

Le projet SuperB

une super tau-charm-B factory

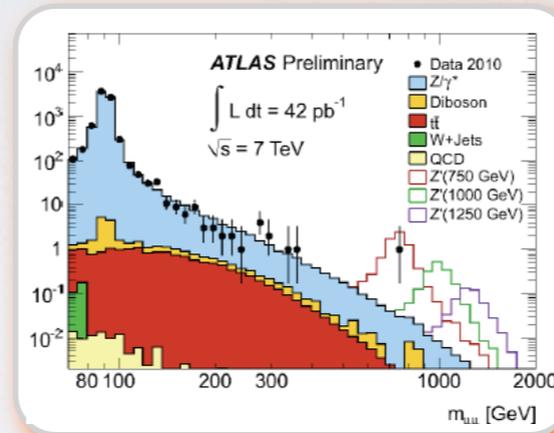
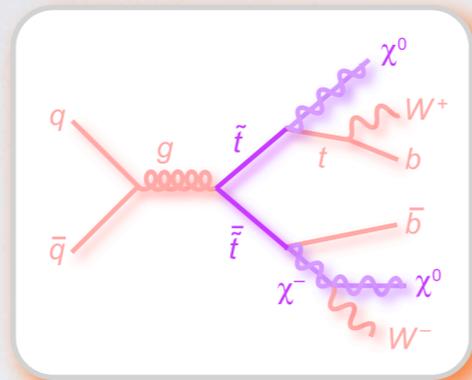
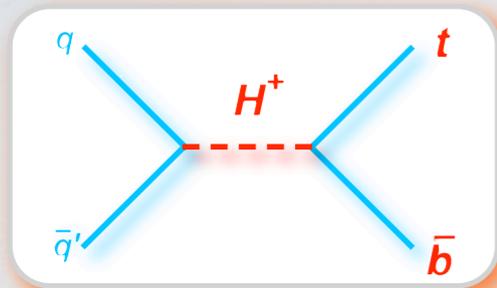
- grandes lignes :
- introduction
 - le collisionneur SuperB et son détecteur
 - conception d'une *Layer-Ø* pour SuperB
 - mesures dans le secteur du τ
 - mesures dans le secteur des D
 - mesures dans le secteur des B
 - autres mesures électrofaibles
 - conclusion



au-delà du modèle standard

Deux voies de découverte expérimentale de nouveaux processus :

- Production sur couche de masse de nouvelles particules



nécessite une énergie élevée

- Mesures de précision :

$$l+2 \rightarrow a+b = \text{tree} + \text{loop} + \dots$$



- nécessite des **prédictions théoriques précises** (améliorations de LatticeQCD).
 - un environnement expérimental “**propre**”,
 - un détecteur très précis,
 - une stratégie possible :
 - processus faisant intervenir à l'ordre de l'arbre des particules standards bien connues.
 - processus supprimés dans le M.S. mais intensifiés dans les scénarios B.S.M.
- nécessite une **luminosité élevée** (et des sections efficaces de production élevées).

au-delà du modèle standard (2)

- Le M.S. est très robuste : on ne sait pas où ni quelle est la physique au-delà du M.S.
Peu d'indications :

- violation du nombre leptonique (oscillation des neutrinos),
- il manque une source supplémentaire de violation de CP,
- des écarts intrigants persistent au niveau de 2 à 3.5σ : phase de CPV du B_s ,
asymétrie des muons de même charge provenant de la désintégration du B, $B^+ \rightarrow TV$,
secteur du top, ...
- divergence de σ_{WW} ,
-

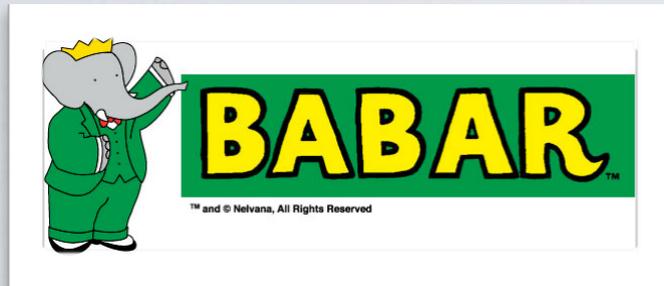
→ différents collisionneurs : un **effort globalisant**, addosé à des programmes de **recherche diversifiés et complémentaires** pour découvrir et caractériser la physique B.S.M

LHC : ATLAS, CMS et LHCb

SuperB
SuperKEKB

(+ de nombreuses autres expériences sur et hors collisionneurs)

des usines à B aux super-usines à B



Quest for CPV

- Mesure précise du triangle d'unitarité non plat (côtés, angles)
- la phase de CPV de CKM $\neq 0$,
- description cohérente de CPV

par 1 phase unique dans CKM,

- CKM unitaire (1 %),
- CPV de CKM est insuffisante pour expliquer l'asymétrie matière-antimatière, il existe une autre source de CPV.

- Découverte de nouvelles particules, mise en évidence de nouveaux états (molécules, tétraquarks, mésons hybrides, ...) oscillation des mésons D^0 .

Quest for BSM

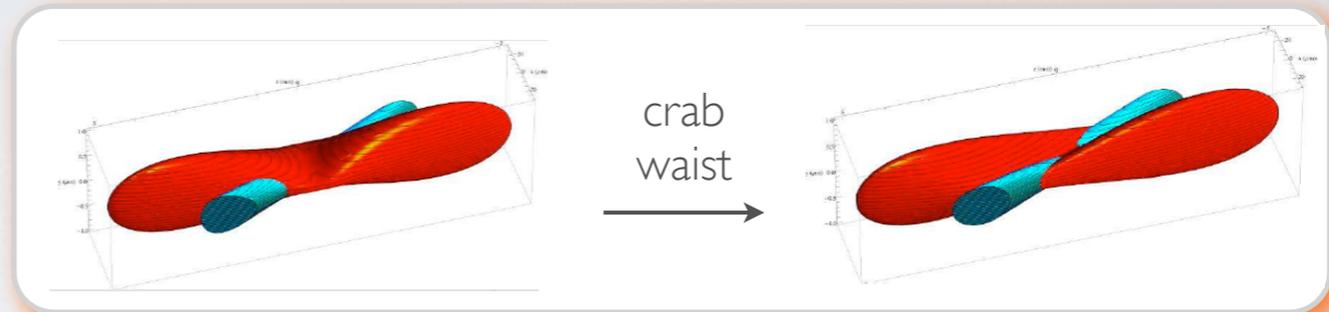
- Découvrir : sensibilité à $\Lambda_{NP} \gg E_{\text{expérience}}$.
- Caractériser la nouvelle physique par les corrélations entre les observables.
- Le mystère des saveurs :
 - éventail des masses ?
 - similitudes/différences entre le secteur des quarks et celui des leptons ?
 - source de CPV supplémentaire ?
 - implication de la mesure de l'asymétrie des muons de même charge par $D\emptyset$?
 - éclaircir les différentes échelles Λ_{NP} selon qu'elles sont déduites du *fine tuning* dans le secteur du Higgs ou des mesures dans le secteur des K, B, D.

le collisionneur SuperB

- Collisionneur circulaire e^+e^- 1.8 km au LNF (Frascati) ou à Rome

$$\left. \begin{array}{l} E_{e^+} = 6.71 \text{ GeV} \\ E_{e^-} = 4.18 \text{ GeV} \end{array} \right\} \sqrt{s} = M_{\Upsilon(4S)}$$

faisceau polarisé 80 %



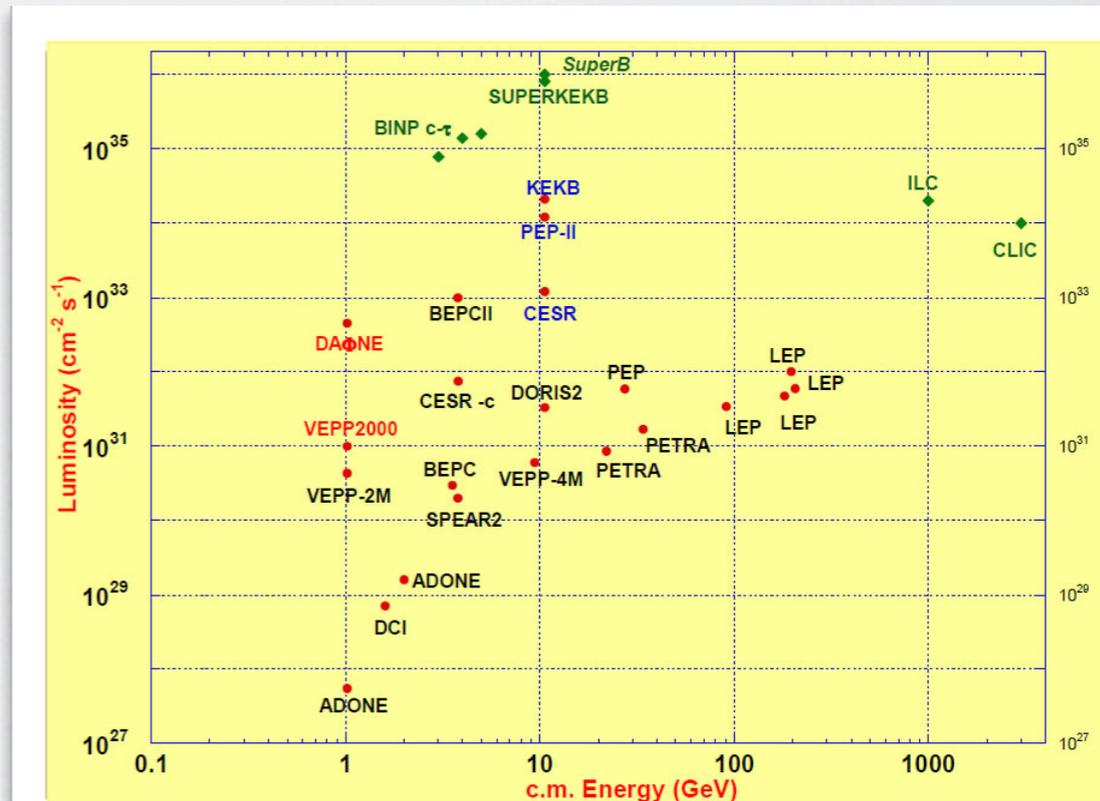
- Concept SuperB :

- *ultra-low emittance beam* : $\sigma_y = 40 \text{ nm}$,
- angle de croisement des faisceaux 60 mrad,
- *crab waist technique* : proposée par P. Raimundi (2006), développée au LNF (DAFNE 2009).
- courant modéré \rightarrow bruit de fond machine gérable,
- **E flexible** : $\psi(3770)$, $\Upsilon(3S)$, $\Upsilon(4S)$, $\Upsilon(5S)$,
- utilisation d'une partie de PEP-II.

- Luminosité instantanée $10^{36} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

- Luminosité intégrée 75 ab^{-1} @ $\Upsilon(4S)$ en 5 ans.

