

# PERSPECTIVES DU GROUP AMA ASYMÉTRIE MATIÈRE/ANTIMATIÈRE

Claudio Giganti

Biennale du LPNHE

# PERSPECTIVES DU GROUP AMA ASYMÉTRIE MATIÈRE/ANTIMATIÈRE



Claudio Giganti

Biennale du LPNHE

# PERSPECTIVES DU GROUP

## ~~AMA~~

### ASYMÉTRIE MATIÈRE/ANTIMATIÈRE



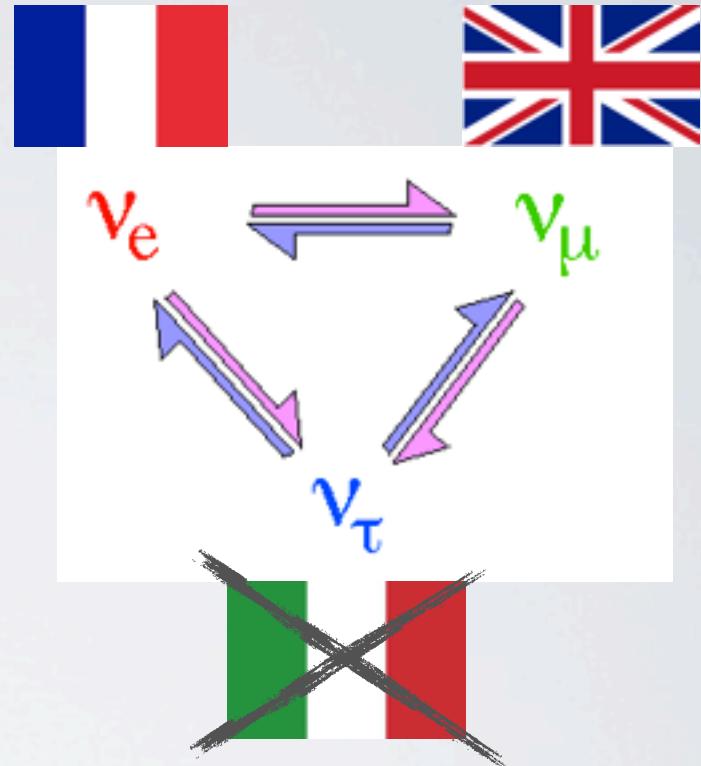
Claudio Giganti

Biennale du LPNHE

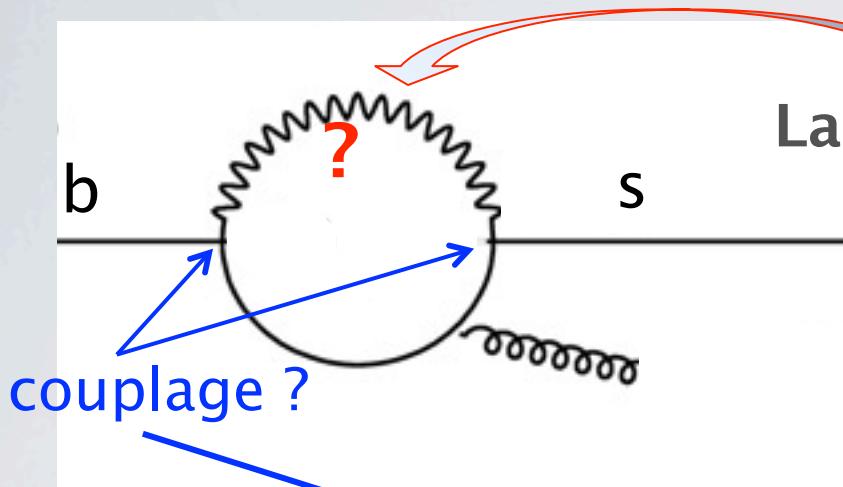
# OUTLINE

- Flavor physics:
  - LHCb
  - Physics run2 (2015-2018)
  - Upgrades (2018 → )
- Phenomenology
- Muons: COMET and g-2/EDM
- Neutrinos
  - T2K (up to ~2020)
  - WAl05 - LAGUNA
- Other ideas for the future

Sorry!/Desolé!



