

$B^0$   $\tau^+$   $D^0$

# L'expérience Belle II et le démarrage de SuperKEKB

Plan :

- Motivations scientifiques
- Dispositif expérimental : SuperKEKB et Belle II
- Caractérisation de la région d'interaction
- Potentiel de physique



# Motivation scientifique : les mesures de précision



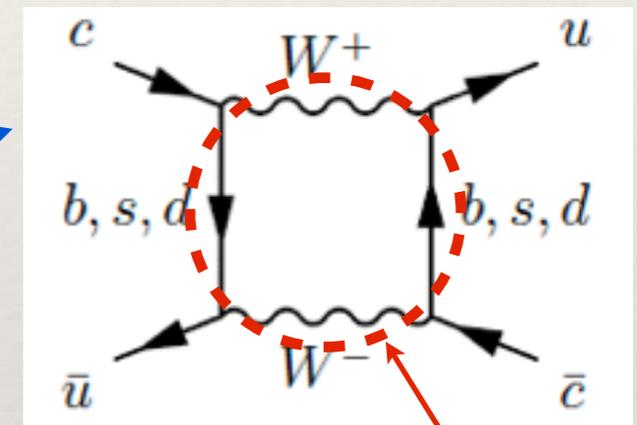
- ❖ Physique au-delà du MS : où ? quoi ? Très peu d'indications expérimentales :
  - ❖ saveur leptonique non conservée,
  - ❖ nouvelle source de violation de CP,
  - ❖ matière noire et énergie noire,
  - ❖ quelques signaux  $\sim 3\sigma$  troublants, dans des mesures de précision :  
muon  $g-2$ ,  $\sin^2\theta_W$ ,  $B \rightarrow \tau\nu$ ,  $B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu$ ,  $\sin 2\beta$  (arbre vs. pingouin),  
CPV directe dans  $B^0 \rightarrow K^+\pi^-$  vs.  $B^+ \rightarrow K^+\pi^0$  ...

- ❖ Découvrir et comprendre la NP ne sera pas facile :

→ un effort global basé sur différents programmes :

- ❖ la voie quantique (frontière de l'intensité),
- ❖ la voie relativiste (frontière de l'énergie).

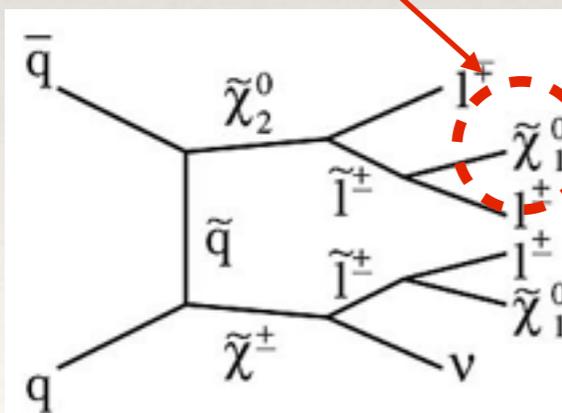
LHCb, Belle II



new physics?

new physics?

ATLAS, CMS



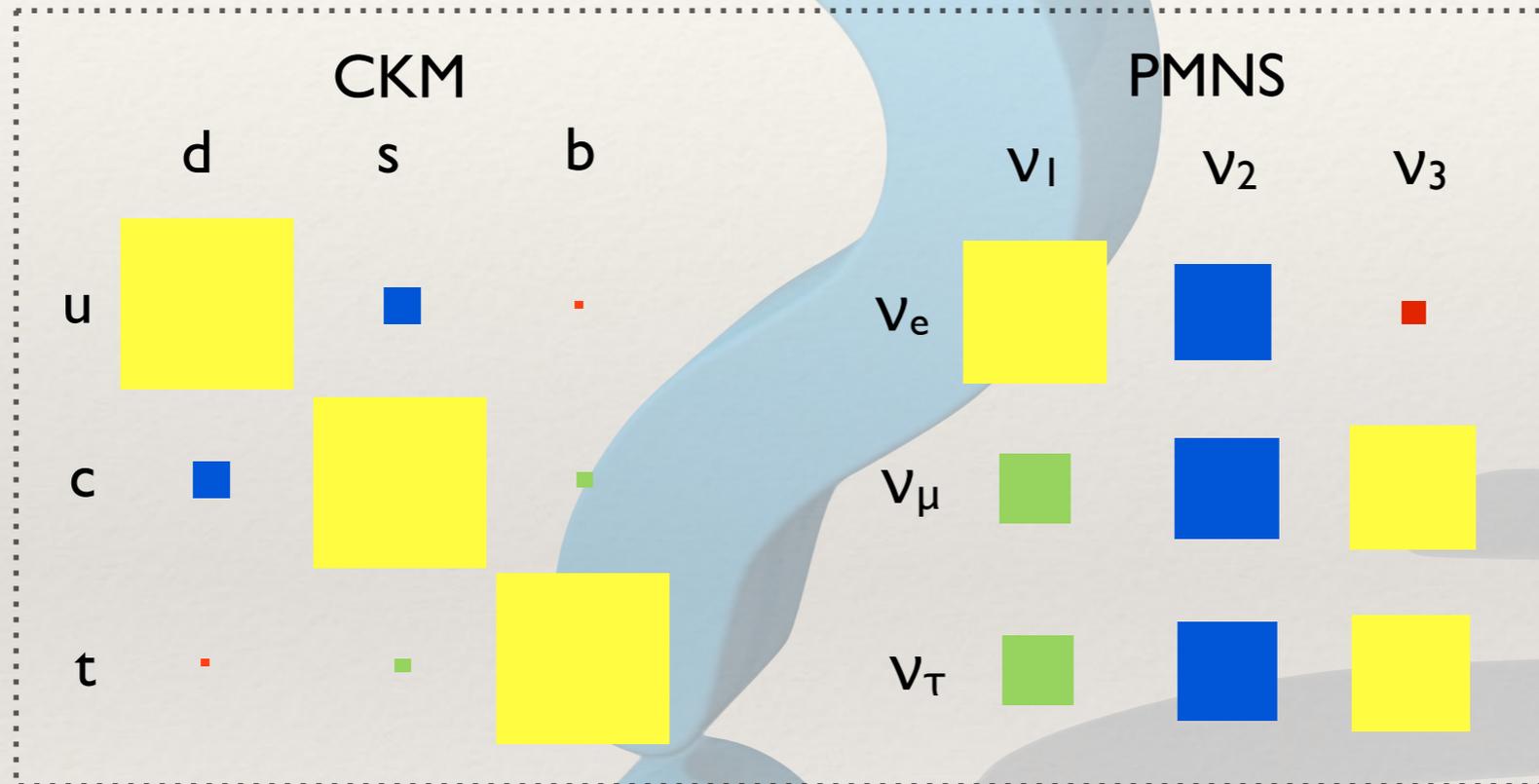
→ complémentarité / émulation entre les deux programmes :  
meilleure sensibilité à la Nouvelle Physique.

# Motivation scientifique : le secteur des saveurs



3 familles de fermions élémentaires ?

source supplémentaire de violation de CP ?



← termes de Yukawa ?

symétrie de saveur ?

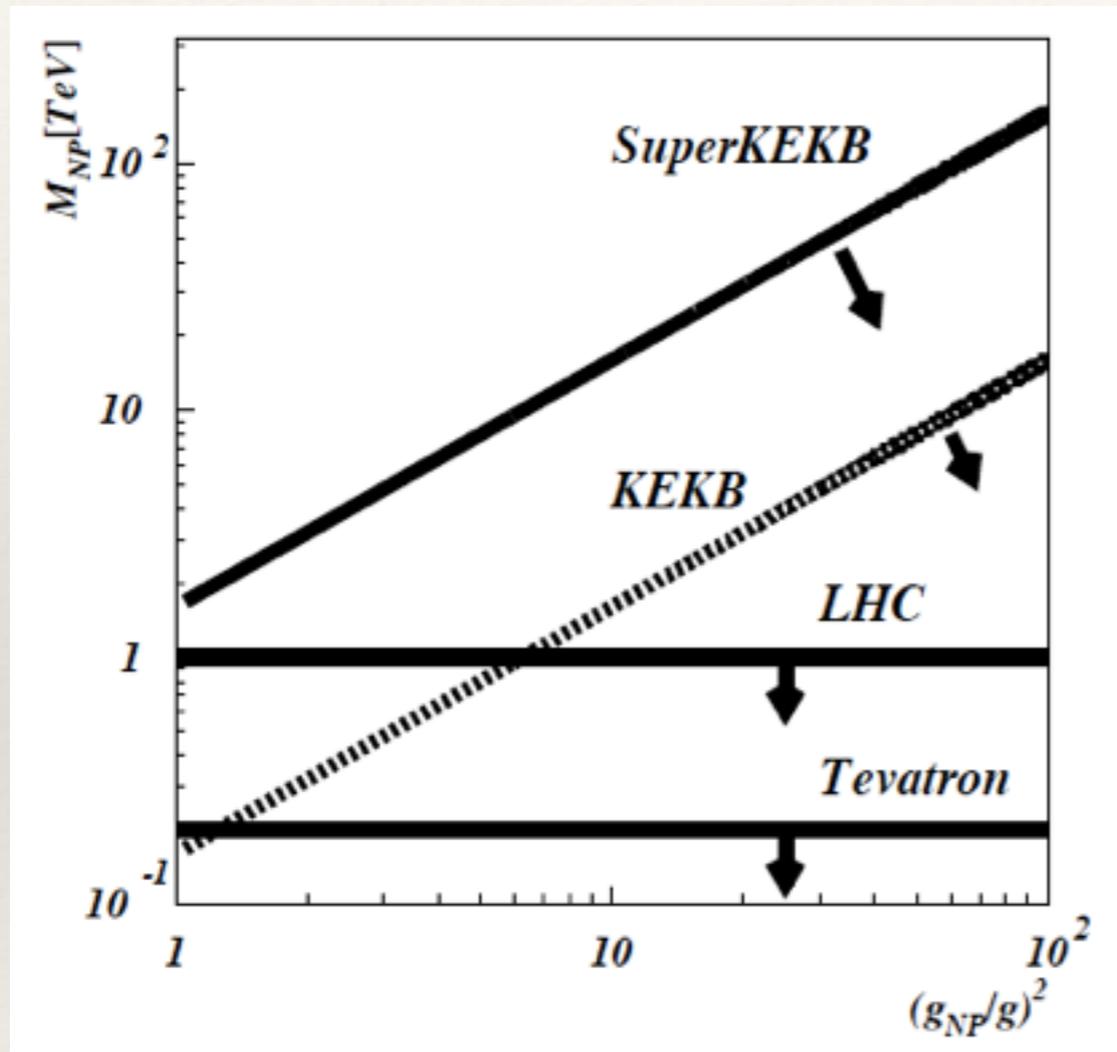
unification quarks-leptons ?

hiérarchie des éléments de matrice ?

# Motivation scientifique : les FCNC



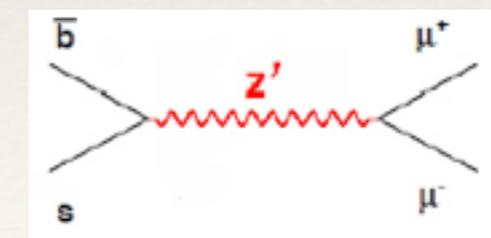
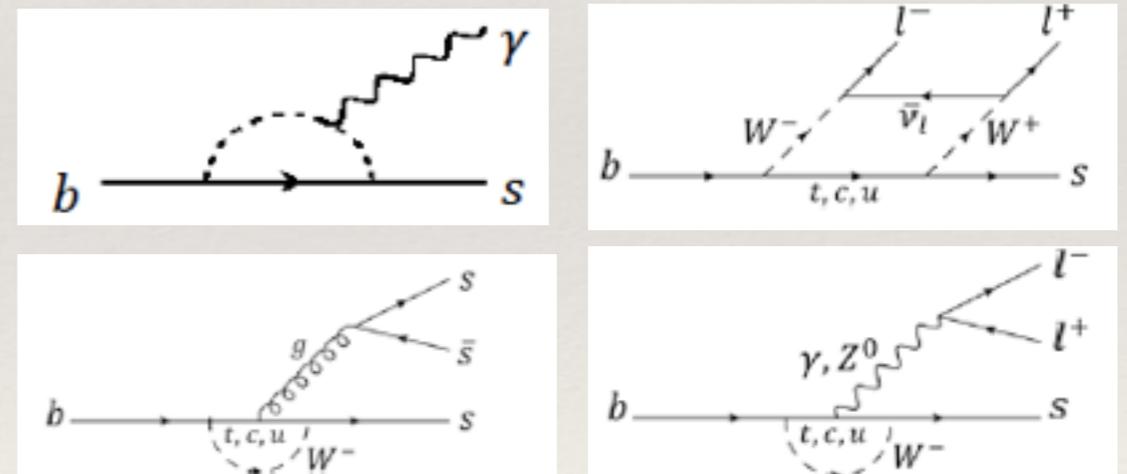
- Historiquement, les mesures de FCNC ont permis des avancées essentielles : existence du quark charme, de la 3<sup>ème</sup> famille de quarks, masse du top,



(NP flavour violating couplings  $\sim 1$  in MFV models)

- mesures de FCNC très sensibles à NP, mais nécessitent :
  - statistique élevée,
  - bonne précision expérimentale,
  - bonne compréhension théorique.

Quelques exemples :



# Le programme de physique de Belle II



- ❖ Trois scénarios quand Belle II démarre la prise de données (2018 = fin du Run 2 du LHC) :
  - ❖ NP n'est pas découverte au LHC,
  - ❖ quelques signaux sont découverts, insuffisants pour conclure,
  - ❖ NP est découverte à l'échelle du TeV au LHC.

## → rôle crucial de Belle II :

- ❖ pour rechercher des signaux indirects de NP avec une sensibilité à une échelle d'énergie potentiellement plus élevée qu'au LHC,
- ❖ pour déterminer la structure en saveur des couplages de la NP et éliminer des théories BSM,

avec un programme couvrant un vaste spectre de mesures :

- ❖ Eléments de matrice CKM,
- ❖ Désintégrations rares de mésons B,
- ❖ Oscillation et CPV dans les  $B^0$  et les  $D^0$ ,
- ❖ Physique du  $B_s^0$ ,
- ❖ Physique du  $\tau^+$ ,
- ❖ Paramètres électrofaibles,
- ❖ Spectroscopie,
- ❖ Recherches directes (dark sector, low mass dark matter, ...).