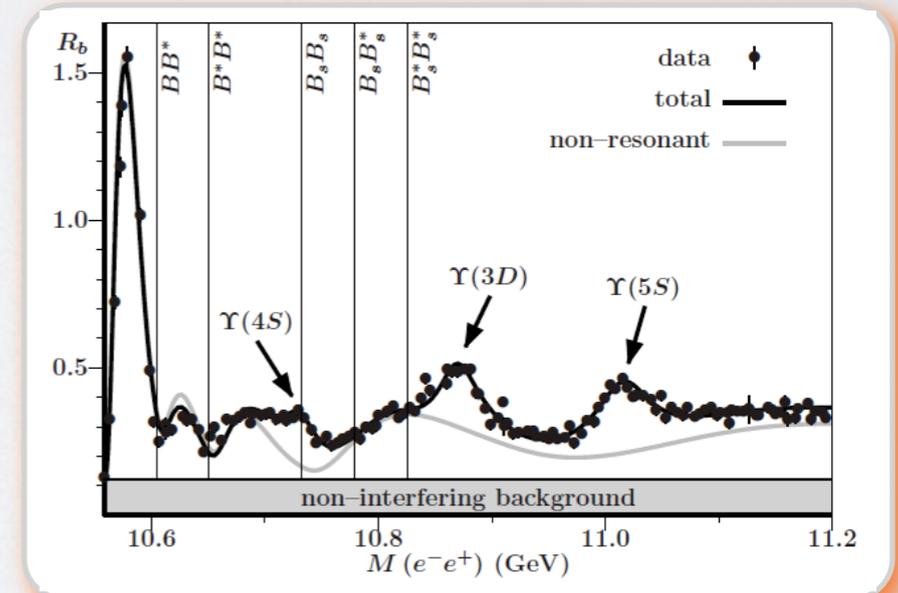
- Autre Super-usine à B en construction : Belle2 @ KEKB. Faisceaux non polarisés, luminosité légèrement inférieure, énergie non flexible.



une super τ -charm-B factory

- Collisions e^+e^- avec $\sqrt{s} = M_{\Upsilon(4S)}$:
 - les mésons B^0 et B^+ sont produits par la désintégrations de l' $\Upsilon(4S)$ dans un état cohérent avec $\sigma(B\bar{B}) = 1.1 \text{ nb}$ et une distance de vol apparent de 110 et 120 μm .
 - les hadrons charmés son produits de deux manières :
 - $e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$ (continuum) avec $\sigma_{cc} = 1.3 \text{ nb}$ et une distance de vol apparent de 85 et 210 μm .
 - produits de désintégration des mésons B : 1.2 hadrons charmés par paire de B.
 - les leptons τ sont produits par $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$ (continuum) avec $\sigma_{\tau\tau} = 0.9 \text{ nb}$ et une distance de vol apparent de 60 μm (et produits de désintégrations des D et des B).
- au total : **$5-10 \times 10^{10}$ paires $B\bar{B}$, idem $D\bar{D}$, $\tau^+\tau^-$.**

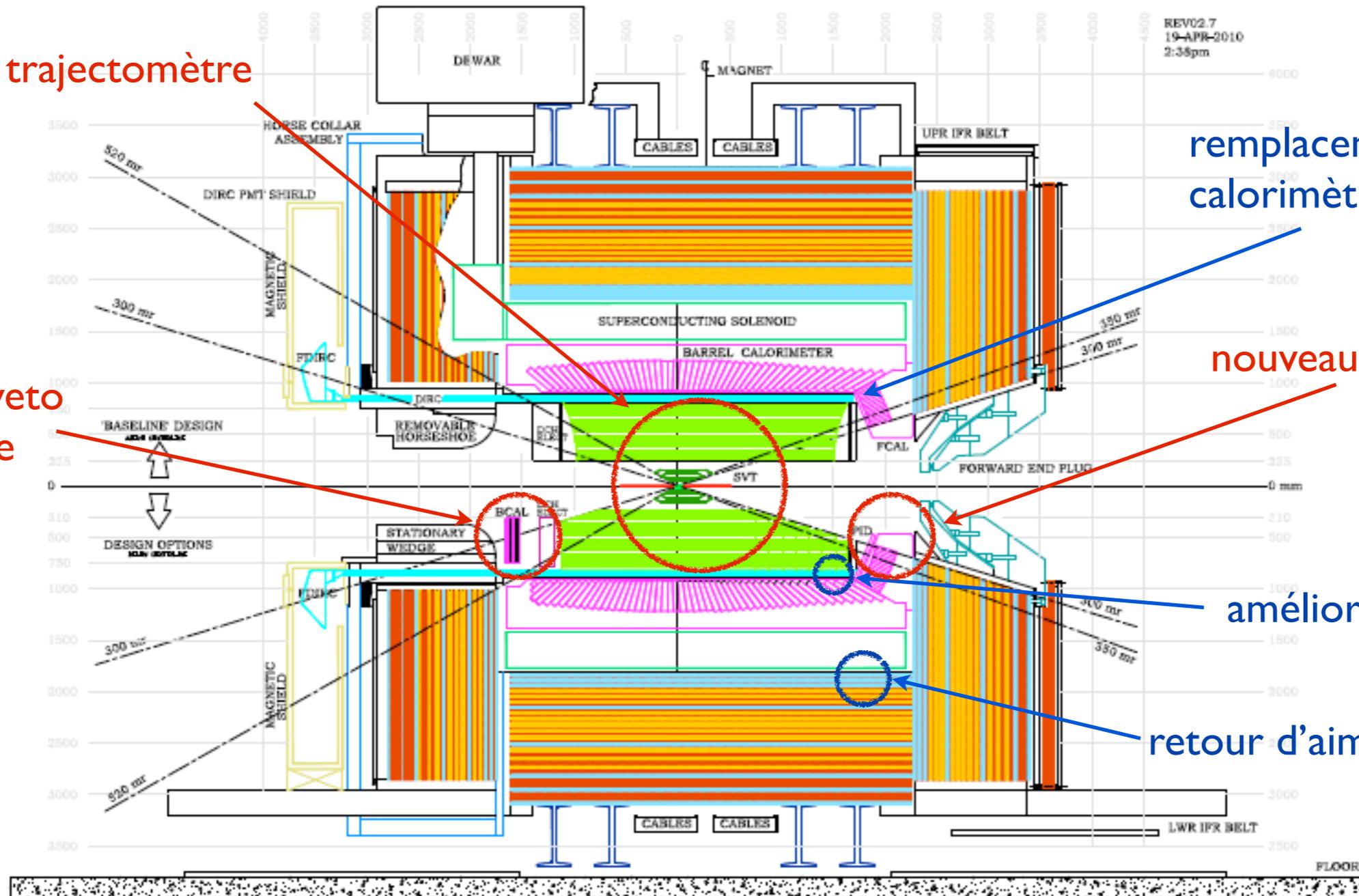
- Option : collisions e^+e^- avec $\sqrt{s} = M_{\Psi(3770)}$:
 - 500 fb^{-1} en quelques mois → 4×10^9 paires $D\bar{D}$ supplémentaires.
 - utilisation des techniques d'analyse propres aux *runs* aux seuils de production (corrélation quantique des 2 D, bruit de fond plus faible),
 - distance de vol apparent de **35-80 μm** ,
- Nécessite une reconfiguration de la focalisation des faisceaux (1 mois).



le détecteur auprès de SuperB

- Le détecteur de SuperB = “Babar across the ocean”, avec :
 - **luminosité instantanée augmentée**,
 - **bruits de fond importants** et différents : **f(luminosité)** (BaBar : b.d.f. \sim f(courant)),
 - **boost réduit** $\div 2.5$.
- La plupart des mesures effectuées auprès des usines à B (BaBar @ PEP-II, Belle @ KEKB) sont limitées statistiquement, de plus une partie des incertitudes systématiques et théoriques diminue avec la luminosité.
 - ➔ **garder la précision par événement au même niveau** et augmenter la statistique.
 - ➔ nécessite quelques adaptations de BaBar (rapidité, précision spatiale, résistance aux radiations), voire des améliorations sont prévues :
 - **augmenter l’herméticité** : PID, EMcal.
 - **nouveau trajectographe** : Layer-0, silicium, chambre à dérive.
 - ré-emploi de BaBar : calorimètre tonneau, aimant solénoïdal et DIRC (Čerenkov).
- Le détecteur de SuperB s’appuie sur un **savoir-faire instrumental acquis** avec BaBar qui a accompli de nombreuses mesures de précision.

le détecteur auprès de SuperB (2)



nouveau trajectomètre

remplacement du calorimètre EM avant

nouveau veto EM arrière

nouveau DIRC avant ?

amélioration du DIRC

retour d'aimant augmenté

un trajectomètre pour SuperB

- Trajectométrie cruciale pour toutes les mesures dépendant du temps ou avec reconstruction de vertex de désintégration ($\sin 2\beta$, CKM, temps de vie, $A_{CP}(t)$, mixing D^0 , ...) :
 - reconstruction des **vertex 2aires** des deux mésons et mesure distance inter-vertex Δz .
 - **trajectométrie standalone** pour les particules < 100 MeV.
- Changements w.r.t. BaBar :
 - région du croisement des faisceaux plus petite ($110 \times 6 \mu\text{m}^2 \rightarrow 7 \times 0.035 \mu\text{m}^2$)
- diminue le rayon du *beam pipe* à 1 cm + **contrainte sur le point de collision**.
 - asymétrie des faisceaux diminue → **Δz divisée par 2.**
- **réutiliser le principe du trajectomètre de BaBar (DCH + SVX-5 couches + solénoïde 1.5 T)**
+ **une couche $L\emptyset$ très proche du beampipe pour retrouver les performances de BaBar.**

