

Violation de *CP* et saveurs lourdes

– perspectives expérimentales –

Andreas Höcker

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Orsay



Pour le groupe de travail « Violation de *CP* et saveurs lourdes »

D. Bernard (LLR), J. Charles (CPT), A.H. (LAL), R. Le Gac (CPPM),
D. Lhuillier (DAPNIA), O. Naviliat (LPC-Caen), P. Perret (LPCC), B. Peyaud
(DAPNIA), O. Pene (LPT), A. Stocchi (LAL), G. Wormser (LAL)

Journées de prospectives DSM/DAPNIA – IN2P3

La Colle sur Loup, 10-15 octobre 2004

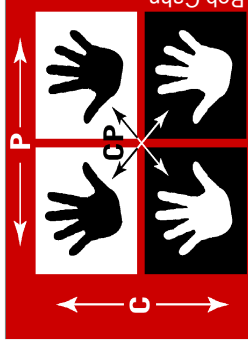
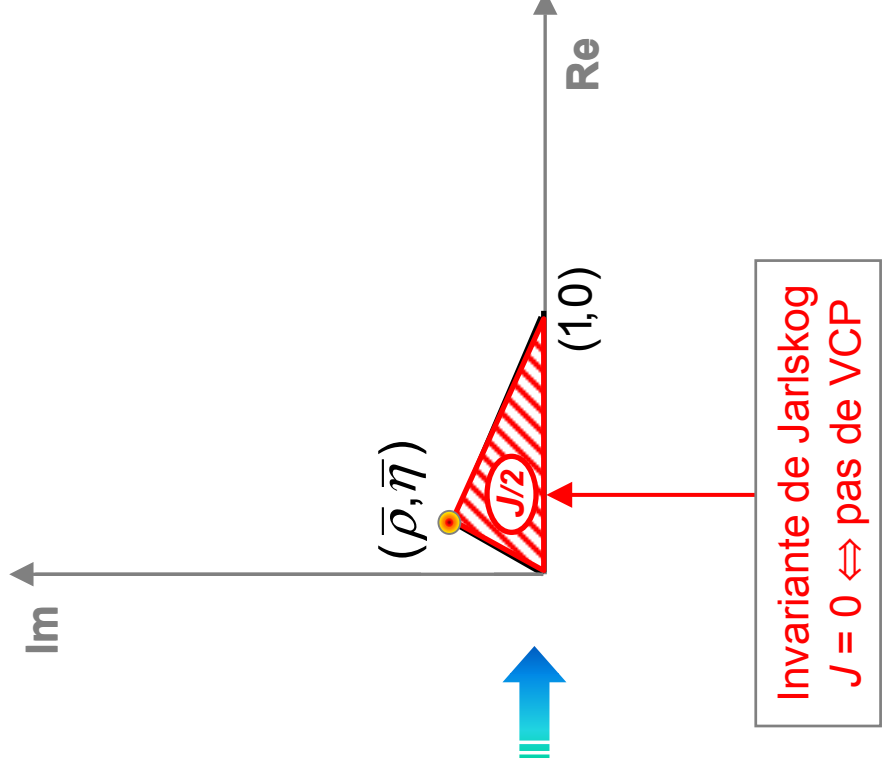
Le triangle d'unitarité

$$V_{\text{CKM}} = \begin{array}{c} \begin{array}{|c|} \hline u \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline c \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline t \\ \hline \end{array} \begin{pmatrix} \begin{array}{|c|} \hline d \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline s \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline b \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{pmatrix}$$

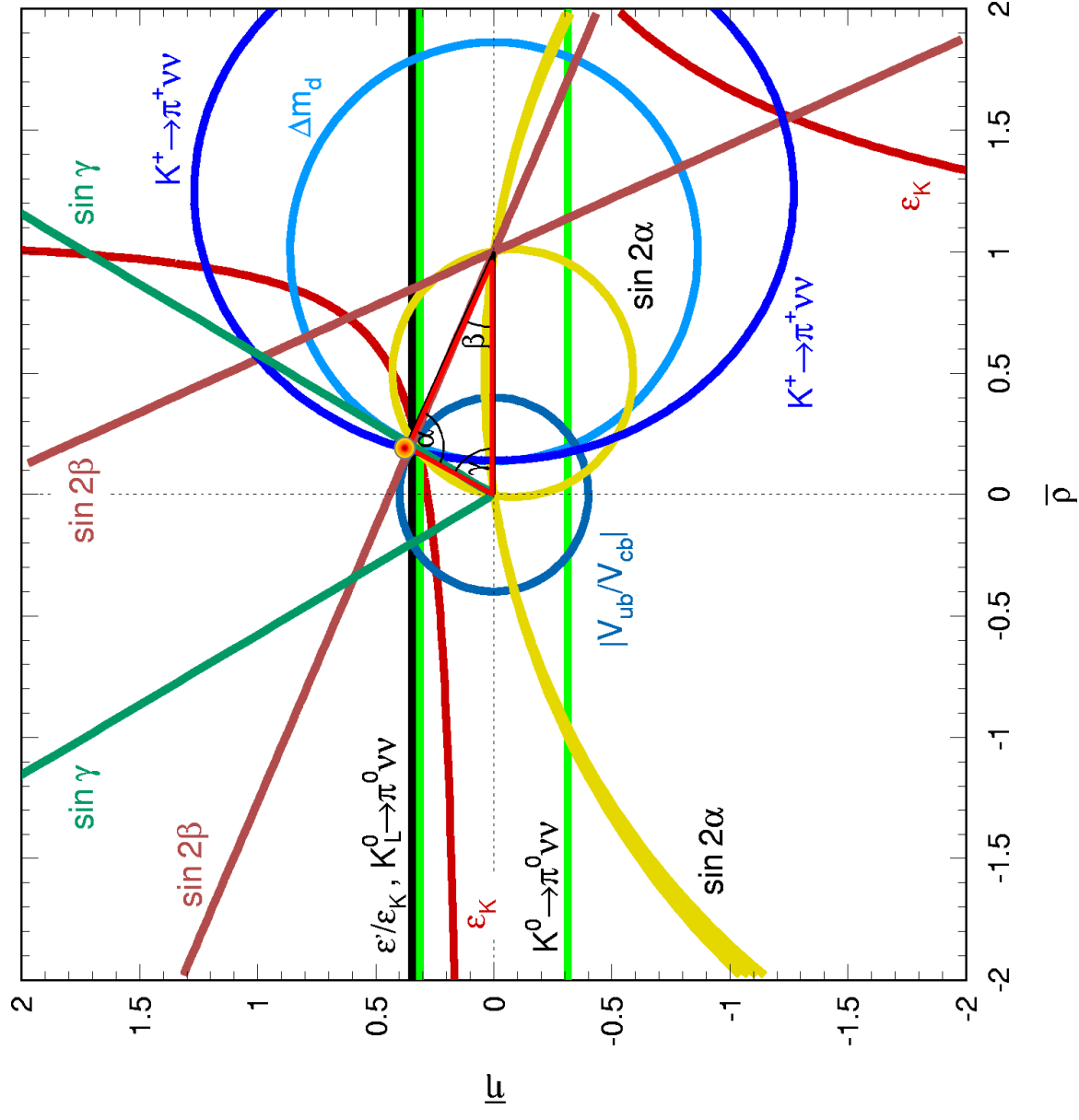
$$V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* = 0$$

$$(\propto A\lambda^3 \propto -A\lambda^3 \propto A\lambda^3)$$

$$\frac{V_{ud} V_{ub}^*}{V_{cd} V_{cb}^*} + 1 + \underbrace{\frac{V_{td} V_{tb}^*}{V_{cd} V_{cb}^*}}_{\text{invariant de phase : } \bar{\rho} + i\bar{\eta}} = 0$$



Le triangle d'unitarité



L'objectif



Les mesures précises des paramètres CKM ou de l'EDM ont comme but principal la recherche de **nouvelle physique (NP)**.



Par conséquent, tout projet futur doit être examiné en fonction de sa capacité de détecter des signaux de NP.



La mesure doit être propre en terme d'erreurs hadroniques / ou ces dernières doivent être sous contrôle ($\sim \%$).



La mesure doit être compétitive au point de vue expérimental.



La mesure devrait être soit **très peu** soit **très sensible** à la présence de NP.



Au-delà de la recherche de NP, beaucoup de mesures dont la compréhension théorique est limitée par des effets hadroniques ont des intérêts justement pour comprendre leur dynamique et pour jauger les outils théoriques.

Les moyens

- ☀ Le but de notre groupe de travail était d'évaluer l'intérêt scientifique des projets futurs dans le domaine, afin de recommander (ou non) un engagement français.
- ☀ Nous nous sommes concentrés en particulier sur les projets suivants:
 - ➡ Construction d'une « **super usine à B** » (SLAC ou KEK) avec 50 fois la luminosité intégrée d'une usine à B actuelle.
 - ➡ Participations à des projets sur des **désintégrations ultra rares des kaons**.
 - ➡ Investissement dans l'instrumentation pour les calculs de **QCD sur réseau**.
- ☀ Nous avons cherché à identifier des « mesures phares » que des expériences futures devraient effectuer nettement mieux que les expériences actuelles ou en construction.



+ expériences EDM du neutron: ILL (Grenoble), PSI (Zürich), Los Alamos, ...

Le programme mondial récent et futur: Physique de la saveur et recherche de violation de CP

Implication des groupes français (IN2P3-DAPNIA)

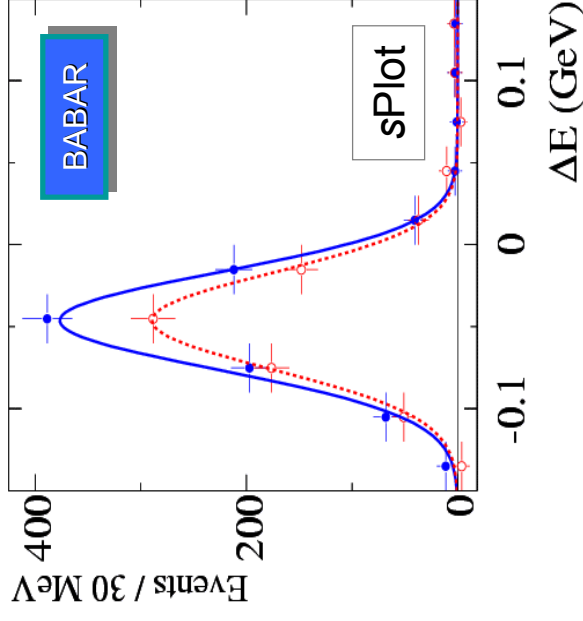
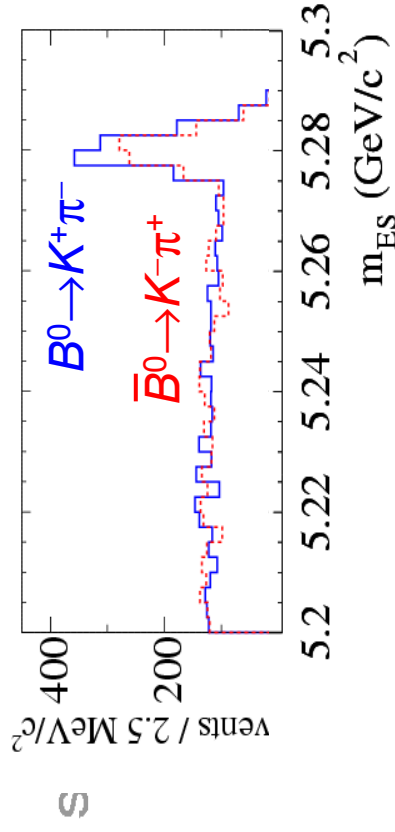
- Implication dans BABAR
 - *maintenue* évidemment jusqu'en 2007 (0.5 ab^{-1})
 - *reduite* entre 2007 et ~2009 ($\sim 1 \text{ ab}^{-1}$)
 - « super » BABAR ?
- Implication dans LHCb
 - projet phare de la violation de *CP* dans les 10 ans à venir
 - IN2P3 bien représenté
- Physique des kaons
 - groupes français absents de cette physique après NA48/2-3 ?
 - participation à KOPIO et/ou E391a @ J-PARC ?
- Physique tau/charme
 - projet CLEO-c : non-participation de la France
- Mesure de l'EDM du neutron au PSI
 - physique à la frontière de précision
 - groupes français participant; compétences avec UCN en France