→ double approche via les secteurs des quarks et des leptons chargés



# La collaboration Belle II



594 collaborateurs de 23 pays



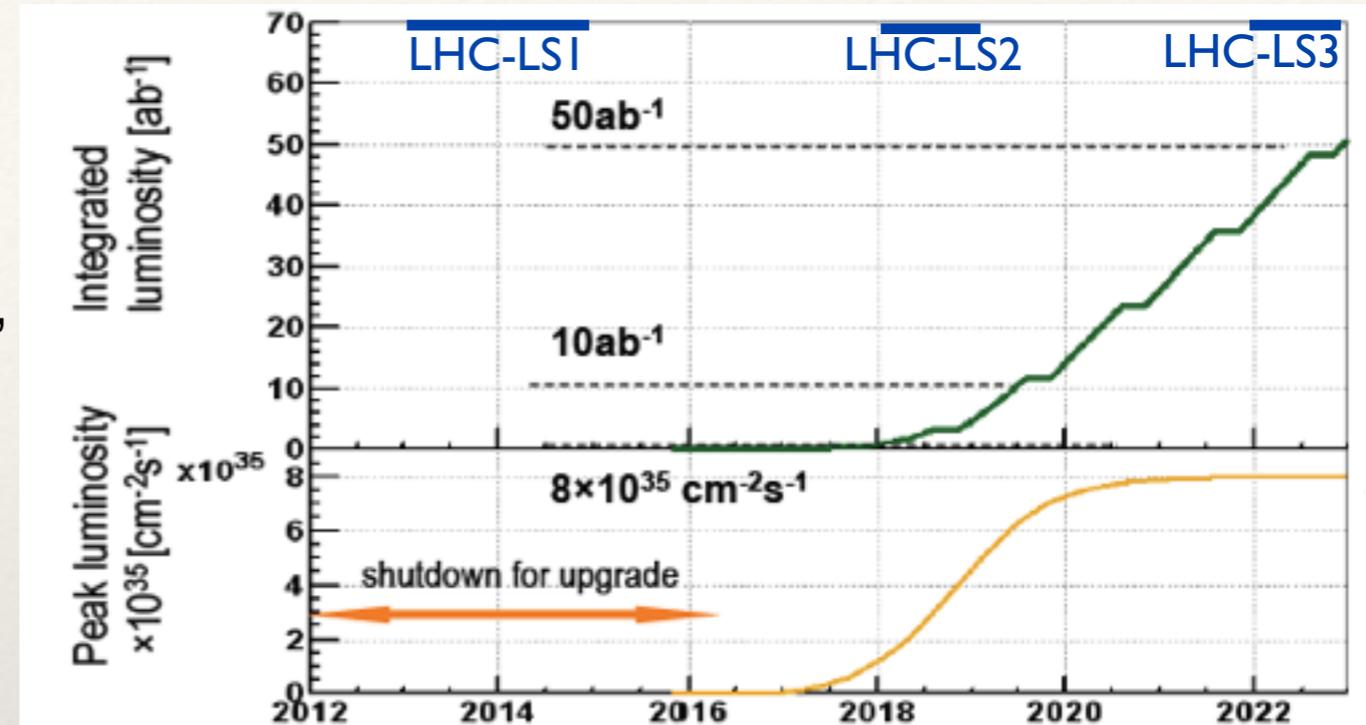
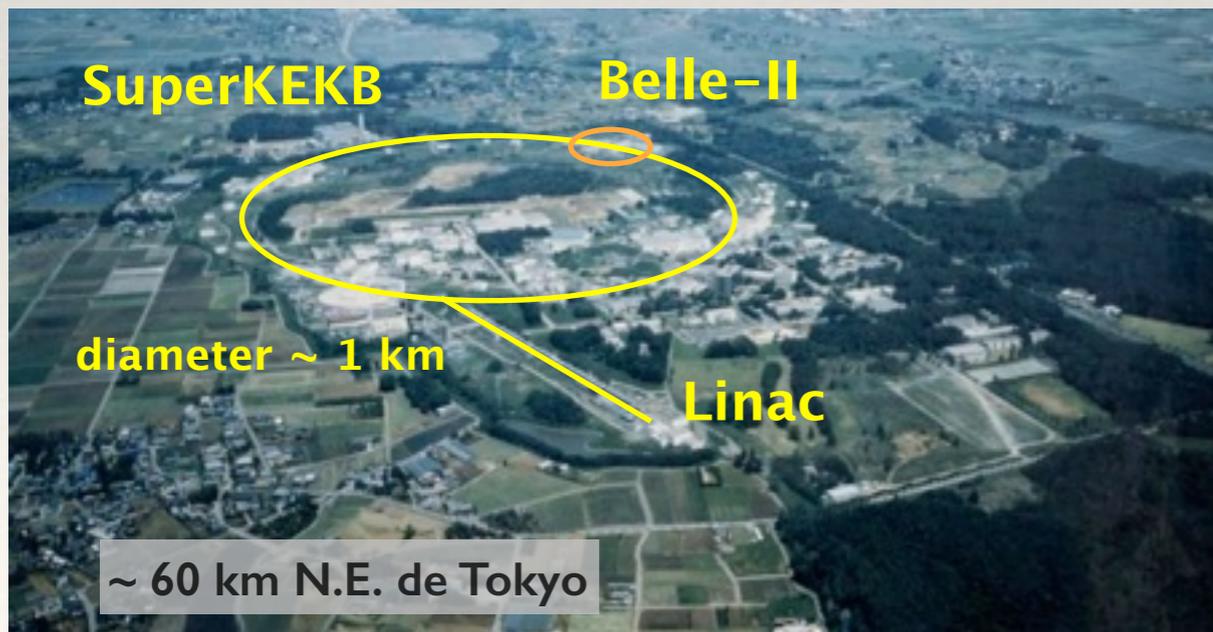
mi-2014 : IPHC-Strasbourg et LAL-Orsay membres du projet BEAST (mise en route de l'expérience Belle II auprès de SuperKEKB)



# Le collisionneur SuperKEKB (1)

- ❖ Faisceaux asymétriques :  $e^- 7 \text{ GeV} - e^+ 4 \text{ GeV}$ .  
Collisions  $E_{c.m.} = M_{Y(4S)}$  and  $M_{Y(5S)}$ .
- ❖ Courants augmentés :  $\sim 2 \times \text{KEKB}$   
modérément pour limiter le bruit de fond.
- ❖ Taille transverse du faisceau :  $\sim \text{KEKB}/20$  en  $y$ ,  
 $\sigma_x \times \sigma_y \sim 10 \mu\text{m} \times 60 \text{ nm}$ .
- ❖ Grand angle de croisement des faisceaux :  
22 mrad (KEKB)  $\rightarrow$  83 mrad (SuperKEKB)

$\rightarrow$  Luminosité instantanée  $\times 40$  :  
 $0.8 \times 10^{36} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



October 2016:  
start of data  
taking

end 2022:  
50  $\text{ab}^{-1}$  on  
tape

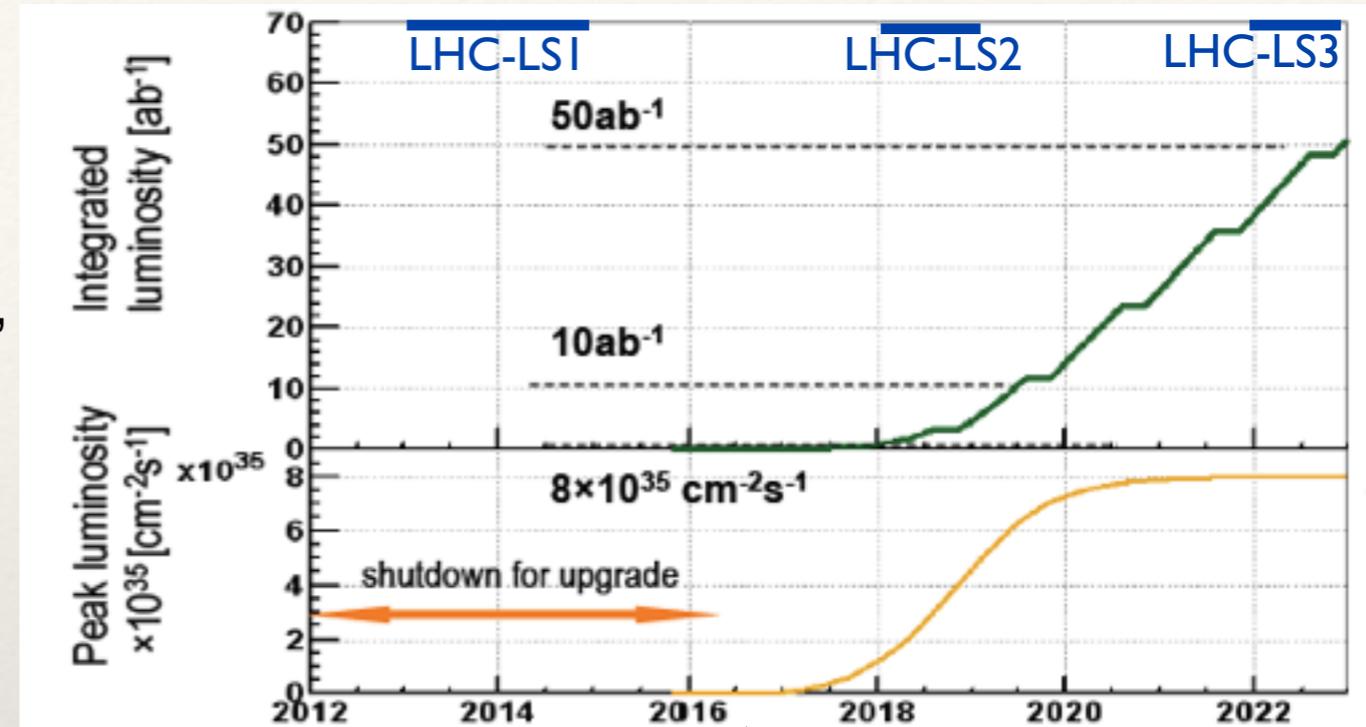
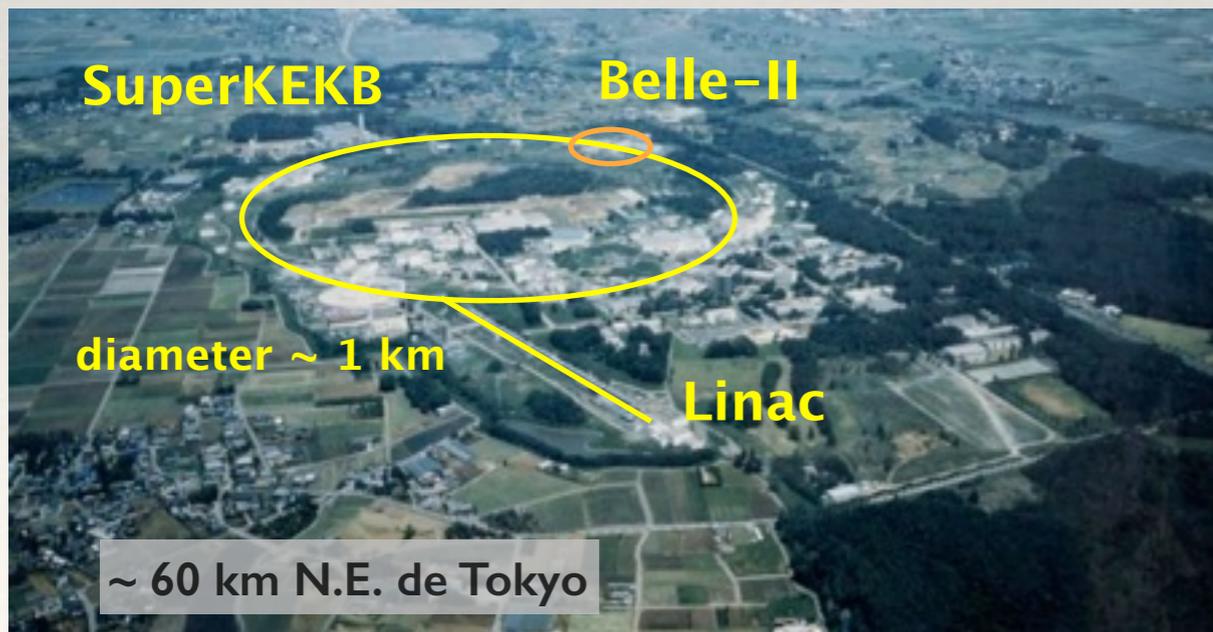
January 2015: BEAST II  
collider commissioning  
until  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  reached.

$\sim 2020$ :  
10  $\text{ab}^{-1}$  on tape

# Le collisionneur SuperKEKB (1)

- ❖ Faisceaux asymétriques :  $e^- 7 \text{ GeV} - e^+ 4 \text{ GeV}$ .  
Collisions  $E_{c.m.} = M_{Y(4S)}$  and  $M_{Y(5S)}$ .
- ❖ Courants augmentés :  $\sim 2 \times \text{KEKB}$   
modérément pour limiter le bruit de fond.
- ❖ Taille transverse du faisceau :  $\sim \text{KEKB}/20$  en  $y$ ,  
 $\sigma_x \times \sigma_y \sim 10 \mu\text{m} \times 60 \text{ nm}$ .
- ❖ Grand angle de croisement des faisceaux :  
22 mrad (KEKB)  $\rightarrow$  83 mrad (SuperKEKB)

$\rightarrow$  Luminosité instantanée  $\times 40$  :  
 $0.8 \times 10^{36} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



October 2016: start of data taking  
End 2022: 50 ab⁻¹ on tape

January 2020: collider commissioning until  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  reached.  
2020: 10 ab⁻¹ on tape

retard pour raisons financières (l'accélérateur est prêt)  
 $\rightarrow$  démarrage du run de physique en 2018

# Le collisionneur SuperKEKB (2)

Nouveau tunnel...



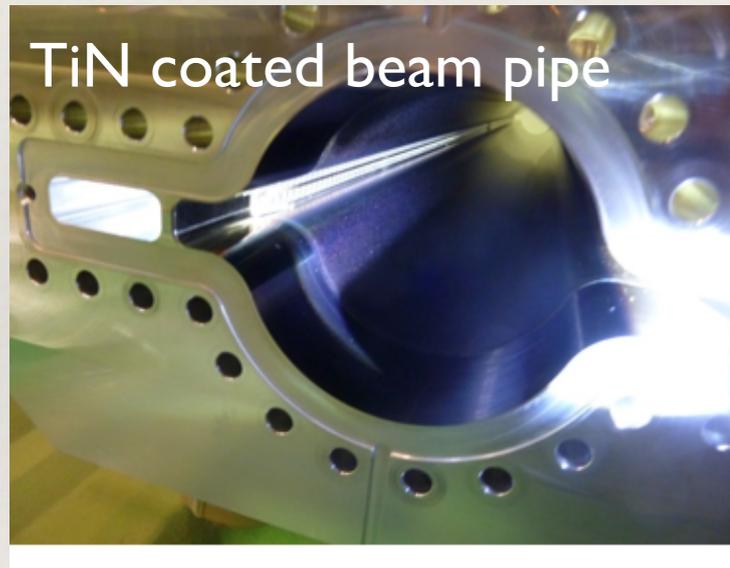
...couvert...



...enterré !



TiN coated beam pipe



Nov.2013: 75 % produits



Nouveaux aimants en place et testés (août 2013)



croisement des faisceaux @IP



magnet power supply buildings



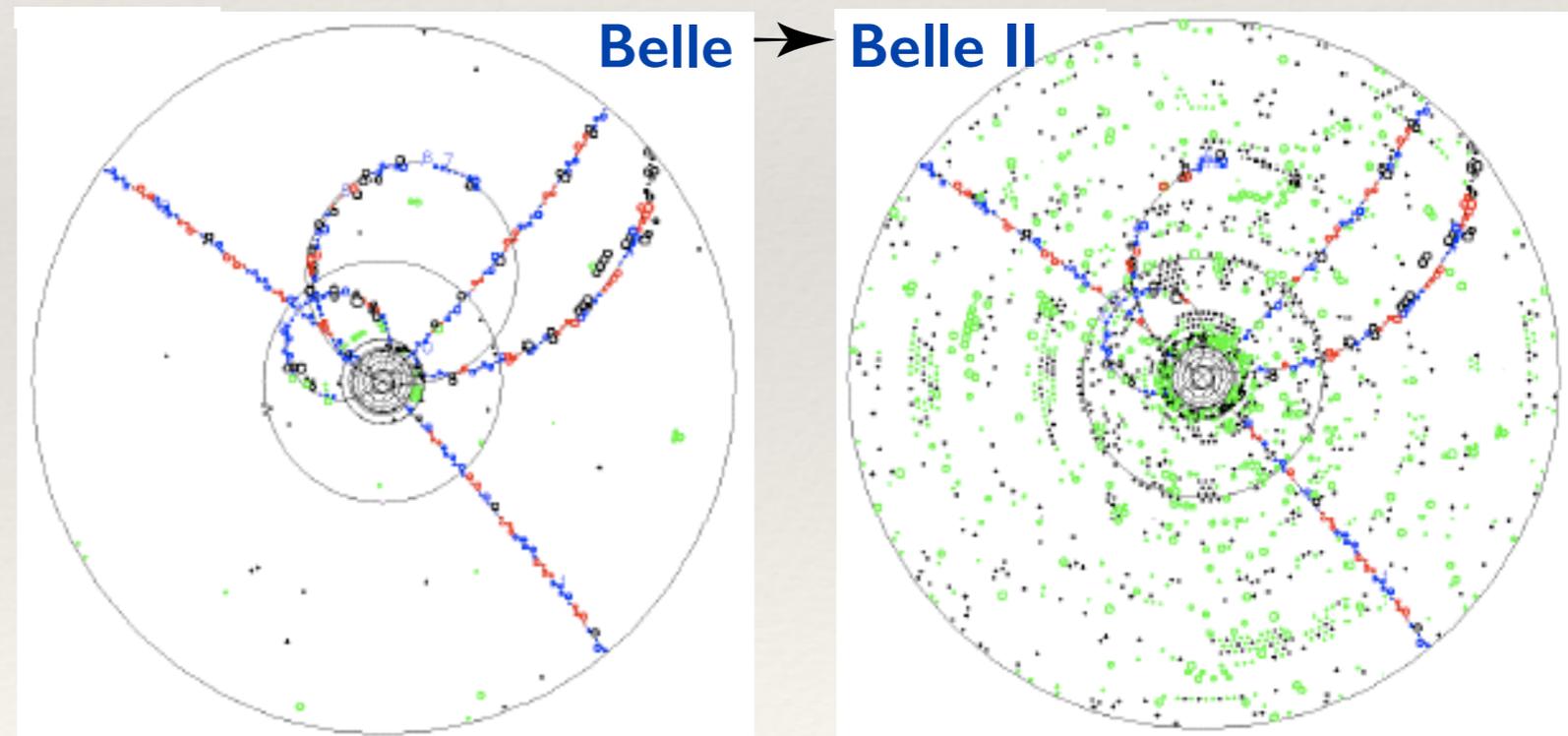
New LER chambers



# Le détecteur Belle II (1)

- ❖ **Taux d'acquisition plus élevé.**
  - ➔ impacte le déclenchement, la DAQ, le flot de données, le calcul.
- ❖ **Augmentation des bruits de fond produits par les faisceaux :**
  - ❖ Radiations plus élevées : endommagent les détecteurs,
  - ❖ Taux d'occupation plus élevé : **impacte la reconstruction des trajectoires et des énergies.**
- ❖ **Asymétrie des faisceaux diminuée :**
  - $\beta\gamma = 0.28$  (0.42 à KEKB) ➔ **impacte la résolution sur les temps de vol.**

- ➔ **toutes les parties du détecteur Belle ont nécessité de la R&D :**
- ❖ Amélioration des performances : herméticité, particle-Id, tracking.
- ❖ Adaptation au taux d'événement et de bruit de fond.



