



L'Expérience Belle: Étude des Origines de l'Asymétrie CP

- Matière et Antimatière
- Problèmes cosmologiques
- Histoire d'asymétries
- L'Expérience Belle
- Les plus importants résultats



Journées Science et
Technologie 2002

17–19 Novembre 2002

National Olympics Memorial
Youth Center, Yoyogi, Tokyo

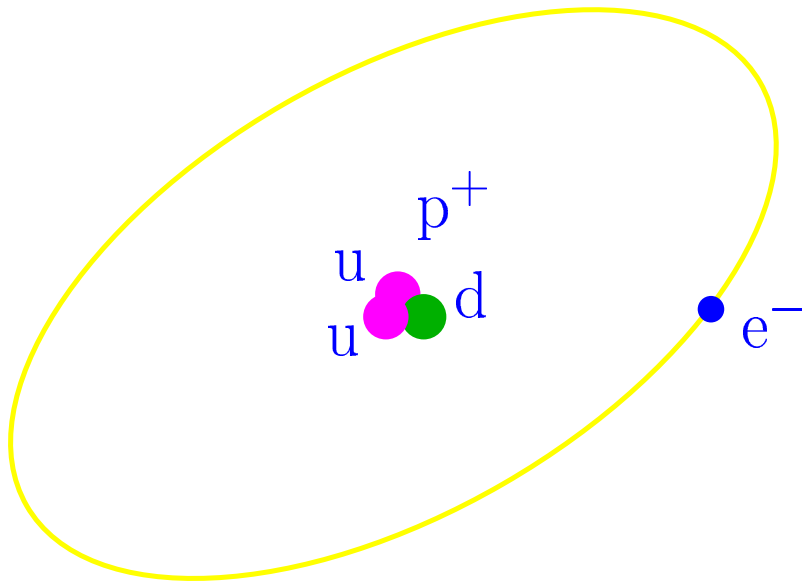
Patrick Koppenburg

pkoppenb@bmail.kek.jp

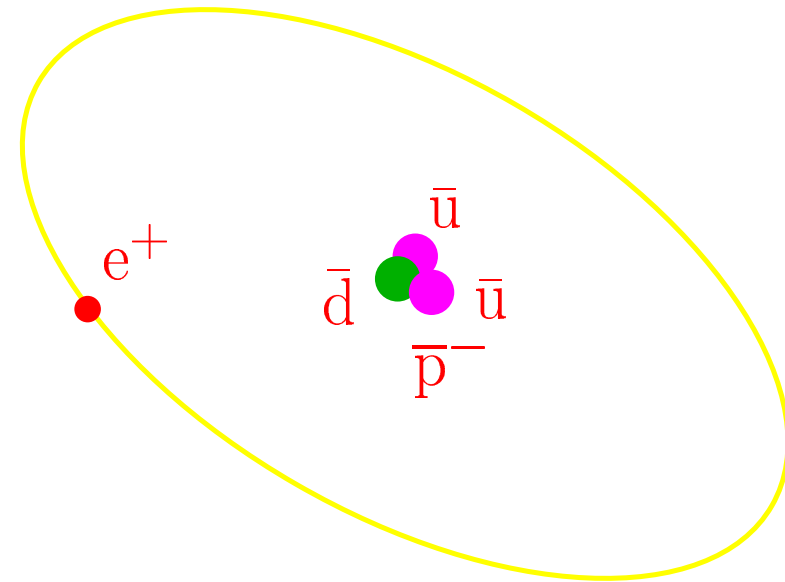
KEK — High Energy Accelerator Research Organization



Hydrogène



Anti-hydrogène



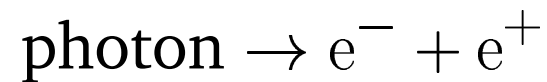
Rencontre \Rightarrow Annihilation



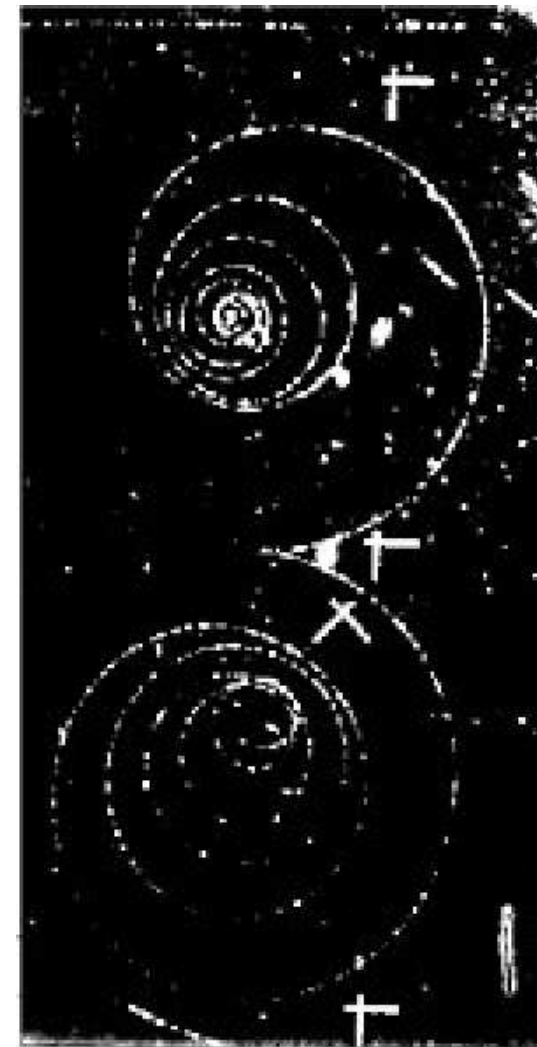
Fabrication de l'**antimatière**

$$E = mc^2$$

Exemple:



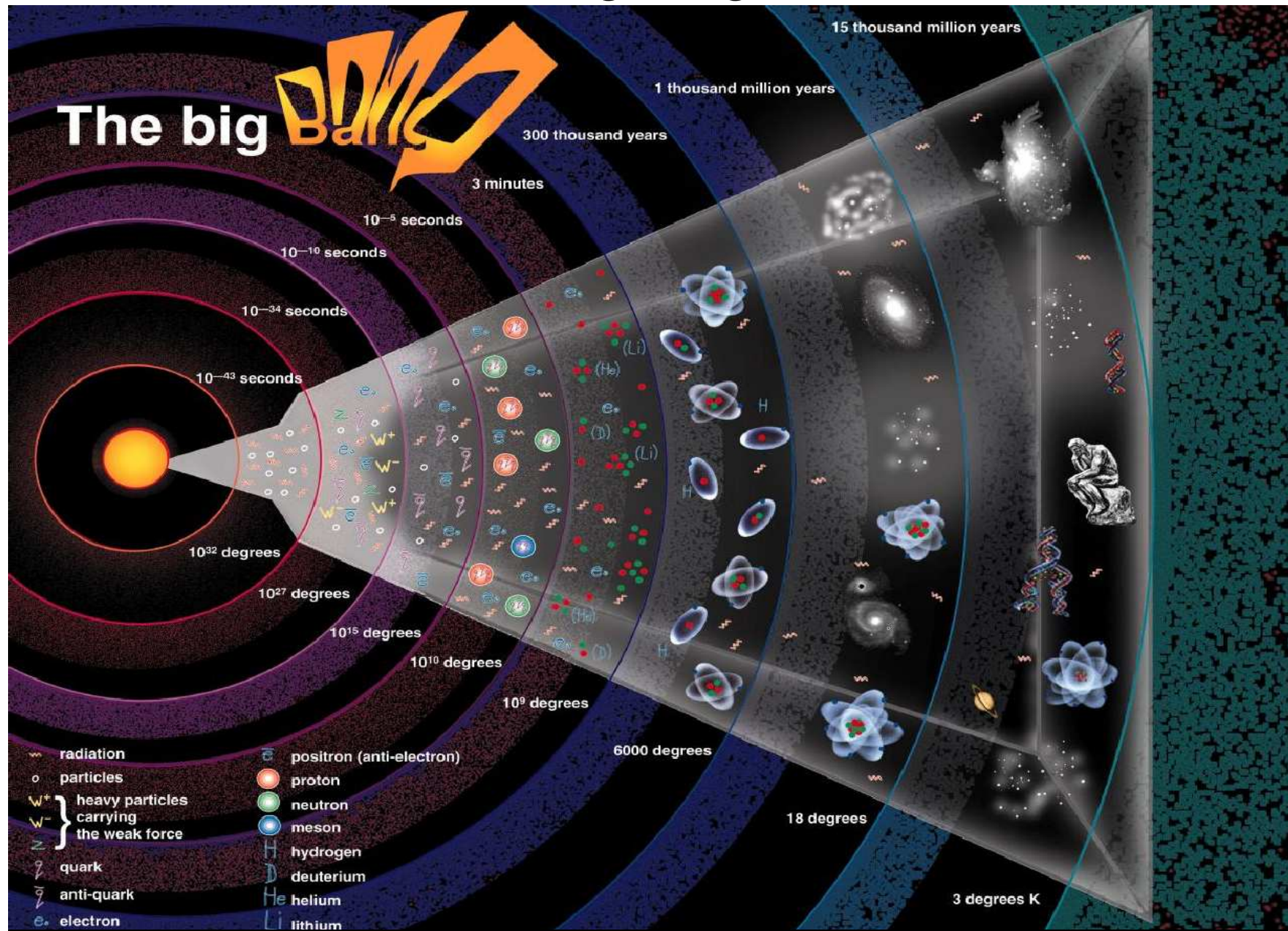
Production de **matière** et **antimatière** en quantités égales