Très bref état des lieux : ICHEP 2004

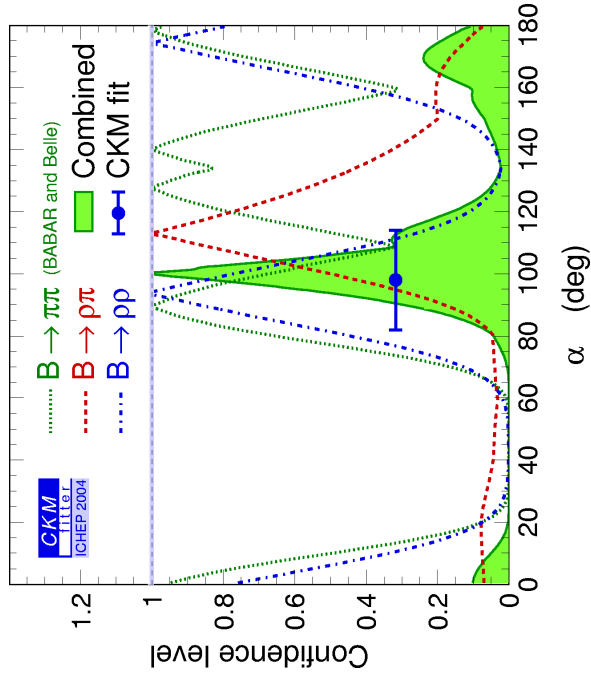


Découverte de la violation de CP directe
(dans la désintégration) par BABAR et Belle :

$$A_{CP}(B^0 \rightarrow K^+ \pi^-) = -0.109 \pm 0.019$$

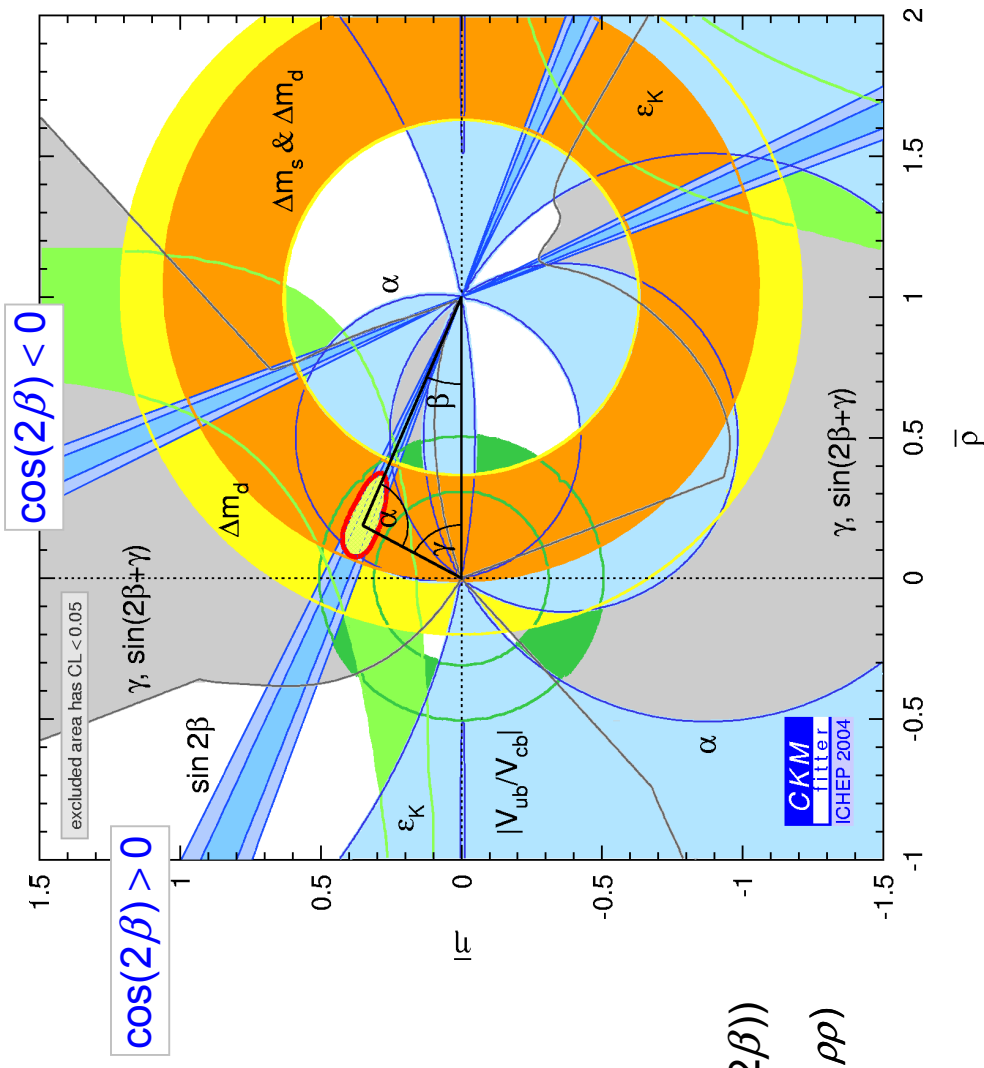


Métrologie de la matrice CKM



- 1^{ère} mesure de VCP : ε_K
- Excellente mesure de $\sin(2\beta)$ ($+\cos(2\beta)$)
- Première mesure de l'angle α ($\pi\pi, \rho\pi, \rho\rho$)
- γ est le plus grand défi

$$\beta = [23.3^{+1.6}_{-1.5}]^\circ \quad \alpha = [103^{+9}_{-10}]^\circ$$



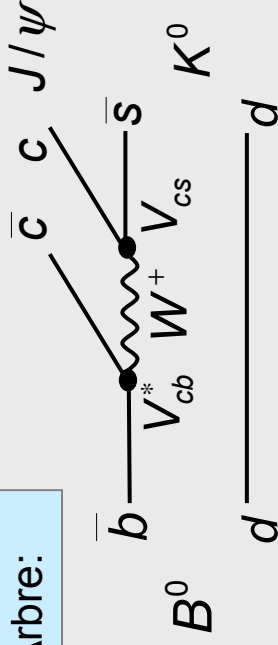
Excellente compatibilité.
Mais: le plan ρ, η ne dit pas tout !

Recherche de nouvelle physique

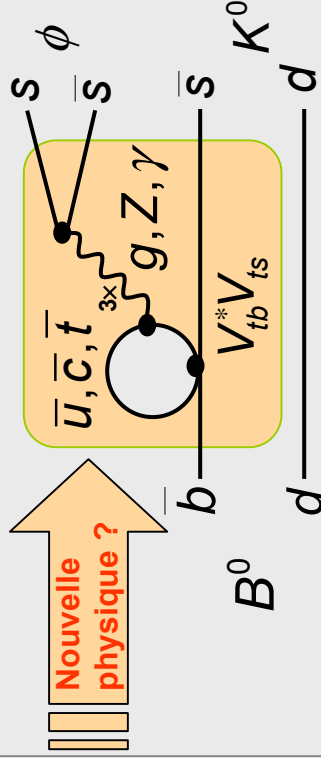
- ☀ $b \rightarrow c\bar{c}s$: dominé par diagramme d'arbre, et « pingouin » a même phase faible.
- ☀ $b \rightarrow s\bar{s}s$: dominé par diagramme en boucle du type pingouin.
- ➡ grandes masses virtuelles dans boucle → sensibilité à la nouvelle physique

Pas de phase faible dans désintégration

Arbre:



Pingouin:



Nouvelle physique ?

$b \rightarrow c\bar{c}s$

$$\lambda_{J/\psi K_{S,L}^0} = \eta_{J/\psi K_{S,L}^0} \left(\frac{q}{p} \right)_B \cdot \left(\frac{V_{cb} V_{cs}^*}{V_{cb}^* V_{cs}} \right) \cdot \left(\frac{q}{p} \right)_K = \eta_{J/\psi K_{S,L}^0} e^{-2i\beta}$$

$b \rightarrow s\bar{s}s$

$$\lambda_{\phi K_{S,L}^0} = \eta_{\phi K_{S,L}^0} \left(\frac{q}{p} \right)_B \cdot \left(\frac{V_{tb} V_{ts}^*}{V_{tb}^* V_{ts}} \right) \cdot \left(\frac{q}{p} \right)_K \sim \eta_{\phi K_{S,L}^0} e^{-2i\beta}$$

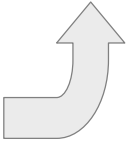
$$\sin 2\beta \text{ [charmonium]} = \sin 2\beta \text{ [s-pingouin]} \quad ?$$

Recherche de nouvelle physique

$\sin(2\beta)$: désaccord de 3.8σ entre charmonium et s-pingouin (négligeant les incertitudes théor.) :