# Le détecteur Belle II (2)

7.4 m x 7.1 m

**Calorimètre EM**  
barrel : CsI(Tl)  
end-caps : pur CsI

**Particle-Id**  
barrel : Time-of-Propagation  
forward : focusing Aerogel RICH

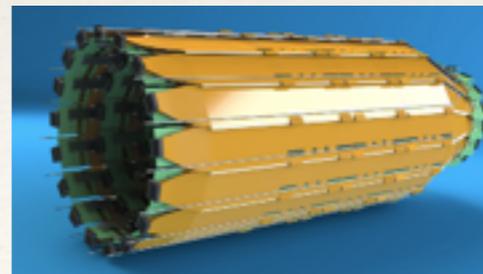
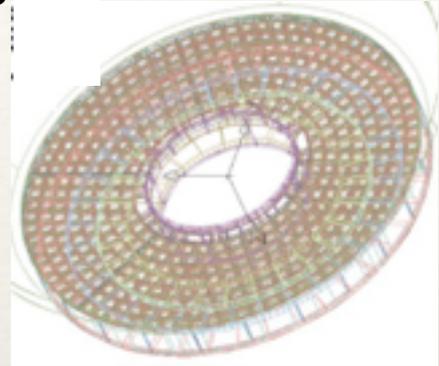
**Solénoïde supraconducteur 1.5 T**

**Beam pipe @IR**  
Beryllium, rayon = 1 cm

**Central Drift Chamber**  
He(50 %):C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(50 %)

**Vertex detector**  
PXD : 2 couches pixels DEPFET  
SVD : 4 couches strips double-faces

**K<sub>L</sub> and μ detector**  
outer barrel : RPC  
end-caps + inner barrel : scintillateur + Si-PM



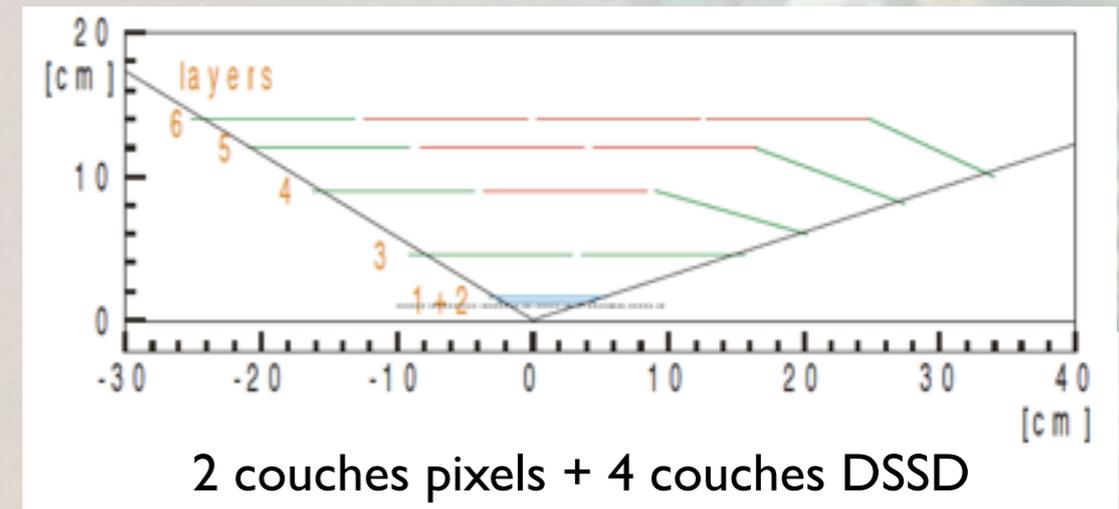
# Le trajectomètre interne de Belle II

❖ Boost diminué à Belle II

→  $\Delta z$  plus faible  
 $\sigma(\Delta t)$  dégradé.

❖ Thérapie :

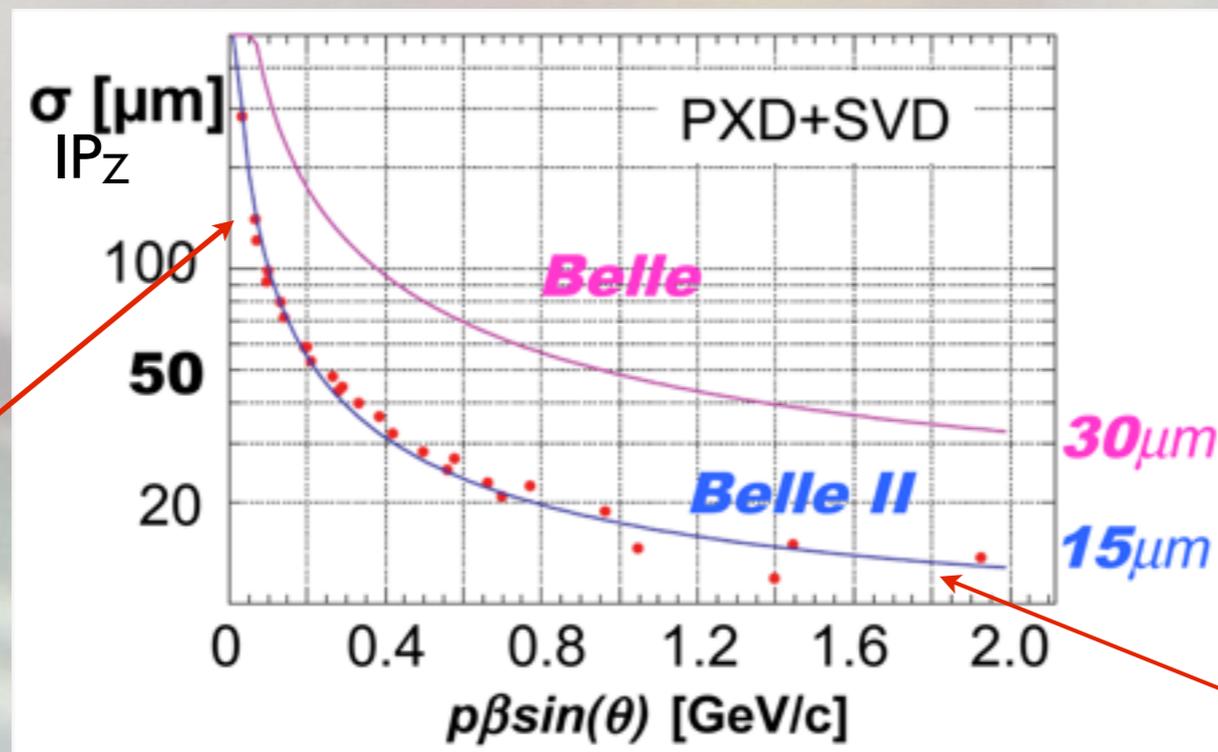
- 2 couches de pixels au plus proche du IP,
- Beam spot diminué : faisceau plat + collisions à grand angle,
- Rayon du beam pipe diminué à 1 cm.



❖ Taux d'occupation induit par le bruit de fond = problème majeur

- importance du design global du trajectomètre et de l'algorithmie associée : utiliser le time stamp de la trace extrapolée outside-in.

budget de matière faible



→ Précision attendue sur  $\Delta t$  2x meilleure qu'à Belle.

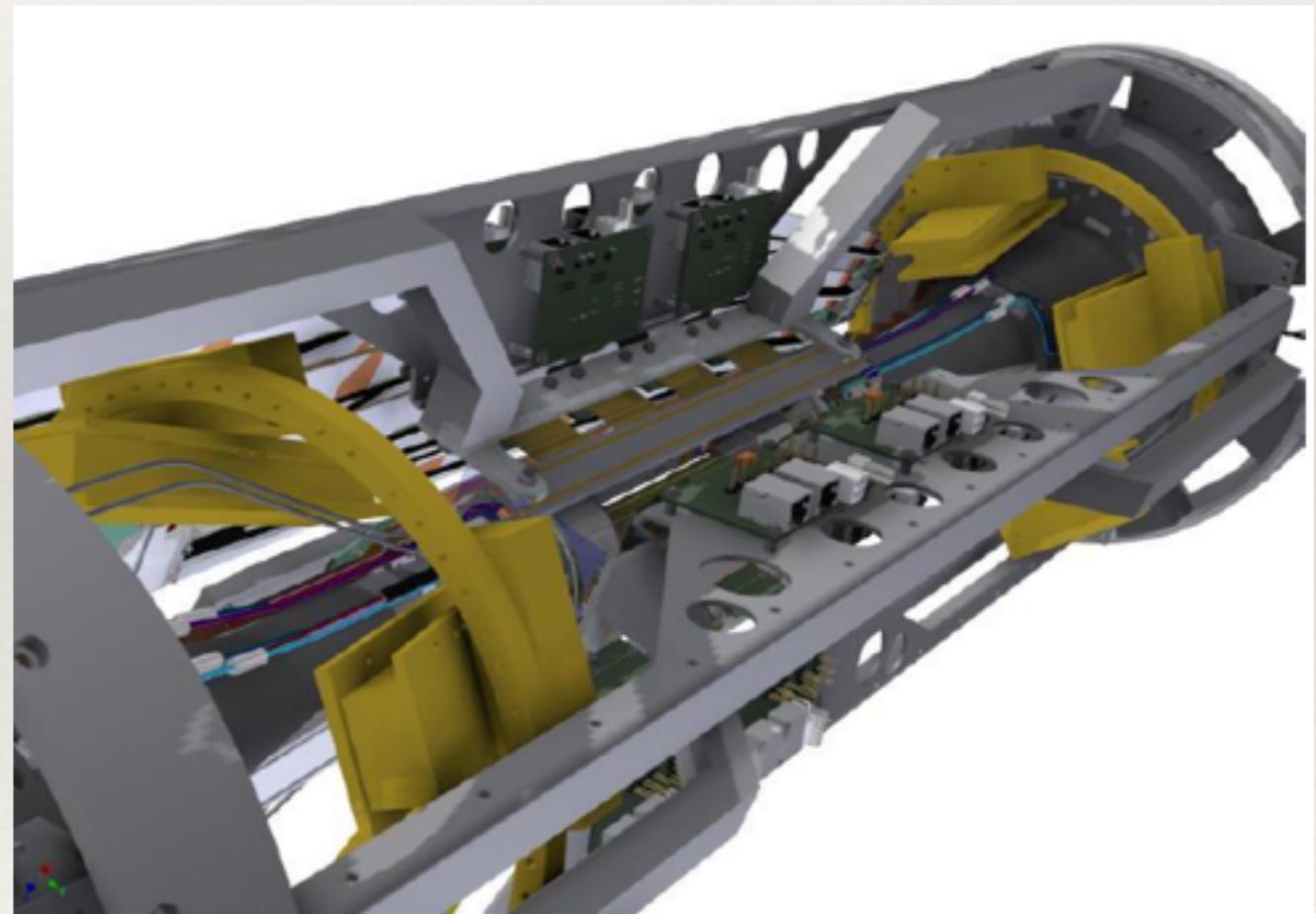
couches de pixels proches du beam-pipe

## La mise en route du collisionneur (1)

**BEAST** : Beam Exorcism for A Stable BELLE Experiment = commissioning.

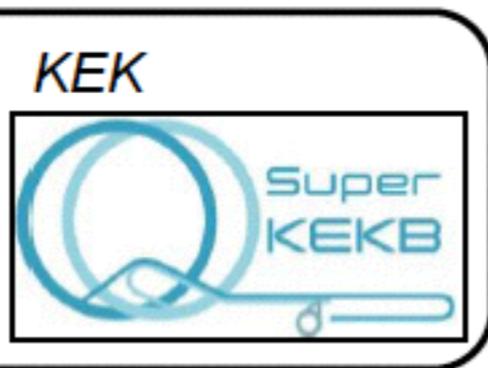
Deux périodes :

- ❖ Phase 1, mi-janv. 2016- mi-mai 2016 :  
mise au point de chaque faisceau (détecteur et solénoïde hors du faisceau).
- ❖ Phase 2, mi-mai. 2017-janvier 2018 :  
**mode collisionneur,**  
**détecteur (w/o VXD) et solénoïde en place.**
  - Mesure des bruits de fond et du niveau de radiation ;
  - Validation des simulations :  
extrapolation aux hautes luminosités ;
  - Positionnement des écrans contre le bruit de fond ;
  - Optimisation des paramètres des faisceaux pour atteindre  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ;
  - Commissioning du détecteur Belle II.





# La mise en route du collisionneur (2)

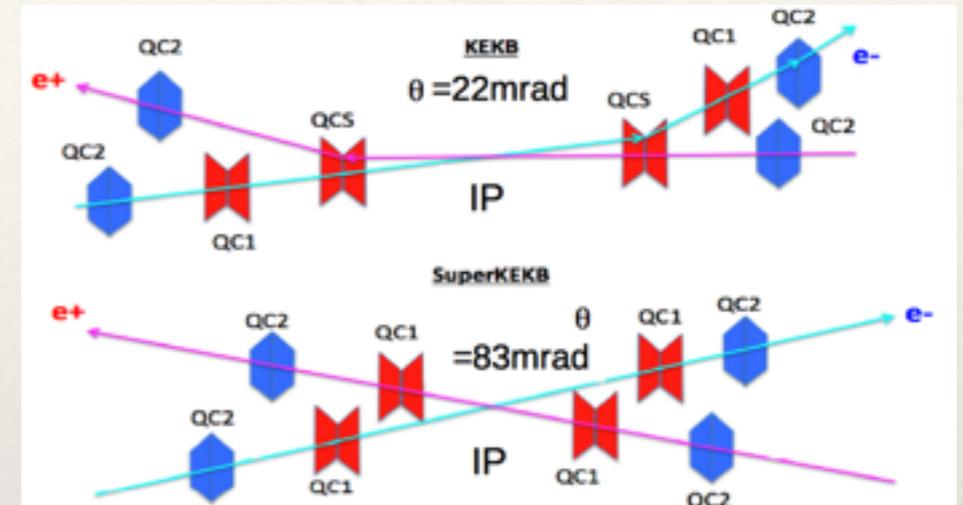
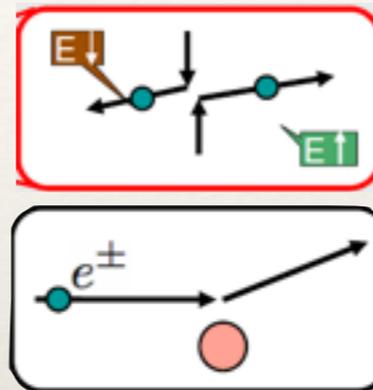


# Les bruits de fond produits par SuperKEKB

- ❖ **Bruit d'injection** : SuperKEKB injecte un nouveau bunch toutes les 20 ms (sinon temps de vie des faisceaux  $\sim$  qq min). Ce nouveau bunch a besoin de quelques révolutions ( $N \times 10 \mu s$ ) pour se stabiliser : des particules s'en échappent et arrivent dans le détecteur.

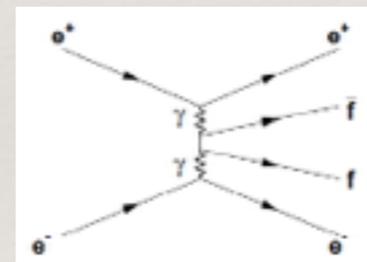
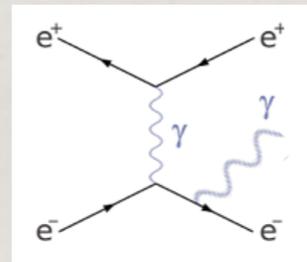
- ❖ **Bruit d'interactions Single Beam** :

- ❖ Touschek:  $\propto (\text{beam size})^{-1} (E_{\text{beam}})^{-3}$
- ❖ Beam Gas:  $\propto \text{pression} \times \text{courant}$
- ❖ Rayonnement synchrotron



- ❖ **Bruit d'interactions Beam-Beam** :  $\propto$  luminosité instantanée.