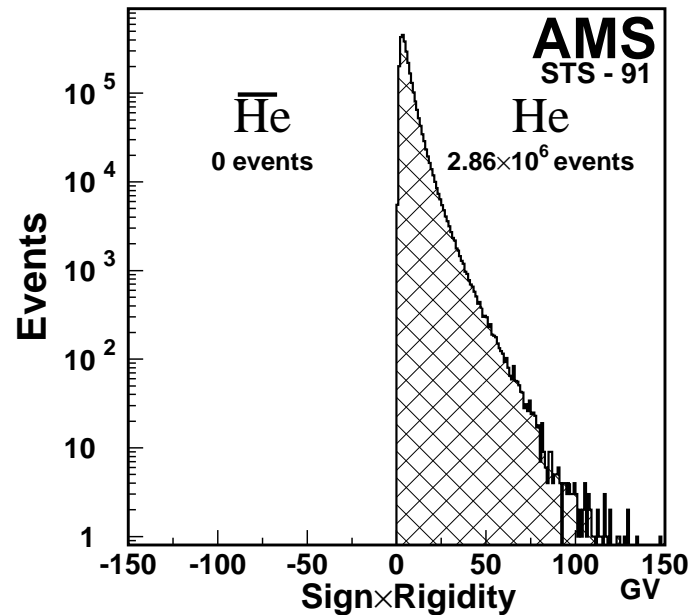


Création de paires



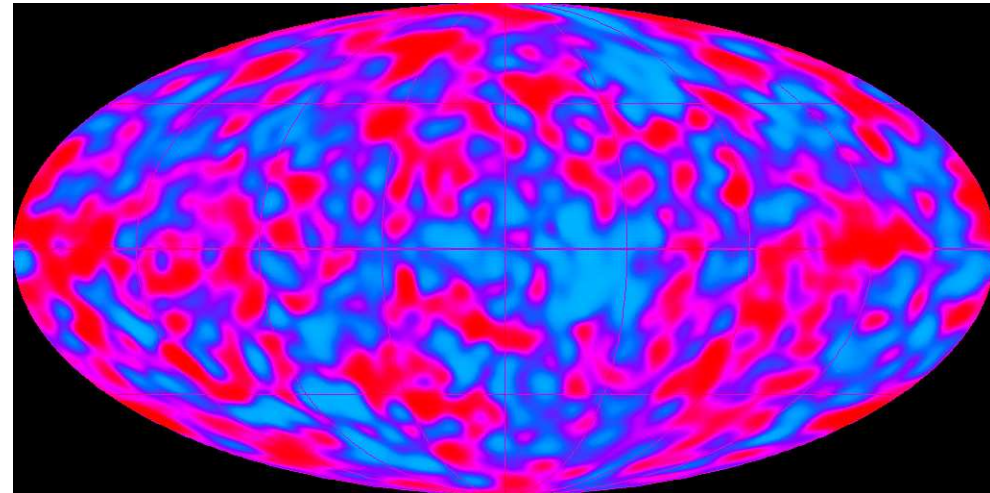
Big Bang





Détecteur AMS

[AMS: Phys. Lett. B461 387-396, 1999]



Satellite COBE

[COBE: J.C.Mather et al., Astrophys.J.420:439,1994]

space.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/cobe_home.html

On n'observe pas d'antimatière dans l'univers



Big Bang



Et si la Nature préférerait un peu la
matière?

1000000001

1000000000

Au début de l'Univers

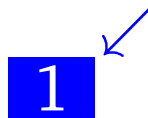


Big Bang

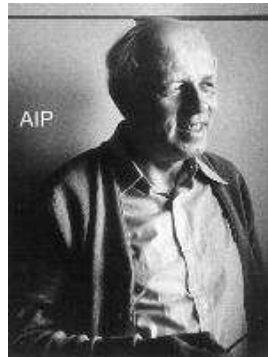


Et si la Nature préférerait un peu la
matière?

Vous êtes ici



Peu après



En 1967 A. Sakharov a énoncé les conditions nécessaires à la disparition de l'**antimatière**:

1. Non-conservation du nombre baryonique

$qqq \not\rightarrow qqq$ et $\bar{q}\bar{q}\bar{q} \not\rightarrow \bar{q}\bar{q}\bar{q}$ **Jamais observé!**

2. **Asymétrie CP**

Probabilités différentes pour la matière et l'**antimatière**

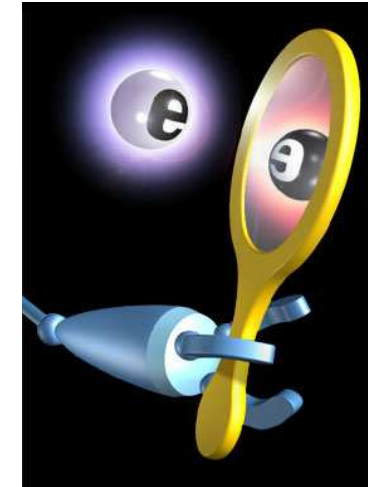
3. Déséquilibre thermodynamique

[A.D. Sakharov., Pisma Zh.Eksp.Teor.Fiz.5:32-35,1967]



Symétries presque parfaites

Presque toutes les lois physiques sont invari-
antes sous les symétries:



P: Inversion des directions

左 \leftrightarrow 右

C: Inversion des charges électriques

$e^- \leftrightarrow e^+$

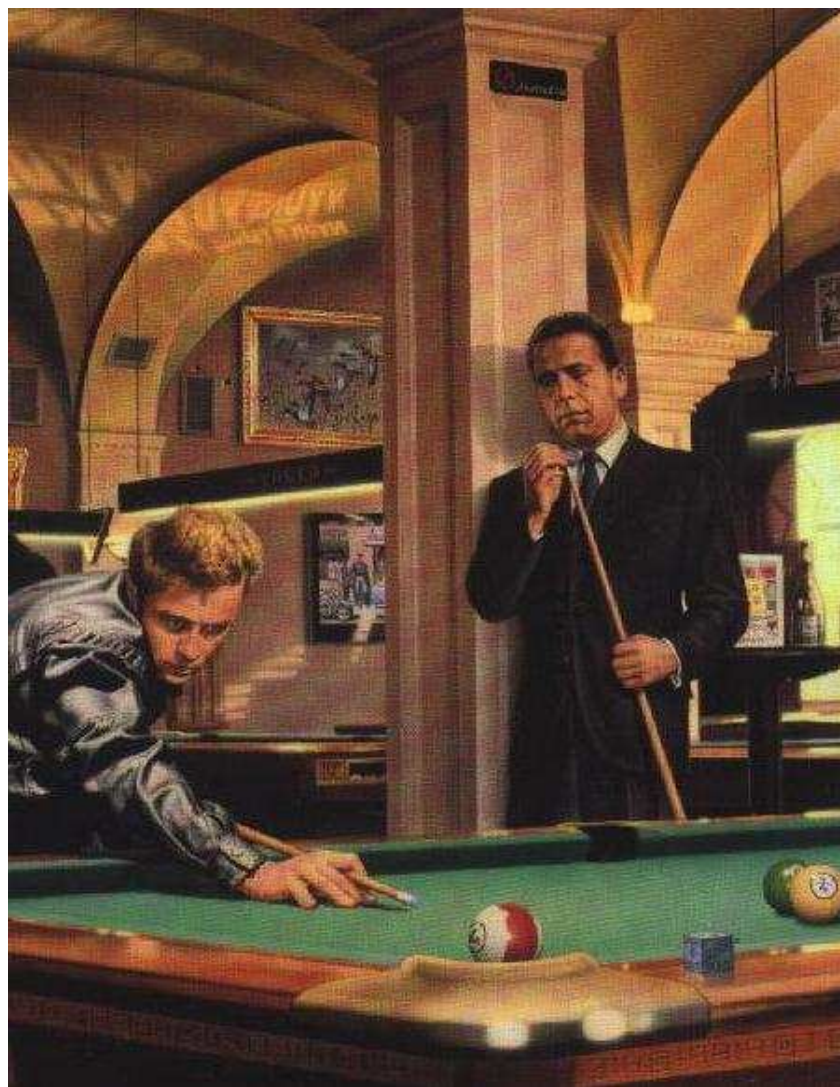
T: Changement de la flèche du temps

} CP

Les asymétries ne se manifestent
qu'au niveau (sub-)atomique



Symétrie P

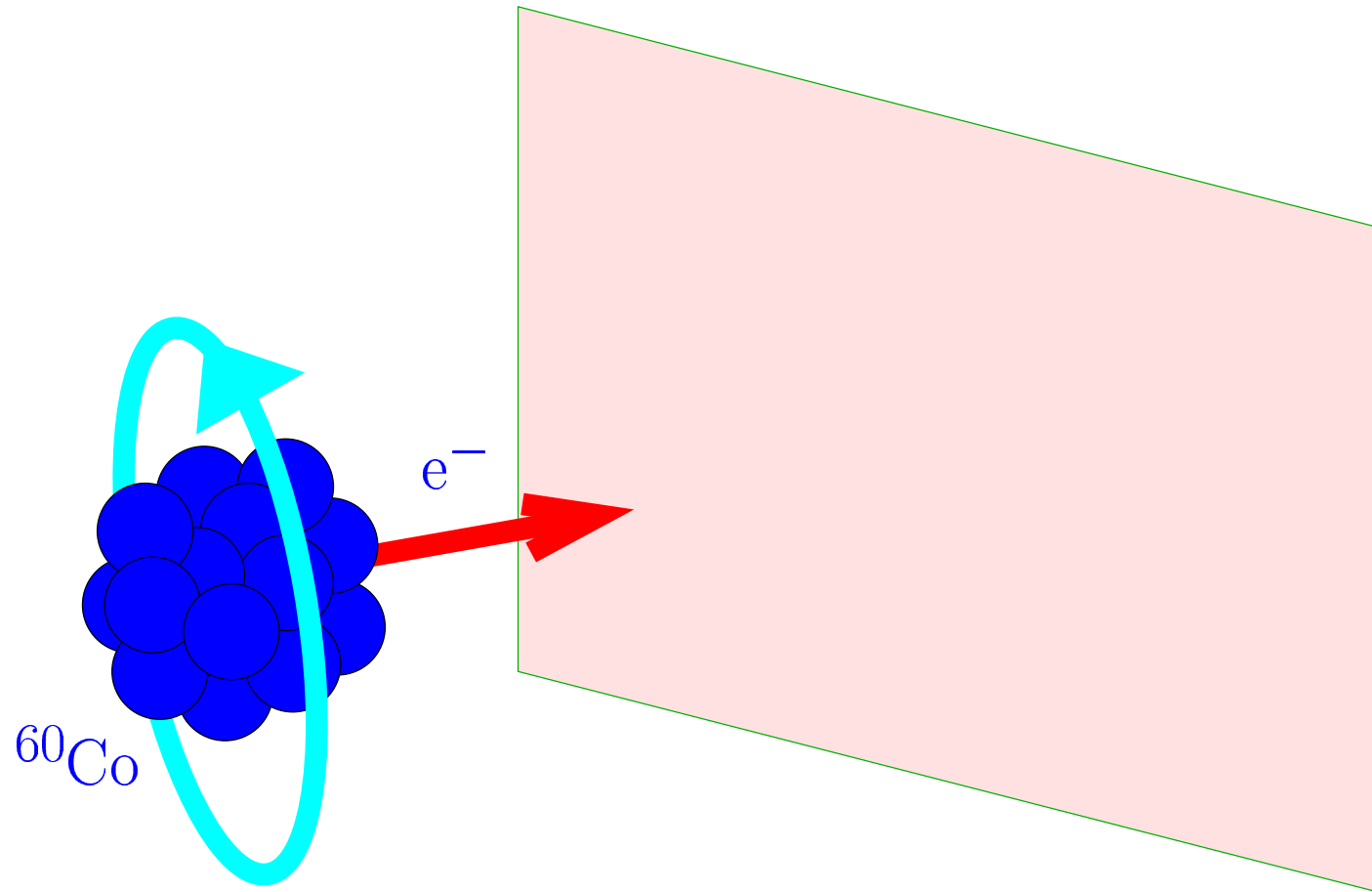




Asymétrie P



Wu Chien-Shiung



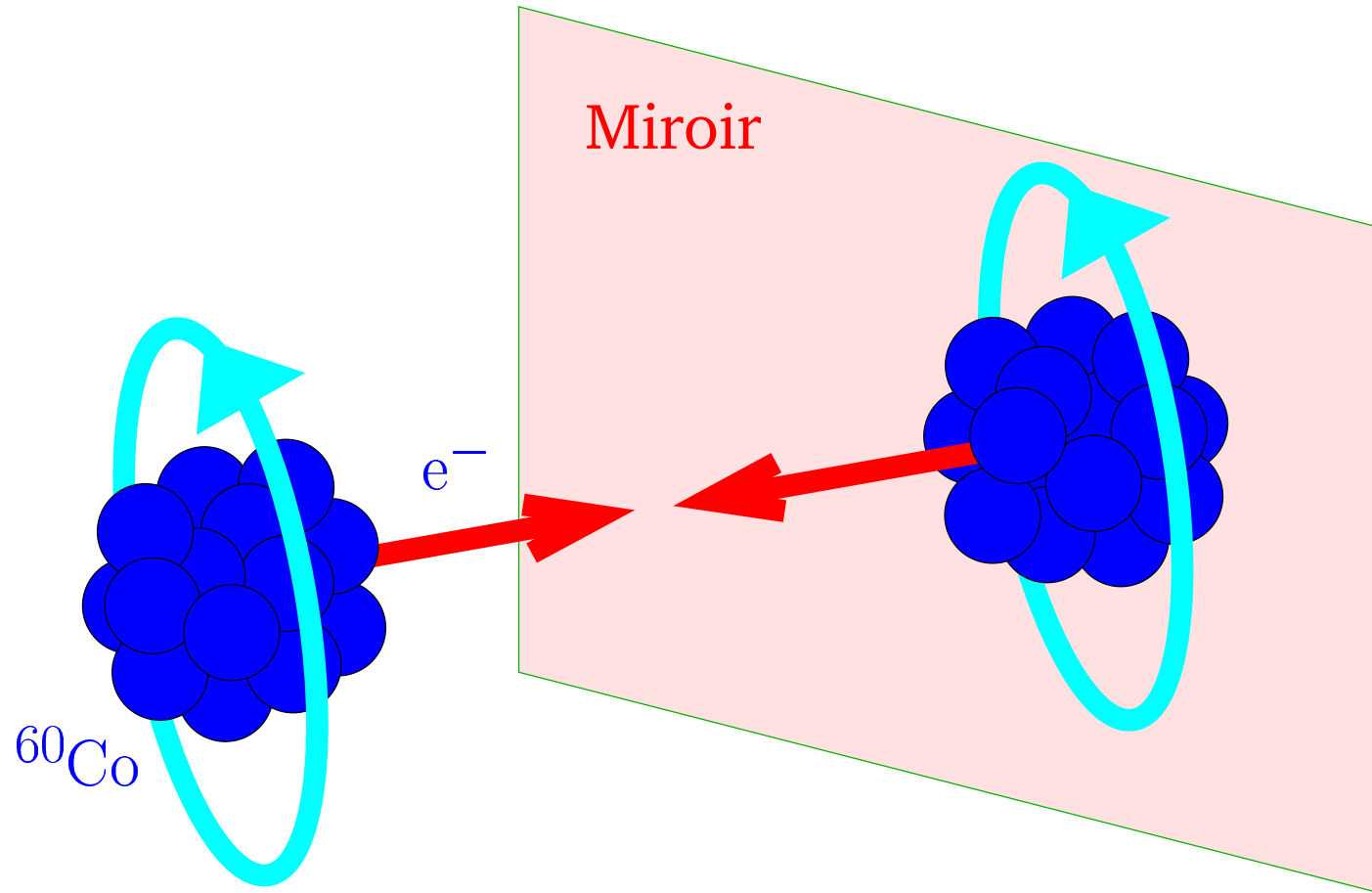
Si le ^{60}Co tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, les e^- de désintégration du ^{60}Co sont émis préférentiellement vers le haut.