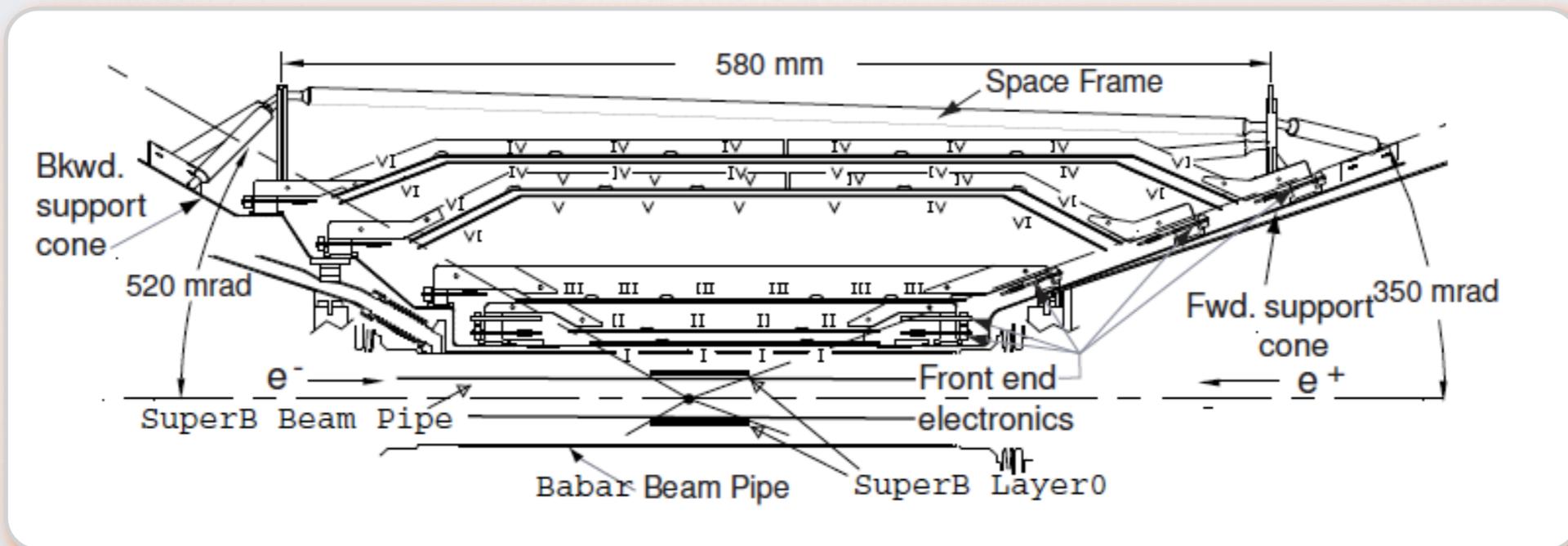
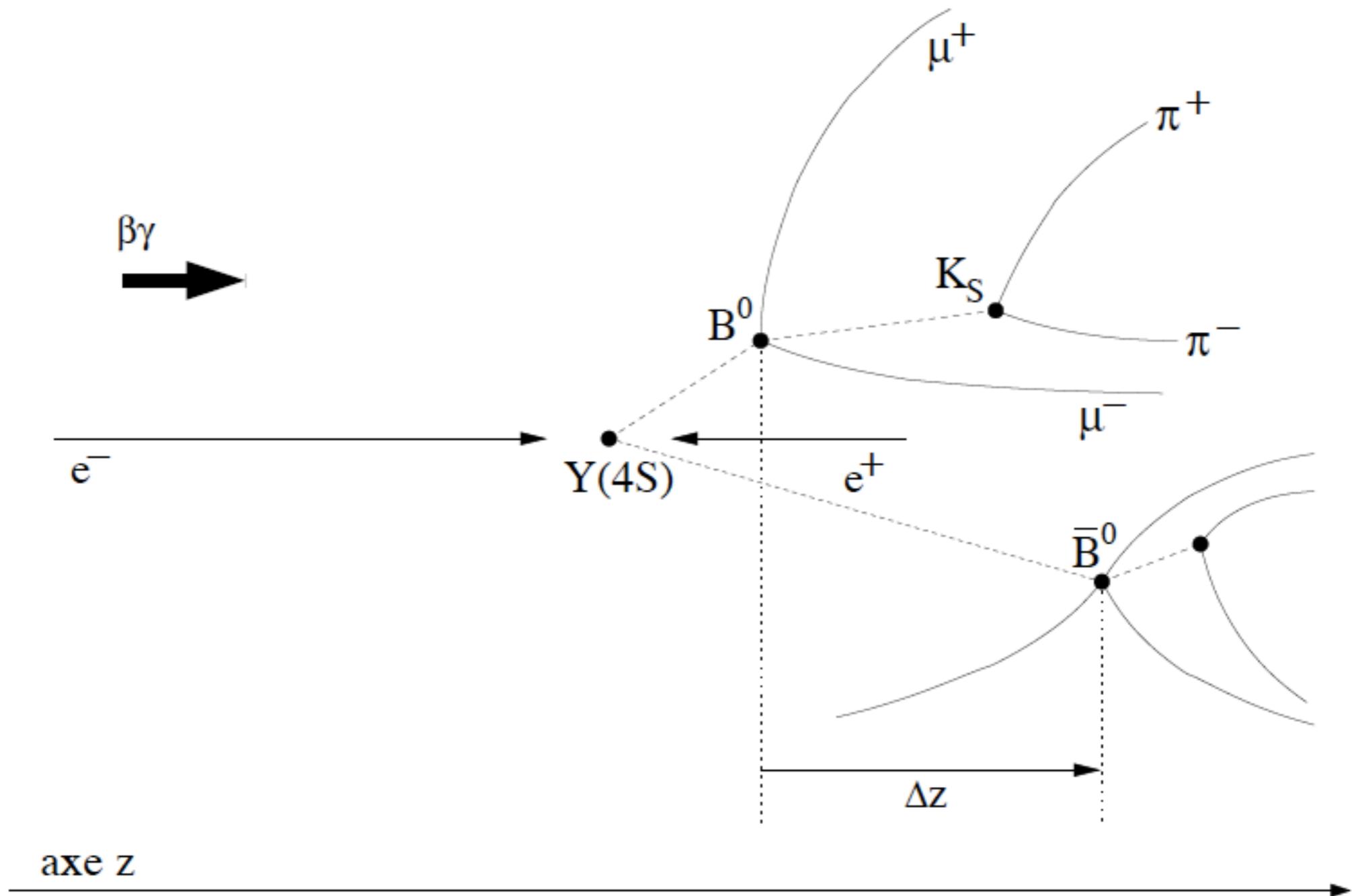
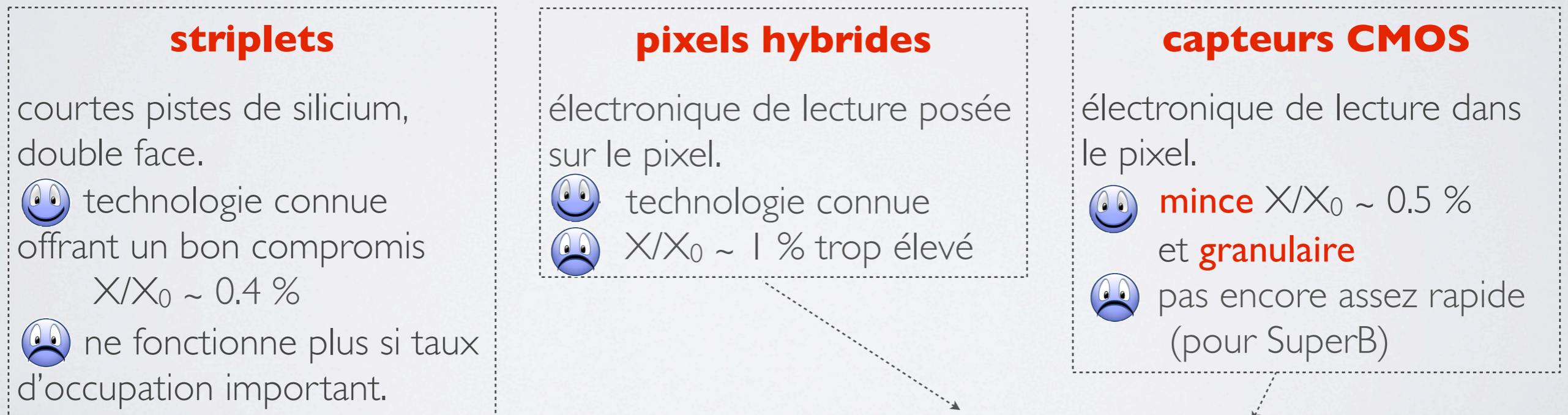


schéma d'un événement $B\bar{B}$



conception d'une couche LØ pour SuperB

- Layer-Ø très proche du point d'interaction (1 à 2 cm) :
 - **densité de matière** faible pour minimiser la diffusion multiple,
 - bonne **granularité** et **rapidité** pour distinguer les différentes traces avec un fort taux d'occupation dû au bruit de fond du faisceau : $20 \times 5 \text{ MHz/cm}^2$,
 - **résistance aux radiations** $> 3 \times 5 \text{ MRad/an}$.
- ➔ **choix d'une technologie pour la Layer-Ø et optimisation globale de la géométrie du trajectographe** (# de couches, rayon, *pitch*).



solution pour le démarrage ?
(luminosité modérée)

développements nécessaires
➔ remplacement des striplets dans un second temps ?

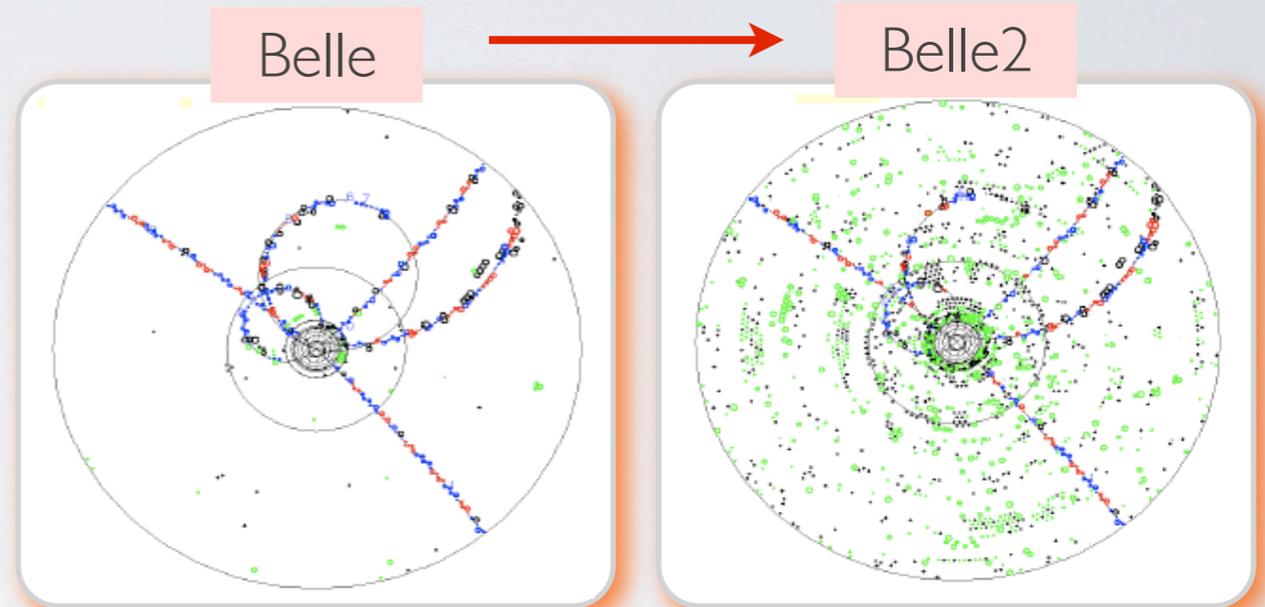
conception d'une couche LØ pour SuperB (2)

- Performances en physique ← résolution de pointage proche du point d'interaction
← granularité ⊗ diffusion multiple.

→ **technologie CMOS apparaît optimale** : substrat silicium (basse résistivité) mince (50 μm) et pixellisé intégrant l'électronique de lecture dans chaque pixel.

- Contrainte du bruit de fond :
taux d'occupation élevé ← granularité ⊗ vitesse.
 - granularité s'oppose généralement à vitesse
 - vitesse s'oppose généralement à quantité de matière : augmenter l'intelligence pour pré-traiter les données → refroidir l'électronique.

- Un taux d'occupation élevé nécessite une bonne résolution de pointage de la trajectographie en amont → études complètes des performances de la trajectographie (efficacité et résolution) car la vitesse et la granularité nécessaires pour la LØ dépendent des performances des couches plus éloignées du faisceau.



les mesures de physique auprès de SuperB

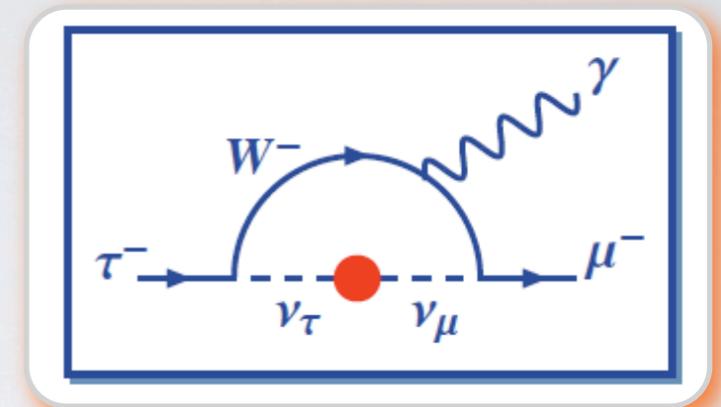
- les sensibilités prédites pour SuperB sont des extrapolations des mesures de BaBar : **bonne fiabilité des prédictions**.

Ces projections, sauf mention contraire n'utilisent pas les options (polarisation, détecteurs en option).

- Florilège de mesures que l'on peut faire auprès de SuperB :
 - **physique avec des leptons tau** : violation du nombre leptonique , moment magnétique anormal, violation de CP, moment dipolaire électrique,
 - **physique du charme** : oscillation des D^0 , violation de CP, désintégrations rares, spectroscopie.
 - **physique du b** : violation de CP, désintégrations rares, matrice CKM, triangle d'unitarité, spectroscopie, physique du B_s , tests de CPT.
 - **mesures électrofaibles** : couplage vectoriel du b g_V^b , $\sin^2\theta_W$.
 - **recherche directes** : Higgs léger, désintégrations invisibles et matière noire, force noire.

charged lepton flavour violation searches

- M.S. complété avec oscillations des ν \rightarrow violation du nombre leptonique (LFV) \rightarrow **désintégrations LFV du τ** .
- **Taux LFV** $\sim (\Delta m_\nu^2/M_W^2)^2$ \rightarrow processus très rares, inobservables si la matrice de mélange des neutrinos légers est la seule source de LFV dans le M.S.
Par exemple : $B.R.(\mu \rightarrow e\gamma) \sim 10^{-50}$ à 10^{-54} .



Taux intensifiés dans de nombreux modèles B.S.M. qui prédisent des $B.R.(\mu \rightarrow e\gamma) \sim 10^{-15}$ à 10^{-11} .