- ❖ Bhabha radiatif.
- ❖ Processus 2-photons.

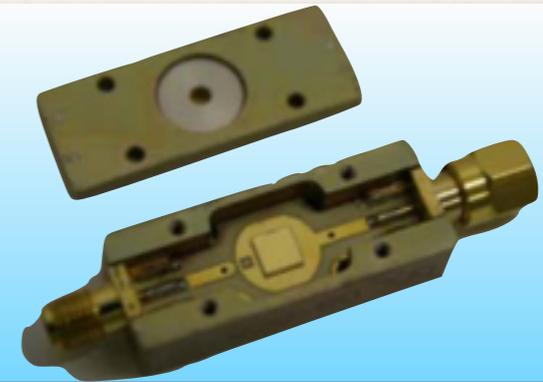


- ➔ Mesurer chacune des sources de bruit de fond : spectre E, distribution angulaire, taux d'occupation induit, structure temporelle.
- ➔ Expertise importante pour contribuer à l'upgrade du trajectomètre interne.

## La contribution de la France à Belle II (1)

- ❖ LAL-Orsay et IPHC-Strasbourg membres depuis mi-2014 du projet BEAST : mise en route de l'expérience Belle II.
- ❖ **Contribution concentrée sur l'étude des bruits de fond produits par le premier collisionneur utilisant des nano-beams.**
- ❖ **Expertise cruciale pour bâtir ensuite nos contributions à Belle II et à une expérience sur l'ILC.**

- ❖ LAL : mesure de la section efficace de Bhabha radiatifs avec des capteurs diamant.
  - Mesure en ligne de la luminosité,
  - Feed-back rapide : contrôle en ligne du faisceau.



- ❖ IPHC : caractérisation du bruit de fond dans le volume du trajectomètre interne (semi-appareillé) avec un système pixellisé de capteurs CMOS.
  - Mesure du taux de comptage
  - Mesure de l'origine des particules
  - Reconstruction des traces : vertex primaire.

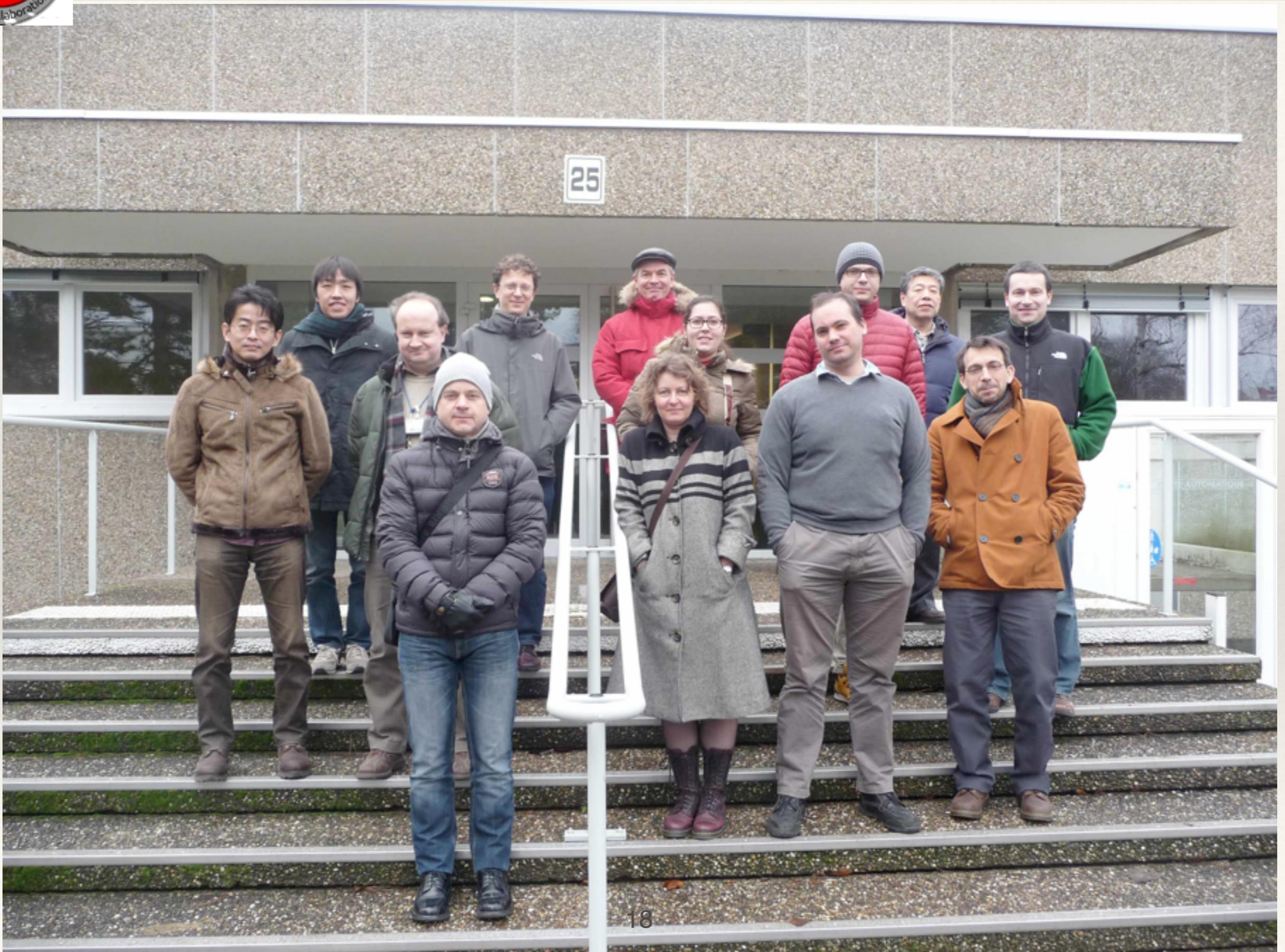


- ❖ Supports :
  - Acquis : Laboratoires (RH, financier), IN2P3 et FJPPL (politique, financier), RISE (Europe H2020), IDEX 2015 de l'Université de Strasbourg (projets exploratoires).
  - Espérés : ANR 2015 (RH), JSPS.

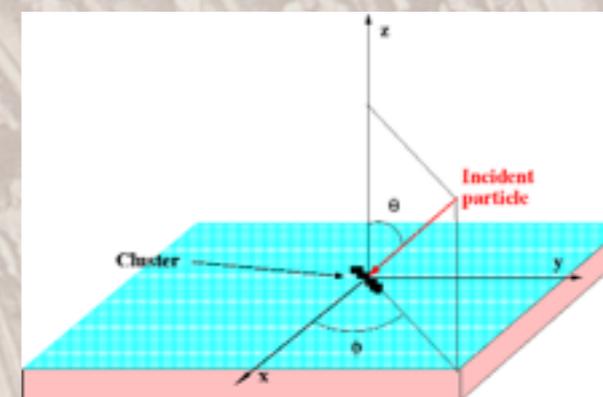




## La contribution de la France à Belle II (2)



- ❖ Concevoir un instrument pixellisé équipé de capteurs CMOS pour caractériser le bruit de fond induit par SuperKEKB :
  - ❖ Bénéficiaire de développements instrumentaux en cours dans le groupe PICSEL pour l'upgrade de l'ITS d'ALICE (capteur MISTRAL) et pour l'ILC (échelle PLUME):
    - ❖ Temps d'intégration de MISTRAL  $\sim 2 \mu\text{s}$  < révolution du bruit d'injection.
  - ❖ Concrétiser des études de trajectométrie effectuées dans le cadre de l'ILC :
    - ❖ Double couche de pixels :
      - Association des hits mesurés sur chaque couche : résolution de pointage de  $0.1^\circ$ .
      - Taux détectés sur chaque couche: les rayons X ne traversent pas PLUME.
    - ❖ Information de la forme des clusters :
      - Incidence de la trace.
      - Identification des rayons X ?
- ❖ Quelle mesure est possible avec quel instrument ?
- ❖ Aspects d'intégration : contraintes mécaniques, électriques, budget de matière, transparence...



Jérôme Baudot



Auguste Besson



Gilles Claus



Mathieu Goffe



Isabelle Ripp-Baudot



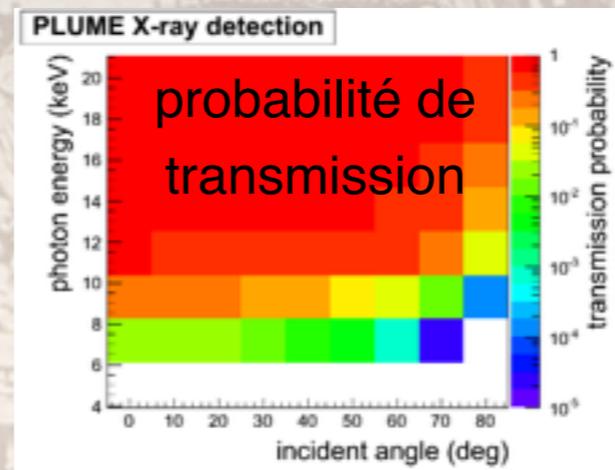
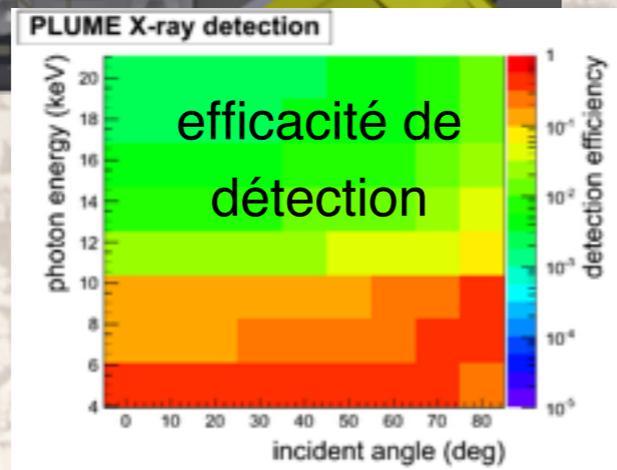
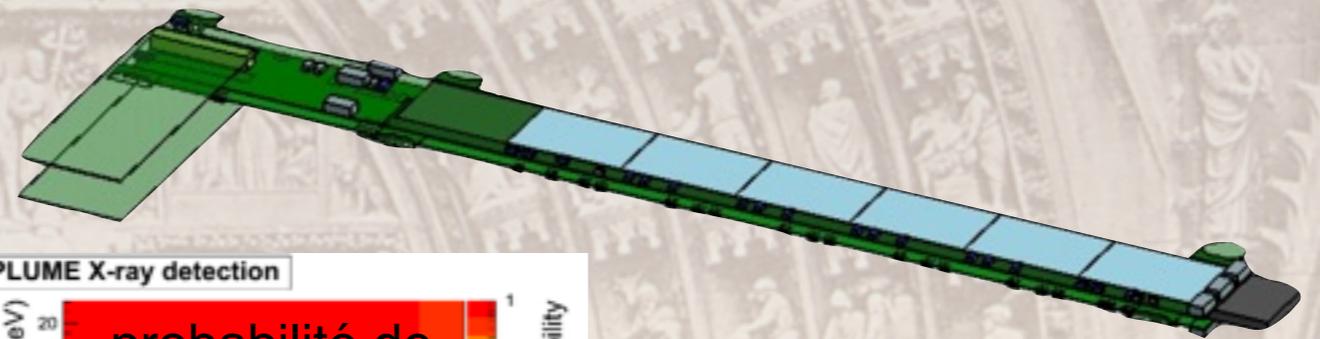
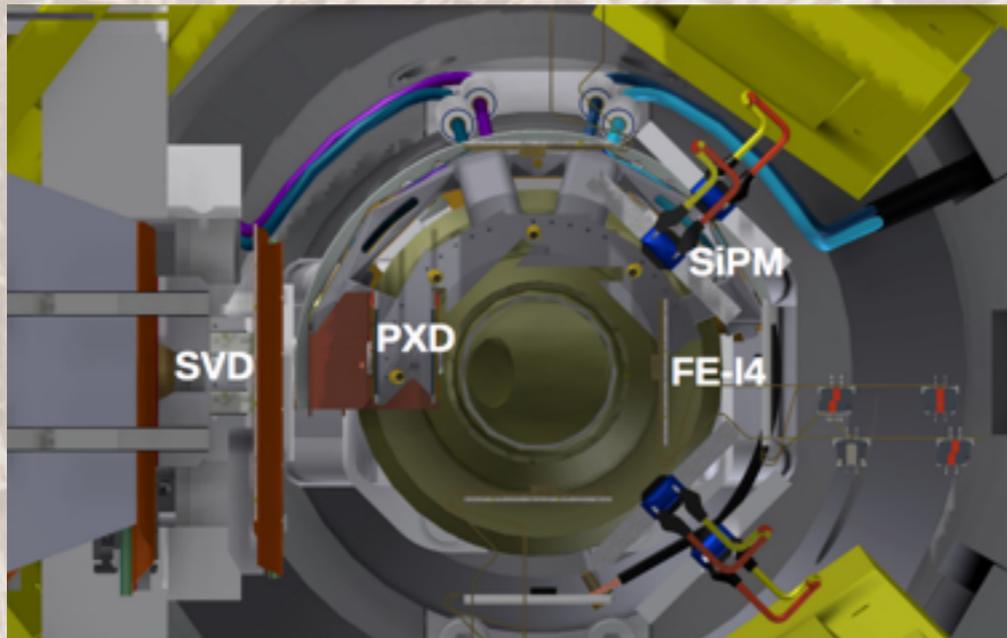
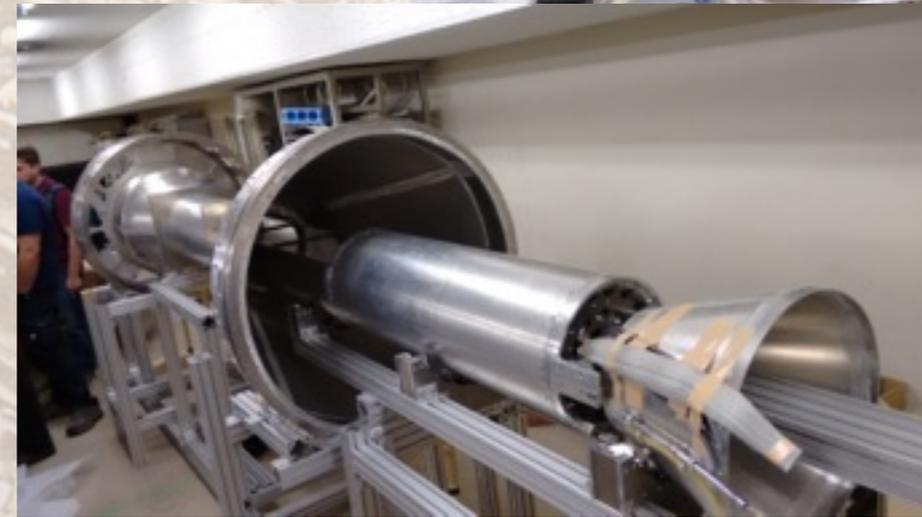
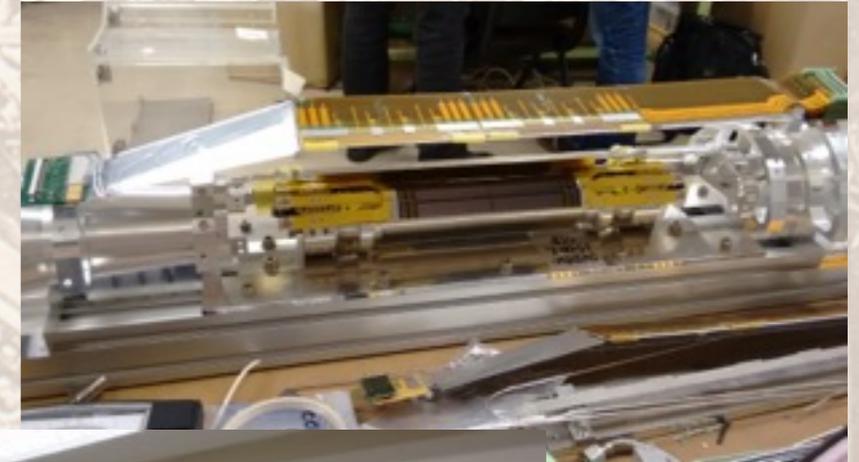
Michał Szelezniak