# ÉCHELLE D'ÉNERGIE DE NOUVELLE PHYSIQUE

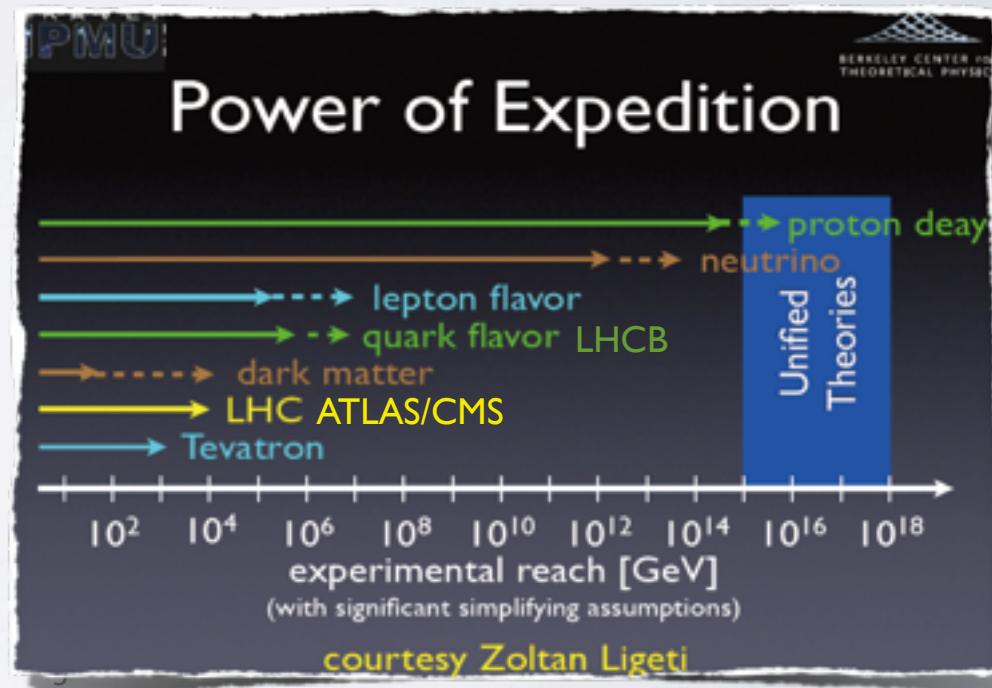


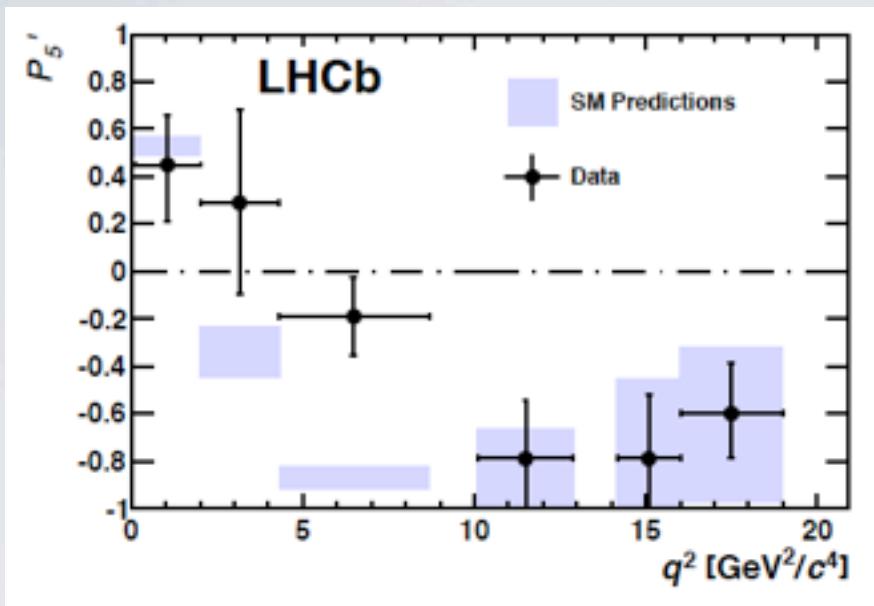
La présence d'une particule de nouvelle physique dans la boucle pourrait avoir une influence sur les observables

$$\mathcal{L}_{eff} = \mathcal{L}_{MS} + \frac{C_{NP}}{\Lambda_{NP}}$$

Echelle de nouvelle physique

Nécessite plus de statistiques pour avoir access a la NP → LHCb run2, LHCb upgrade





1/3 of stat of run1  
 → ~0.2 error on  
 the third bin

Error in third bin of  $P_5'$ :

- With  $3\text{fb}^{-1}$  (all stat. of run1)  $\Rightarrow 0.11$   
 $\rightarrow \sim 6\sigma$  deviation if central value stay the same
- With run1 + run2 we get  $8\text{fb}^{-1} \Rightarrow 0.07$   
 +possible reduction of theoretical errors  
 +possible deviations in other bins and other observables

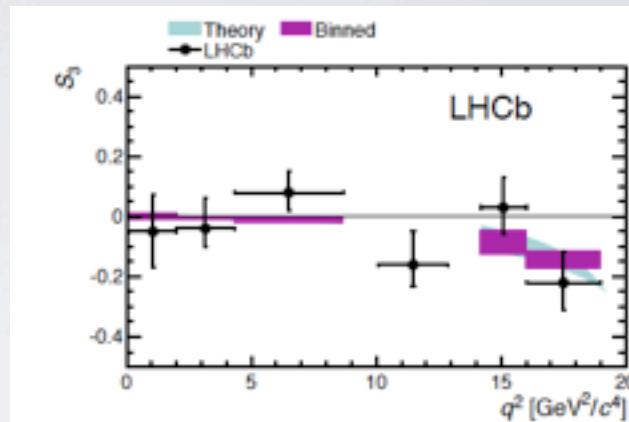
# Perspective du run2 pour $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$