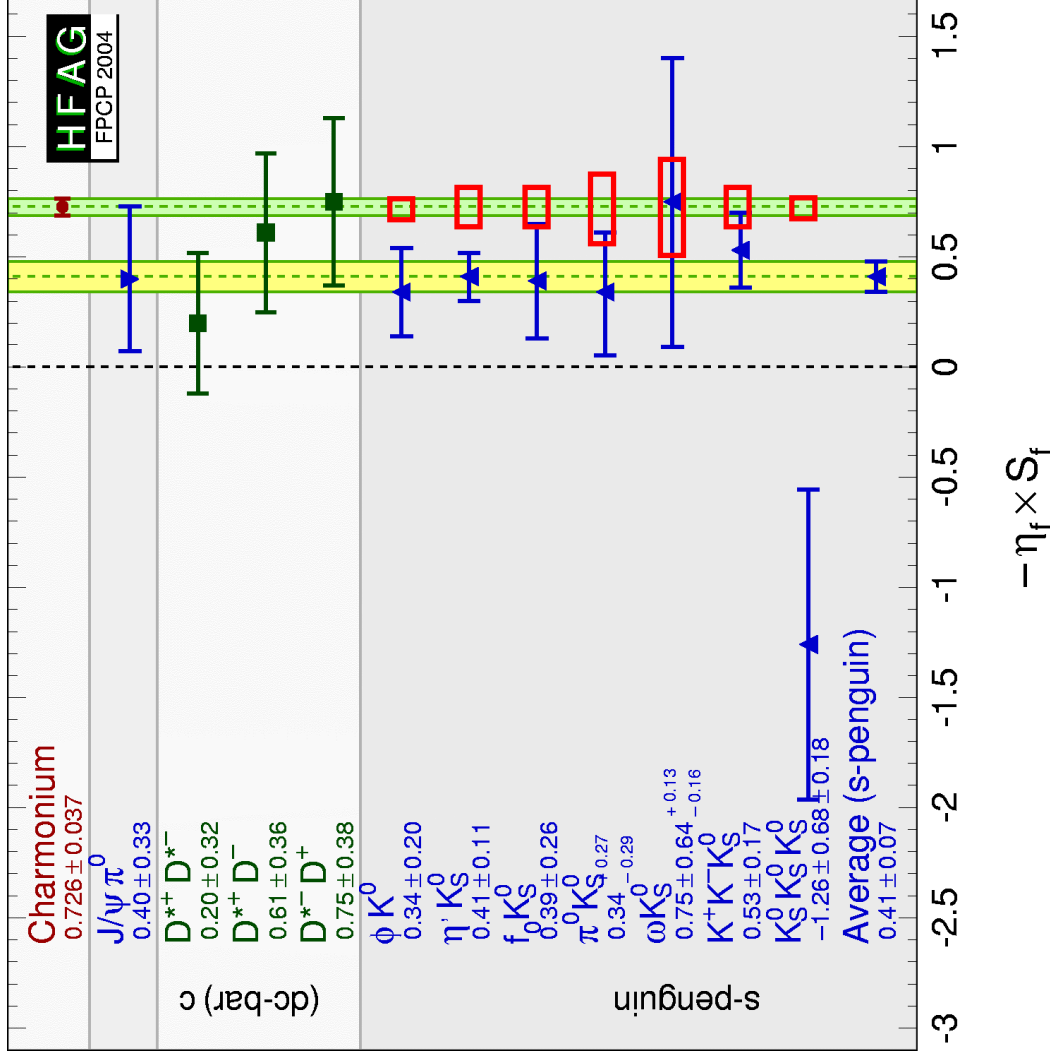
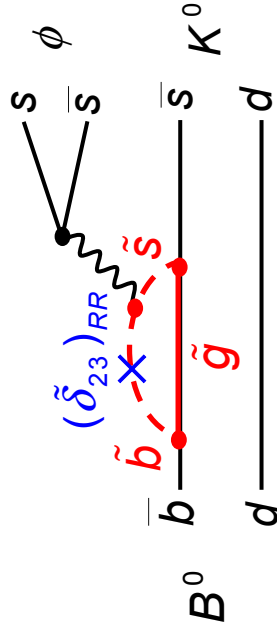
$$\sin 2\beta[\overline{cc}] = 0.726 \pm 0.037$$

$$\sin 2\beta[\text{s-peng}] = 0.41 \pm 0.07$$



Une différence de 0.05-0.25 (selon le mode, indiqué par les carrés rouges) est attendue dans le SM : $3.8\sigma \rightarrow \sim 3.0\sigma$.

Nouvelle physique dans la transition $b \rightarrow s$? (d_{23}^{BR}) ?

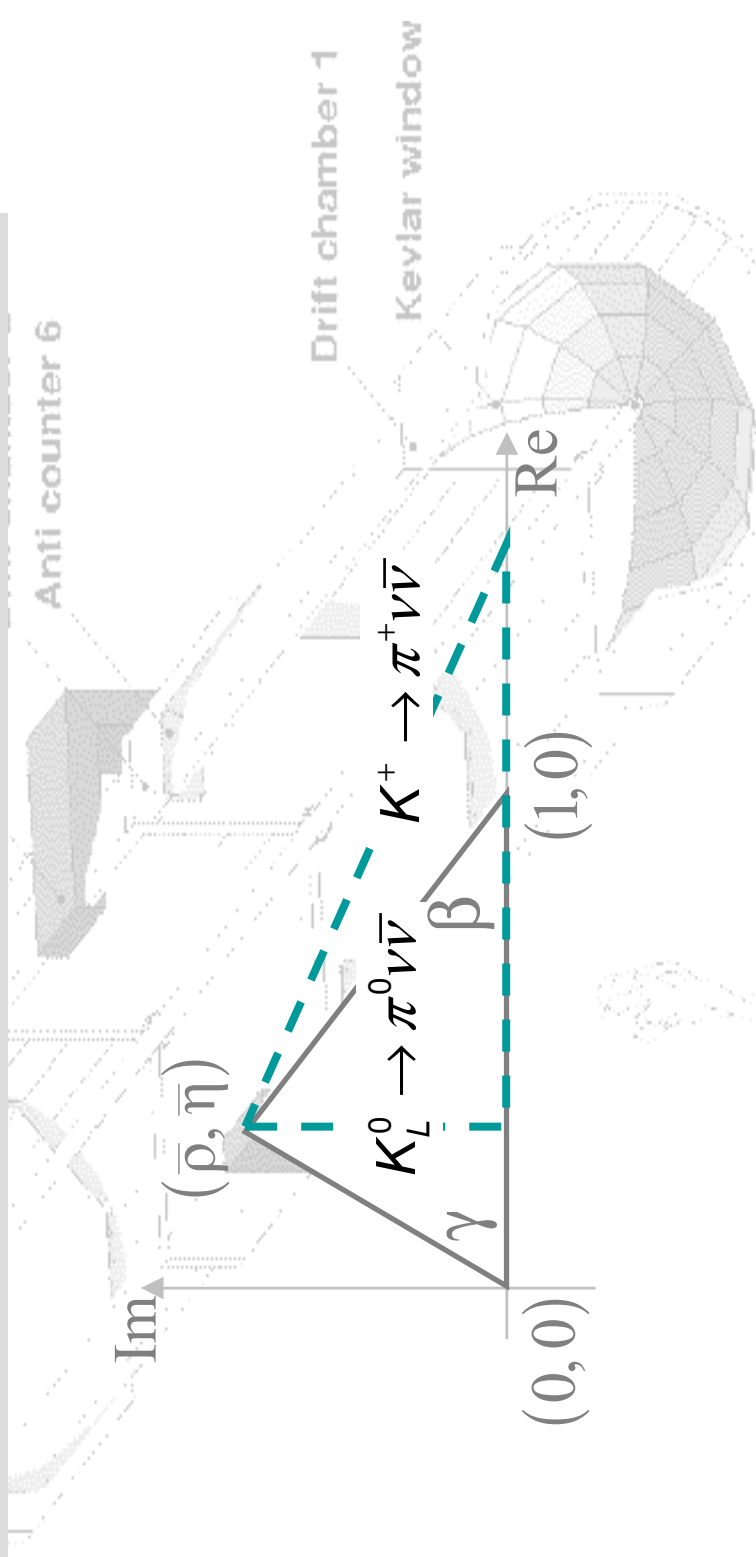


Muon veto sytem

Hadron calorimeter

Liquid krypton calorimeter

Le programme du futur : le système du K

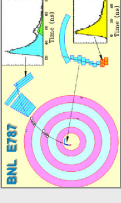


Le système du K

Observable	Intérêt	Mesure	Incertitude théorique	Qualité
$ V_{us} $	λ	$K^{+(0)} \rightarrow \pi^{+(0)} e \nu$	petite	** *
ε_K	ρ, η	$K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-, \pi^0 \pi^0$	B_K, η_{cc}	*(*)
$\varepsilon'/\varepsilon_K$	η	$K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-, \pi^0 \pi^0$	B_6, B_8	?
$ V_{td} $	ρ, η	$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$	charme (et: $(\lambda^2 A)^4$)	*(*)
$\text{Im}^2[V_{ts}^* V_{td} \dots]$	η^2	$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$	petite (mais: $(\lambda^2 A)^4$)	** (**)

(*) Observable peut également dépendre de λ et A : pas toujours indiqué

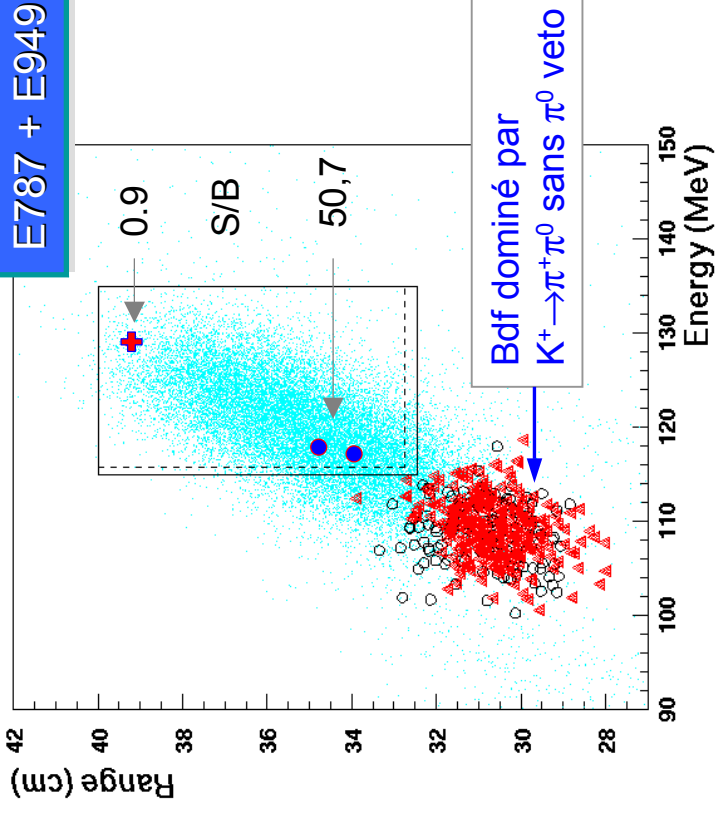
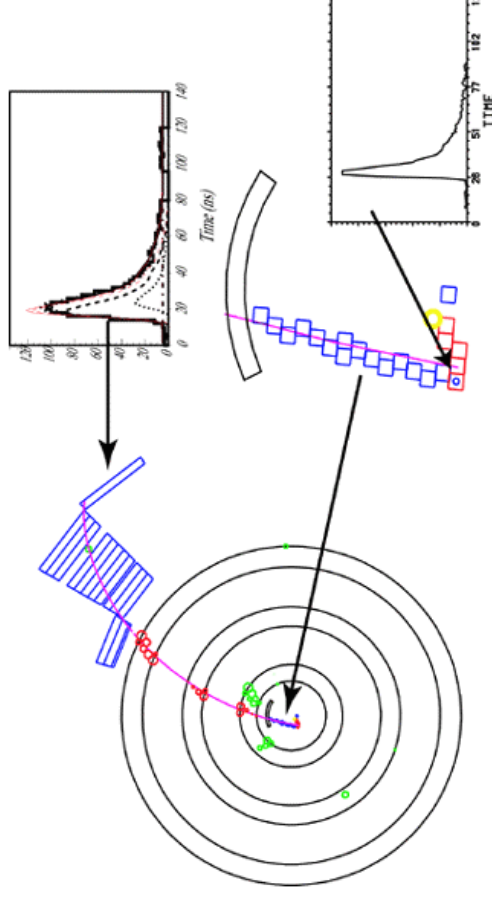
$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$