Asymétrie P



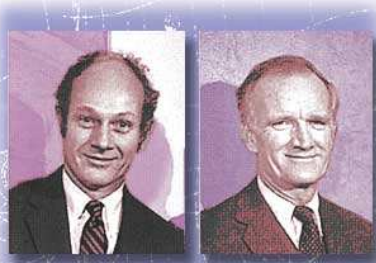
Wu Chien-Shiung



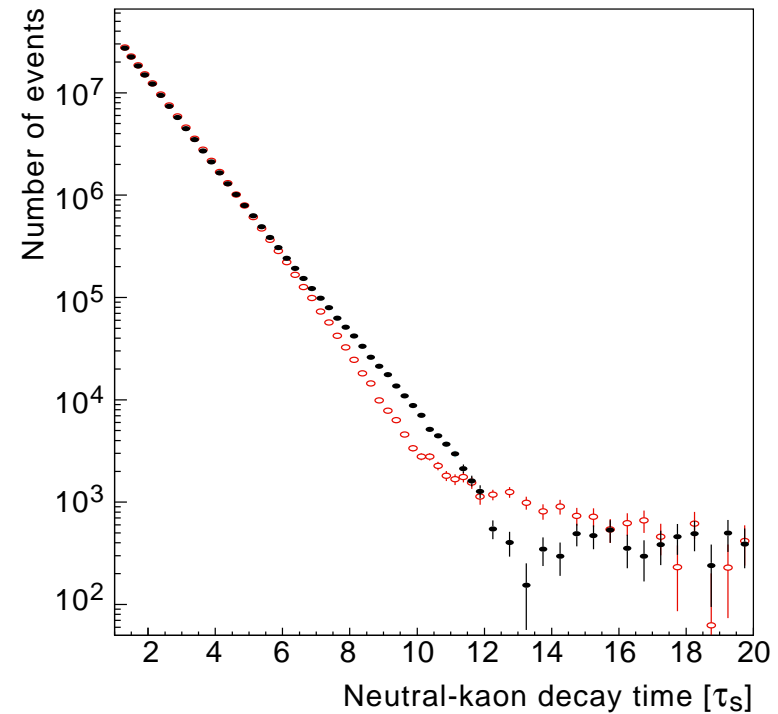
L'expérience de Wu (1957) a montré que l'interaction faible distingue la gauche et la droite. [C.S. Wu et al., Phys.Rev.105:1413-1414,1957]



Asymétrie CP



1964: Asymétrie très faible observée dans les désintégrations de mésons K ... [J.W.Cronin, V.L.Fitch. et al., Phys.Rev.Lett.13:138-140,1964]



[CPLEAR: A.Apostolakis et al. Eur.Phys.J.C18:41-55,2000]

... insuffisante pour satisfaire les cosmologues!



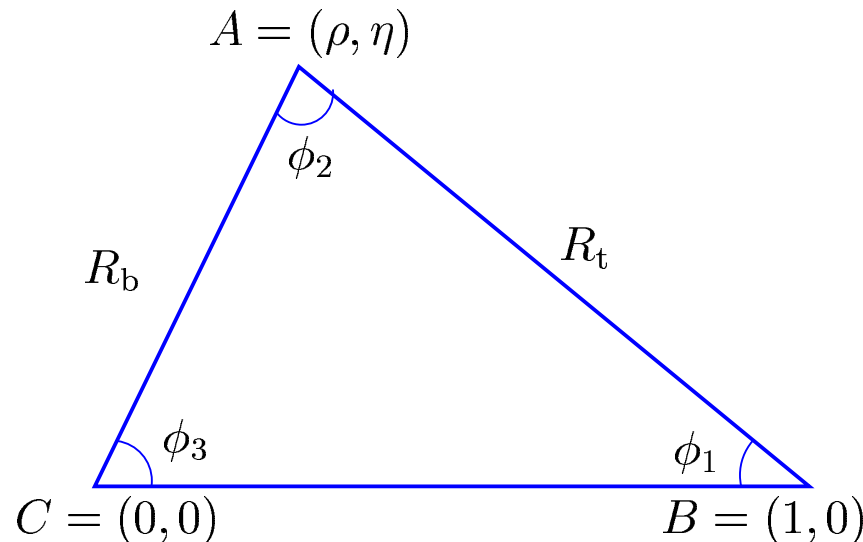
Le but: mesure du triangle d'unitarité



1973: Matrice de Kobayashi et Maskawa

$$\begin{pmatrix}
 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\
 -\lambda & 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & A\lambda^2 \\
 A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1
 \end{pmatrix}$$

[M.Kobayashi, T.Maskawa, Prog.Theor.Phys. 49:652-657,1973]



On s'attend à une grande asymétrie CP dans les désintégrations de mésons B.

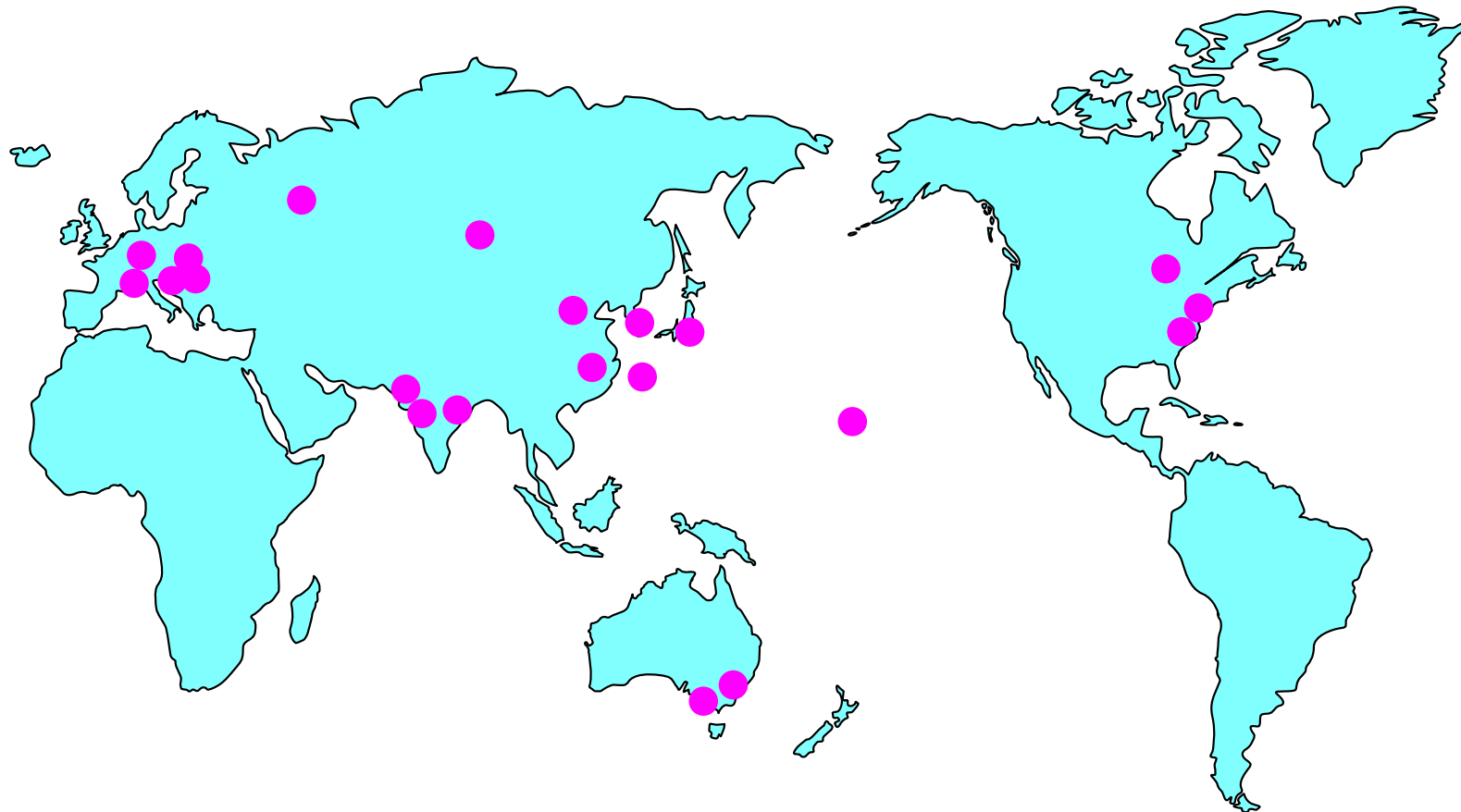
$$\sin 2\phi_1 \propto B \rightarrow J/\psi K_S^0$$

$$\sin 2\phi_2 \propto B \rightarrow \pi\pi$$

...