- Photon polarization: Standard Model: photon almost fully left-handed in  $b \rightarrow s \gamma$

$$S_3 = \frac{1}{2}(1 - F_L) A_T^{(2)}$$

$$A_T^{(2)} = \frac{|A_{\perp}|^2 - |A_{\parallel}|^2}{|A_{\perp}|^2 + |A_{\parallel}|^2} \approx -2 \frac{A_R}{A_L}$$



Error in first bin (most sensitive to photon polarization):

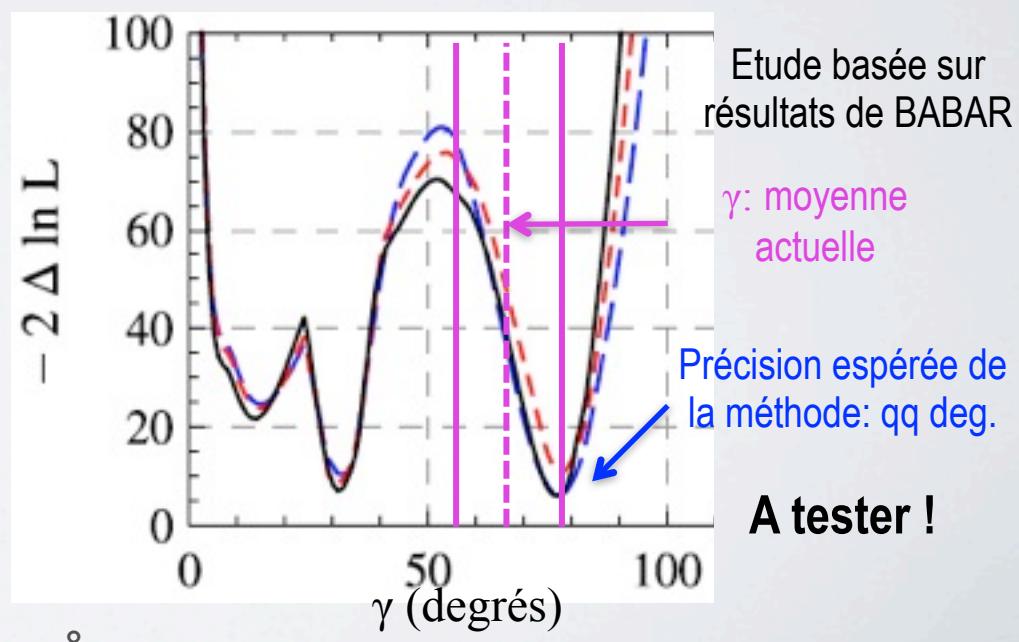
- With  $3 \text{ fb}^{-1} \rightarrow 0.04$  (approaching theoretical error...)
- After run2 ( $8 \text{ fb}^{-1}$ )  $\rightarrow 0.02$

- Plan to work with LAL for the electron channel  $B^0 \rightarrow K^* e^+ e^-$
- Experimentally more challenging: trigger, bremsstrahlung, higher background  
→ less events
- But higher sensitivity (can reach lower  $q^2$  where the photon diagram is dominant)
  - Expected same sensitivity as muon channel
  - Combining with electron channel errors reduced roughly of  $1/\sqrt{2}$

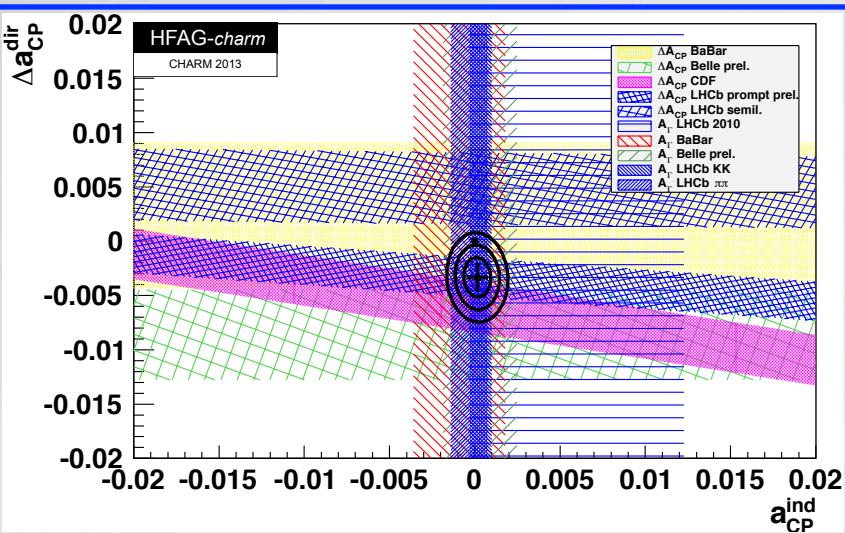
# $B^0_{d,s} \rightarrow K_S h h'$ : Présent et futur