- Le LHC n'est pas sensible à LFV.
- Observation d'une désintégration LFV = **signal clair** de N.P. + **identification du modèle théorique** grâce aux rapports relatifs des B.R. des désintégrations (+ distributions angulaires des produits de désintégration si faisceau polarisé).

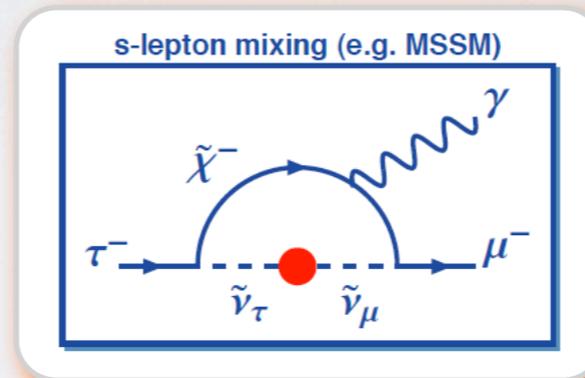
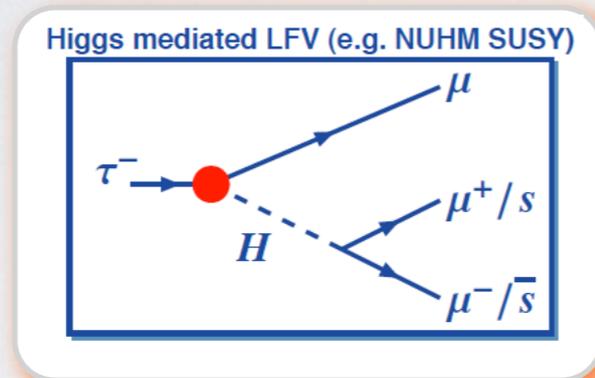
Ratio	LHT	MSSM (w/o Higgs)	MSSM (with Higgs)
$\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\mu\mu)/\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\gamma)$	0.4 – 2.3	$\sim 2 \cdot 10^{-3}$	0.06 – 0.1
$\mathcal{B}(\tau \rightarrow e\mu\mu)/\mathcal{B}(\tau \rightarrow e\gamma)$	0.3 – 1.6	$\sim 2 \cdot 10^{-3}$	0.02 – 0.04
$\mathcal{B}(\tau \rightarrow eee)/\mathcal{B}(\tau \rightarrow e\mu\mu)$	1.3 – 1.7	~ 5	0.3 – 0.5
$\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\mu\mu)/\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu ee)$	1.2 – 1.6	~ 0.2	0.08 – 0.15
$\mathcal{B}(\tau \rightarrow eee)/\mathcal{B}(\tau \rightarrow e\gamma)$	0.4 – 2.3	$\sim 1 \cdot 10^{-2}$	$\sim 1 \cdot 10^{-2}$
$\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu ee)/\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu\gamma)$	0.3 – 1.6	$\sim 1 \cdot 10^{-2}$	$\sim 1 \cdot 10^{-2}$

Table 1.1: Comparison of various ratios of branching fractions in the LHT model and in the MSSM without and with significant Higgs contributions.

© thèse de R. Cenci, BaBar

charged lepton flavour violation searches (2)

- Recherche de LFV avec les τ = particulièrement intéressant car la **LFV pourrait être plus importante pour la 3^{ème} famille**. De nombreux modèles B.S.M. autorisent des désintégrations $\tau \rightarrow l\gamma$ et $\tau \rightarrow lll$ avec des **B.R. $\sim 10^{-10}$ à 10^{-7}** .



- Sensibilité expérimentale de SuperB $\sim 10^{-9}$**
 \rightarrow recherche des désintégrations $\tau \rightarrow \mu\gamma$, $\tau \rightarrow e\gamma$ et $\tau \rightarrow lll$, dont les limites supérieures actuelles sont $\sim 10^{-8}$ alors que les autres modes sont déjà contraints $< 10^{-10} - 10^{-11}$.

Process	Expected 90% CL upper limit	3σ evidence reach
$\text{BF}(\tau \rightarrow \mu\gamma)$	$2.4 \cdot 10^{-9}$	$5.4 \cdot 10^{-9}$
$\text{BF}(\tau \rightarrow e\gamma)$	$3.0 \cdot 10^{-9}$	$6.8 \cdot 10^{-9}$
$\text{BF}(\tau \rightarrow lll)$	$2.3 - 8.2 \cdot 10^{-10}$	$1.2 - 4.0 \cdot 10^{-9}$

- Forte contrainte sur les modèles B.S.M. à partir des taux relatifs $\text{B.R.}(\tau \rightarrow l\gamma)$ et $\text{B.R.}(\mu \rightarrow e\gamma)$ (mesuré par MEG : sensibilité actuelle 10^{-11} , future 10^{-13}).

d'autres mesures avec des τ

- **Moment magnétique anormal du τ** :

- désaccord observé par une mesure du $g-2$ de l'électron : $\Delta a_\mu = a_\mu^{\text{exp}} - a_\mu^{\text{SM}} \sim (3 \pm 1) \cdot 10^{-9}$
- pourrait être expliqué par le MSSM avec $\tan\beta > 10$ et $\mu > 0$.
- pourrait être intensifié par la masse du τ : SUSY prédit des différences w.r.t. SM de l'ordre de $\Delta a_\tau \sim 10^{-6}$ dans tout l'espace des paramètres.
- la sensibilité de SuperB (avec polarisation des faisceaux) est de 10^{-6} .

- **Violation de CP dans le secteur des τ** :

- CPV observée pour l'instant uniquement dans le secteur des quarks (*via* les désintégrations des K et des B), mais c'est insuffisant pour la baryogenèse.
 - Asymétrie de CP prédite par le M.S. : $A_{\text{CP}} \sim 10^{-12}$ dans $\tau^\pm \rightarrow K^\pm \pi^0 \nu$.
- Calibration en utilisant la désintégration $\tau^\pm \rightarrow K_s^0 \pi^\pm \nu$, qui présente une $A_{\text{CP}} = 3.3 \times 10^{-3}$, due au mélange des K^0 , et très bien connue (2.2 %).
- Théories B.S.M. prédisent parfois des asymétries élevées jusqu'à $A_{\text{CP}} \sim 10^{-1}$, sensibilité de SuperB $\sim 10^{-5}$.

oscillation des mésons D^0

- Oscillation = propriété des mésons neutres : K^0, B^0, B_s et $D^0 \neq$ états propres physiques.
- Paramètres de l'oscillation $x_D = \Delta m/\Gamma$ et $y_D = \Delta\Gamma/2\Gamma$
- Prédictions du M.S. : depuis $x_D \approx y_D \approx 10^{-3}$
jusqu'à $x_D \approx 10^{-3}, y_D \approx 10^{-2}$

Difficulté du calcul = **contributions à longues distances**
 $D^0 \rightarrow \pi\pi, KK, K\pi, K\pi \rightarrow D^0$ et limitation par le CPU.

- Il a longtemps été admis qu'une observation du *mixing* des D^0 avec x_D ou $y_D \approx 10^{-2}$ serait signe de processus B.S.M.

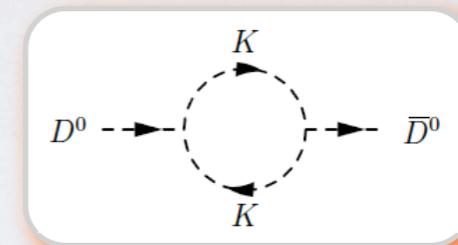
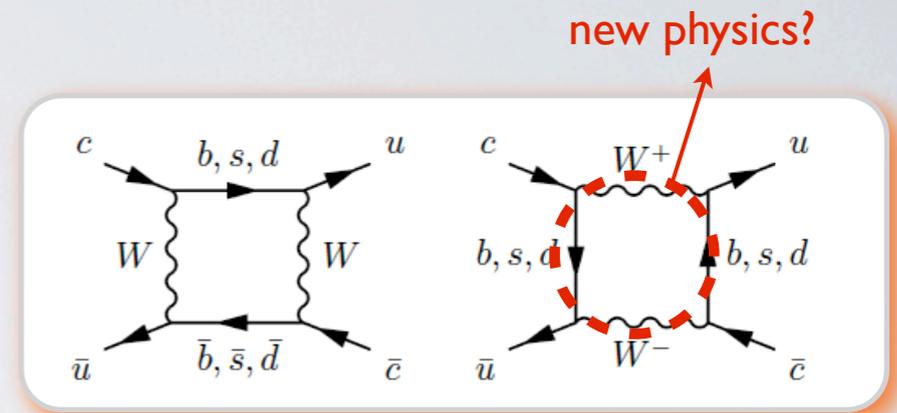
- Seule manière de tester la CPV avec des quarks up .

- Mise en évidence en 2007 par BaBar et Belle puis CDF :

$$x_D = (2.4 \pm 0.6) \times 10^{10} \text{ h.s}^{-1} \text{ i.e. } x_D \approx 0.01 \text{ et } y_D = (1.66 \pm 0.32) \times 10^{-2}$$

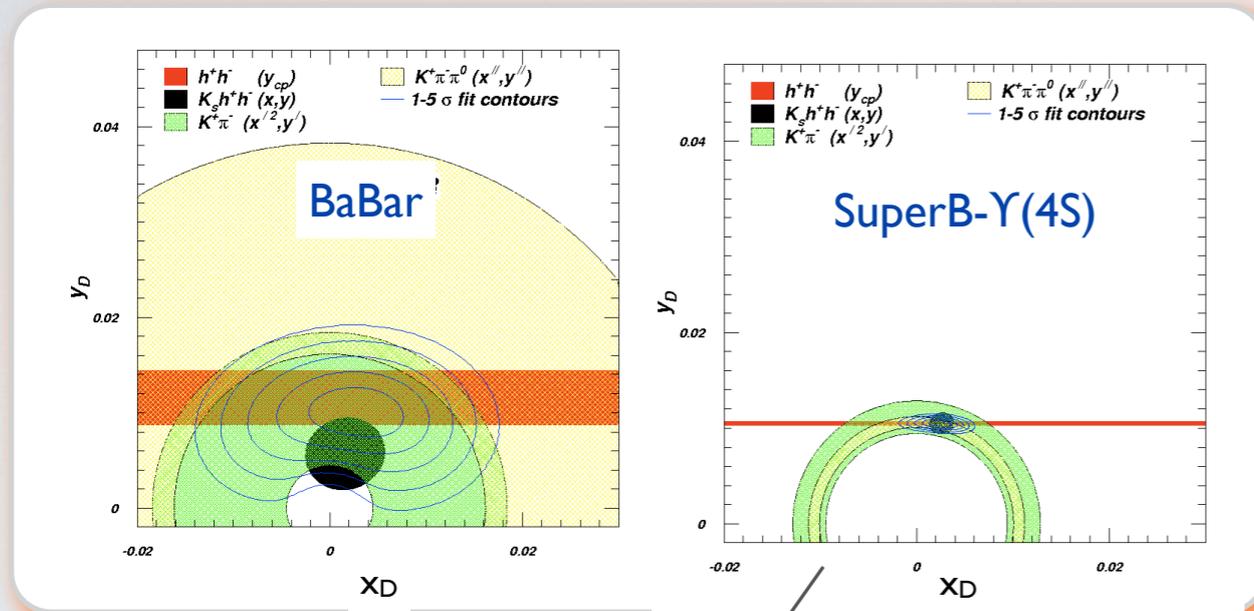
à l'**extrême limite du domaine permis par le M.S.**

- Incertitude absolue et relative des mesures de x et y trop grandes pour conclure sur la CPV et la contribution de processus B.S.M. dans le secteur du charme.