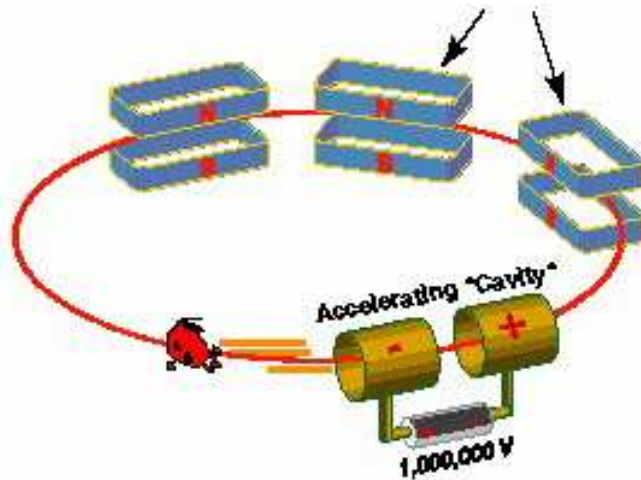
La collaboration Belle



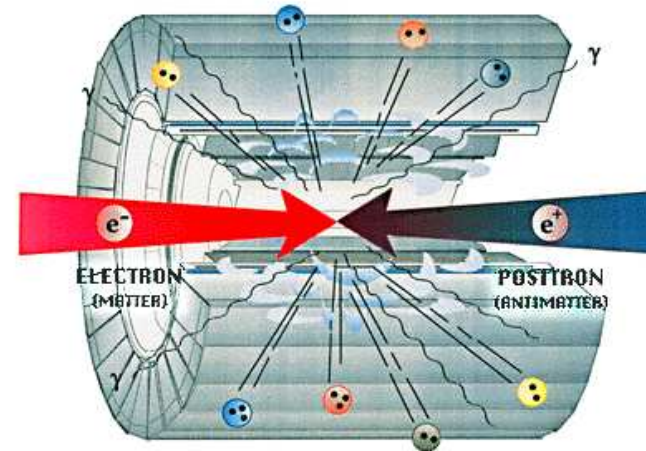
**Belle: Environ 400 physiciens
de 54 universités et instituts de recherche**



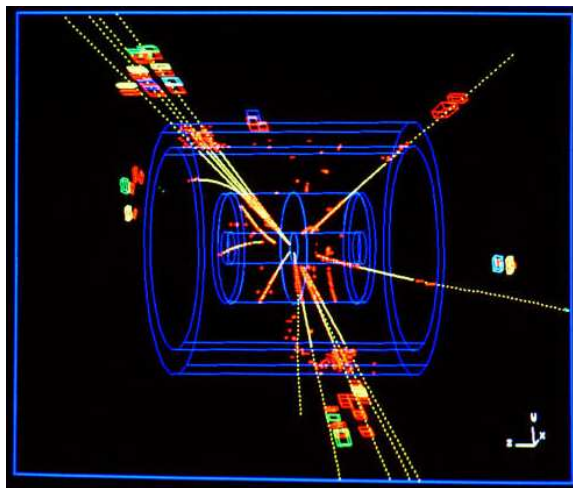
1. Accélération



2. Collision



3. Détection des particules



4. Analyse des données





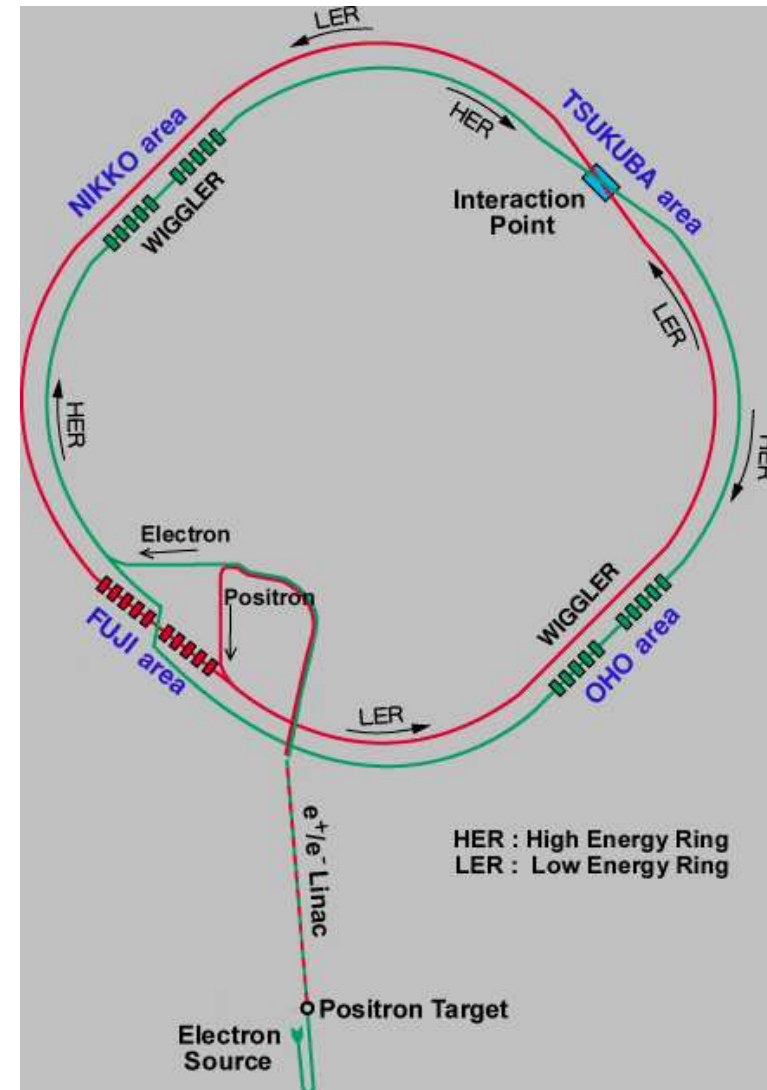
L'accélérateur KEKB



KEKB au pied de Tsukuba-san

Accélérateur (3 km) de e^+ et e^-
asymétrique à haute luminosité

Énergie: 10.48 GeV ($\Upsilon(4S)$)