# Le projet de l'IPHC dans BEAST (2)



KEK : mock-ups  
de la région  
d'interaction de  
Belle II



← Sensibilité de  
PLUME aux  
rayons X



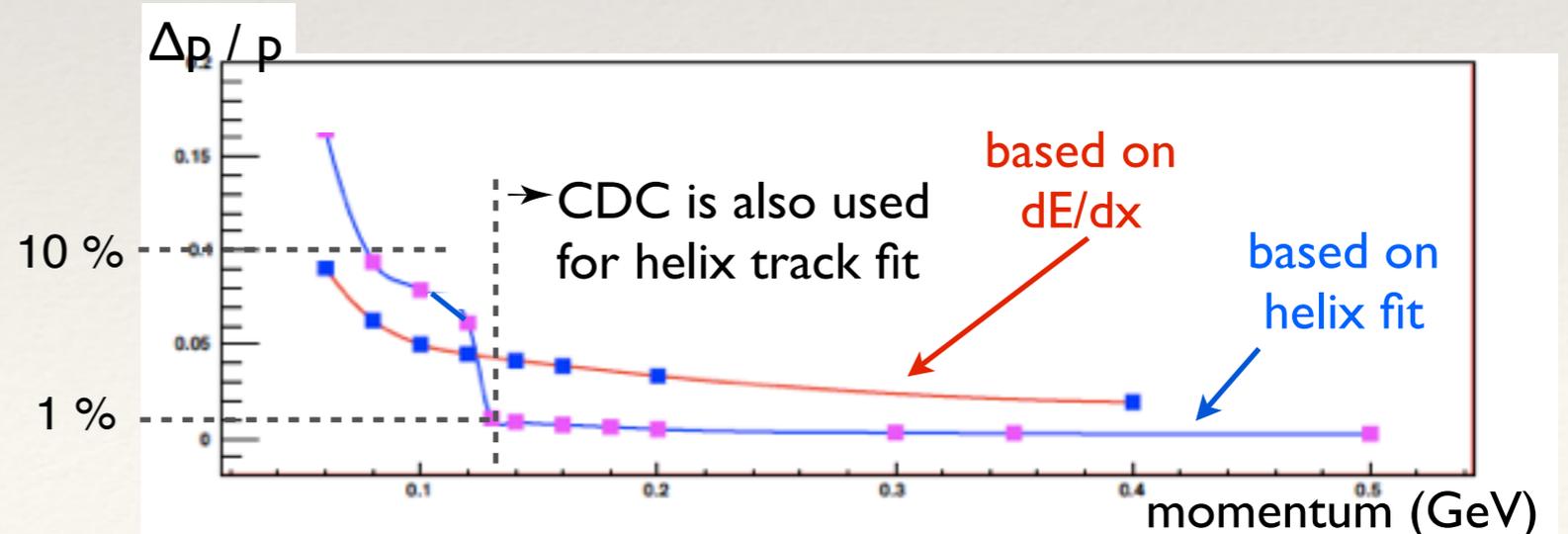
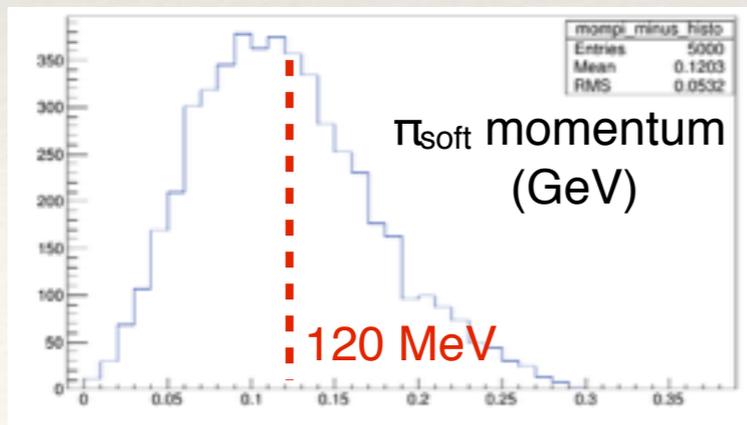
# Evolution espérée dans Belle II au-delà de 2018

## ❖ Participation aux analyses de physique :

- ❖ Contribuer à l'amélioration de la reconstruction des vertex côté "tag" (inclusif) et côté "signal" (états finals impliquant des neutres).
- ❖ Intérêt actuel exprimé : recherche de NP dans les asymétries de CP et dans les désintégrations du  $\tau$  violant la saveur leptonique.

## ❖ Participation à la conception du nouveau trajectomètre interne (> 2020 ?).

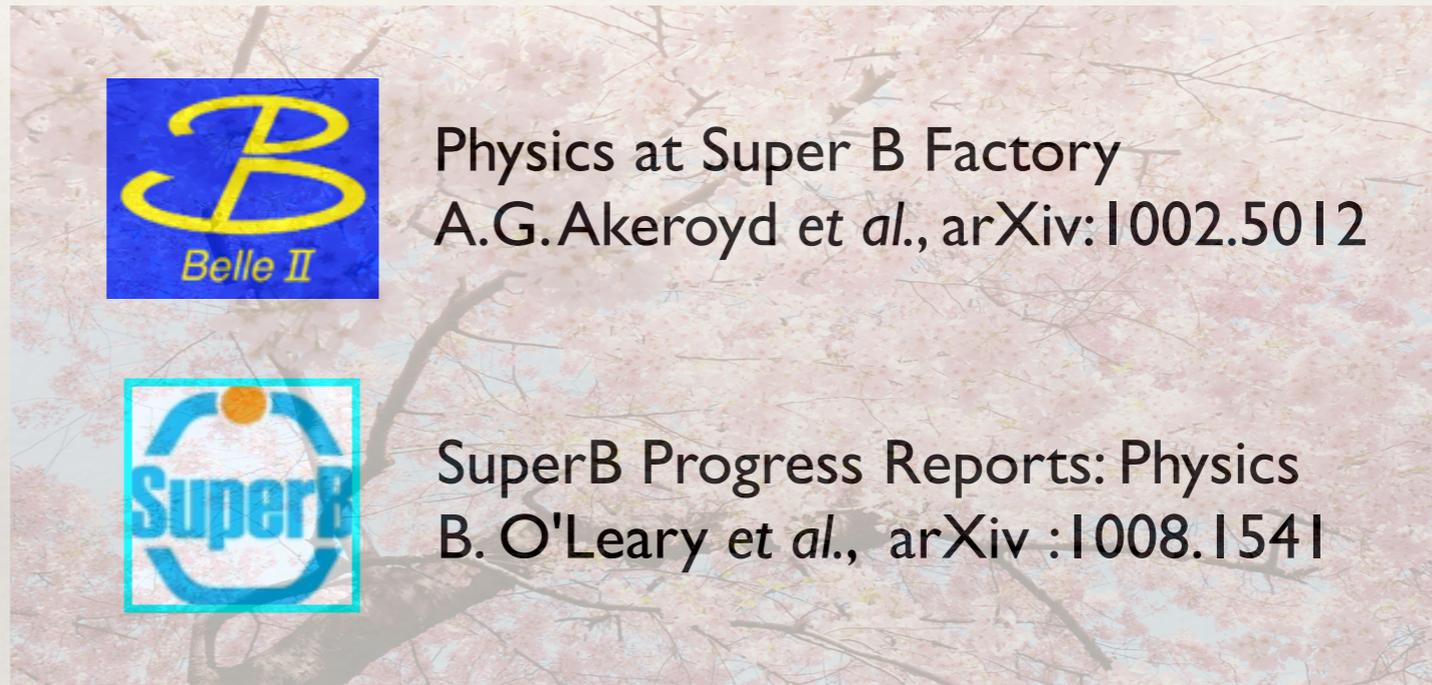
- ❖ Un break-through est-il possible avec les CMOS, rendant de nouvelles analyses possibles ou plus compétitives ( $D^0$ ,  $\tau$ ) ?
  - ❖ Si moins sensible au rayonnement synchrotron : construire un beam-pipe plus fin
    - ➔ permet de bénéficier d'une diminution de la dimension des pixels.
  - ❖ Utilisation des double-couches de pixels plus performant dans un environnement à fort taux d'occupation ?
- ❖ Etude 2014 @IPHC de l'estimation des faibles impulsions 50-100 MeV basée sur l'énergie déposée dans les détecteurs silicium : intérêt d'un ADC dans le pixel ?



# Le potentiel de physique



- ❖ Les prédictions sont basées sur les performances observées dans Belle :
  - ❖ elles sont robustes,
  - ❖ elles laissent de la place à des améliorations !
- ❖ Des progrès raisonnables sont supposés pour les prédictions théoriques.
- ❖ Seuls quelques exemples sont abordés dans la suite, essentiellement basés sur :



- ❖ Création en 2014 du “Belle II Theory Interface Working Group”.
  - ❖ Participation du LAL (F. Le Diberder et E. Kou).
  - ❖ Update du document sur le potentiel de physique.  
Workshop “New Physics at Belle II”, 23-25 February 2015, Karlsruhe  
<https://indico.cern.ch/event/357770>

# “Physics at Super B factory”

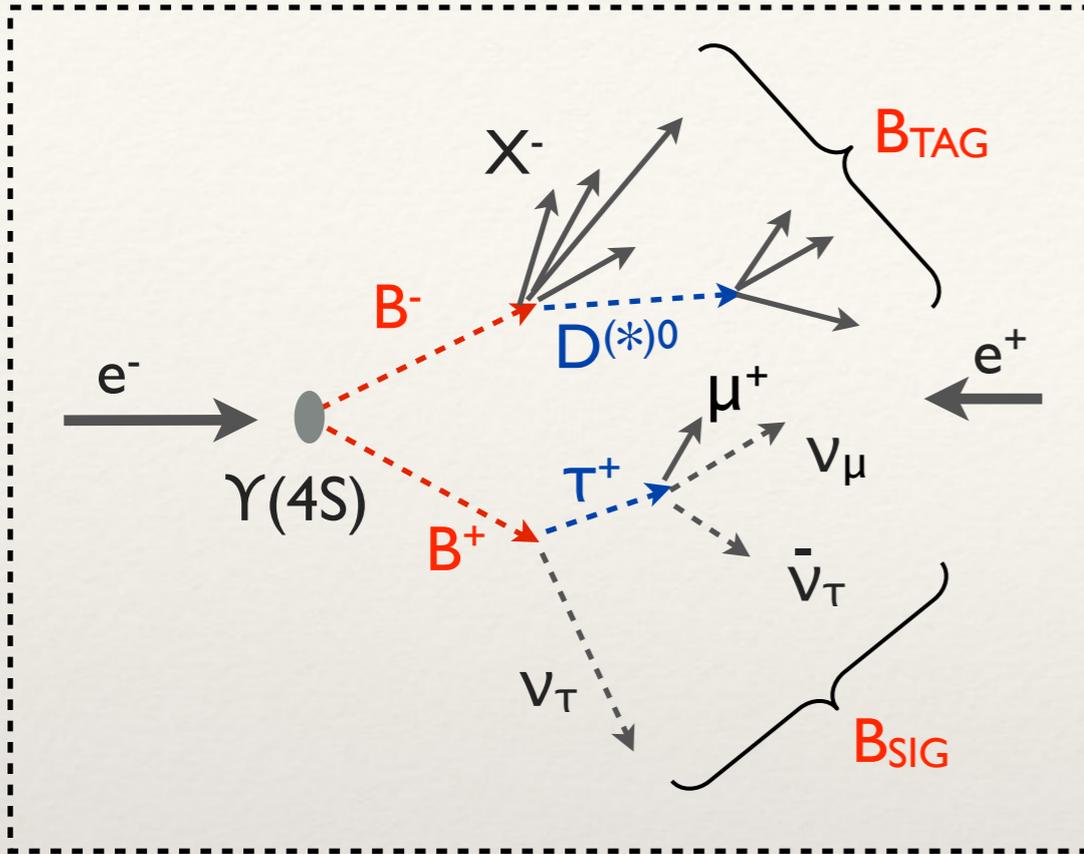


Observable	Belle 2006 ( $\sim 0.5 \text{ ab}^{-1}$ )	SuperKEKB ( $5 \text{ ab}^{-1}$ )	( $50 \text{ ab}^{-1}$ )	<sup>†</sup> LHCb ( $2 \text{ fb}^{-1}$ ) (10 $\text{fb}^{-1}$ )	
<b>hadronic <math>b \rightarrow s</math> transitions</b>					
$\Delta S_{\phi K^0}$	0.22	0.073	0.029	0.14	
$\Delta S_{\eta' K^0}$	0.11	0.038	0.020		
$\Delta S_{K_S^0 K_S^0 K_S^0}$	0.33	0.105	0.037		
$\Delta A_{\pi^0 K_S^0}$	0.15	0.072	0.042		
$A_{\phi\phi K^+}$	0.17	0.05	0.014		
$\phi_1^{eff}(\phi K_S)$ Dalitz		$3.3^\circ$	$1.5^\circ$		
<b>radiative/electroweak <math>b \rightarrow s</math> transitions</b>					
$S_{K_S^0 \pi^0 \gamma}$	0.32	0.10	0.03		
$B(B \rightarrow X_s \gamma)$	13%	7%	6%		
$A_{CP}(B \rightarrow X_s \gamma)$	0.058	0.01	0.005		
$C_9$ from $A_{FB}(B \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-)$	-	11%	4%		
$C_{10}$ from $A_{FB}(B \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-)$	-	13%	4%		
$C_7/C_9$ from $A_{FB}(B \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-)$	-	-	5%	7%	
$R_K$		0.07	0.02	0.043	
$B(B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu})$	$\dagger\dagger < 3 B_{SM}$	-	30%		
$B(B^0 \rightarrow K^* \nu \bar{\nu})$	$\dagger\dagger < 40 B_{SM}$	-	35%		
<b>radiative/electroweak <math>b \rightarrow d</math> transitions</b>					
$S_{\rho\gamma}$	-	0.3	0.15		
$B(B \rightarrow X_d \gamma)$	-	24% (syst.)	-		
<b>leptonic/semileptonic B decays</b>					
$B(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu)$	$3.5\sigma$	10%	3%		
$B(B^+ \rightarrow \mu^+ \nu)$	$\dagger\dagger < 2.4 B_{SM}$	4.3 $\text{ab}^{-1}$ for $5\sigma$ discovery			
$B(B^+ \rightarrow D \tau \nu)$	-	8%	3%		
$B(B^0 \rightarrow D \tau \nu)$	-	30%	10%		
<b>LFV in <math>\tau</math> decays</b>					
$B(\tau \rightarrow \mu \gamma)$ [ $10^{-9}$ ]	45	10	5		
$B(\tau \rightarrow \mu \eta)$ [ $10^{-9}$ ]	65	5	2		
$B(\tau \rightarrow \mu \mu \mu)$ [ $10^{-9}$ ]	21	3	1		
<b>unitarity triangle parameters</b>					
$\sin 2\phi_1$	0.026	0.016	0.012	$\sim 0.02$	$\sim 0.01$
$\phi_2(\pi\pi)$	$11^\circ$	$10^\circ$	$3^\circ$	-	-
$\phi_2(\rho\pi)$	$68^\circ < \phi_2 < 95^\circ$	$3^\circ$	$1.5^\circ$	$10^\circ$	$4.5^\circ$
$\phi_2(\rho\rho)$	$62^\circ < \phi_2 < 107^\circ$	$3^\circ$	$1.5^\circ$	-	-
$\phi_2$ (combined)		$2^\circ$	$\lesssim 1^\circ$	$10^\circ$	$4.5^\circ$
$\phi_3(D^{(*)}K^{(*)})$ (Dalitz mod. ind.)	$20^\circ$	$7^\circ$	$2^\circ$	$8^\circ$	
$\phi_3(DK^{(*)})$ (ADS+GLW)	-	$16^\circ$	$5^\circ$	$5-15^\circ$	
$\phi_3(D^{(*)}\pi)$	-	$18^\circ$	$6^\circ$		
$\phi_3$ (combined)		$6^\circ$	$1.5^\circ$	$4.2^\circ$	$2.4^\circ$
$ V_{ub} $ (inclusive)	6%	5%	3%	-	-
$ V_{ub} $ (exclusive)	15%	12% (LQCD)	5% (LQCD)	-	-
$\bar{\rho}$	20.0%		3.4%		
$\bar{\eta}$	15.7%		1.7%		

Observable	Belle ( $25 \text{ fb}^{-1}$ )	Belle/SuperKEKB ( $5 \text{ ab}^{-1}$ )	LHCb <sup>†</sup> ( $2 \text{ fb}^{-1}$ ) (10 $\text{fb}^{-1}$ )	
<b><math>B_s^0</math> physics</b>				
$B(B_s \rightarrow \gamma\gamma)$	$< 8.7 \times 10^{-6}$	$0.25 \times 10^{-6}$	-	-
$\Delta\Gamma_s^{CP}/\Gamma_s$ ( $Br(B_s \rightarrow D_s^{(*)} D_s^{(*)})$ )	3%	1% (model dependency)	-	-
$\Delta\Gamma_s/\Gamma_s$ ( $B_s \rightarrow f_{CP}$ t-dependent)	-	1.2%	-	-
$\phi_s$ (with $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ etc.)	-	-	0.02	0.01
$B(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)$	-	-	6 $\text{fb}^{-1}$ for $5\sigma$ discovery	
$\phi_3(B_s \rightarrow KK)$	-	-	7-10°	
$\phi_3(B_s \rightarrow D_s K)$	-	-	13°	
<b><math>\tau</math> decays</b>				
$B(\tau(1S) \rightarrow \text{invisible})$	$< 2.5 \times 10^{-3}$	$< 2 \times 10^{-4}$		
<b>charm physics</b>				
<i>D</i> mixing parameters				
$x$	0.25%	0.12%	0.09%	0.25% <sup>††</sup>
$y$	0.16%	0.10%	0.05%	0.05% <sup>††</sup>
$\delta_{K\pi}$	$10^\circ$	$6^\circ$	$4^\circ$	
$ q/p $	0.16	0.1	0.05	
$\phi$	0.13 rad	0.08 rad	0.05 rad	
$A_D$	2.4%	1%	0.3%	
<b>new particles</b>				
$\gamma\gamma \rightarrow Z(3930) \rightarrow DD^*$		$> 3\sigma$		
$B \rightarrow KX(3872) (\rightarrow D^0 D^{*0})$		400 events		
$B \rightarrow KX(3872) (\rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-)$		1250 events		
$B \rightarrow KZ^+(4430) (\rightarrow \psi' \pi^+)$		1000 events		
$e^+ e^- \rightarrow \gamma_{\text{BSM}} Y(4260) (\rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-)$		3000 events		
<b>electroweak parameters</b>				
$\sin^2 \Theta_W$	-	$3 \times 10^{-4}$		

cf. arXiv:1002.5012, 2010.