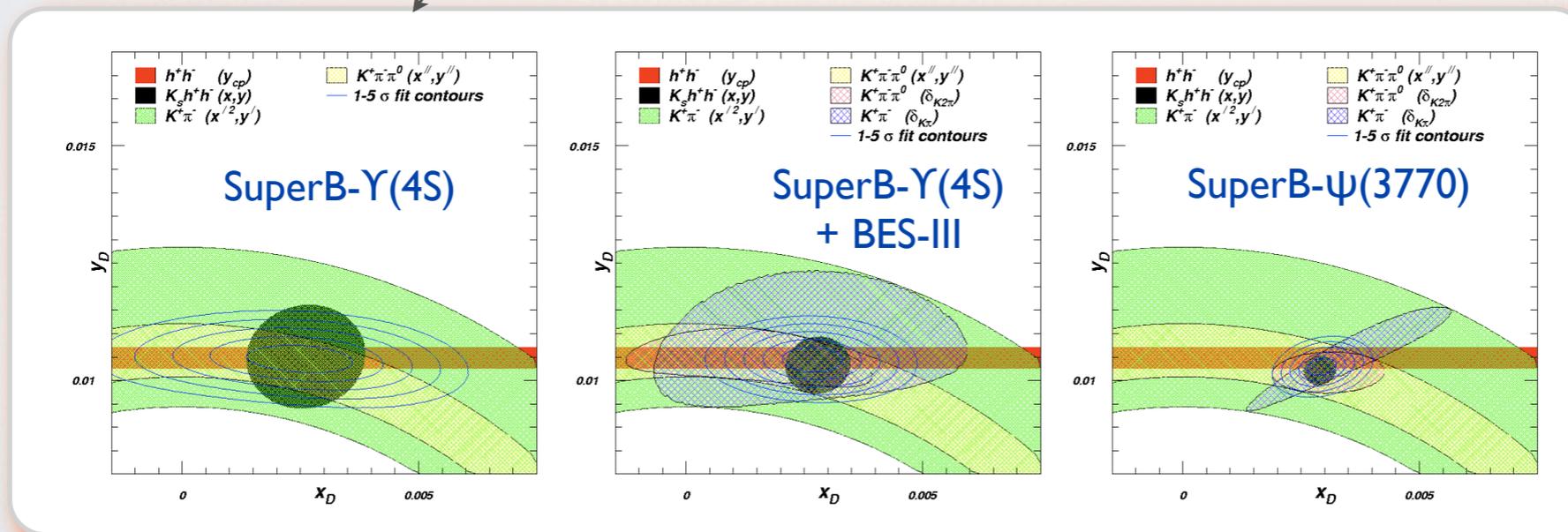
oscillation des mésons D^0 (2)

- Sensibilité de SuperB de **quelques 10^{-4} sur x_D** (\sim deux fois mieux que LHCb).



- Limitation : incertitude sur la modélisation des *Dalitz Plots* pour les désintégrations en 3 corps.
- BES-III n'a pas de *particle-Id*.
- Le run @ $\psi(3770)$ améliorerait l'incertitude d'un facteur 2 supplémentaire.

zoom



désintégrations rares des mésons D

- Recherche de la désintégration du $D^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$:

prédiction du M.S. : $\sim 3 \times 10^{-13}$

limite actuelle : $< 1.3 \times 10^{-6}$ (90 % C.L.).

Sensibilité dans BaBar limitée par les bruits de fond :

1) $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

2) bruit de fond combinatoire de désintégrations semi-leptoniques de mésons B.

→ statistique élevée de SuperB permet de paramétriser les distributions de bruit de fond et de réduire l'erreur systématique à leur forme.

Le *particle-Id* peut être amélioré par des *end-cap TOF* (option).

Sensibilité de SuperB @ $\Upsilon(4S)$ estimée à $qq 10^{-8}$

(du même ordre que celle de LHCb : 4×10^{-8} , limitée par l'erreur systématique).

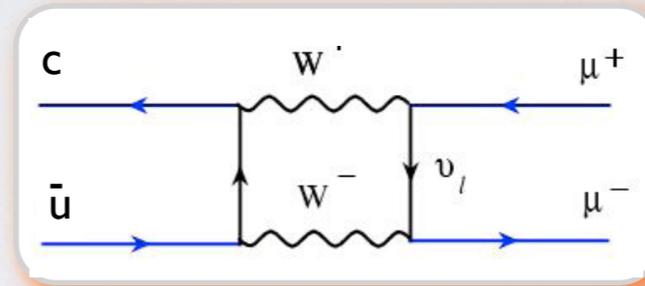
- Un *run* de SuperB @ $\psi(3770)$ permet une sensibilité de 10^{-9} en quelques mois

→ d'où l'intérêt de faire ce *run* au démarrage de SuperB.

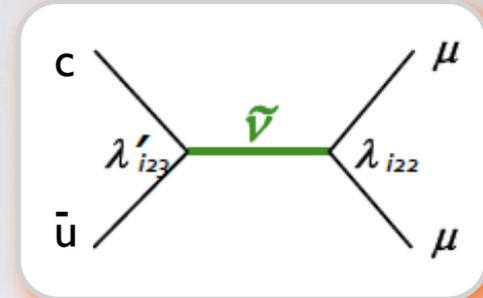
- Il n'y a pas de bruit de fond combinatoire du B.

- Les D^0 sont produits avec $p_T=0$ et donc $\vec{p}_{\mu 1} = -\vec{p}_{\mu 2}$: excellente signature pour rejeter les désintégrations en vol de $\pi \rightarrow \mu \nu_\mu$.

rare dans le M.S.



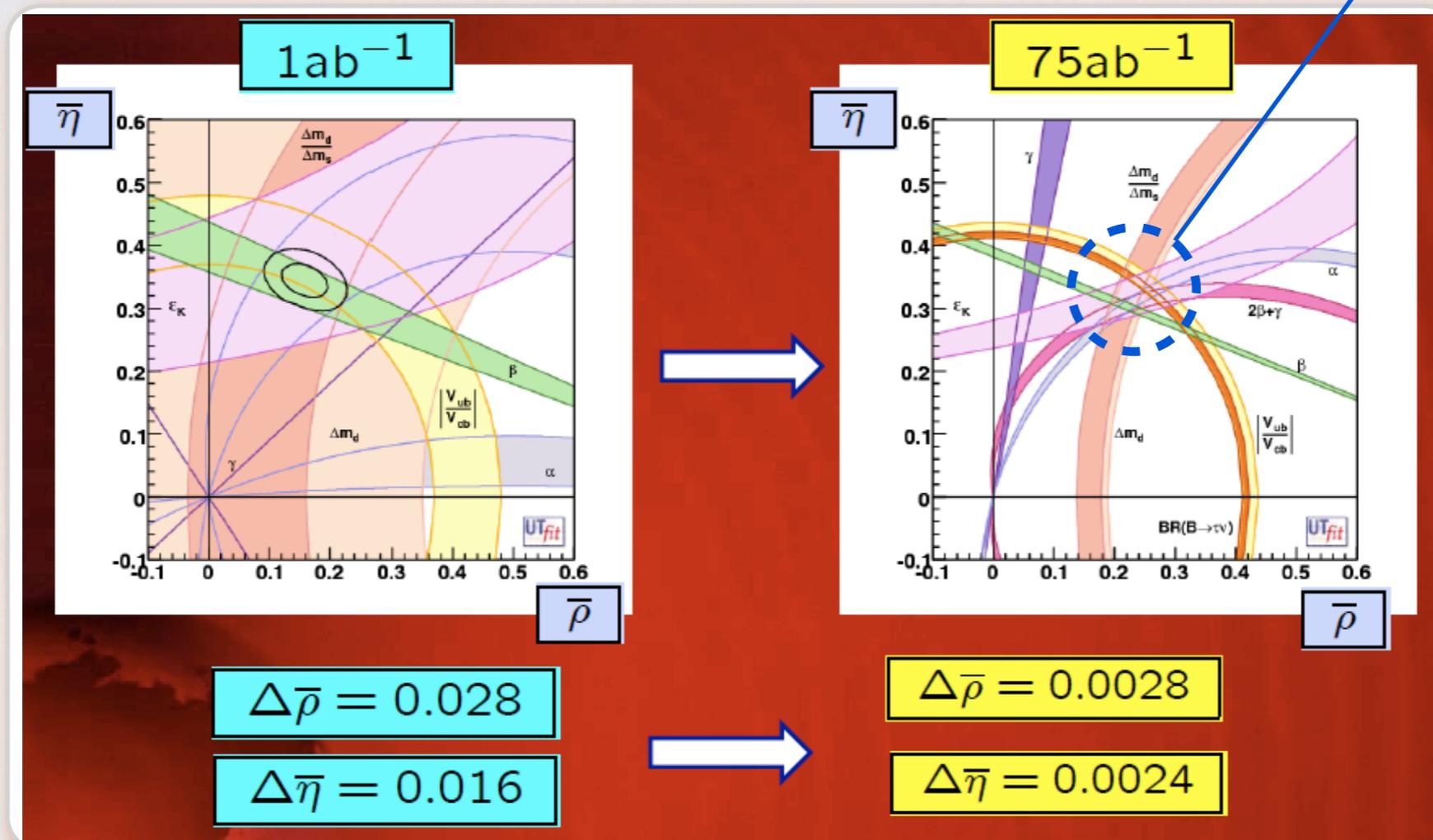
intensifié dans scénarios B.S.M.



matrice CKM

- **Triangle d'unitarité** : précision améliorée 10x.
- $\sigma(|V_{cb}|) = 1\%$ actuellement $\rightarrow 0.5\%$ avec superB,
 $\sigma(|V_{ub}|) = 8\%$ actuellement $\rightarrow 2\%$.
 Limitation théorique.
 LHCb ne peut pas améliorer la précision actuelle.

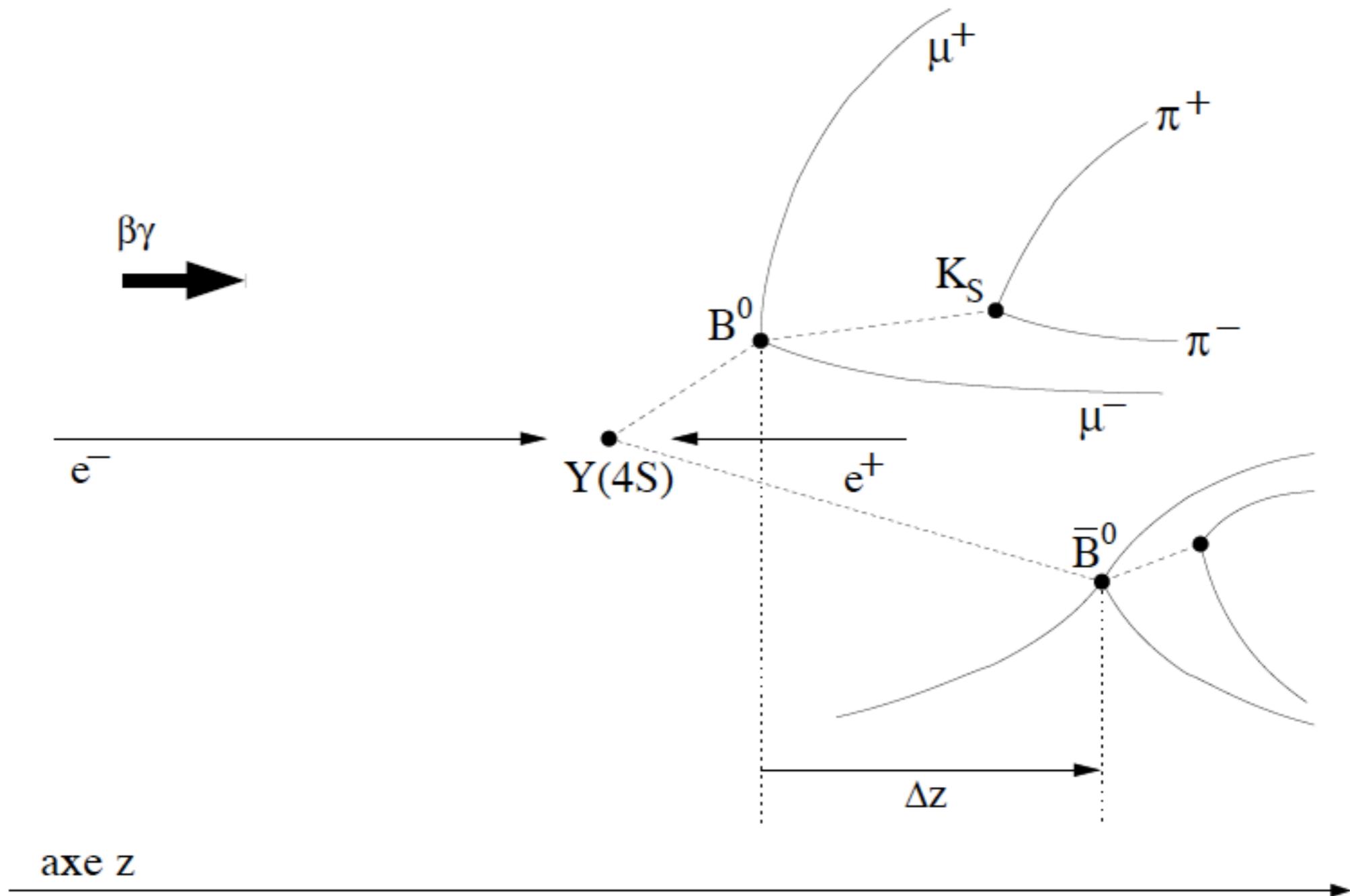
unitarité du triangle ?