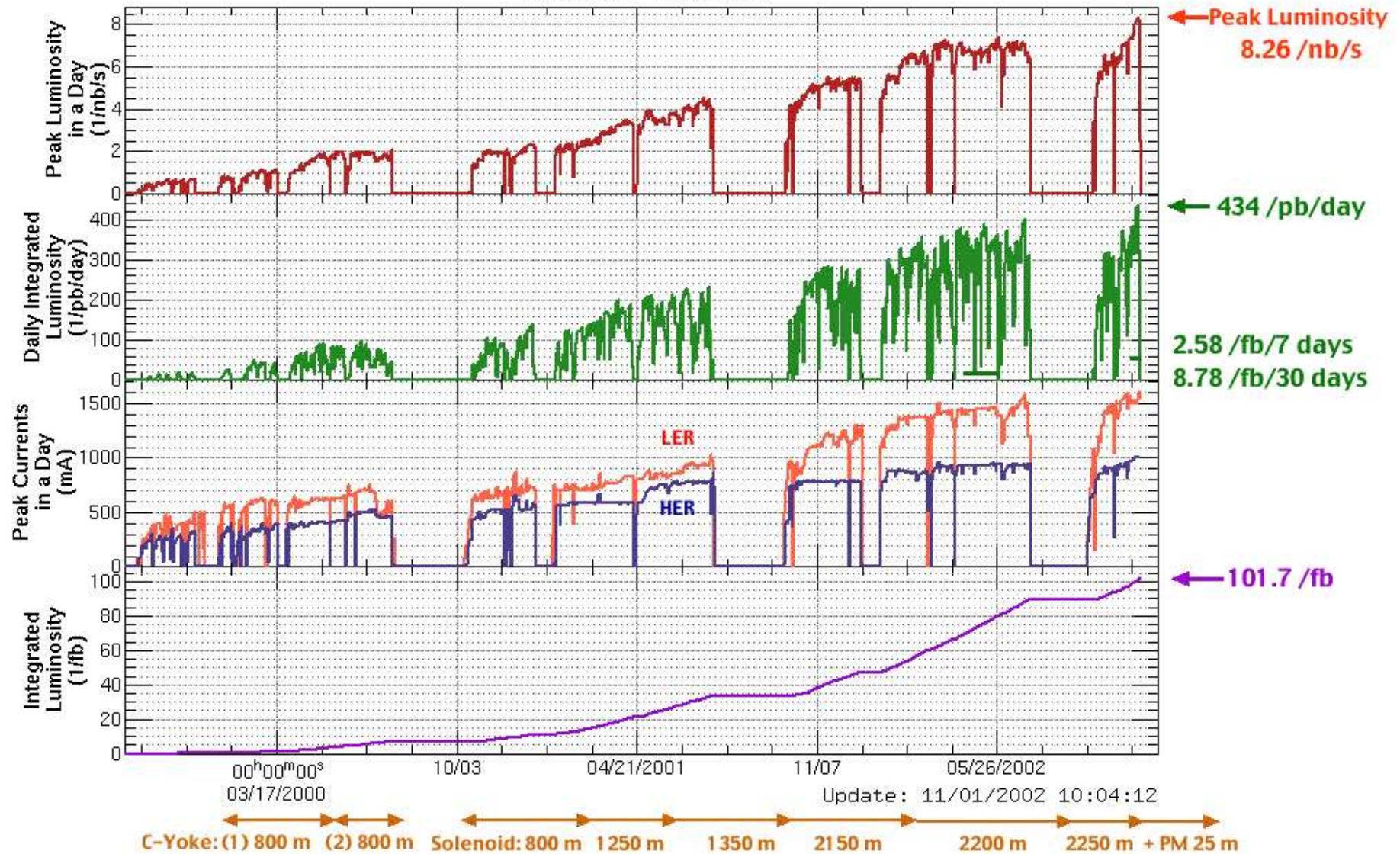




Luminosité au KEKB

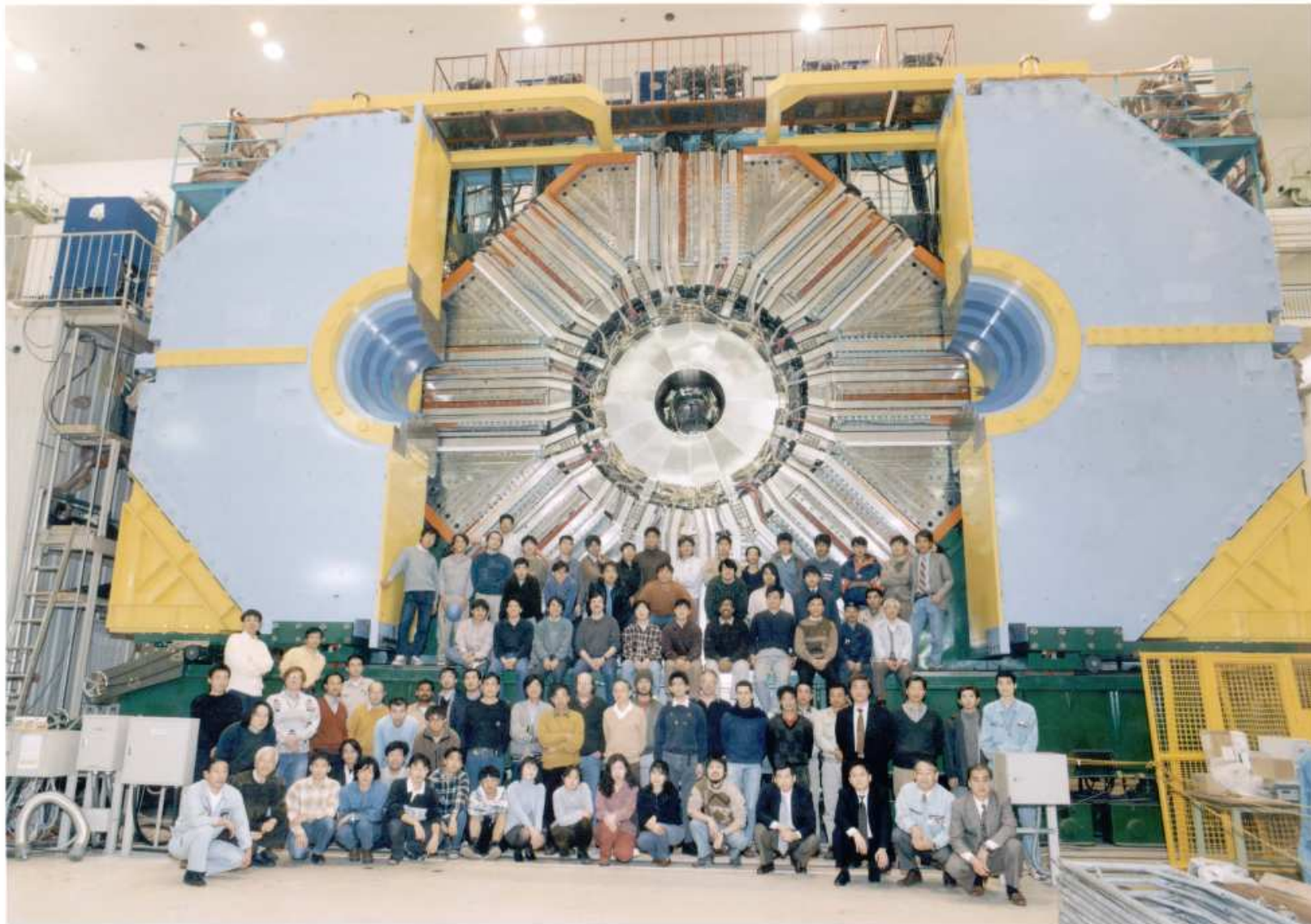


Luminosity of KEKB
Oct. 1999 - Oct. 2002



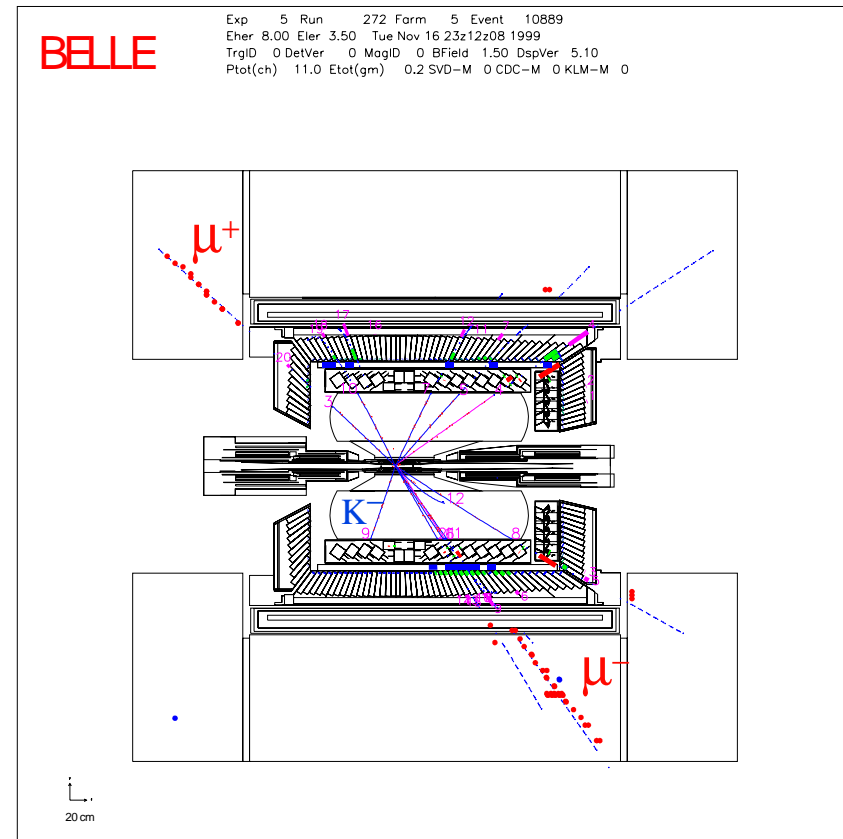
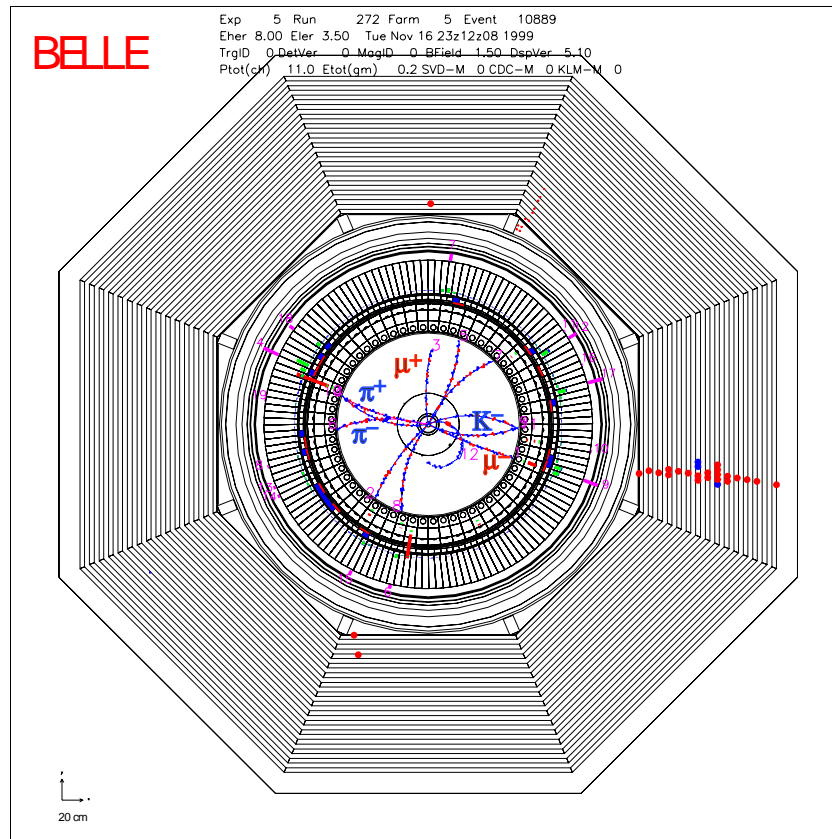