E787 et E949 à BNL :

- Faisceau basse énergie (710 MeV) sur cible fibres scint. pour arrêter les K^+ .
- π^+ est arrêté dans scint. (RS) et chaîne de désintégration $\pi^- \mu^- e^-$ est observée.
- 4π photon veto.
- Efficacité de sélection : $\sim 0.2\%$

Événement signal à E949 :



$$\text{BR}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (1.5^{+1.3}_{-0.9}) \times 10^{-10}$$

$$\text{SM} \Rightarrow (0.67 \pm 0.27) \times 10^{-10}$$

Objectif : sensibilité /éven. $\sim 10^{-11}$

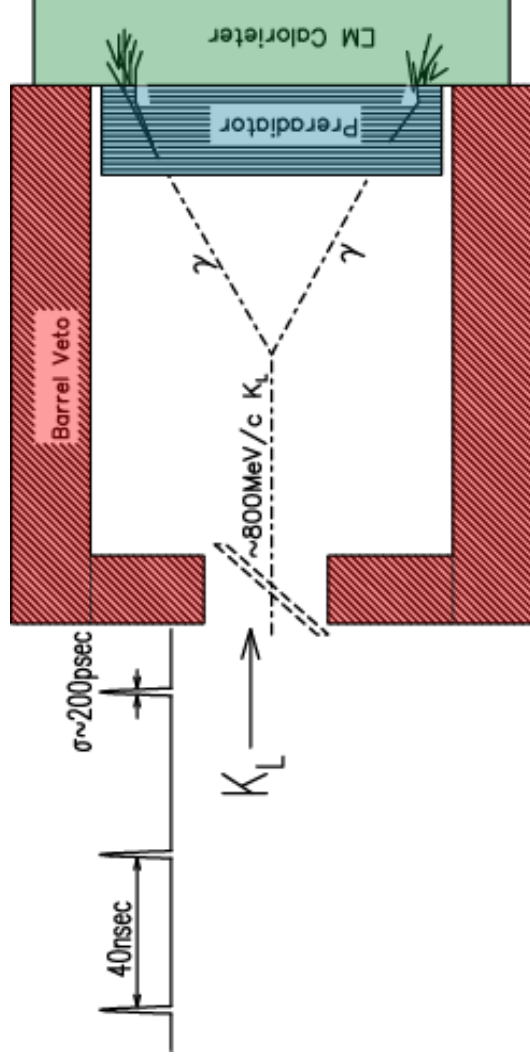
~ 10 événements sur 3 ans

$$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$$



Expérience planifiée à BNL pour chercher la désintégration rare : $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ avec $BR \sim 3 \times 10^{-11}$

Reconstruction « complète » et identification des particules



- Mesure ultra pure
- mesure du temps de vol du K_L
 - direction des photons convertis
 - énergies des photons
 - veto sur toute autre particule émise