désintégrations rares des mésons B

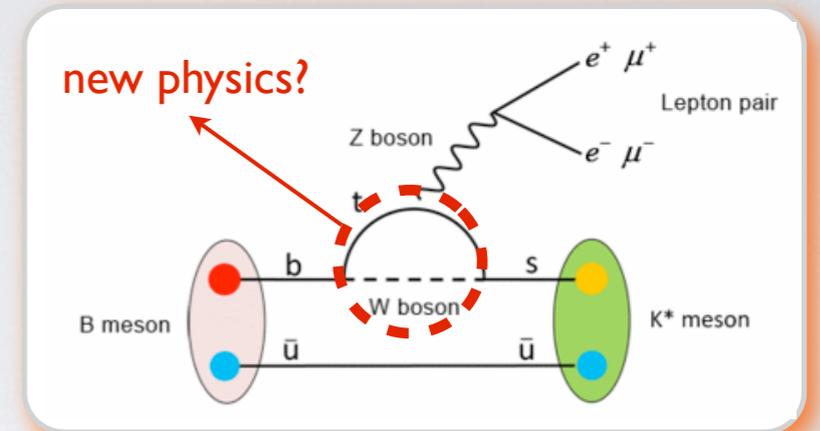
- Technique expérimentale = **masse de recul** :
 - reconstruire un B dans un mode hadronique ou semi-leptonique pour sélectionner un échantillon pur BB \rightarrow **B_{TAG}**.
 - recherche de la désintégration rare avec **tout le reste de l'événement** = **B_{SIG}**.
- $\epsilon_{\text{reco}}(\text{B}_{\text{TAG}}) < 2\%$ avec modes hadroniques + semi-leptoniques
 - \rightarrow recherche de désintégrations rares statistiquement limitée aux usines à B :
 - surtout dans **les modes avec des ν** (pas de contrainte cinématique). Ces modes sont aussi très difficiles à LHCb et sont un **point fort de SuperB**.
 - l'erreur systématique souffre de l'incertitude sur le bruit de fond, qui pourra être beaucoup mieux estimé avec une statistique élevée.
 - de plus le *boost* réduit de SuperB augmente l'acceptance, et donc ϵ_{reco} , de 20 à 30 % par rapport à BaBar.
- Recherches de **désintégrations rares inclusives**, du type $B \rightarrow X_s \nu \nu$, $B \rightarrow X_s \gamma$ et $b \rightarrow s \ell^+ \ell^-$ intéressantes car meilleure précision théorique \rightarrow peuvent bénéficier de l'augmentation de la statistique.
Point fort de SuperB grâce à la masse de recul alors que **LHCb doit se concentrer sur des canaux exclusifs**.

schéma d'un événement $B\bar{B}$



désintégrations rares des mésons B (2)

Mode	Precision	
	Current	Expected (75 ab ⁻¹)
$\mathcal{B}(B \rightarrow X_s \gamma)$	7%	3%
$\mathcal{A}_{CP}(B \rightarrow X_s \gamma)$	0.037	0.004–0.005
$\mathcal{B}(B \rightarrow \tau^+ \nu_\tau)$	30%	(3–4)%
$\mathcal{B}(B \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)$	not measured	(5–6)%
$\mathcal{B}(B \rightarrow X_s l^+ l^-)$	23%	(4–6)%
$\mathcal{A}_{FB}(B \rightarrow X_s l^+ l^-)$	not measured	(4–6)%
$\mathcal{B}(B \rightarrow K \nu \bar{\nu})$	not measured	(16–20)%
$\mathcal{S}(B \rightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma)$	0.24	0.02–0.03



à la recherche de pingouins exotiques

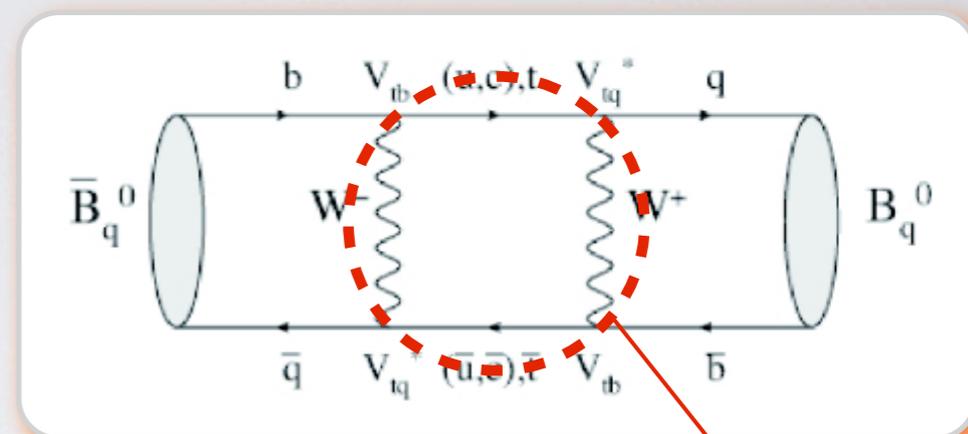


l'ordre de grandeur gagné en précision
+ nouveaux canaux mesurables

- Conclusion : possibilité de mesurer beaucoup de canaux rares, à la fois dans des modes exclusifs et inclusifs, qui sont sensibles à des scénarios de NP différents (interaction V+A, supersymétrie, Higgs chargé, ...).

violation de CP dans le secteur des B

- Mesures $A_{CP}=f(t)$ pour rechercher des contributions de nouveaux processus au niveau des diagrammes en boîte.



new physics?

Mode	Current precision			Predicted precision (75 ab ⁻¹)		
	Stat.	Syst.	Theor.	Stat.	Syst.	Theor.
$J/\psi K_S^0$	0.022	0.010	< 0.01	0.002	0.005	< 0.001
$\eta' K_S^0$	0.08	0.02	0.014	0.006	0.005	0.014
$\phi K_S^0 \pi^0$	0.28	0.01	—	0.020	0.010	—
$f_0 K_S^0$	0.18	0.04	0.02	0.012	0.003	0.02
$K_S^0 K_S^0 K_S^0$	0.19	0.03	0.013	0.015	0.020	0.013
ϕK_S^0	0.26	0.03	0.02	0.020	0.010	0.005
$\pi^0 K_S^0$	0.20	0.03	0.025	0.015	0.015	0.025
ωK_S^0	0.28	0.02	0.035	0.020	0.005	0.035
$K^+ K^- K_S^0$	0.08	0.03	0.05	0.006	0.005	0.05
$\pi^0 \pi^0 K_S^0$	0.71	0.08	—	0.038	0.045	—
ρK_S^0	0.28	0.07	0.14	0.020	0.017	0.14
$J/\psi \pi^0$	0.21	0.04	—	0.016	0.005	—
$D^{*+} D^{*-}$	0.16	0.03	—	0.012	0.017	—
$D^+ D^-$	0.36	0.05	—	0.027	0.008	—

calibration par diagramme $b \rightarrow c\bar{c}s$ à l'ordre de l'arbre

transitions b-s via diagrammes avec des boucles

transitions b-d via diagrammes avec des boucles

tests de CPT dans le secteur des B

- Extension du formalisme décrivant l'oscillation des B pour permettre la violation de CPT (on retrouve CPT conservé avec $z=0$) :

états propres de masse $|B_{L,H}\rangle = p \sqrt{|q|} |B_z\rangle \pm q \sqrt{|p|} |\bar{B}^0\rangle$ avec $|q|^2 + |p|^2 = 1$

- Mesures avec des états finals di-leptons inclusifs ++, --, +- : désintégration de chacun des deux mésons dans un canal $B \rightarrow X^{\mp} \ell^{\pm} \nu$. On mesure deux asymétries :

$$A_{CP/T} = \frac{P(\bar{B}^0 \rightarrow B_z) - P(B_z \rightarrow \bar{B}^0)}{P(\bar{B}^0 \rightarrow B_z) + P(B_z \rightarrow \bar{B}^0)} = \frac{N^{++} - N^{--}}{N^{++} + N^{--}} = f(q/p)$$

$$A_{CPT} = \frac{N^{+-}(\Delta t > 0) - N^{+-}(\Delta t < 0)}{N^{+-}(\Delta t > 0) + N^{+-}(\Delta t < 0)} = f(\Delta\Gamma, \text{Re}(z))$$

- **Prédictions du M.S. :** $A_{CP/T} \approx 10^{-3}$ et $A_{CPT} = 0$

- Mesures de BaBar : $|q/p| - 1 = (-0.8 \pm 2.7(\text{stat}) \pm 1.9(\text{syst})) \times 10^{-3}$

$$\text{Im}(z) = (-13.9 \pm 7.3(\text{stat}) \pm 3.2(\text{syst})) \times 10^{-3}$$

$$\Delta\Gamma \times \text{Re}(z) = (-7.1 \pm 3.9(\text{stat}) \pm 2.0(\text{syst})) \times 10^{-3}$$

- **Déviations de 2.8σ** : effet réel ou fluctuation statistique pourra être conclu par SuperB
 → **sensibilité de SuperB :** $\sigma(\text{Im}(z)) = 0.6 \times 10^{-3}$ et $\sigma(\Delta\Gamma \times \text{Re}(z)) = 0.3 \times 10^{-3}$

physique du B @ $\Upsilon(5S)$

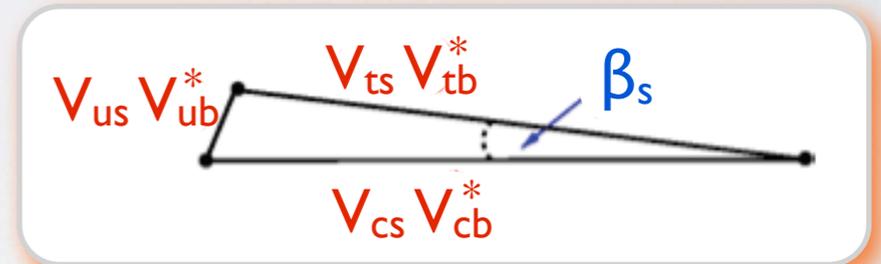
- $\sigma(e^+e^- \rightarrow \Upsilon(5S)) \sim \sigma(e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S))$ et $\Upsilon(5S)$ assez lourde pour se désintégrer en $B^*\bar{B}^*, B\bar{B}^*, B\bar{B}, B^{(*)}\bar{B}^{(*)}\pi$ où $B = B^+, B^0$ ou $B_s \rightarrow$ **étude du B_s** .

Deux scénarios : *run* court (1 ab^{-1} en < 1 mois) ou long (30 ab^{-1}).