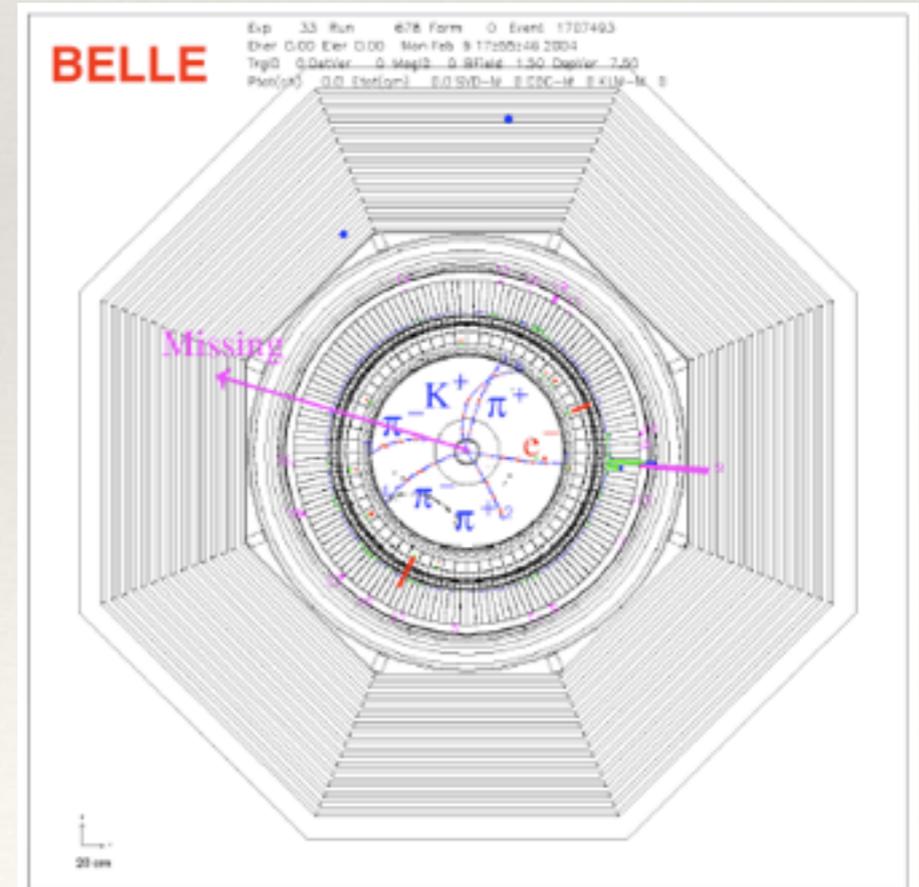
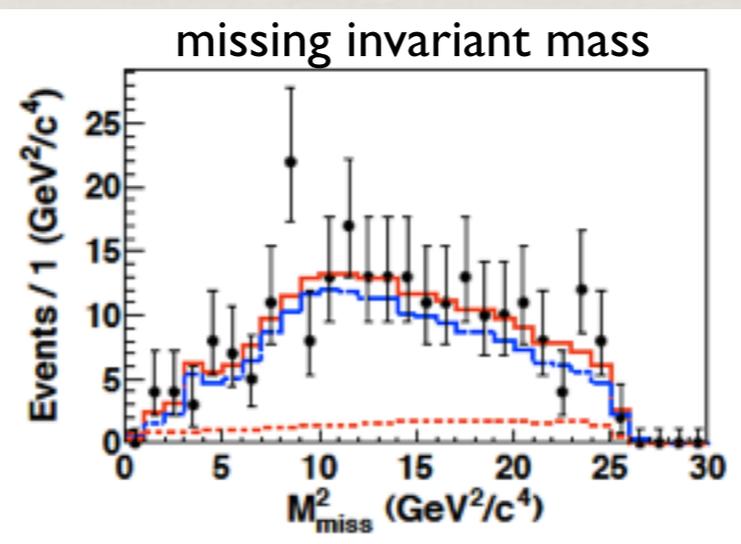
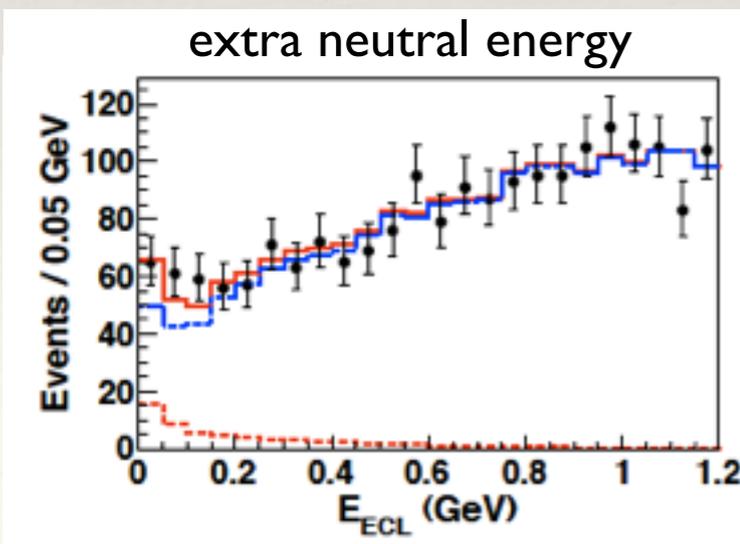
# Les atouts de Belle II



- ❖ Topologie “simple” de l’événement (w.r.t. LHCb) :  
seulement  $B_{TAG}$  and  $B_{SIG}$ .
  - ➔ **bonne capacité à étudier des désintégrations inclusives, produisant des neutres** ( $\gamma$ ,  $\pi^0$ ,  $K_L^0$ ) ou de **l’énergie manquante** ( $\nu$ ).
- ❖ Correlation quantique entre  $B_{TAG}$  et  $B_{SIG}$  (w.r.t. LHCb) :
  - ➔ **bon flavour tagging**.
- ❖ Boost réduit et particle-id améliorée (w.r.t. Belle) :
  - ➔ **meilleure acceptance**.

❖ Exemple:

**signal** :  $B^- \rightarrow \tau^- \bar{\nu} \rightarrow (e^- \nu \bar{\nu}) \bar{\nu}$     **tag** :  $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+ \rightarrow (K^+ \pi \pi^+ \pi) \pi^+$



# Les désintégrations rares

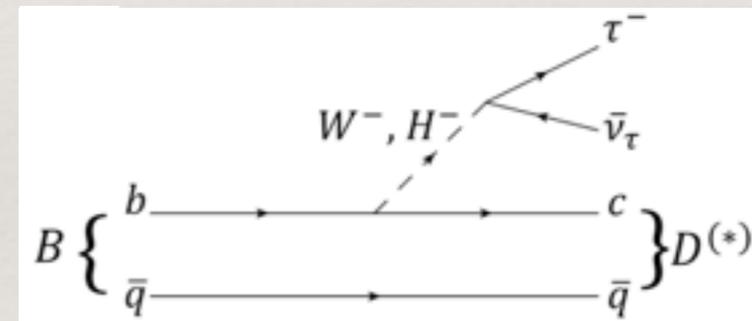
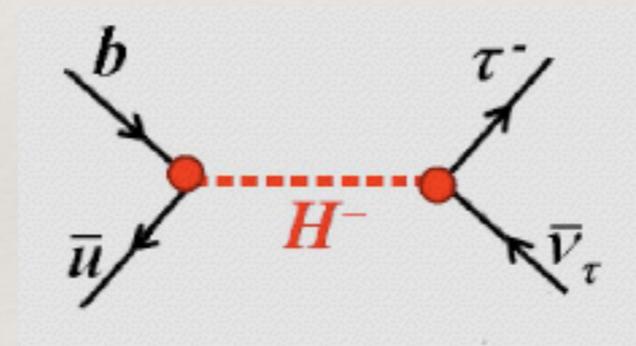
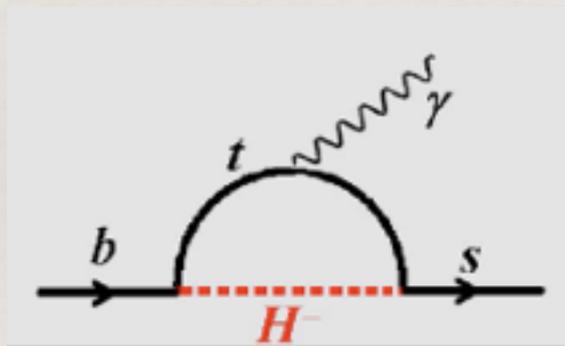
- ❖ **Rechercher des modes de désintégration fortement supprimés dans le MS**  
 → une observation est un signe inambigu de NP.

Quelques canaux en or de Belle II :

- $B^+ \rightarrow \tau^+ \nu$ ,  $B^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ ,  $B \rightarrow K^{(*)} \nu \bar{\nu}$
- $b \rightarrow s \nu \bar{\nu}$ ,  $b \rightarrow s \gamma$ ,  $b \rightarrow s \ell \ell$
- $D^0 \rightarrow \ell \ell$ ,  $D^0 \rightarrow \gamma \gamma$
- $B_s^0 \rightarrow \gamma \gamma$
- $\tau \rightarrow \ell \gamma$ ,  $\tau \rightarrow 3 \ell$

### Couplages du $H^+$ :

- $B \rightarrow \tau \nu$  : H-b-u
- $B \rightarrow D^* \tau \nu$  : H-b-c
- LHC : H-b-t

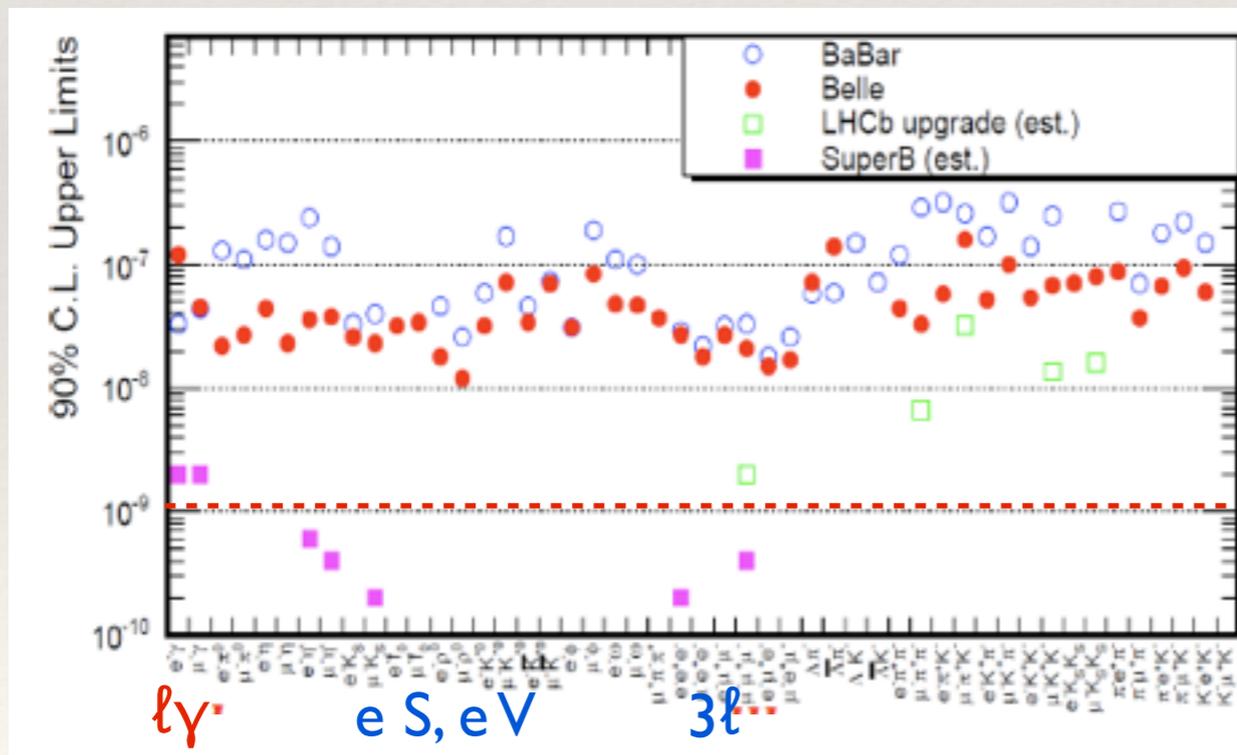
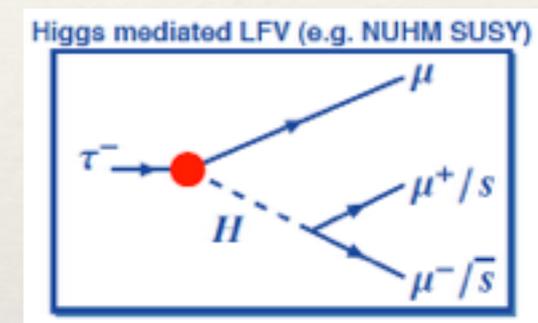
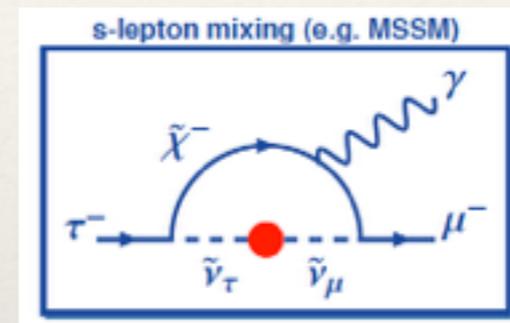
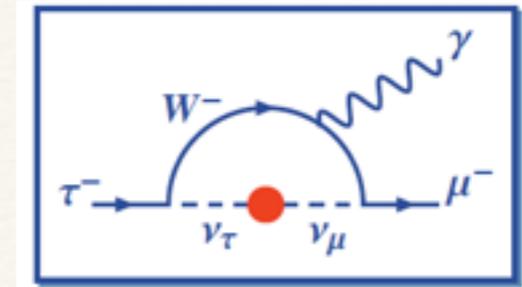


- ❖ Autre voie de recherche de NP auprès d'une usine à B:  
**mesurer des B.R. pas-si-faibles, mais très bien prédits théoriquement :**
  - $B \rightarrow D^{(*)} \tau^+ \nu$ .