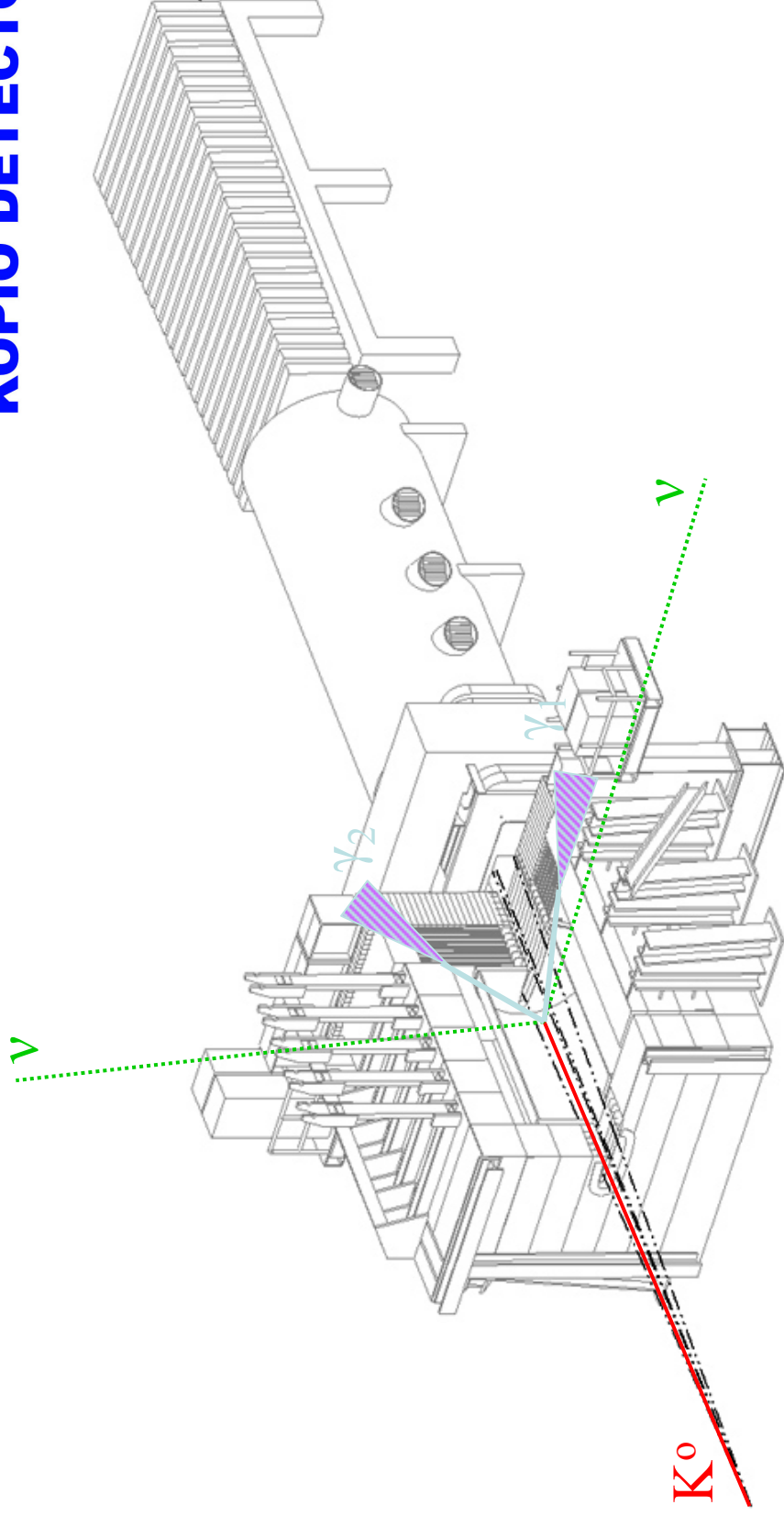


KOPIO prévoit 40 événements de signal (SM) avec $S/B = 2/1$



Événement signal: $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$

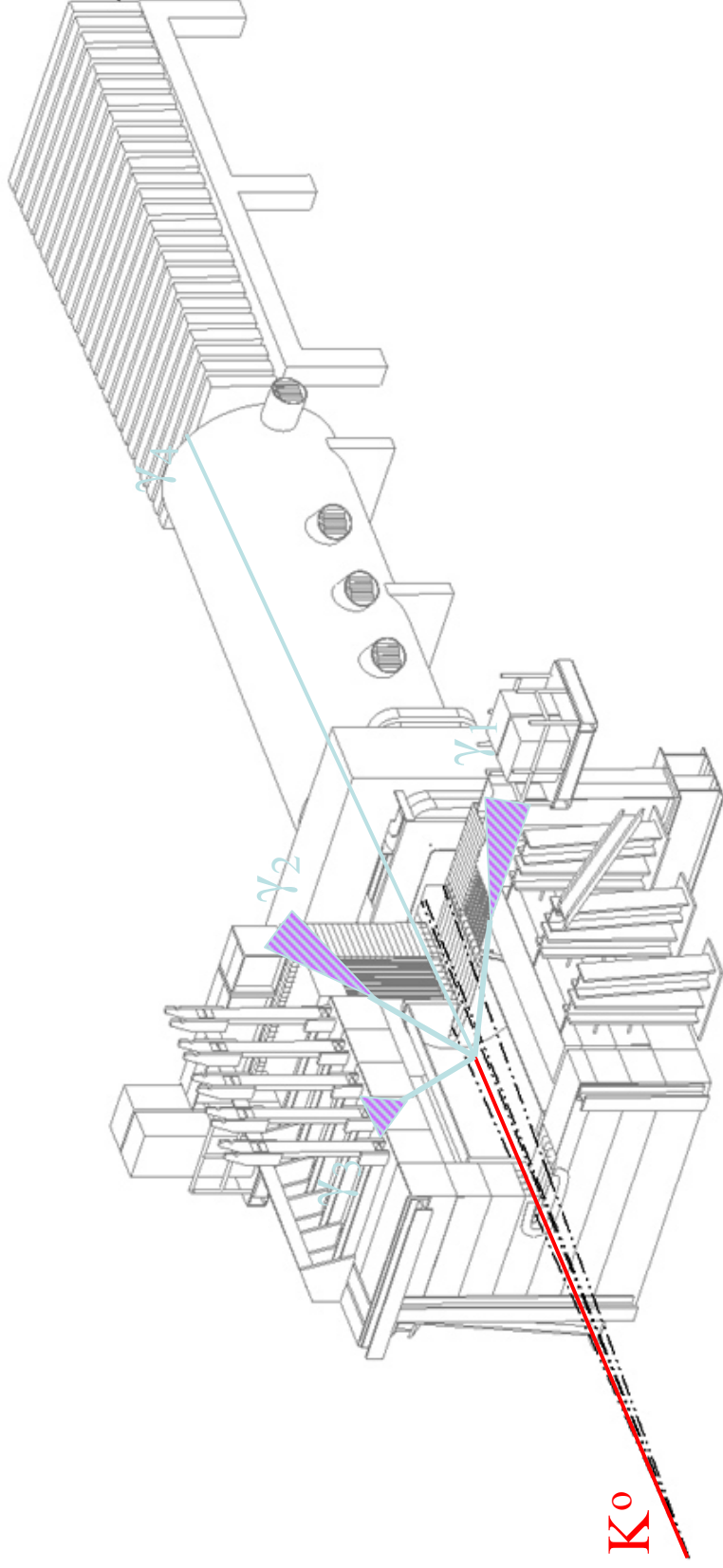
KOPIO DETECTOR





Événement bruit de fond: $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$

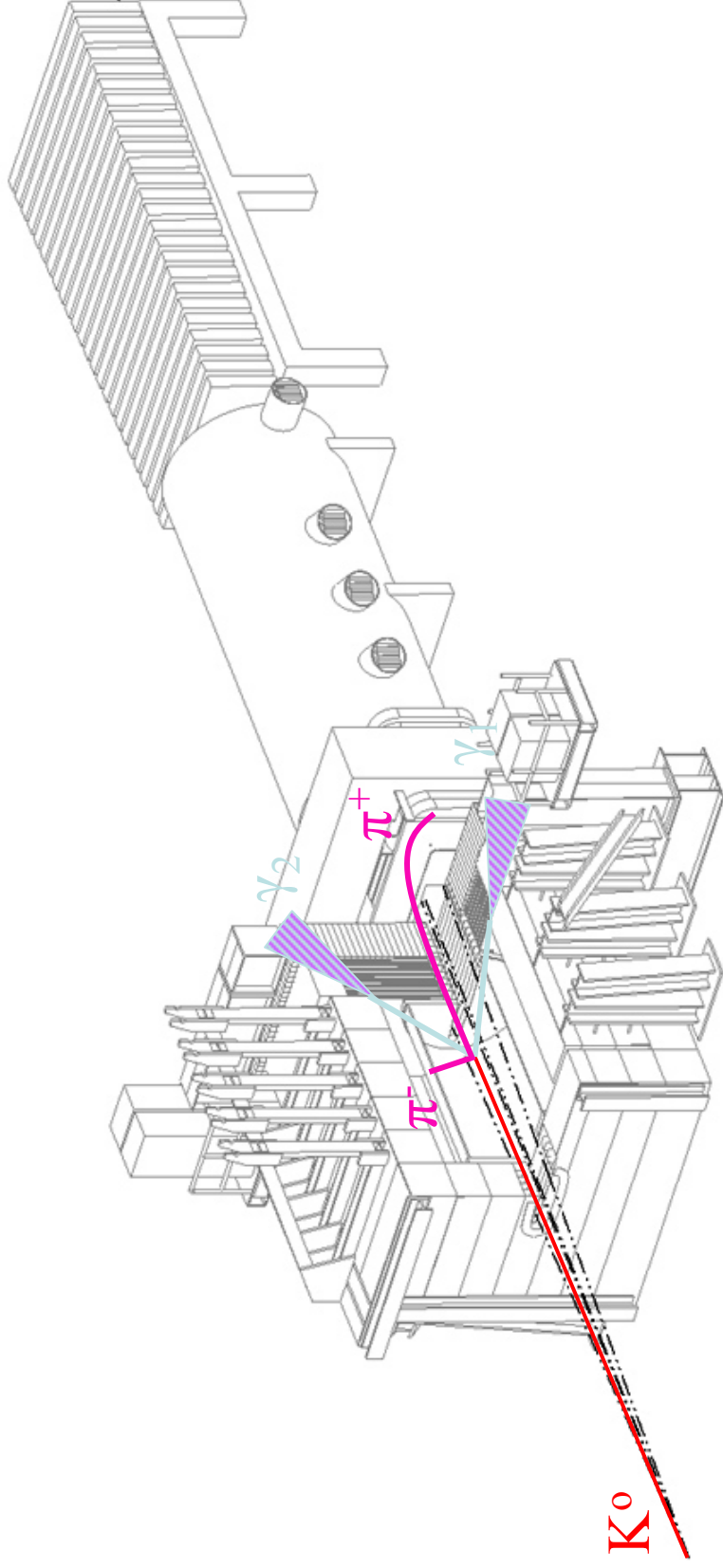
KOPIO DETECTOR





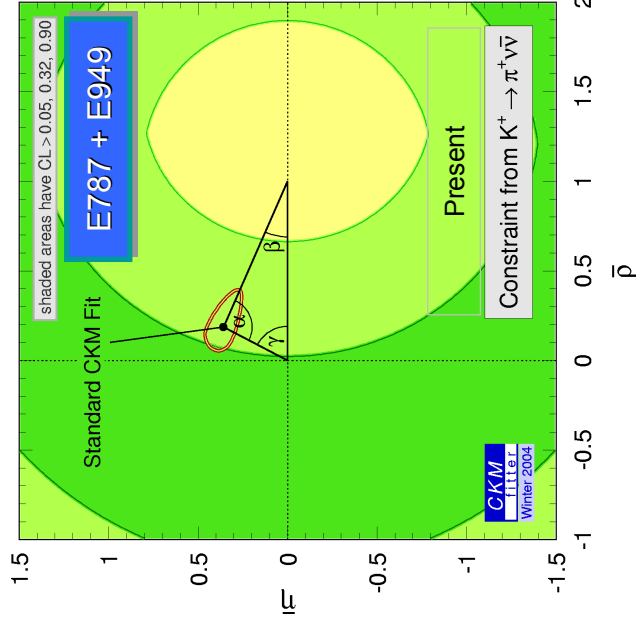
Événement bruit de fond: $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$

KOPIO DETECTOR

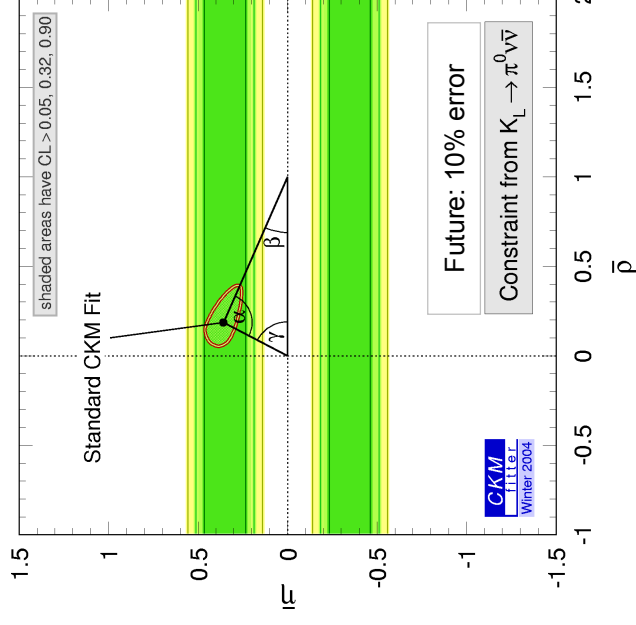


Début de construction in 2005 ???

Le système des K : métrologie



Désintégration
violant CP !



Observations:

- La précision sur λ ($|V_{ud}|, |V_{us}|$) est suffisante pour l'étude de la VCP (unitarité retrouvée).
- L'interprétation de ε_K et de ε'/ε est dominée par erreurs théoriques.
- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ et $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ très sensible à la NP :
 - contributions françaises à KOPIO ou E391a (J-PARC) ?
 - erreurs « théoriques » $\sigma(m_c)[K^+]$, $\sigma(m_l)$, $\sigma(|V_{cb}|)$ importantes à partir d'une précision de 10% sur les rapports d'embranchements

BABAR Detector

Muon/Hadron Detector

Magne

Electro

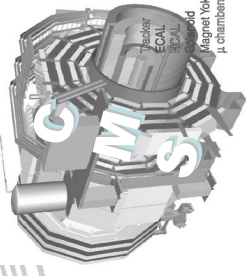
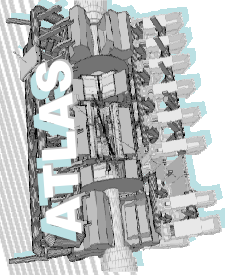
Cherier

Trackir

Suppo

Le programme du futur :
le système du *B*

Vertex Detector



2004
2005

Programme expérimental pour la physique du B

PEP-II à SLAC : collisionneur e^+e^- à énergie asymétrique



Luminosité en 2004
(au niveau analyses):

BABAR : 212 fb⁻¹

Belle : 257 fb⁻¹

Programme expérimental pour la physique du B



PEP-II et KEKB : perspectives pour la luminosité (en 2010) :

➡ augmentation de la luminosité au pic jusqu'à $\sim 3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

➡ luminosité intégrée devrait dépasser 1 ab^{-1} pour chaque expérience.



Important programme de physique du B au TEVATRON : mesure de Δm_s (SM) ?



Démarrage de LHCb en 2007 avec lumi nominale de $2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($10^{11} B^0$ par an !).



Réflexion sur la construction d'une « super usine à B » (SLAC ou KEK) avec 50 ab^{-1} :

➡ lettre d'intention a été déposé à KEK pour une machine à $L \sim 2 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

➡ SLAC planifie une machine de $L \sim 3$ à $7 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (au bout de 3 ans).

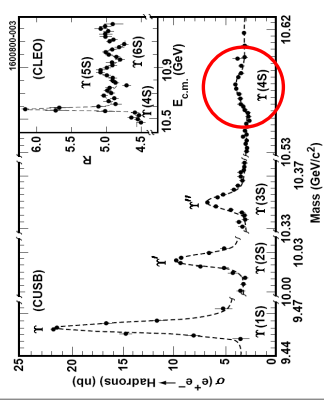
➡ les défis techniques sont multiples :

- courant $> 10 \text{ A}$ dans chaque anneau
- distance entre les paquets de $< 1 \text{ ns}$
- d'énormes contraintes thermiques et de vide posées par les courants
- petite taille verticale des faisceaux $\sim 1 \mu \rightarrow$ paquets courts ($\sim 3 \text{ mm}$)
- croisement à angle des faisceaux
- bruit de fond important (augmente $\sim$ linéairement avec luminosité)

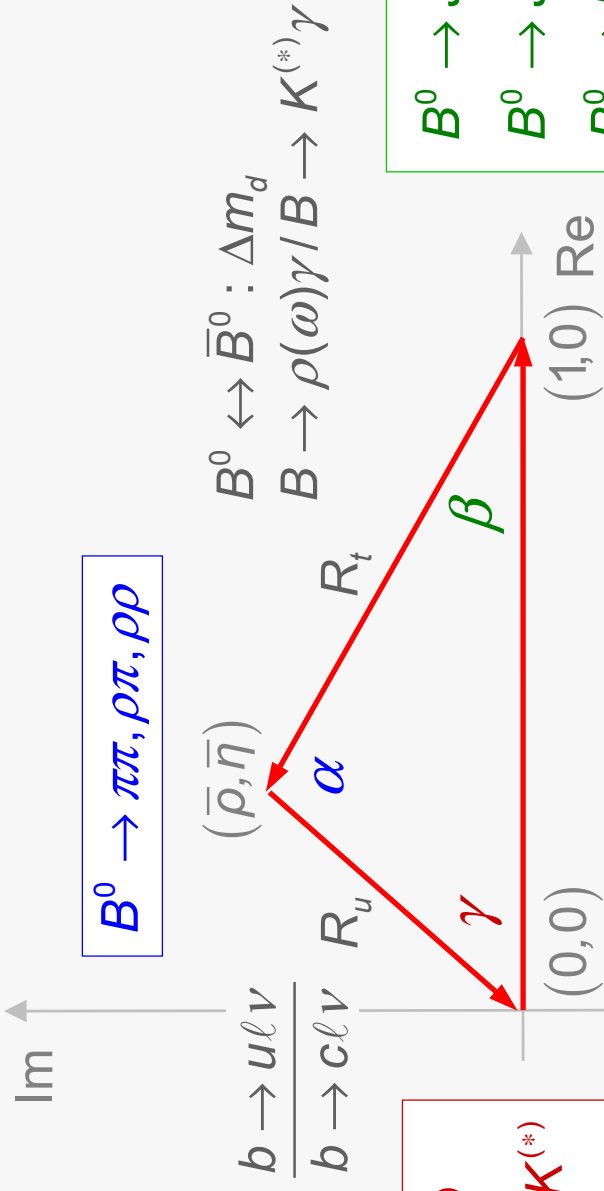
➡ coûts et calendrier : $\sim 400 \text{ M€}$ (machine), $\sim 100 \text{ M€}$ (détecteur); début > 2012 .