- Le méson B_s a été mis en évidence à LEP et surtout étudié au Tevatron et au LHC \rightarrow **domaine privilégié de LHCb** surtout $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ (CPV) et $B_s \rightarrow \mu\mu$ (recherche NP).

- Mais **potentiel des usines à B** démontré par des *runs* courts de CLEO et Belle \rightarrow surtout mesures des principales caractéristiques de l' $\Upsilon(5S)$. \rightarrow prédictions pour SuperB basées principalement sur des simulations.

- Intérêts: $\Delta\Gamma_s$, $\sin 2\beta_s$, et A_{SL}^s mesurés au Tevatron sont en **désaccord actuellement avec M.S.**



- analyses angulaires complexes avec tagging B_s/\bar{B}_s

\rightarrow mesures e^+e^- en *cross-check* de LHCb.

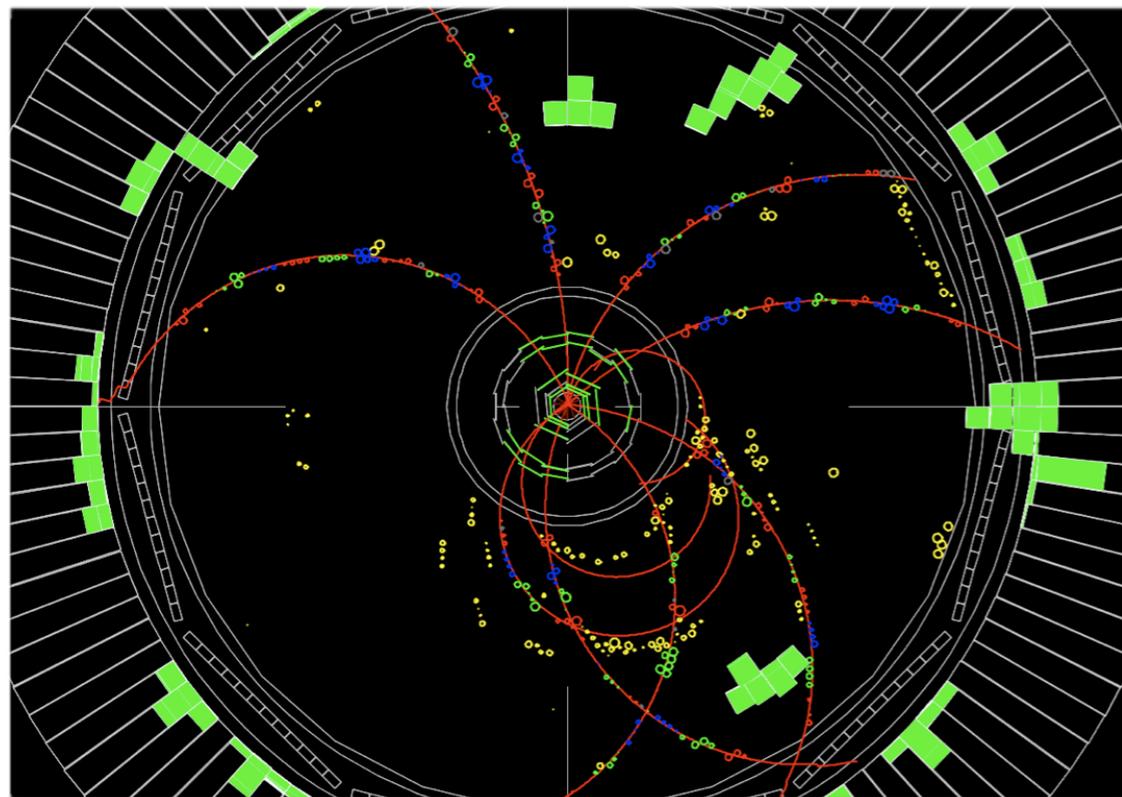
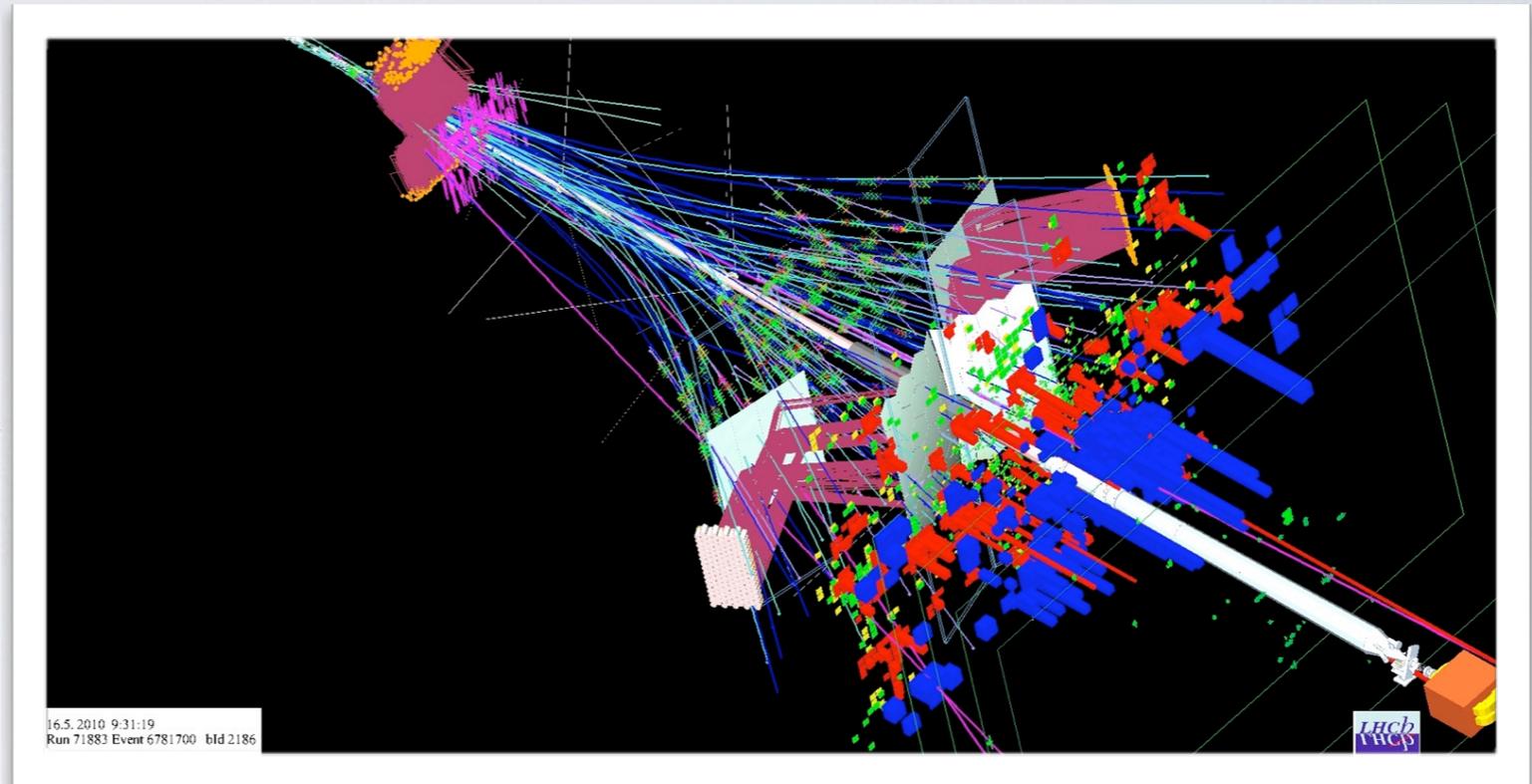
- mesures **impossibles à LHCb** : $B_s \rightarrow J/\psi\eta$, $B_s \rightarrow J/\psi\eta'$, $B_s \rightarrow D_s^{(*)}D_s^{(*)}$, $B_s \rightarrow D^{(*)}K_s^0$, $B_s \rightarrow D^{(*)}\phi$ et $B_s \rightarrow \eta\phi'$.

- Autre point fort de SuperB : **$B_s \rightarrow \Upsilon\Upsilon$**

B.R. = $(2-8) \times 10^{-7}$ (SM) et e.g. B.R. $\sim 5 \times 10^{-6}$ (susy RPV),
 précision SuperB 38 % (1 ab^{-1}) puis 7 % (30 ab^{-1}).

collisions hadroniques / leptoniques

LHCb



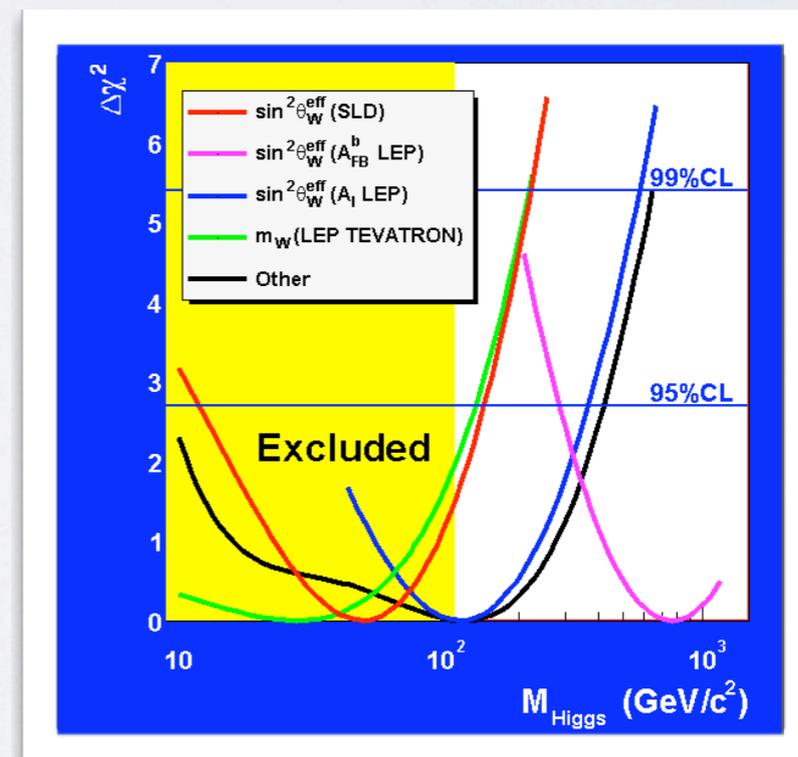
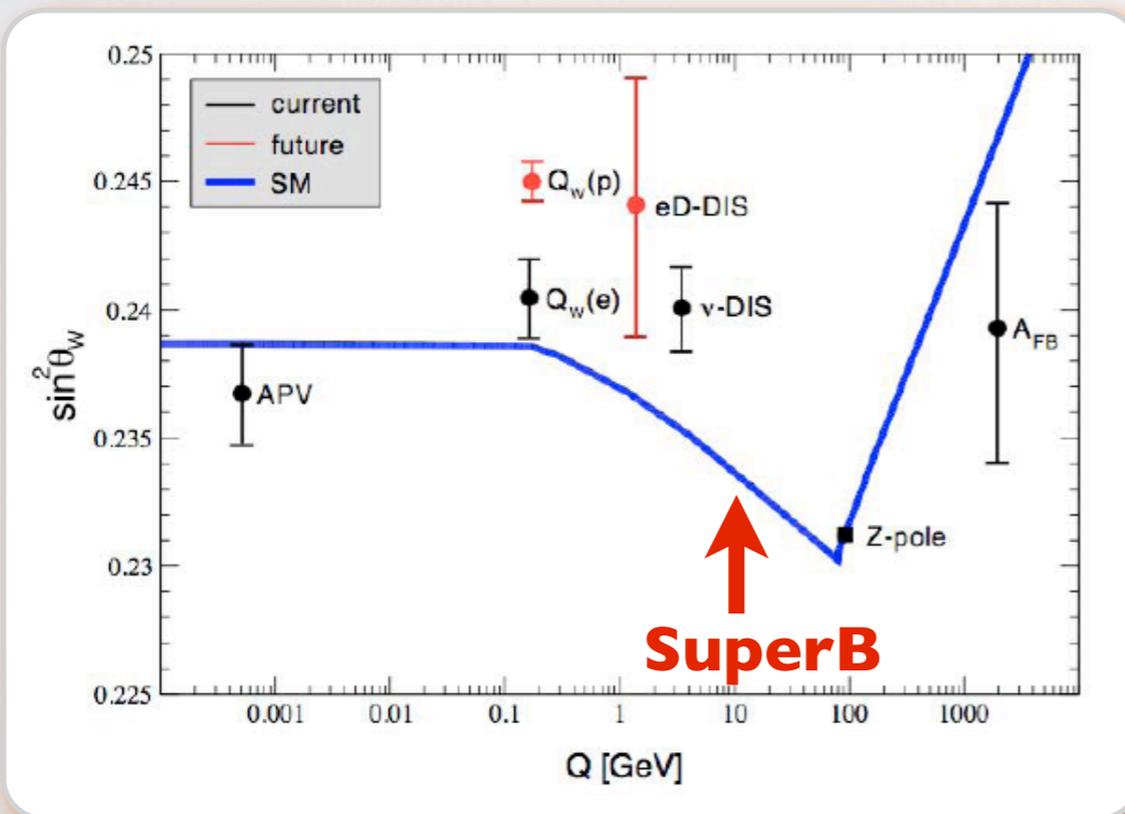
Difficulté supplémentaire des collisions hadroniques :

- détermination précise de la luminosité
- état initial \rightarrow non connu + partie non perturbative.