- Nous avons commencé une analyse en amplitude (thèse de L. Henry)
- Cette analyse sera effectuée par étapes de complexité croissante :
- Dans un premier temps mesure de la structure résonante de  $B_s \rightarrow K_S h h'$  ( $3\text{fb}^{-1}$ )
- Ensuite (avant upgrade) analyse dépendant du temps dans les modes  $B_s$ , sans « tagging » de saveur, pour mesurer  $\beta_s$  en exploitant la différence de largeur  $\Delta\Gamma_s$
- Avec des données de l'upgrade des tests du modèle standard avec une analyse complète, dépendant du temps et de « tagging », pourraient être tentés

- Etude en cours basée sur SU(3) d'une méthode d'extraction de l'angle  $\gamma$  combinant les modes  $B \rightarrow K\pi\pi$  et  $B \rightarrow KKK$   
Phys. Lett. B 728 (2014) 206-209)

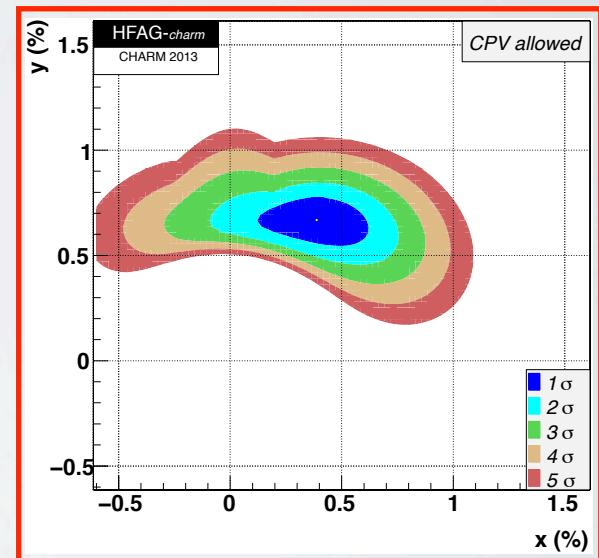


# LHCb: Charm physics plans



$\Delta A_{CP}$ : search for direct CPV in  $D^0 \rightarrow K^+ K^-$ ,  $\pi^+ \pi^-$

- ✓  $D^{*+}$ -tagged analysis [other is muon-tagged]
- ✓ Preliminary result on  $1 \text{ fb}^{-1}$
- ✓ Paper with  $3 \text{ fb}^{-1}$  planned



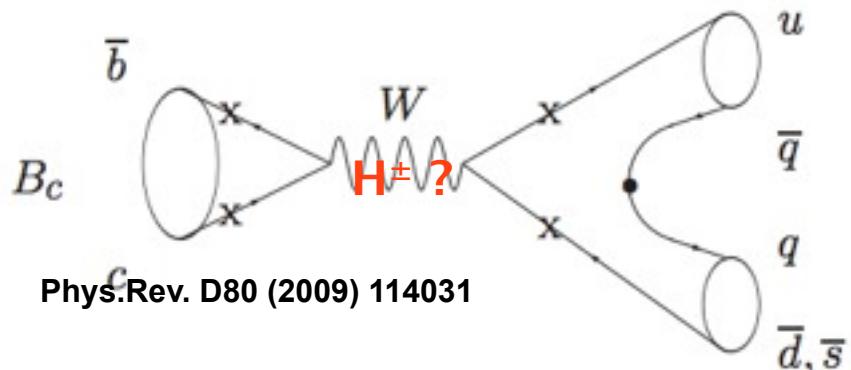
Mixing parameters ( $x,y$ ) in  $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$  with  $1 \text{ fb}^{-1}$

- ✓ Knowledge of strong phases allows us to extract ( $x,y$ ) directly, unlike 2-body modes which give  $y_{CP}$  or  $(x^2 + y^2)$
- ✓ Novel technique, no model uncertainty.
- ✓ Paper on  $1 \text{ fb}^{-1}$  in 2014.

Search for  $\Xi_{cc}$  baryon

- ✓ Search with one decay mode on  $0.65 \text{ fb}$  published end of 2013 (discussed by Mat)
- ✓ Expanded search with  $3 \text{ fb}^{-1}$ , many modes, and better selection in progress.  
Much better sensitivity, real chance of discovery

# Désintégrations du méson $B_c$ sans particule charmée



- Grands échantillons de données nécessaires.
- Expected  $< 100 B_c \rightarrow K_s K^+$  decays for 10/fb at LHCb