# Violation de la saveur leptonique

- ❖ Dans le MS incluant les oscillations de  $\nu$  : LFV  $\sim (\Delta m_\nu^2/M_W^2)^2$ 
  - ➔ désintégrations LFV expérimentalement non observables, e.g. B.R. ( $\tau \rightarrow \ell \gamma$ )  $< 10^{-49} - 10^{-53}$ .
- ❖ Prédiction  $\sim$  QCD-free ➔ **signal non-ambigu de NP**.  
Très efficace pour contraindre l'espace des paramètres NP.  
Complémentarité avec Mu3e, COMET, MEG.
- ❖ De nombreux scénarios BSM prédisent des augmentations des B.R. à la limite de la sensibilité expérimentale  $\sim 10^{-7} - 10^{-9}$



$10^{-7}$  ← Belle : 1 ab<sup>-1</sup>, 10<sup>9</sup>  $\tau$

$10^{-8}$

$10^{-9}$  ← Belle II : 50 ab<sup>-1</sup>, 5×10<sup>10</sup>  $\tau$

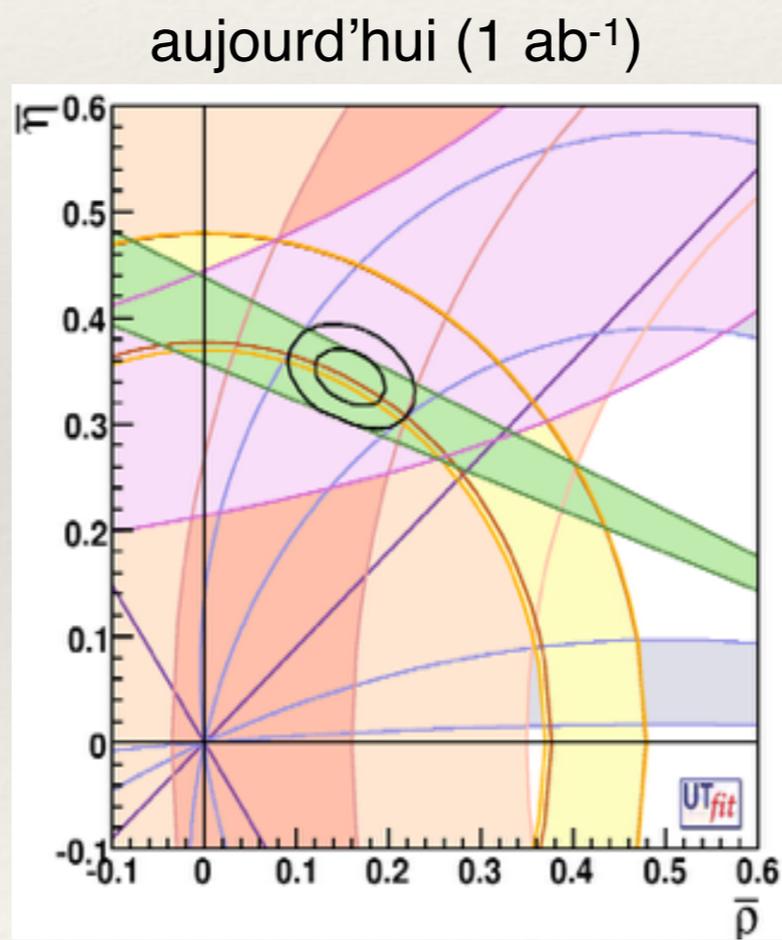
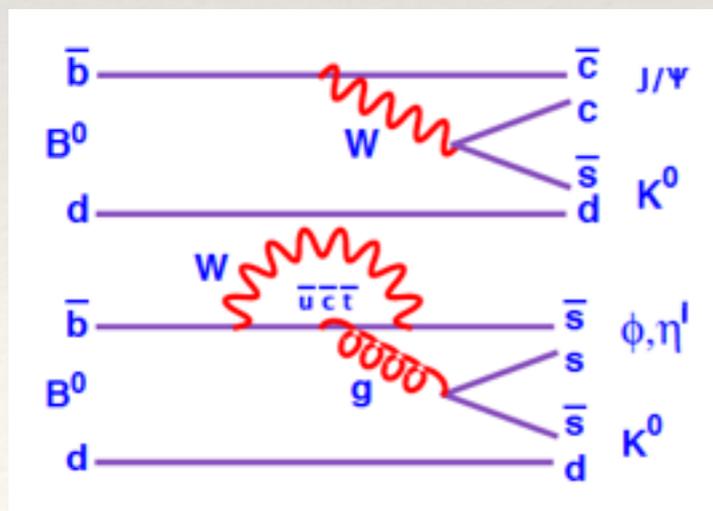
U.L.  $\sim 1/\sqrt{\text{lumi}}$

U.L.  $\sim 1/\text{lumi} \rightarrow 1/\sqrt{\text{lumi}}$

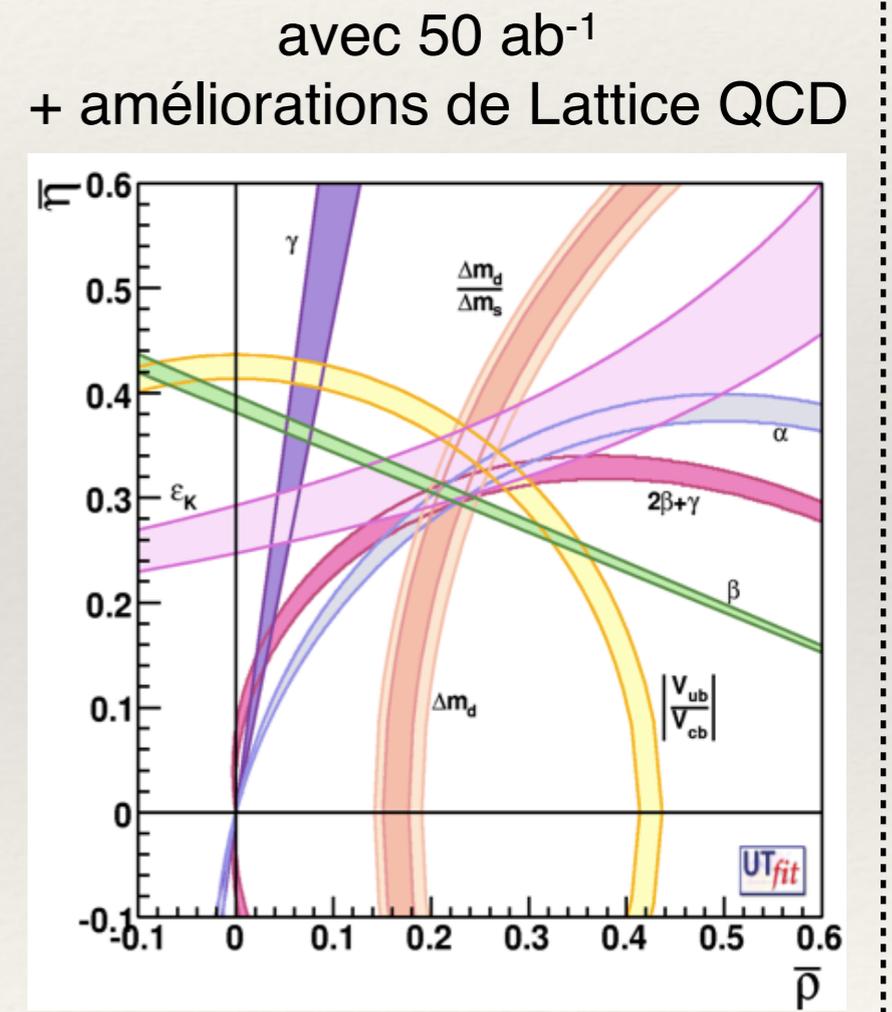
# Les triangles d'unitarité

- ❖ Amélioration de la précision globale sur CKM de  $\sim 10\% \rightarrow \sim 1\%$ :
  - ❖ Recherche d'une nouvelle source de violation de CP.
  - ❖ Limitation principale de nombreuses recherches de NP dans le secteur des saveurs :  
cf.  $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ ,  $\sin 2\beta$  vs.  $\epsilon_K$  UT fits, ...
  - ❖ Identification d'une contribution de NP : comparer contraintes des processus à l'ordre de l'arbre et boucles.

$$\begin{array}{l}
 V_{ud}^* V_{us} + V_{cd}^* V_{cs} + V_{td}^* V_{ts} = 0 \quad \lambda \lambda \lambda^5 \\
 \boxed{V_{ub}^* V_{ud} + V_{cb}^* V_{cd} + V_{tb}^* V_{td} = 0} \quad \lambda^3 \lambda^3 \lambda^3 \\
 V_{us}^* V_{ub} + V_{cs}^* V_{cb} + V_{ts}^* V_{tb} = 0 \quad \lambda^4 \lambda^2 \lambda^2 \\
 V_{ud}^* V_{td} + V_{us}^* V_{ts} + V_{ub}^* V_{tb} = 0 \quad \lambda^3 \lambda^3 \lambda^3 \\
 V_{td}^* V_{cd} + V_{ts}^* V_{cs} + V_{tb}^* V_{cb} = 0 \quad \lambda^4 \lambda^2 \lambda^2 \\
 V_{ud}^* V_{cd} + V_{us}^* V_{cs} + V_{ub}^* V_{cb} = 0 \quad \lambda \lambda \lambda^5
 \end{array}$$



$$\begin{aligned}
 \bar{\rho} &= 0.163 \pm 0.028 \\
 \bar{\eta} &= 0.344 \pm 0.016
 \end{aligned}$$

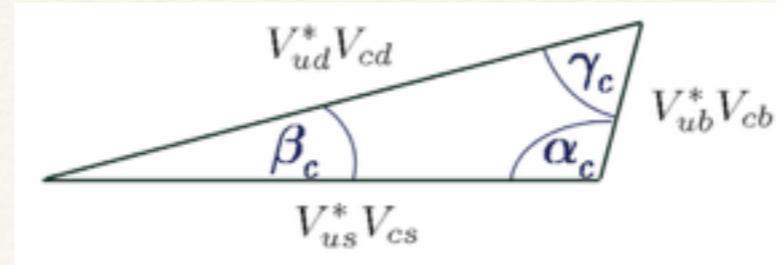


$$\begin{aligned}
 \delta \bar{\rho} / \bar{\rho} &\sim 3.4\% \\
 \delta \bar{\eta} / \bar{\eta} &\sim 1.5\%
 \end{aligned}$$

# Violation de CP dans le charme

- ❖ Mesure du UT  $cu$  :

$$V_{ud}^* V_{cd} + V_{us}^* V_{cs} + V_{ub}^* V_{cb} = 0$$

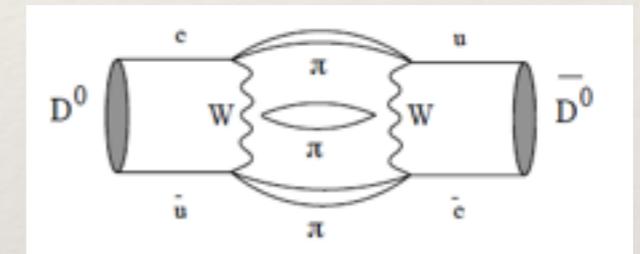


prediction du fit CKM :  
 $\beta_c = (0.0350 \pm 0.0001)^\circ$

- ❖ Mesure importante :

- ❖ Excès observé de CPV directe dans les désintégrations du  $D^0$  par LHCb en 2011 (aussi par CDF et Belle, résultats non concluants de LHCb en 2013)
- ❖ Asymétrie matière/anti-matière : phase supplémentaire de CPV nécessaire ;
- ❖ Seul système oscillant testant le couplage NP-quarks down.

- ❖ Prédiction théorique difficile : contributions à longues distances.



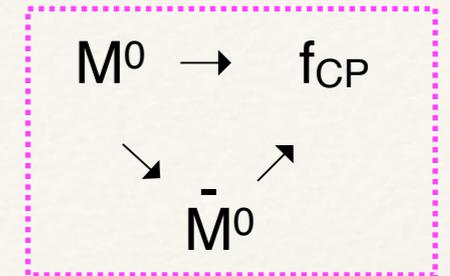
- ❖ Belle II vs. LHCb :

- ❖ LHCb : statistique supérieure mais bruit de fond plus important, efficacité de trigger moins élevée, critères de sélection et de trigger dépendant du temps.
- ❖ Belle II : résolution temporelle moins bonne (collisions avec faible boost).
  - ➔ canal intéressant pour étudier la jouvance du trajectomètre interne :
    - ❖ Analyse particulièrement sensible à la diffusion multiple.
    - ❖ Mesure nécessitant une bonne reconstruction des faibles impulsions et des vertex de désintégration des  $D^0$ .

# Recherche de NP dans les asymétries de CP (IPHC)



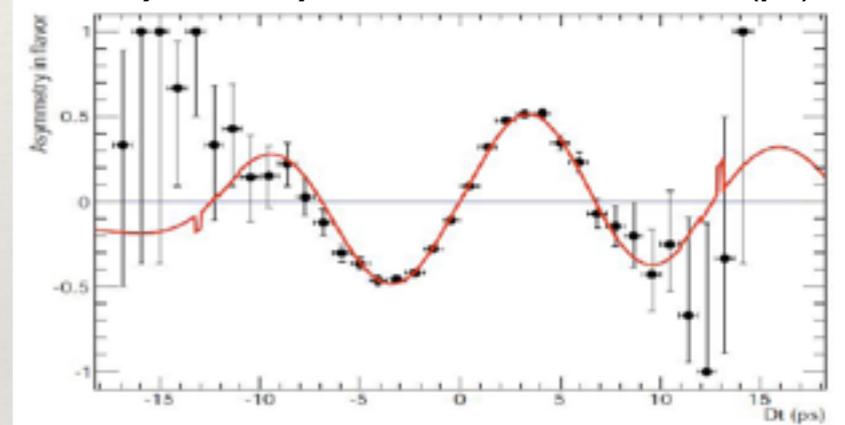
- ❖ Asymétrie de CP entre  $\Gamma(M^0 \rightarrow f_{CP})$  et  $\bar{\Gamma}(\bar{M}^0 \rightarrow f_{CP})$  en fonction du temps: CPV dans l'interférence entre désintégration et oscillation, sensible aux angles  $\beta_i$  des UT.



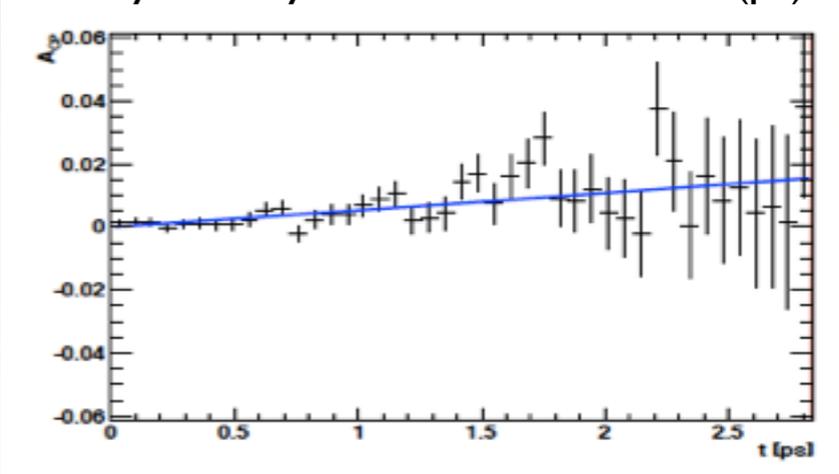
→ impact des performances du trajectomètre interne ?