BaBar

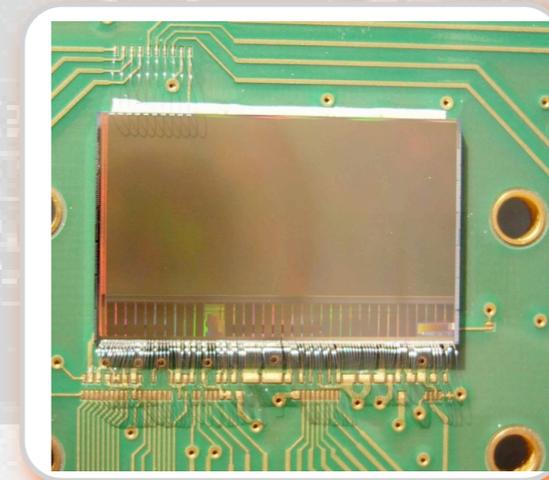
mesures électrofaibles

- **Combinaison haute luminosité** ⊗ **environnement propre** ⊗ **polarisation faisceau** = 😊
- Mesure de $\sin^2\theta_W$ à partir des états finals $\mu^+\mu^-$, $\tau^+\tau^-$ et $c\bar{c}$, basée sur la sensibilité de $\sigma(e^+e^- \rightarrow f\bar{f})$ à la polarisation du faisceau (A_{LR}).
- Précisions comparables à celles obtenues par LEP et SLC mais pour $Q^2 \approx (10.58 \text{ GeV})^2$:
 SLC : $\sin^2\theta_W = 0.23098 \pm 0.00013$ (erreur dominée par incertitude sur la polarisation)
 SuperB : ± 0.0002
- **Interférence γ -Z.**
- Comprendre le désaccord de 2.8σ entre $\sin^2\theta_W$ mesuré par $A_{LR}(\ell)$ et $A_{FB}(b)$ au pôle du Z.



conclusion

- SuperB est un projet :
 - à **moyen terme** (5 ans de construction + 10 ans de fonctionnement),
 - de taille moyenne (de l'ordre de 500 collaborateurs à terme ?),
 - s'appuyant sur la **bonne expertise de BaBar**,
 - **offrant un spectre très varié de mesures de précision** pour découvrir et caractériser la physique au-delà du M.S. actuel,
 - offrant de **nombreuses possibilités de contribution** et de nouvelles idées, à la fois pour des développements instrumentaux ou des développements algorithmiques et d'analyses de physique.
- La participation française à SuperB est en cours de discussion à L'IN2P3. L'institut est disposé à considérer la constitution d'une communauté durant 2011, dont la contribution à SuperB serait examinée par le Conseil Scientifique de l'IN2P3.
- A l'IPHC, des physiciens ont déclaré leur intérêt aux tutelles et à la collaboration, laquelle s'est montrée particulièrement intéressée à cette collaboration, centrée sur le SVT et les capteurs CMOS censés l'équiper.



situation du projet SuperB

Depuis 2007 : examens approfondis par divers comités internationaux (ECFA, International Review Committee, Machine Advisory Committee, ...) → *green light* de ces comités en avril 2009.

L'INFN finance le projet depuis 2009 et SuperB fait partie d'un plan de financement quadriennal italien depuis décembre 2010.

Conceptual Design Report : 2007
arXiv:0709.0451

Progress Reports : 2010
Detector arXiv:1007.4241
Physics arXiv:1008.1541
Accelerator arXiv:1009.6178

Technical Design Report : fin 2011 - début 2012

Construction : choix du site entériné mi-2011, début du génie civil fin 2011, premiers faisceaux 2016. Puis 5 années de bon fonctionnement @ $\Upsilon(4S)$ + les *runs* aux autres \sqrt{s} (cf. BaBar : a fonctionné de 1999 à 2008).

The background of the slide is a grayscale aerial photograph of a large, circular architectural structure. It features a central dome-like area with a complex internal structure, surrounded by multiple concentric rings of radial beams or columns that extend to the outer edge. The overall appearance is that of a large, open-air or semi-enclosed circular space, possibly a stadium or a large public square.

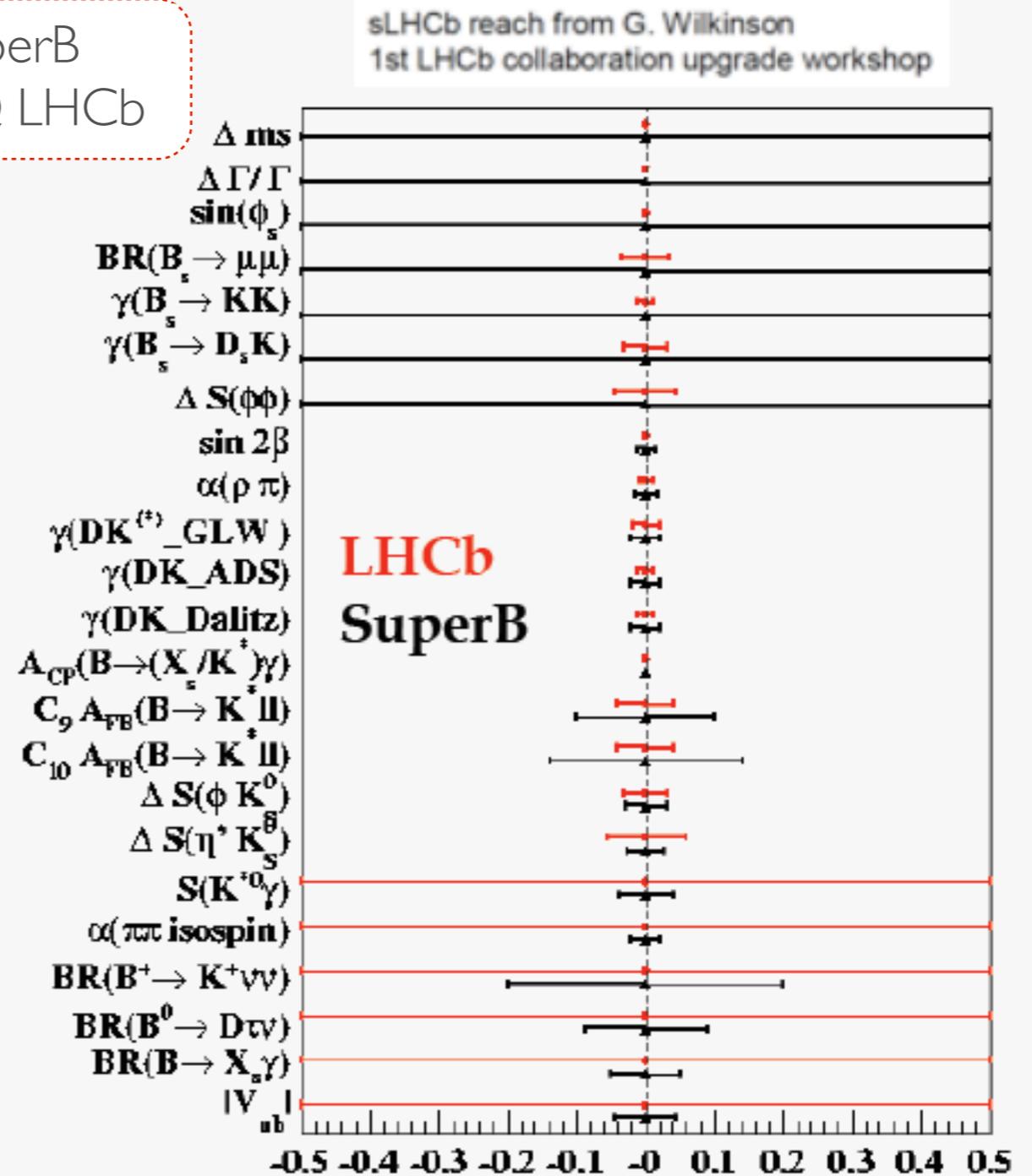
matériel supplémentaire

complémentarité SuperB / LHCb

50 fb⁻¹ @ SuperB
vs. 100 fb⁻¹ @ LHCb

SuperB :

- moins de B_s que LHCb,
- bien meilleur pour les états finals avec des **neutres**,
- sans concurrence pour les canaux avec de l'**énergie manquante**,
- redondance des mesures et **corrélations entre les observables** avec des **incertitudes théoriques différentes** pour conclure quant au modèle théorique.
- a un programme unique de mesures dans le **secteur des T et des D**.



paramètres machines SuperB vs. SuperKEKB

Parameter	Units	SuperB	Super-KEKB Old scheme	Super-KEKB Italian scheme
Energy	GeV	4x7	3.5x8	3.5x8
Luminosity	$10^{36}/\text{cm}^2/\text{s}$	1 – 1.5	0.5 to 0.8	0.8
Beam currents	A	2.0x2.0	9.4x4.1	3.8x2.2
N_{bunches}		2400	5000	2230
ϵ_y^* (L/H)	pm	7/4	240/90	34/11
ϵ_x^* (L/H)	nm	2.8/1.6	24/18	2.8/2
β_y^* (L/H)	mm	0.21/0.37	3	0.21/0.37
β_x^* (L/H)	cm	3.5/2.0	20	4.4/2.5
σ_z^* (L/H)	mm	5/5	5/3	5/5
Crossing angle (full)	mrad	60	30 to 0	60
RF power (AC line)	MW	26	90	>50
Tune shifts (L/H)		0.125/0.125	0.3/0.51	0.081/0.081
e^- polarization		80%	none	
Run at $\psi(3770)$		yes	no	

charged lepton flavour violation searches (3)

- **Signature expérimentale d'une désintégration LFV de τ : très propre.** L'événement est divisé en deux hémisphères dans $R_{c.d.m.}$, chacun contenant un τ produit par la collision. Pour le signal : $E_{rec} = \frac{1}{2}\sqrt{s}$ et $M_{inv} = M_{\tau}$, contrairement au bruit de fond du M.S. (présence d'au moins un ν).
→ signal très propre de nouvelle physique, peu de bruit de fond, pas d'incertitudes du secteur hadronique.
- La sensibilité de mise en évidence augmente comme $\sqrt{\text{luminosité}}$ pour les analyses limitées par le bruit de fond ($\tau \rightarrow \ell \gamma$ pour lequel $\tau \rightarrow \mu \nu \nu + \gamma$ constitue un bruit de fond irréductible), si l'on n'améliore pas les techniques d'analyses de BaBar.

La sensibilité de mise en évidence augmente \sim luminosité pour les analyses sans bruit de fond ($\tau \rightarrow \ell \ell \ell$) : efficacité sur le signal constante tout en maintenant le bruit de fond < 1 événement → gain $\times 100$ w.r.t. BaBar.