- Terrain de jeu intéressant pour la recherche de nouvelle physique!
  - Processus similaire à  $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$  (en tension avec le MS, cf. Babar).
- Le groupe du LPNHE a été pionnier dans la recherche de ces modes, publié 1/fb 2011 (état final  $K_s K^+$ ) Phys.Lett. B726 (2013) 646-655.
- Moyen term
  - Avec les données de Run I+Run2 : Recherche du signal significatif de canaux comme  $K^{*0} K^+$  and  $K_s K^+$ .
- Long term
  - Après l'upgrade: Analyse permettant de sonder la nature angulaire du boson intermédiaire. Analyse angulaire d'états finals V-V (e.g.  $B_c \rightarrow K_1(1270) K^*(892)$  )

$$\frac{f_c}{f_u} \cdot \frac{\mathcal{B}(B_c^+ \rightarrow K_s^0 K^+)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K_s^0 \pi^+)} < 5.8 \times 10^{-2} \text{ at 90\% confidence level}$$

# LHCb upgrade: pourquoi?

- Des déviations par rapport au prédictions du Modèle Standard sont toujours attendues, mais elles devraient être petite  $O(1 \text{ à } 10\%)$ .
- L'observation d'un boson de Higgs à 125 GeV ouvre la porte à des processus au-delà du Modèle Standard à des échelles de masse  $\gg \text{TeV}$ .
- Dans ce contexte, où nous ne savons pas où aller, la seule stratégie expérimentale est de mesurer le plus précisément possible les observables ayant peu d'incertitudes théoriques.
- C'est la motivation pour l'upgrade de LHCb.

Run1 → 3 fb<sup>-1</sup>      Run2 → 5 fb<sup>-1</sup>      Upgrade → 50 fb<sup>-1</sup>

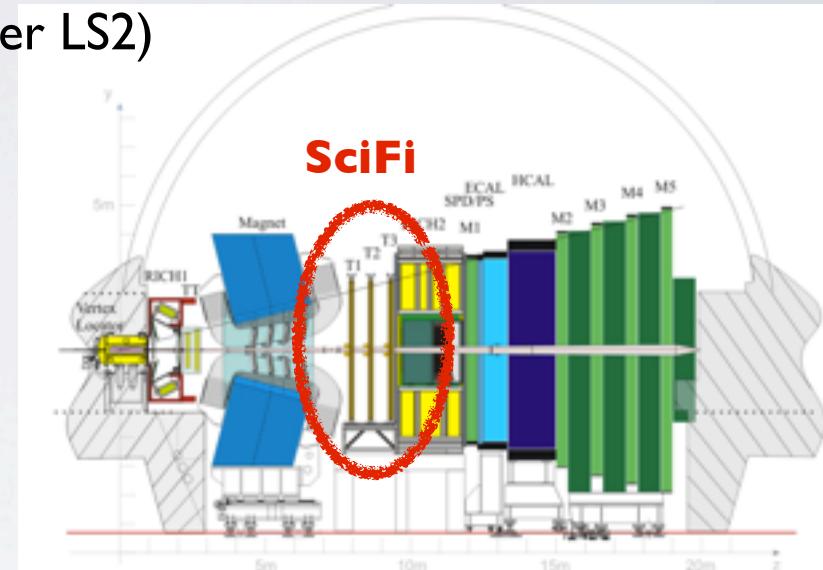
LHCb upgrade (outlook).

Type	Observable	LHC Run 1	LHCb 2018	LHCb upgrade	Theory
$B_s^0$ mixing	$\phi_s(B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi)$ (rad)	0.05	0.025	<b>0.009</b>	~ 0.003
	$\phi_s(B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980))$ (rad)	0.09	0.05	<b>0.016</b>	~ 0.01
	$A_{sl}(B_s^0)$ ( $10^{-3}$ )	2.8	1.4	<b>0.5</b>	0.03
Gluonic penguin	$\phi^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\phi)$ (rad)	0.18	0.12	<b>0.026</b>	0.02
	$\phi_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow K^{*0}\bar{K}^{*0})$ (rad)	0.19	0.13	<b>0.029</b>	< 0.02
Right-handed currents	$2\beta^{\text{eff}}(B^0 \rightarrow \phi K_S^0)$ (rad)	0.30	0.20	<b>0.04</b>	0.02
	$\phi_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)$	0.20	0.13	<b>0.030</b>	< 0.01
	$\tau^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)/\tau_{B_s^0}$	5%	3.2%	<b>0.8%</b>	0.2 %
Electroweak penguin	$S_3(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-; 1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2/c^4)$	0.04	0.020	<b>0.007</b>	0.02
	$q_0^2 A_{FB}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	10%	5%	<b>1.9%</b>	~ 7%
	$A_1(K\mu^+\mu^-; 1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2/c^4)$	0.14	0.07	<b>0.024</b>	~ 0.02
Higgs penguin	$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \pi^+\mu^+\mu^-)/\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+\mu^+\mu^-)$	14%	7%	<b>2.4%</b>	~ 10%
	$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-) (10^{-9})$	1.0	0.5	<b>0.19</b>	0.3
	$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)/\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$	220%	110%	<b>40%</b>	~ 5 %
Unitarity triangle angles	$\gamma(B \rightarrow D^{(*)}K^{(*)})$	7°	4°	<b>1.1°</b>	negligible
	$\gamma(B_s^0 \rightarrow D_s^\mp K^\pm)$	17°	11°	<b>2.4°</b>	negligible
Charm CP violation	$\beta(B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)$	1.7°	0.8°	<b>0.31°</b>	negligible
	$A_\Gamma(D^0 \rightarrow K^+K^-) (10^{-4})$	3.4	2.2	<b>0.5</b>	—
	$\Delta A_{CP} (10^{-3})$	0.8	0.5	<b>0.12</b>	—

