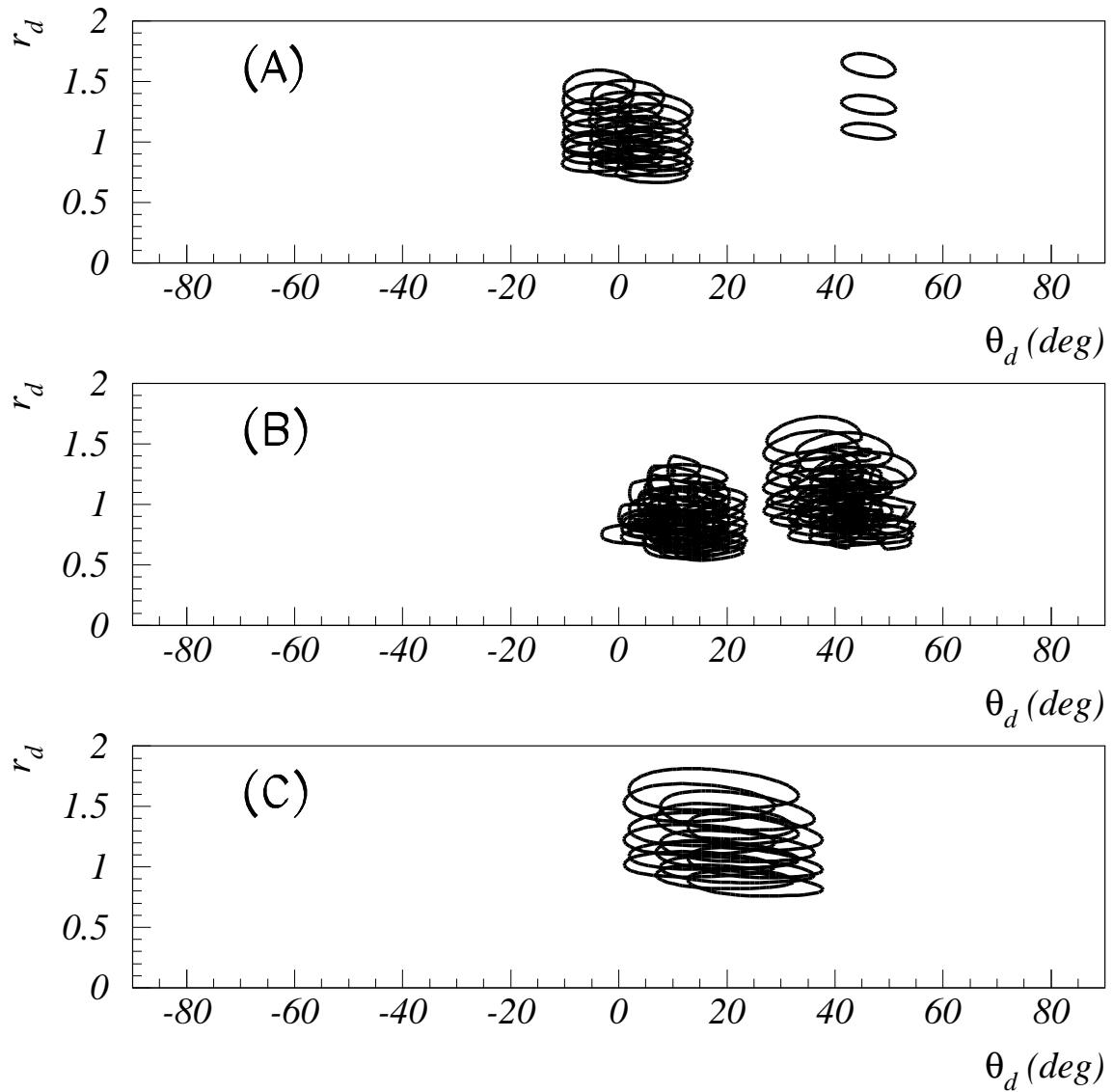


Mais on peut également estimer les paramètres de NP

(preliminary)



En rajoutant l'hypothèse que  $\varepsilon_K$  peu affecté par NP  
(preliminary)



## Résumé

- Une méthode statistique pour combiner les observables et contraindre les paramètres CKM  
(cf: <http://www.lal.in2p3.fr/BaBar/Analyse/UFO/ufo.html>)
- Inclusion de  $\Delta m_{B_s}$  via les Amplitudes
- Actuellement:  $\sin 2\alpha$  n'est pas contraint,  $0.3 \leq \sin 2\beta < 0.8$ .
- une usine à B mesure  $\sin 2\alpha$  et contraint CKM par  $\sin 2\beta$ .
- Problème des ambiguïtés  $(\sin 2\alpha, \sin 2\beta) \rightarrow (\rho, \eta)$ . Solutions:
  - $\cos 2\alpha$
  - $\sin^2 \gamma \leq \frac{\Gamma(B_d \rightarrow \pi^\mp K^\pm)}{\Gamma(B^\pm \rightarrow \pi^\pm K)}$
  - $\sin 2\beta + \gamma$
- Si incompatibilité  $\rightarrow$  analyse "modèle indépendant": 2 paramètres  $r_d, \theta_d$  qui peuvent être estimés à partir des asymétries CP ainsi que  $\rho, \eta$ .

Note:  $(r_d, \theta_d)$  peuvent être estimés même si les mesures compatibles  $\rightarrow$  contraindre les modèles théoriques de NP (SUSY?).