Le détecteur Belle





Le détecteur Belle

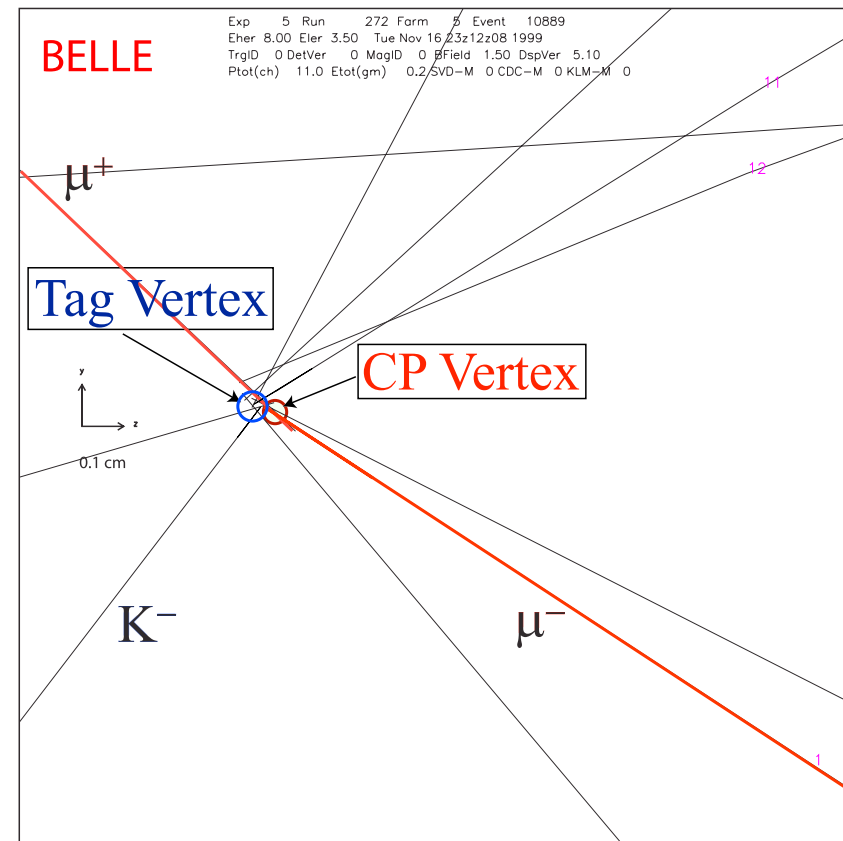
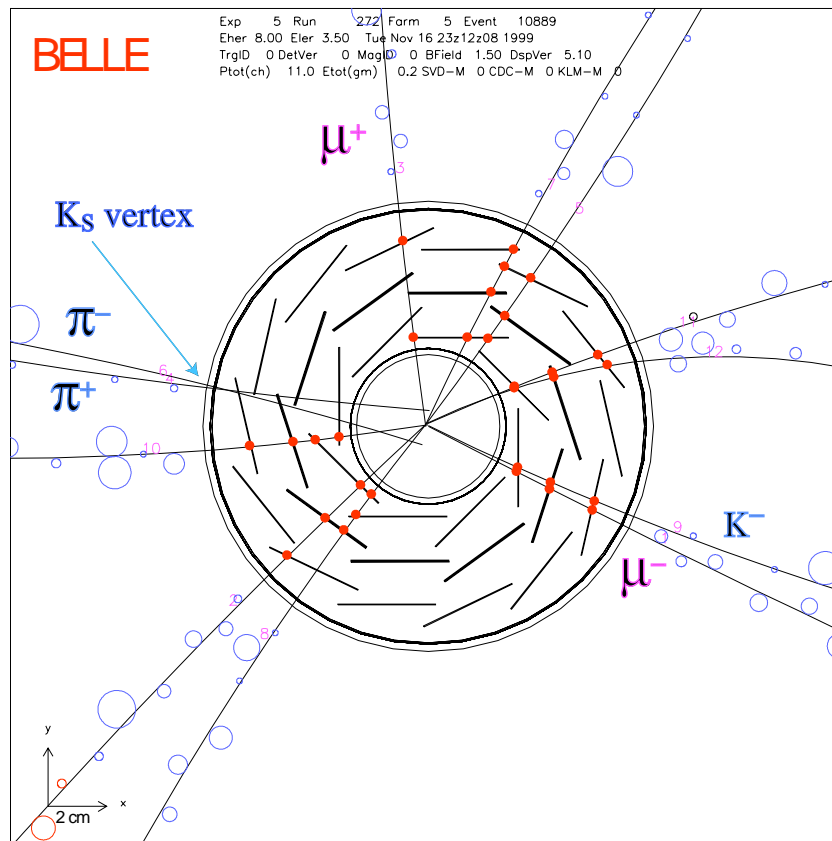


Premier événement $\Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$, $B \rightarrow J/\psi K_S^0$, $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ et $K_S^0 \rightarrow \pi\pi$

Sous-détecteurs: Silicon Vertex (SVD), Central Drift Chamber (CDC), Aerogel Cherenkov Counter (ACC), Time of Flight (ToF), Electromagnetic Calorimeter (ECL), Muon and K_L^0 (KLM), Extreme Forward Calorimeter (EFC)