# Upgrade de LHCb

- Running conditions implies higher occupancies and radiation doses
- Replace/overhaul several subdetectors: VeloPixel, **Trackers** (UT, SciFi), RICH
- Replace readout electronics → 40 MHz instead of 1 MHz
- Collect 50 fb<sup>-1</sup> over 10 years (from 2019, after LS2)

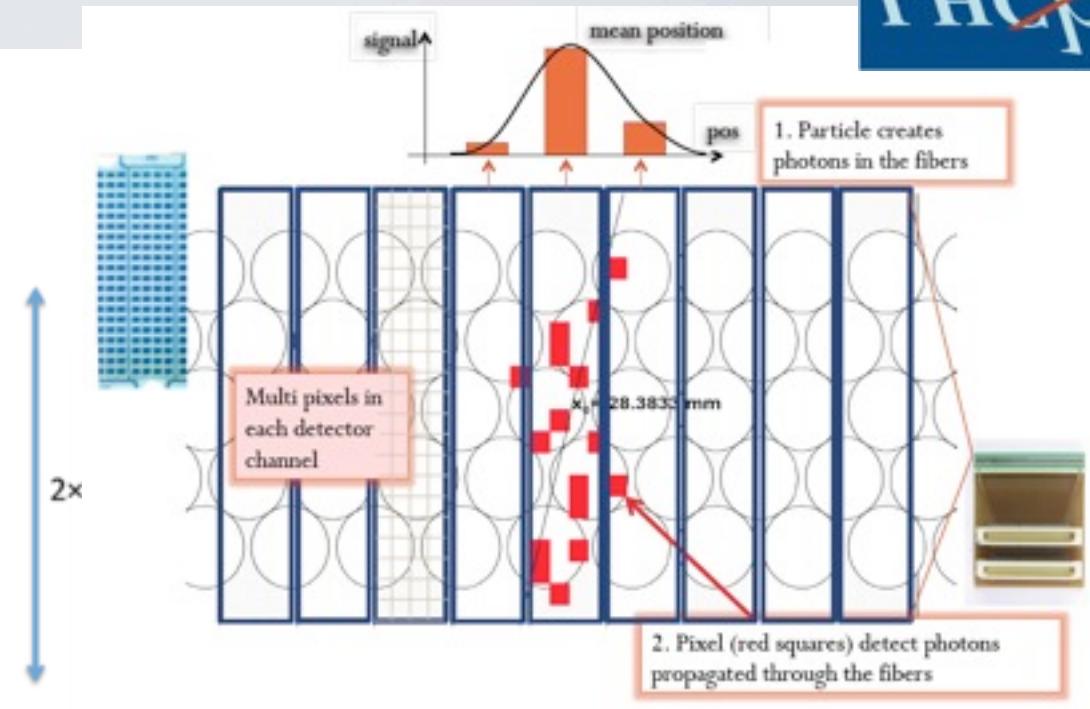
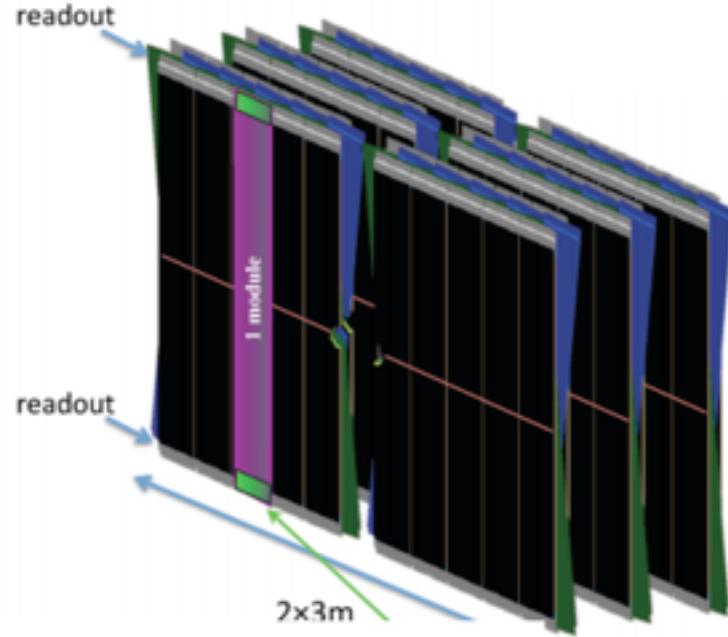
	2012	Upgrade
bunch spacing	50 ns	25 ns
$\sqrt{s}$	8 TeV	14 TeV
$\mathcal{L}$	$4 \times 10^{32}$	$2 \times 10^{33}$
Pile-up	1.7	2.7