- ❖  $M^0 = B^0$ :
  - ❖ Comparaison entre  $B \rightarrow J/\psi K_s$  (tree) et  $B \rightarrow \phi K_s$  (loop) → sensible à NP.
  - ❖ Mesure limitée par l'incertitude **systematique** dans Belle II.
  - ❖ Systematique principale : **résolution sur le vertex côté "tagging", reconstruit inclusivement.**
  - ❖ **Stage M2 @IPHC (N. Vololoniaina, 2014).**
- ❖  $M^0 = D^0$  (produits par le continuum):
  - ❖ Basé sur Phys.Rev. D84 (2011) 114009:  $\sin 2\beta_c$  via les mesures des désintégrations  $D^0 \rightarrow K^+K^-$  et  $D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ .
  - ❖ **Partie d'une thèse @IPHC (R. Maria, soutenance prévue 2015).**

$B^0$  asymmetry as a function of time (ps)



$D^0$  asymmetry as a function of time (ps)

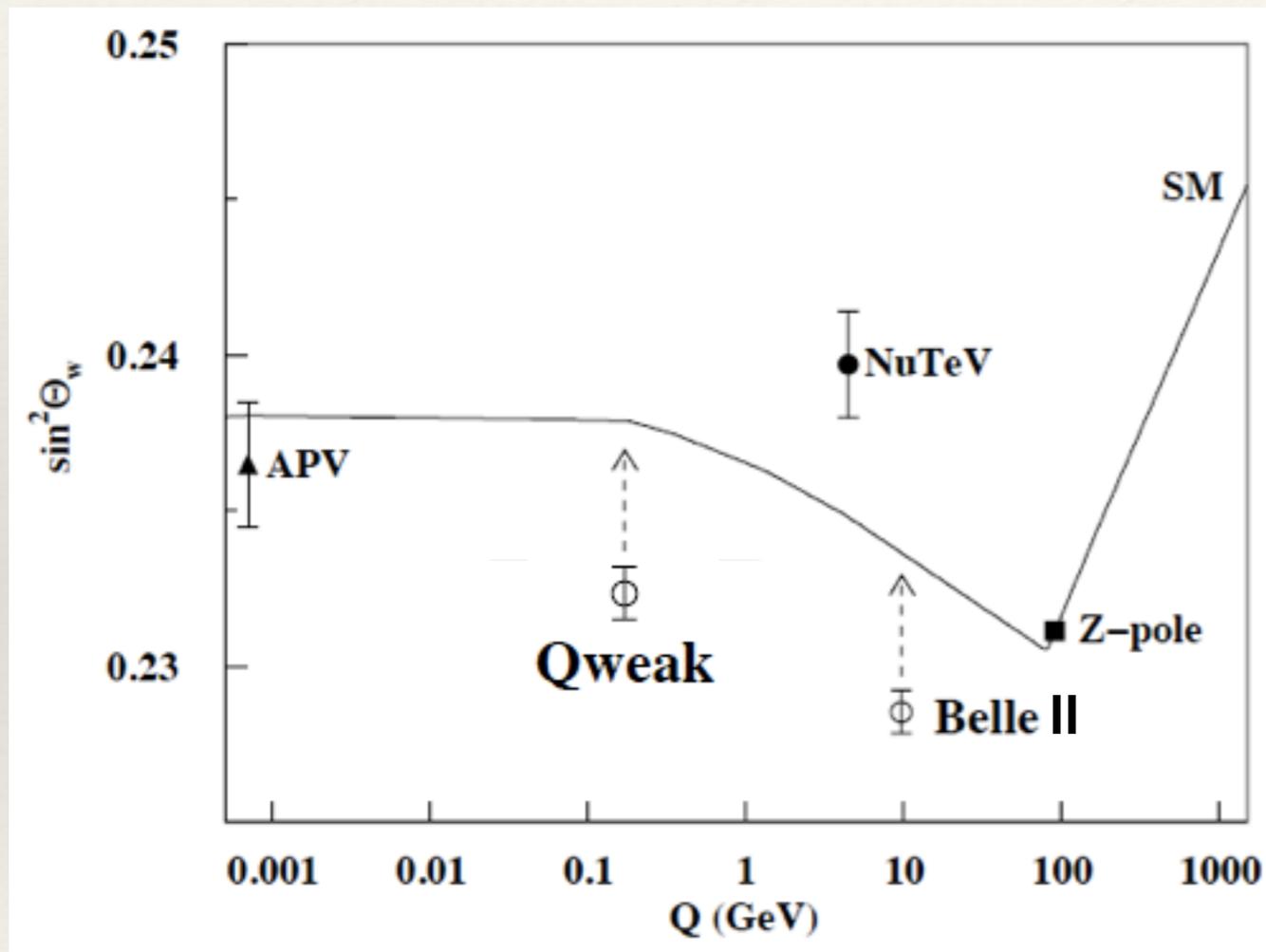


# Angle de Weinberg

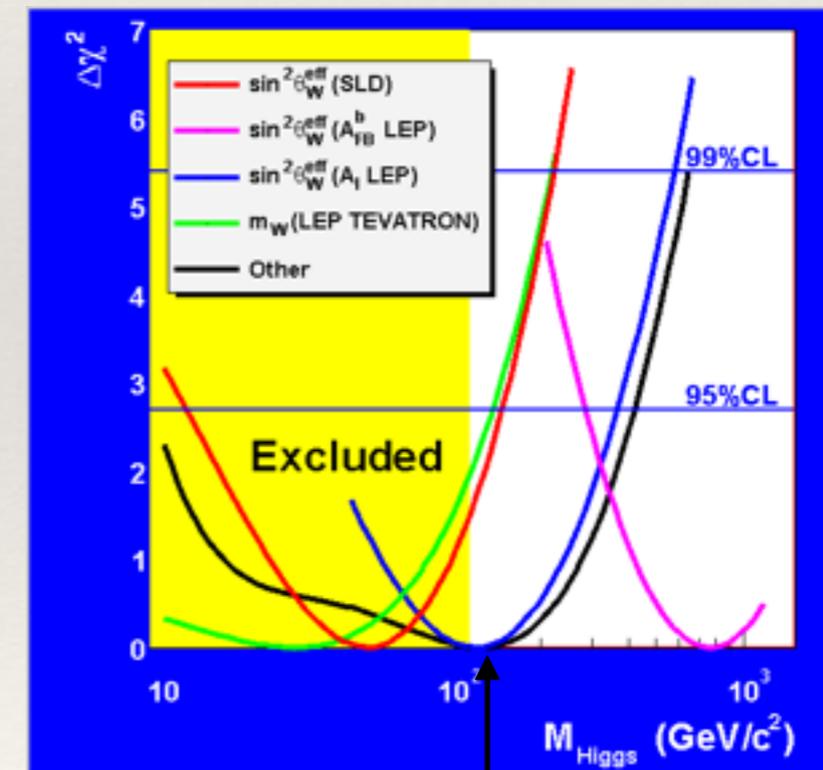
❖ Mesure de  $A_{FB}$  avec  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ :

Précision statistique attendue à Belle II avec  $10 \text{ ab}^{-1}$  :  $\delta(\sin^2\theta_W) = \pm 0.0005$

à comparer à la mesure de SLD (polarisation) :  $\sin^2\theta_W = 0.23098 \pm 0.00013$ .



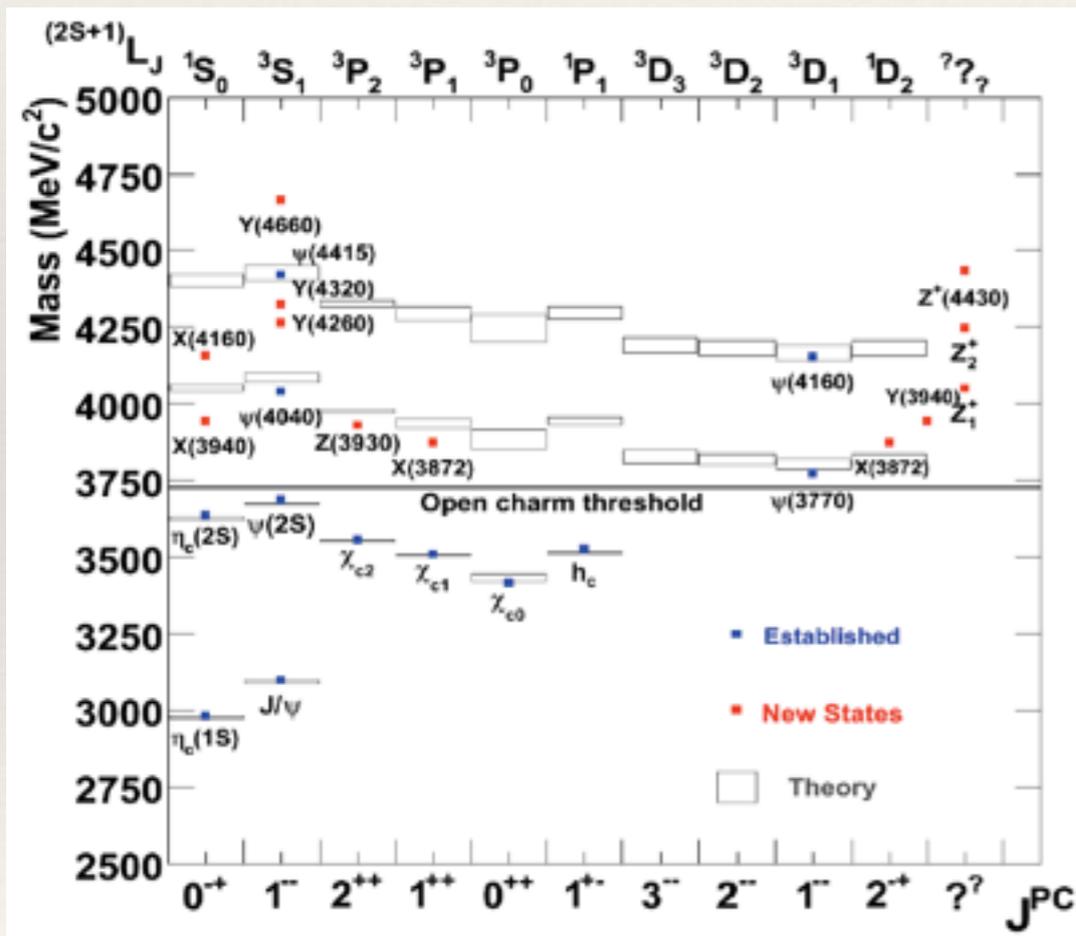
Quelle est la source des  $3.2\sigma$  observés entre les mesures de  $\sin^2\theta_W$  par  $A_{LR}$ (SLD) et par  $A_{FB}(b)$  au pôle du Z ?



$m_H \sim 125$  GeV

# Spectroscopie exotique

- ❖ De nombreux états hadroniques exotiques sont vus par différentes expériences (Tevatron, B Factories, HERA, ...) : états X, Y, Z.  
Jusqu'à présent : échec de la description théorique (molécules, ... ?).
- ❖ Avec  $50 \text{ ab}^{-1}$  dans Belle-II : on s'attend à découvrir de nouveaux états + études plus détaillées des états déjà découverts, avec de nouveaux états finals.

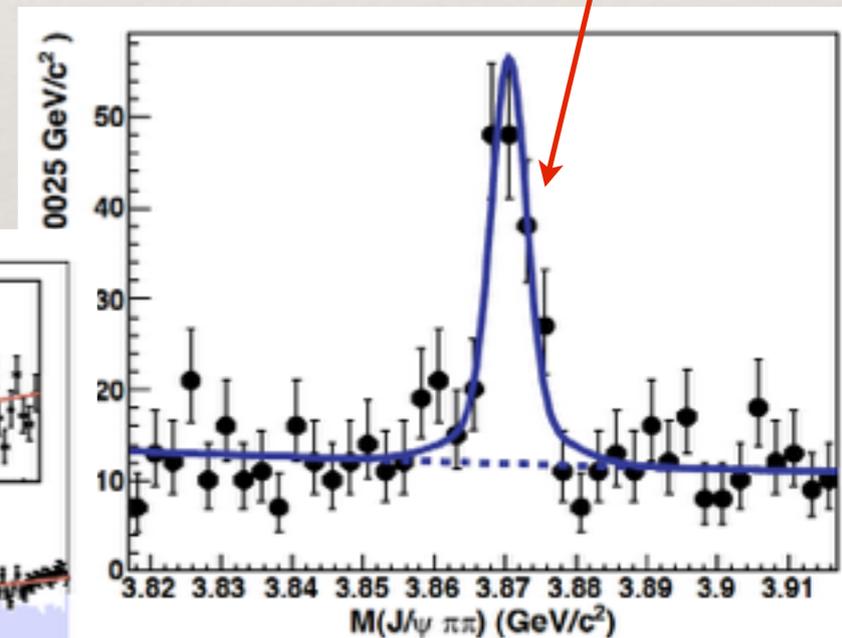
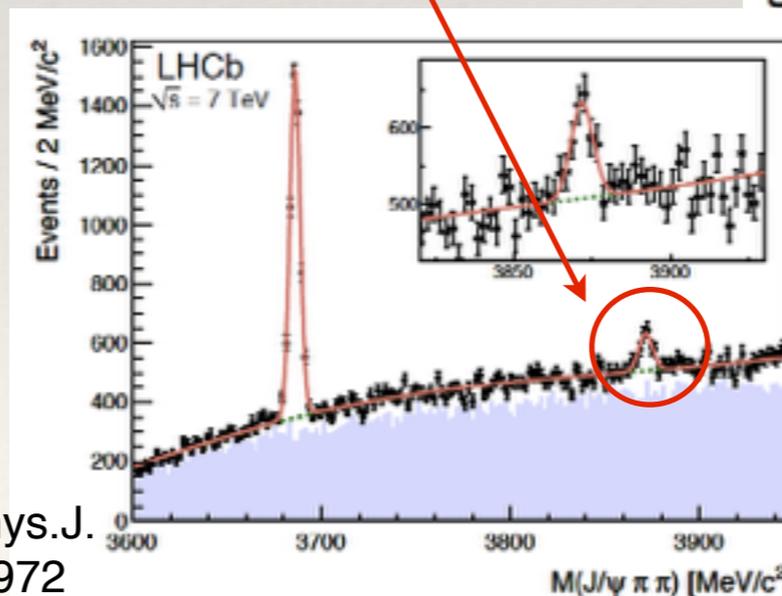


Production attendue avec  $50 \text{ ab}^{-1}$  :

- $\sim(3000-11000) B \rightarrow X(3872) K$
- $\sim 30000 Y(4260) \rightarrow J/\psi \pi^+\pi^-$
- $\sim 3000 Y(4330) \rightarrow \psi(2S) \pi^+\pi^-$
- $\sim 3000 Y(4660) \rightarrow \psi(2S) \pi^+\pi^-$

X(3872) @ B-Factory

X(3872) @ LHC



Belle : arXiv:0905.4313 (2009)

LHCb: Eur.Phys.J. C72 (2012) 1972

# Complémentarité avec LHCb



observable	current ~ 1 ab	LHCb 2017 ~ 5 fb	Belle II 2022 50 ab	LHCb upgrade 50 fb	theory
$\tau \rightarrow \mu \gamma$	yellow	yellow	green	yellow	green
$\tau \rightarrow e \gamma$	yellow	yellow	green	yellow	green
$B \rightarrow \tau \nu, \mu \nu$	yellow	red	blue	red	blue
B	red	red	green	red	green
S in B	yellow	red	green	red	yellow
S (other penguins)	yellow	yellow	green	blue	yellow
$A_{CP}$	blue	yellow	green	yellow	green
BR(B	blue	yellow	green	yellow	yellow
BR(B	yellow	red	green	red	green
BR(B	yellow	blue	$K^* e e$	$K^* \mu \mu$	yellow
$B_s$	red	blue	red	green	green
$\beta_s$	red	blue	red	green	green
$B_s$	red	red	blue	red	green
$a_{sl}$	red	blue	green	green	green
mixing param.	yellow	blue	green	green	green
CP violation	red	blue	green	green	green
sin	red	red	green	red	green
sin	green	blue	red	green	yellow
$\alpha (\phi)$	blue	blue	green	blue	yellow
$\beta (\phi)$	blue	blue	green	green	green
$B_d$	yellow	red	green	red	green
$B_s$	red	yellow	red	blue	green
$\gamma (\phi)$	yellow	blue	green	green	green
IVubl inclusive	blue	yellow	green	blue	blue
IVubl exclusive	blue	yellow	green	blue	blue
IVcbl inclusive	blue	yellow	green	blue	blue
IVcbl exclusive	blue	yellow	green	blue	blue

$\tau$  decays

$B^0, B^+$  decays

$B_s^0$  decays

Charm

Electroweak

CKM

- no results
- moderate precision
- precise
- very precise

# Conclusion



- ❖ SuperKEKB délivrera des collisions avec **la plus haute luminosité instantanée** au monde.
- ❖ SuperKEKB est **complètement financé par le Japon**, le détecteur et son opération sont financés à 50 % par le Japon et à 50 % par les pays membres de Belle II.
- ❖ Le détecteur Belle II et le complexe d'accélération SuperKEKB sont en cours de construction, sur la base de Belle et KEKB. Le **commissioning de l'expérience débutera en Janvier 2016 et la prise des données en 2018.**
- ❖ **Le rôle de Belle II sera crucial pour découvrir la physique au-delà du modèle "standardissimo" et/ou comprendre la structure de cette nouvelle physique.**
- ❖ Le programme de Belle II est **complémentaire** avec celui des expériences à la frontière de l'énergie, avec LHCb ainsi qu'avec les autres expériences à la frontière de l'intensité.
- ❖ **Le LAL-Orsay et l'IPHC-Strasbourg contribuent à la mise en route de l'expérience et à l'étude des bruits de fond du collisionneur, en connection avec des activités ILC :**
  - ➔ **ces contributions sont des précurseurs et des atouts pour une future participation à Belle II.**