Le système du B_d (usines $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S)$)



le B_d est également accessible par des machines hadroniques !



$$B^0 \rightarrow \pi\pi, \rho\pi, \rho\rho$$

$$\begin{aligned} B &\rightarrow D^{(*)}K^{(*)} \\ B &\rightarrow D_{K_S^0\pi^+\pi^-}K^{(*)} \\ B^0 &\rightarrow DK_S^0, \dots \\ B^0 &\rightarrow D^*\pi(\rho) \end{aligned}$$

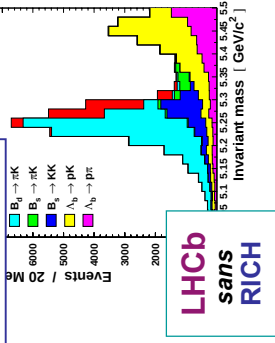
$$\begin{aligned} B^0 &\rightarrow J/\psi K_S^0, \dots \\ B^0 &\rightarrow J/\psi \pi^0 \\ B^0 &\rightarrow D_{(s)}^{(*)+} D^{(*)-} \\ B^0 &\rightarrow \phi K_S^0, \dots \end{aligned}$$

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

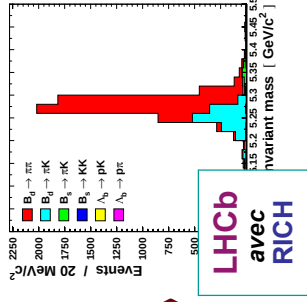


Le système du B_s (machines hadroniques)

$$B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$



LHCb
sans
RICH



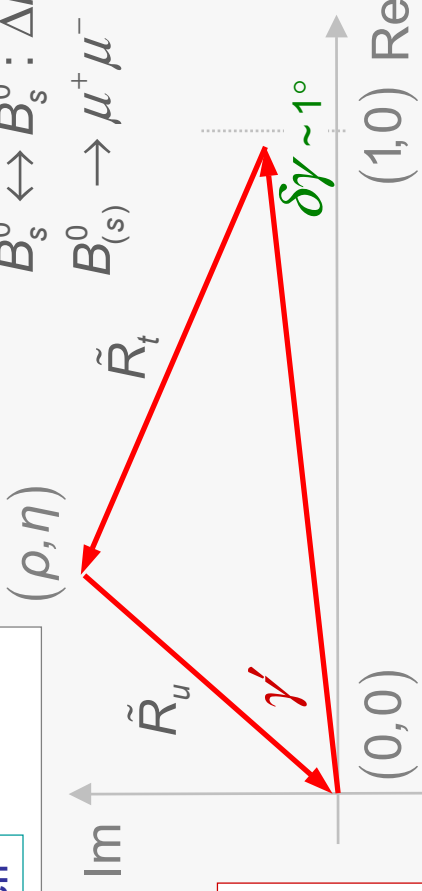
LHCb
avec
RICH

le B_s n'est pas accessible par les usines au $\Upsilon(4S)$!

$$B_s^0 \leftrightarrow \bar{B}_s^0 : \Delta m_s / \Delta m_d$$

$$B_{(s)}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \quad (\text{BR for } B_d^0 \sim 2 \times 10^{-10})$$

$$(\text{BR for } B_s^0 \sim 4 \times 10^{-9})$$



$$B_s^0 \rightarrow D_s K$$

$$B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$$

$$B_s^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$$

$$B_s^0 \rightarrow D_s^+ D_s^-, \dots$$

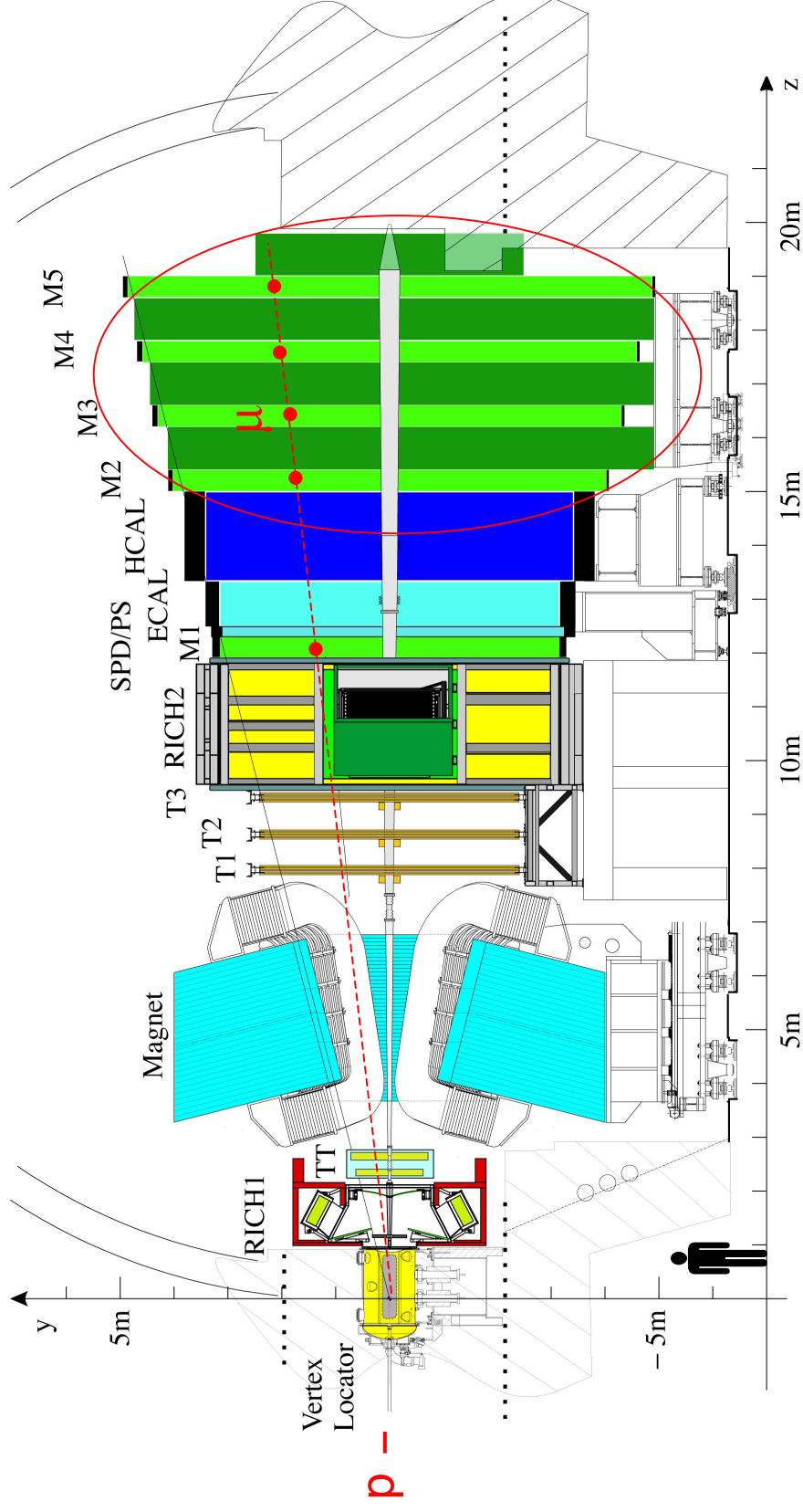
$$B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi, \dots$$

$$B_s^0 \rightarrow \phi \phi, \dots$$

Beaucoup de modes nécessitent un trigger non-leptonique et/ou PID et/ou la résolution de x_s .