## LPNHE

- Nous avons rejoint la collaboration SciFi pendant l'été 2013.
- Nous avons contribué au TDR SciFi (submitted at LHCC in March) dans les sections électronique et software de simulation et à deux notes publiques: sur la géométrie (LHCb-PUB-2014-005) et sur l'algorithme de reconstruction « standalone » (LHCb-PUB-2014-002).
- Notre projet d'électronique est sous réserve d'approbation du CS du LPNHE en Juillet.

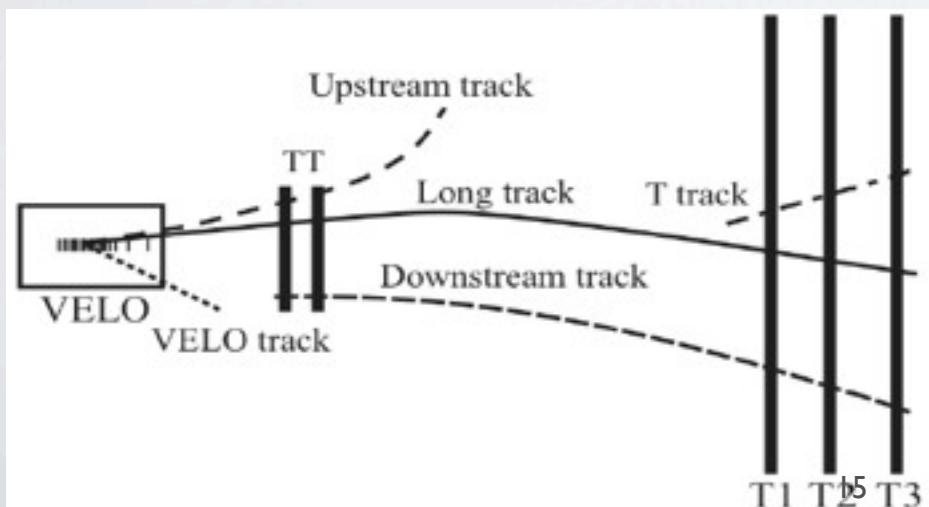
# SciFi: Scintillating Fiber Tracker



- ✓ Tracking system has to be changed to resist to high expected radiation
- ✓ 3 station, each station with four layers: x, u, v, x
- ✓ 250 $\mu$ m diameter scintillating fibers, 2.5m long, arranged in multiple layers
- ✓ Whole acceptance covered
- ✓ mirror at the center (beam pipe height) to collect reflected light
- ✓ Dead material in the acceptance minimized through readout at borders
- ✓ Multi-channel Silicon photo-multipliers (SiPM 128 channels in a 32mm array), 40MHz front-end electronics