Le détecteur Belle

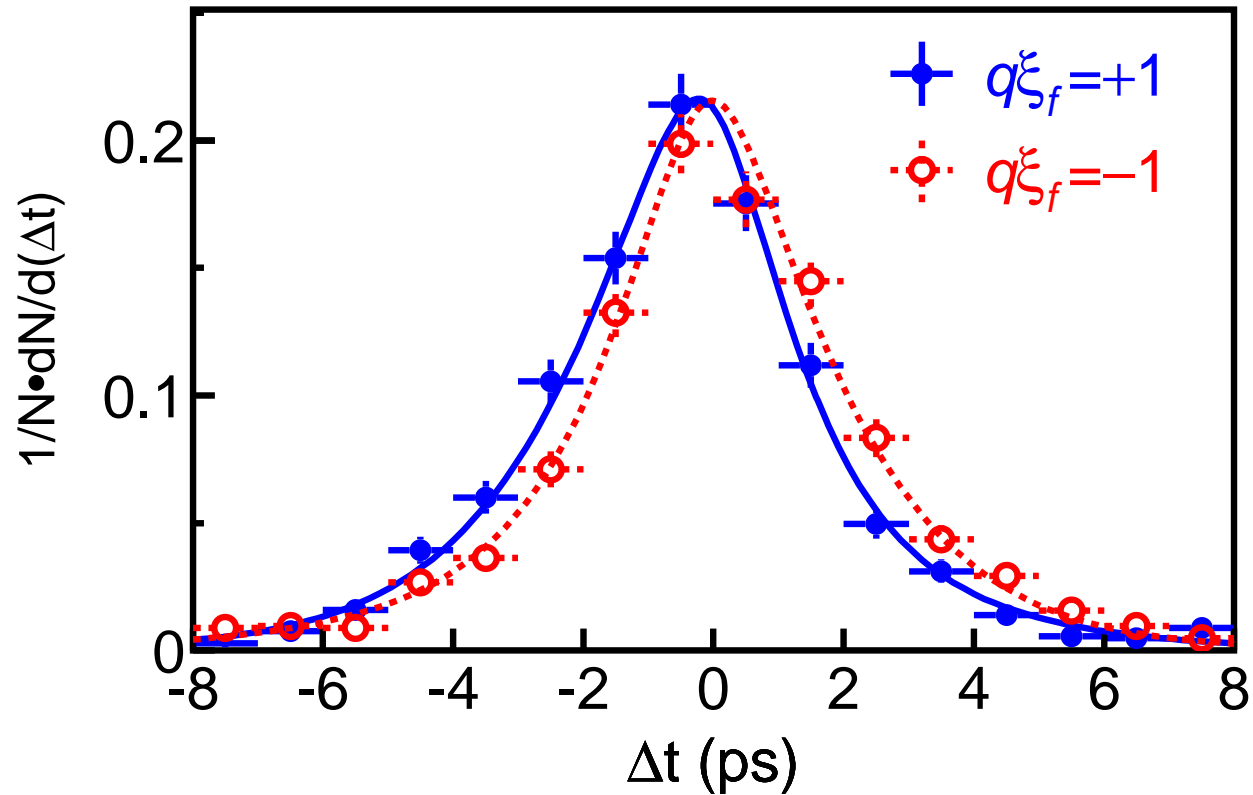


Premier événement $\Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$, $B \rightarrow J/\psi K_S^0$, $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ et $K_S^0 \rightarrow \pi\pi$

On cherche à mesurer la distance (\propto temps) entre les points de désintégration des deux mésons B et \bar{B} avec une résolution de quelques dizaines de microns.



Principaux résultats: $\sin 2\varphi_1$ avec 78 fb^{-1}



Belle: $\sin 2\varphi_1 = 0.719 \pm 0.074_{\text{(stat.)}} \pm 0.035_{\text{(syst.)}}$

[Belle-CONF-0201]

BaBar: $\sin 2\beta = 0.741 \pm 0.067_{\text{(stat.)}} \pm 0.034_{\text{(syst.)}}$ [hep-ex/0207042]



Principaux résultats



Asymétrie CP dans $B \rightarrow \pi^+ \pi^-$

[hep-ex/0204002]

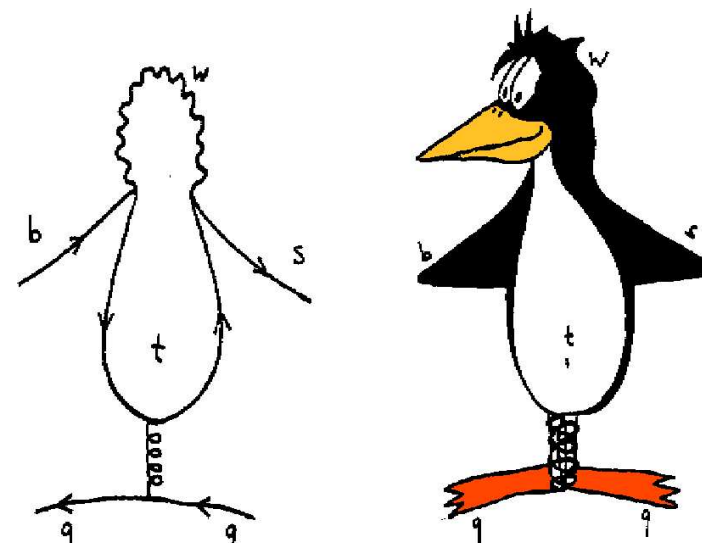
$$S_{\pi\pi} = -1.21^{+0.38+0.16}_{-0.27-0.13} \quad A_{\pi\pi} = +0.94^{+0.25}_{-0.31} \pm 0.09$$

$S_{\pi\pi} < 0$ à 99.6% et $A_{\pi\pi} > 0$ à 99.6% de niveau de confiance.

Découverte de $B \rightarrow \ell^- \ell^+ K$

Belle, K.Abe et al, PRL 88,021801 (2002)

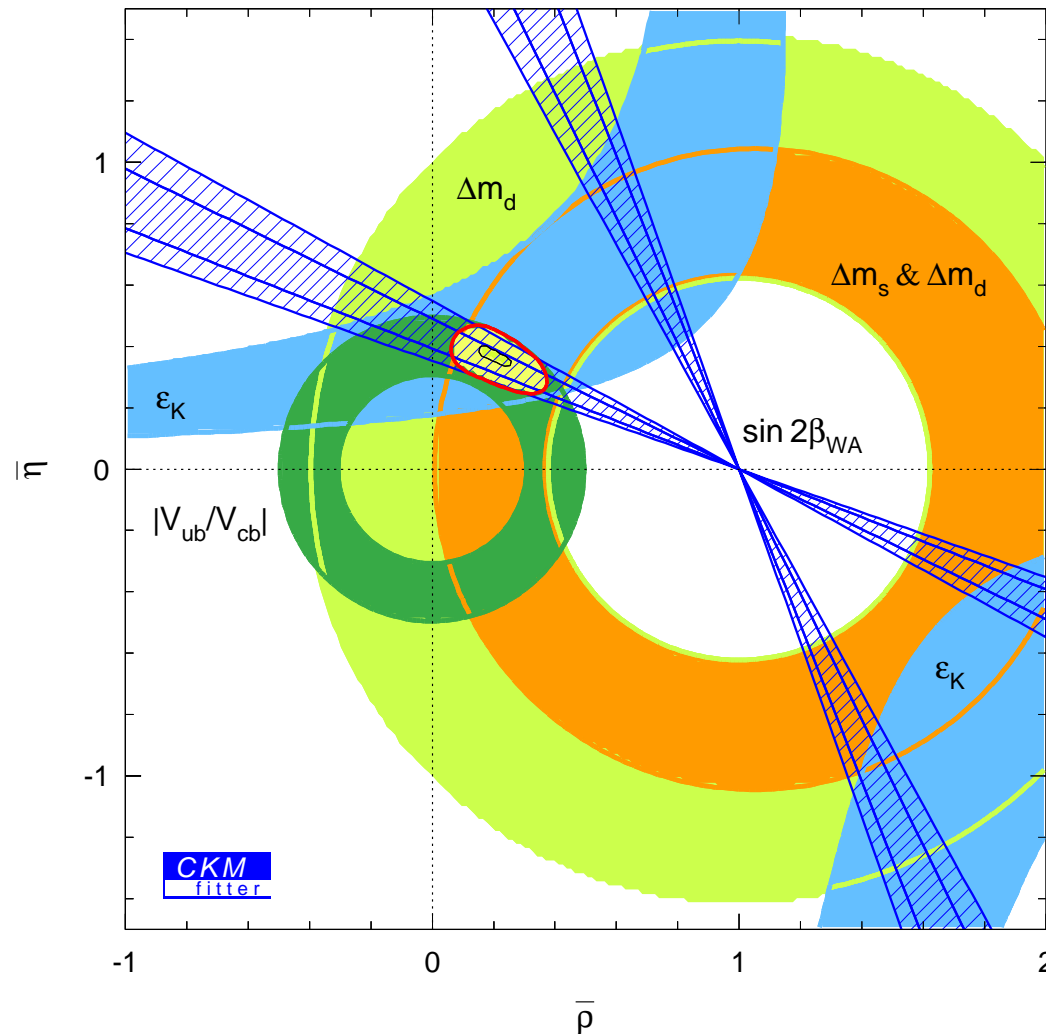
$$\text{BR} = (5.8^{+1.7}_{-1.5} \pm 0.6) \pm 10^{-7}$$



Portes ouvertes pour de la physique nouvelle



Résultats



On peut représenter toutes les contraintes expérimentales dans le plan $\rho-\eta$.

Pour le moment toutes les mesures semblent cohérentes.

Mais les angles φ_2 et φ_3 n'ont pas encore été mesurés.

[CKMfitter: <http://www.slac.stanford.edu/~laplace/>]



Conclusion



- Les Modèles cosmologiques ont besoin d'asymétrie CP
- Le Modèle Standard de la Physique des Particules en fournit... **mais pas assez!**
- **Ce secteur est peut-être le point faible du Modèle Standard**
- Belle a enregistré les désintégrations de 100 millions de paires $B\bar{B}$...
- ... et en accumulera de plus en plus.
- Cela permet de mesurer avec précision l'asymétrie CP dans plusieurs canaux de désintégration du méson B ...
- ... ce qui affinera la théorie **ou mettra peut-être les théoriciens sur la voie d'une théorie plus générale.**