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

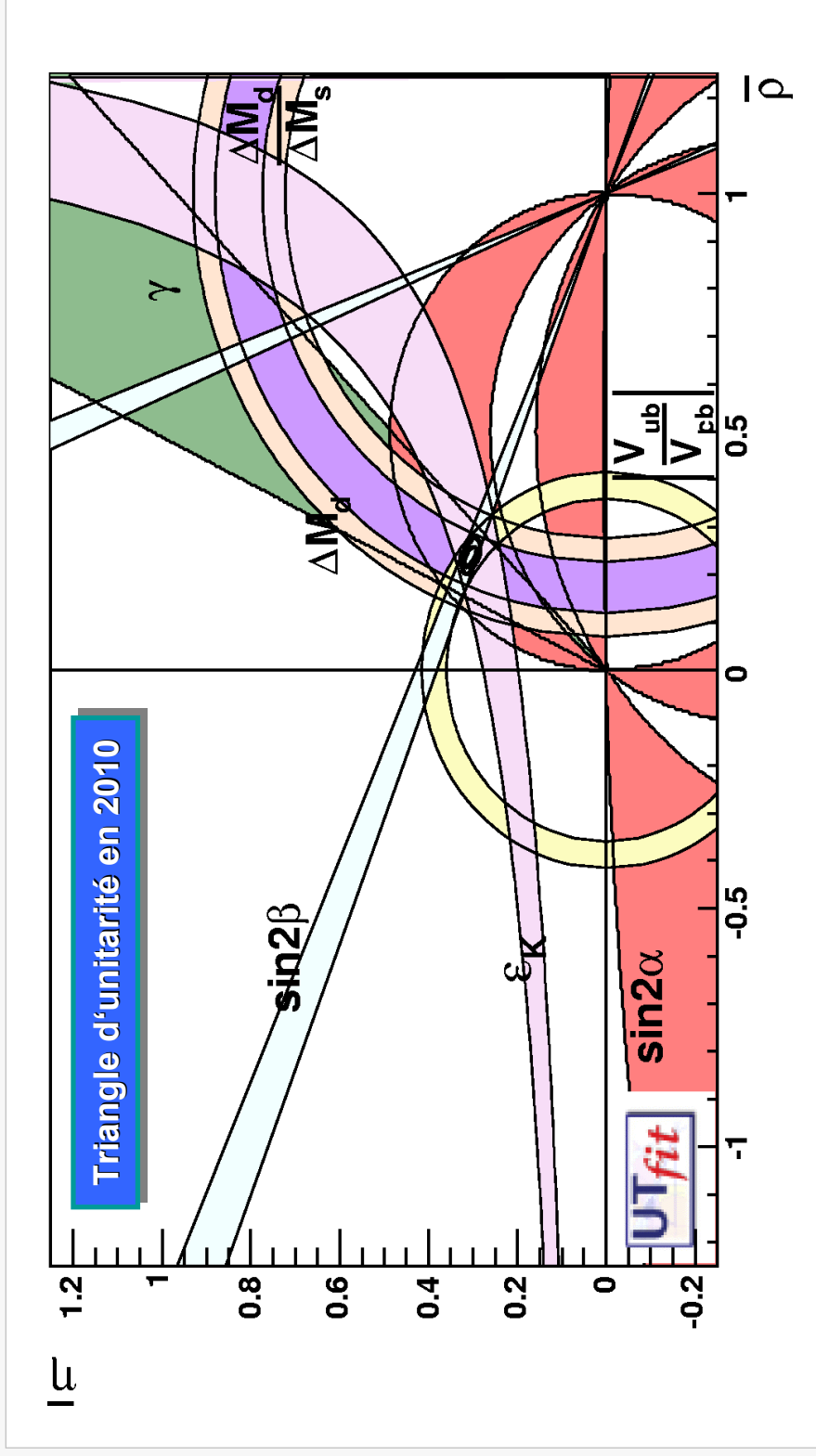
Le détecteur LHCb



Muon system to identify muons, also used in first level of trigger
 Efficiency $\sim 95\%$ for pion misidentification rate $< 1\%$

Comparaison pour quelques modes phares

Observable	Mesure	usines $\Upsilon(4S)$	had. multi- purpose	LHCb / BTeV	erreur 2010	status
α	$B_d \rightarrow \pi\pi, \pi\rho, \rho\rho$	**	?	*	3–6°	(X)
$\sin 2\beta$	$B_d \rightarrow J/\psi K^0$	**	** (*)	** (*)	< 1°	(X)
$\sim \sin 2\beta$	$B_d \rightarrow \phi K^0$	**	*	*	$\sim 8^\circ$	OK
	$B_d \rightarrow \eta' (f_0, \dots) K^0$	**	?	*	$\sim 3^\circ$	(X)
γ	$B_d^{+0} \rightarrow D^{(*)0} K^{(*)+0}$	*	?	**	3–6°	OK
$ V_{cb} / V_{ub} $	$b \rightarrow c(u)l\nu$ (excl. / incl.)	**	–	–	$\sim 1\%$ 5–6%	(X)
$ V_{td} $	$B_d \rightarrow \rho \gamma$	**	?	?	$\sim 0.1 \times 10^{-6}$ (BR)	(X)
$ V_{ts} , A_{CP/FB}$	$B_d \rightarrow X_s (K^{(*)}) \gamma (l^+ l^-)$	**	*	*	$\sim 1\%$	syst?
$ V_{ub} \times f_{Bd}$	$B^+ \rightarrow \tau^+ (\mu^+) \nu$	**	–	–	10% (15%)	OK
$\Delta m_s (V_{ts})$	$B_s \rightarrow D_s^- (\rightarrow \phi \pi^-) \pi^+$	–	*(?)	***	< 0.1% [SM]	(X)
$\sin 2\delta\gamma (\Delta\Gamma_s)$	$B_s \rightarrow J/\psi \phi, J/\psi \eta, (\phi\phi)$	–	**	** (*)	2–4°	OK
$\sin(2\gamma - 2\delta\gamma)$	$B_s \rightarrow D_s^{(*)} K$	–	?	**	6–16°	OK
$ V_{td} $	$B_{s(d)} \rightarrow \mu^+ \mu^- (\tau^+ \tau^-)$	(*)	*** 100 fb ⁻¹ : $\sim 4\sigma$	** 3 years : $\sim 4\sigma$	$\sim 4\sigma$	OK
BR	$\tau^+ \rightarrow \mu^+ \gamma$	**	–	–	$\sim 5 \times 10^{-8}$	OK



Très bonne connaissance de la phase CKM : $\sigma(\text{phase CKM}) \sim 3^\circ$ (aujourd'hui : 9°)
 Est-ce qu'une super usine à B sera suffisante pour mesurer γ avec $\sigma(\gamma) < 1^\circ$?

Une super usine à B avec 50 ab^{-1} ?



Nous avons identifié les modes en or/argent pour une super usine à B :



$\sin(2\beta)$ avec $B \rightarrow \phi K^0$ (gain en précision d'un facteur 5 ($\sigma < 2^\circ$))

pingouin !



γ avec $B \rightarrow DK$ (gain d'un facteur 3 ou plus ($\sigma < 1^\circ$))

arbre !



α avec $B \rightarrow \pi\pi$ (gain d'un facteur 3 ($\sigma \sim 1^\circ$))



$|V_{ub}| \times f_{B_d}$ avec $B \rightarrow \tau \nu (\mu \nu)$ (gain d'un facteur > 5 ($\text{BR} \sim 2\%$))



$A_{CP}(b \rightarrow s\gamma, s^+l^-)$: $\sigma < 1\%$ (gain dépend des erreurs systématiques exp.)



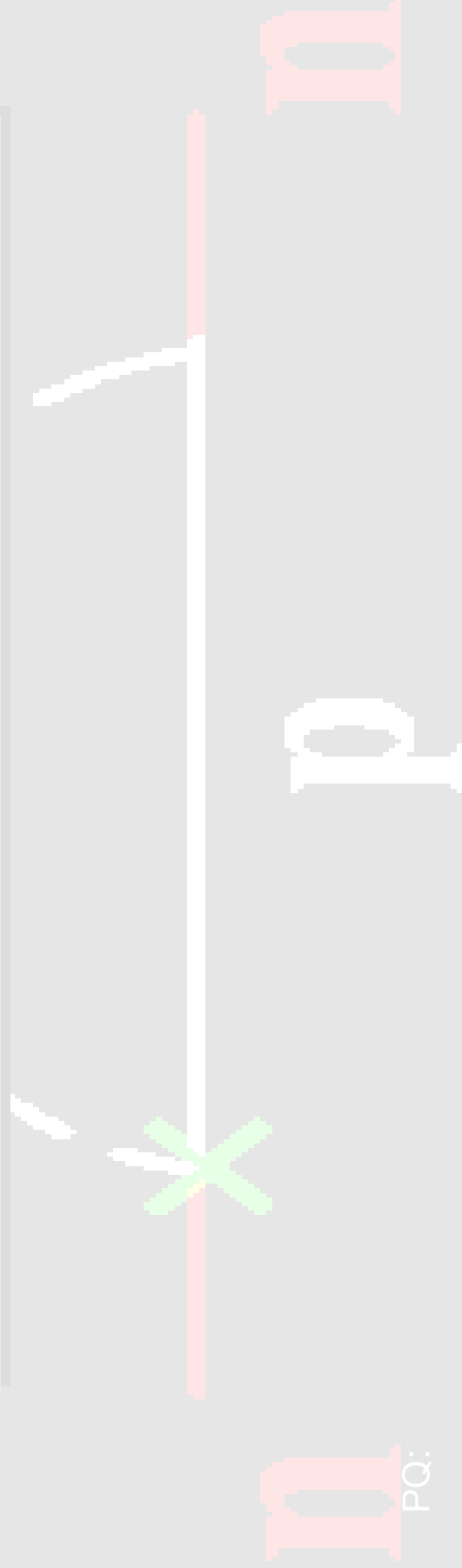
$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu\gamma)$: limite $\sim 1 \times 10^{-8}$ (gain d'un facteur > 5)



L'intérêt des ces modes est évident. Il est néanmoins difficile d'estimer leur vrai impact sans un minimum de pilotage par les résultats des recherches au LHC.

Notez que ceci est un scénario minimal : nous ne sommes pas à l'abri de surprises !

Le programme du futur : le moment dipolaire électrique



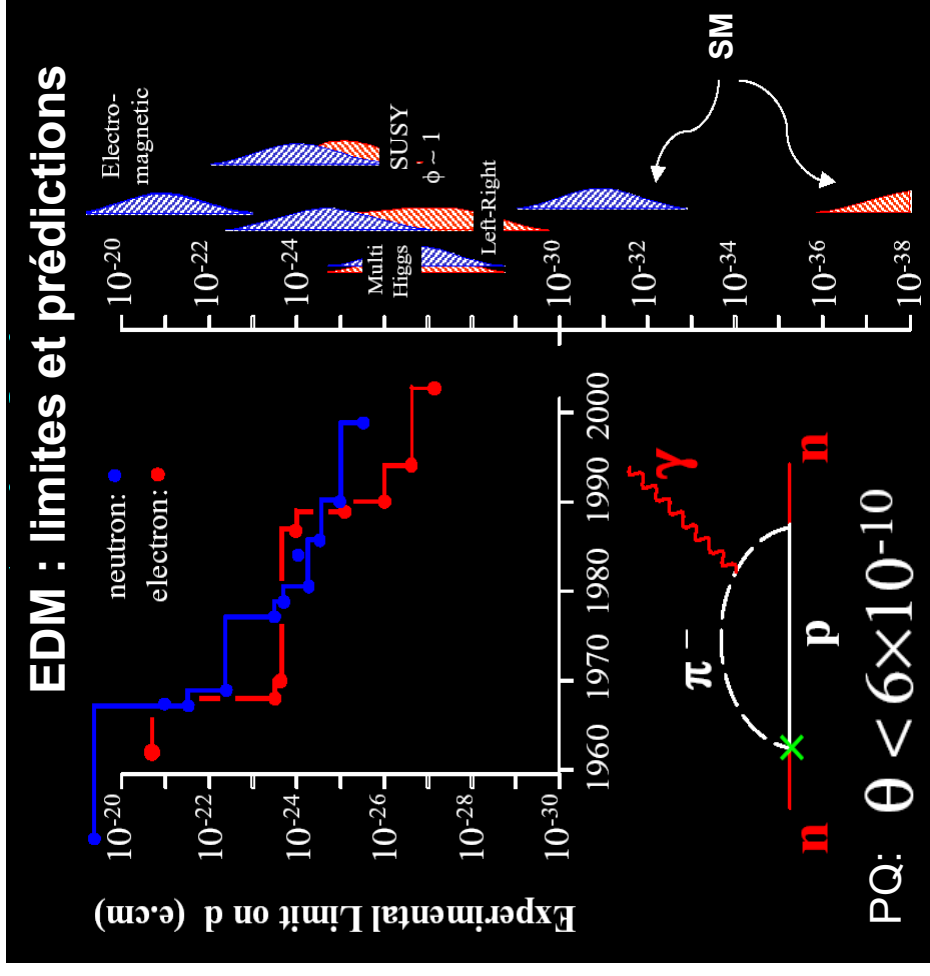
Recherche du moment dipolaire électrique (EDM)

EDM particules spin 1/2

- violent symétries P & T
- SM : valeurs prédites très faibles
- certains modèles
EDM mesurables;
test de NP

EDM du neutron

- avantages :
charge nulle
faisceaux ultra-froids
- prédictions SM (CKM)
- limite expérimentale
ILL Grenoble
- problème CP fort
axion ?



Projets futurs pour l'EDM du neutron :

- à l'ILL (par RAL-Sussex) : dispositif cryogénique
- au PSI (contributions de l'IN2P3) : spectromètre à T ambiante
- des projets à Los Alamos

Projet EDM du neutron au PSI

Source SUNS (Spallation Ultra-Cold Neutron Source)

- faisceau protons primaire
2 mA sur cible tungstène
- neutrons refroidis
deutérium solide à basse T
- densité de UCN : $1000 / \text{cm}^3$
2 ordres de grandeur par rapport à ILL

Mesure : technique de Ramsey

- neutrons confinés dans une enceinte
4 chambres, champs E opposés
faible champ magnétique statique
- spectromètre
d'abord testé à l'ILL puis installé à PSI (2006)

Ambition à l'horizon 2010++ :

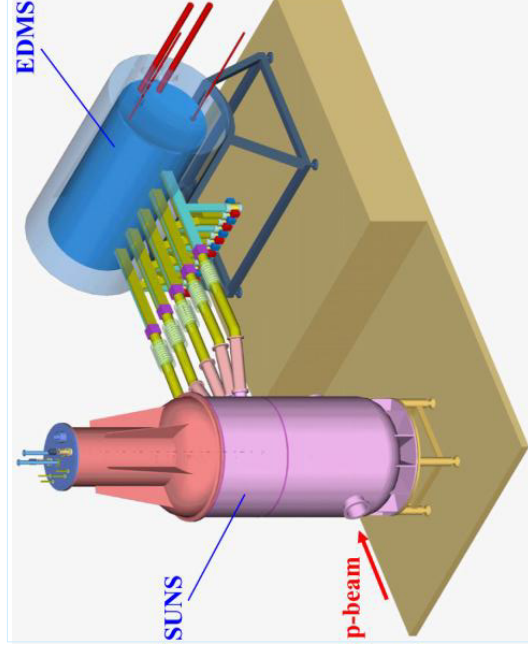
- $d_n \sim 3 \times 10^{-28} \text{ ecm}$
- limite actuelle (ILL - 1999) : $6.3 \times 10^{-26} \text{ ecm}$

Précession de Larmor :

$$\nu = (2\mu_n B_0 \pm 2d_n E_0) / \hbar$$

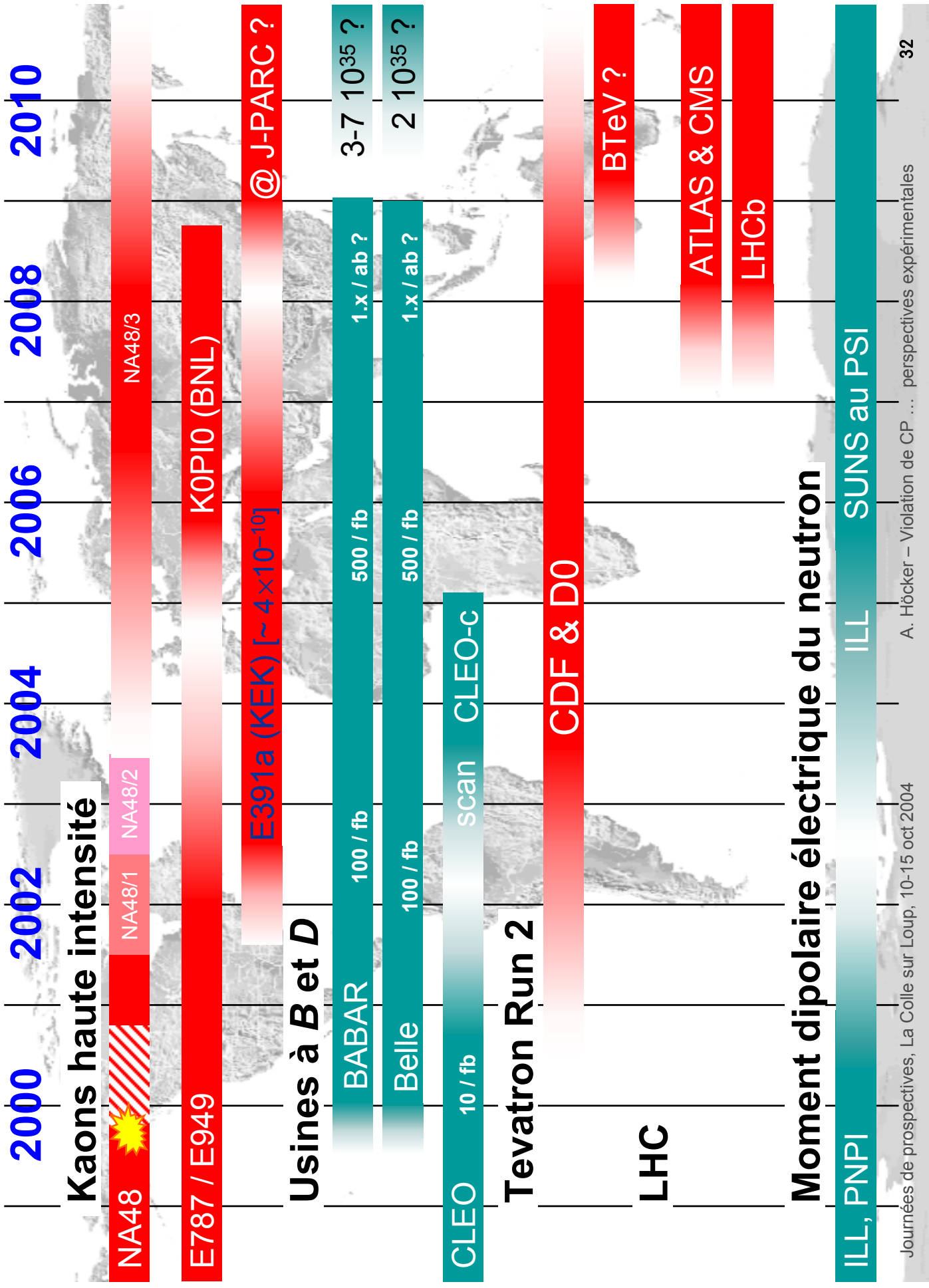
$$\Delta\nu = 4d_n E_0 / \hbar$$

$$\nu \approx 3\text{Hz}, \Delta\nu \approx 3\mu\text{Hz}$$



Planification R & D Assemblage Prise de données ➡ EDM

1998 2001 2003 2006 2009 ...



Conclusions / Recommandations (?)



Les 3-4 années à venir vont être parmi les plus passionnantes dans la physique des saveurs depuis la découverte de la violation de CP .



Les mesures des désintégrations rares $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ (et $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$) ont un très grand intérêt scientifique et les expériences sont relativement abordable. Nous incitons les laboratoires français de s'y engager.



L'intérêt pour la construction d'une super usine à B (50 ab^{-1}) existe, mais le défi technique et l'investissement sont très grands. Il est difficile de conclure avant la fin du programme des usines à B actuelle (~ 2010).

Due à la complémentarité des usines e^+e^- et hadroniques, la décision dépend relativement peu des résultats de LHCb.



Pour la QCD sur réseau : la précision des calculs doit s'améliorer significativement. Concentration des forces sur quelques (peu) paramètres phares ? (ξ , B_K ?)

« Backup »

Pour la métrologie, nous supposons que les usines à B ont accumulé $\int \mathcal{L} = 2 \text{ ab}^{-1}$.

Nous supposons également environ 2 années de prise de données à LHCb avec luminosité nominale.

- α : sera mesuré avec $\sigma \sim 3\text{--}6^\circ$ (limite théorique $(\sigma_{\text{TH}}) \sim 1^\circ$) (x)
- β : sera mesuré avec $\sigma < 1^\circ$, ambiguïté résolue avec mesure de $\cos(2\beta)$ ($\sigma_{\text{TH}} \sim 0.2^\circ$) (x)
- γ : difficile à prédire (dépend de r_B): $\sigma \sim 5\text{--}10^\circ$ possible; LHCb: $5\text{--}10^\circ$
- $|V_{cb}|$: $\sim 1\%$ (limité par σ_{TH}) (x)
- $|V_{ub}|$: $\sim 5\text{--}10\%$ (limité par σ_{TH}) (x)
- $|V_{ub}| \times f_{B_d}$ avec $B \rightarrow \pi \nu (\mu \nu)$: $\sigma \sim 10\%$ (15%) (super- B : $1\text{--}2\%$ (2–3%))
- $|V_{td}|$ avec Δm_d et Δm_s [TEVATRON et/ou LHCb] (limité par σ_{TH}) (x)
- $|V_{td}|$ avec $B \rightarrow \rho \gamma / B \rightarrow K^* \gamma$ (limité par σ_{TH}) (x)

Mêmes suppositions que pour la métrologie.

- $\sin(2\beta)$ [s-pingouin]: ϕK^0 : $\sigma \sim 8^\circ$; moyenne des autres modes : $\sigma \sim 3^\circ$ (✗)
- $\sin(2\delta\gamma)$ ($J/\psi\phi$) : $\sigma \sim 2-4^\circ$; ($\phi\phi$) ? [LHCb]
- Δm_s : $\sigma < 0.1\%$ si standard [LHCb], limités par erreur théorique ✗
- A_{SL} : $\sigma < 0.5\%$, dominé par erreur systématique expérimentale ✗
- $BR(b \rightarrow s\gamma, s l^+ l^-)$: limités par erreurs théoriques ✗
- $A_{CP/FB}(b \rightarrow s\gamma, s l^+ l^-)$: $\sigma < 1\%$ (erreurs systématiques exp. ?) ✗
- $BR(B_d \rightarrow \tau^+ \tau^-)$: limite $< 5 \times 10^{-6}$ (attendu $\sim 3 \times 10^{-8}$)
- $BR(B_{d(s)} \rightarrow \mu^+ \mu^-)$: limite $< 1 \times 10^{-8}$ (attendu $\sim 1 \times 10^{-10}$ (3×10^{-9})) [ATLAS, CMS: $\sigma \sim 10\%$?]
- $BR(\tau \rightarrow \mu\gamma)$: limite $\sim 5 \times 10^{-8}$ (super-B : 1×10^{-8})

Il est à noter que si de la nouvelle physique apparaît à travers des déviations du SM, le « pattern » de ces déviations pour différents modes devrait guider la théorie afin de distinguer entre bonnes et mauvaises extensions du SM.