# Activités software

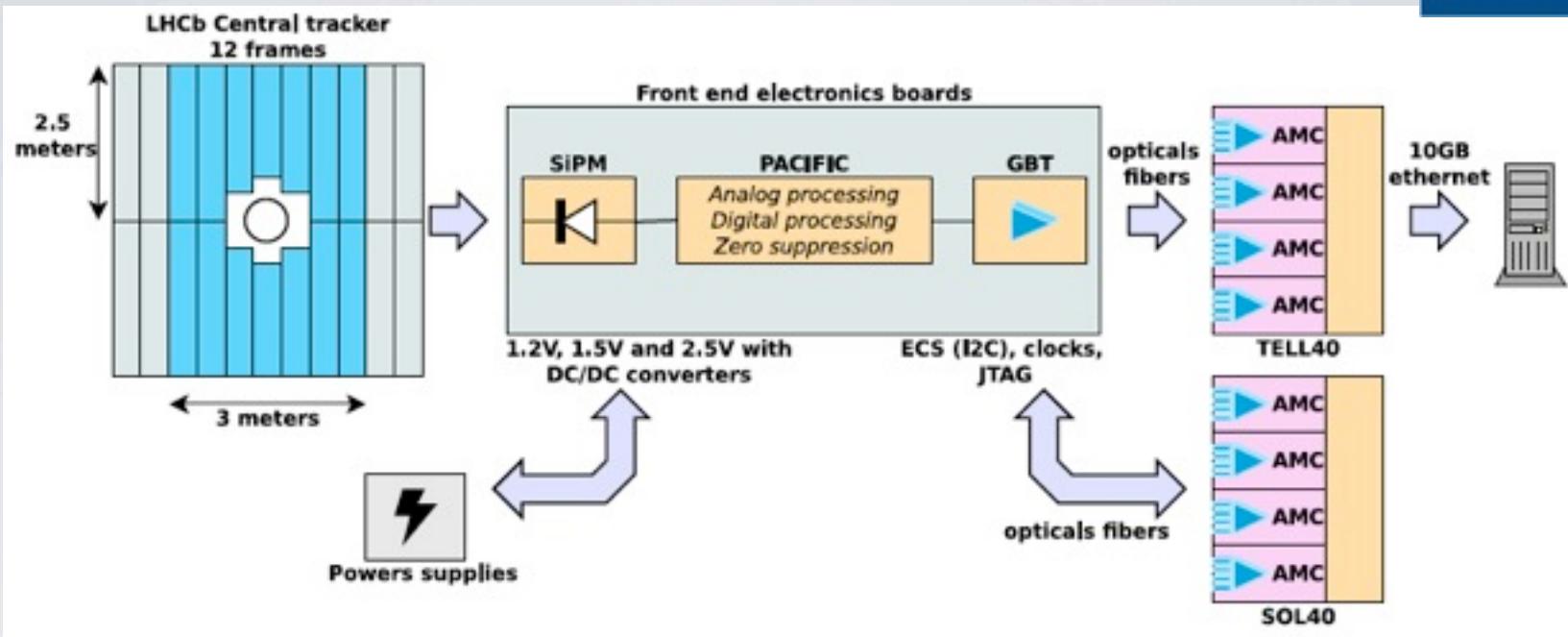
- ✓ Implémentation de la géométrie du détecteur pour la simulation et la reconstruction.
- Toujours en évolution dans cette phase de projet.
- Maintenance du package FTDet prise en charge par le LPNHE.
- ✓ « Stand alone tracking »:
- Reconstruit les traces seulement avec les hits dans le SciFi (no velo, no UT)
- Nécessaire, par exemple, pour la reconstruction des  $K_S$
- Implémentation et études de ses performances
- Adaptation pour calcul parallèle et calcul sur GPU dans le cadre du trigger (demande ANR LPaSo: LHC Parallel Software)



## Tracking requirements:

- High momentum resolution [ $\sigma(\mathbf{p})/\mathbf{p} = 4 \times 10^{-3}$  at 5 GeV/c]
- High IP resolution [20  $\mu\text{m}$  at high  $\mathbf{p}_T$ ]
- High track efficiency [96% for long tracks]
- Low ghost rate [ $\sim 10\%$ ]
- Fast pattern recognition

# Projet d'électronique au LPNHE



- Prise en charge de 50% des cartes « backend » TELL40 pour SciFi
- Déploiement du firmware
- Développement d'un firmware spécifique si nécessaire
- Olivier Le Dortz responsable de l'acquisition SciFi pour LHCb
- Sous réserve d'approbation du conseil scientifique du LPNHE de Juillet  
→ si positif il faudra renforcer le support des service techniques (besoins en électronique et informatique)

# Phenomenologie des saveurs: perspectives

Desintegrations hadroniques à trois corps des mésons lourds B et D

## Motivations

- données haute statistique (Belle & BABAR), nouvelles données (LHCb) et données à venir (Belle II)
- Test MS & QCD: Matrice CKM, Triangle Unitarité, CPV (phase faibles et fortes) , Melange
- Interactions fortes méson-méson: constantes de désintégration, facteurs de forme scalaires et vectoriels - Résonances

## Perspectives à court terme

→ Amplitude  $D^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$

factorisation quasi deux-corps en QCD données diagramme de Dalitz (BABAR -- PRL 105, 081803 (2010))

à plus long term

Processus	Publication LHCb	Avantages
$D^0 \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$	arXiv: 1402.2982 [hep-ex]	Notre travail : publié $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$ en cours $D^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$
$D^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^+$	PL <b>B728</b> , 585 (2014)	Notre travail publié PRD <b>79</b> , 034020 (2009)
$B^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^\pm$	PRL <b>112</b> , 011801 (2014)	Notre travail publié APPB <b>42</b> , 2013 (2011)
$B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$	"	Travail à réaliser
$B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$	JHEP 10, 143 (2013)	Notre travail publié PRD <b>79</b> , 094005 (2009)
$B^0 \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$	"	Travail à réaliser
$\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$	arXiv: 1402.6248 [hep-ex]	Notre travail publié PRD <b>82</b> , 076006 (2010) : $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ & $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$

# PHYSIQUE AU-DELÀ DU MODÈLE STANDARD AVEC DES MUONS G-2/EDM ET COMET À JPARC

- Violation du nombre leptonique:
  - Conservé dans le MS, violé dans la plupart des modèles de NP
  - $\mu \rightarrow e$  : COMET, MEG, Mu2e
- Moment magnétique anomal du muon  $\rightarrow g-2/\text{EDM}$ :
  - Déviation du MS supérieure à 3 sigma toujours inexpliquée (E821, Brookhaven) :

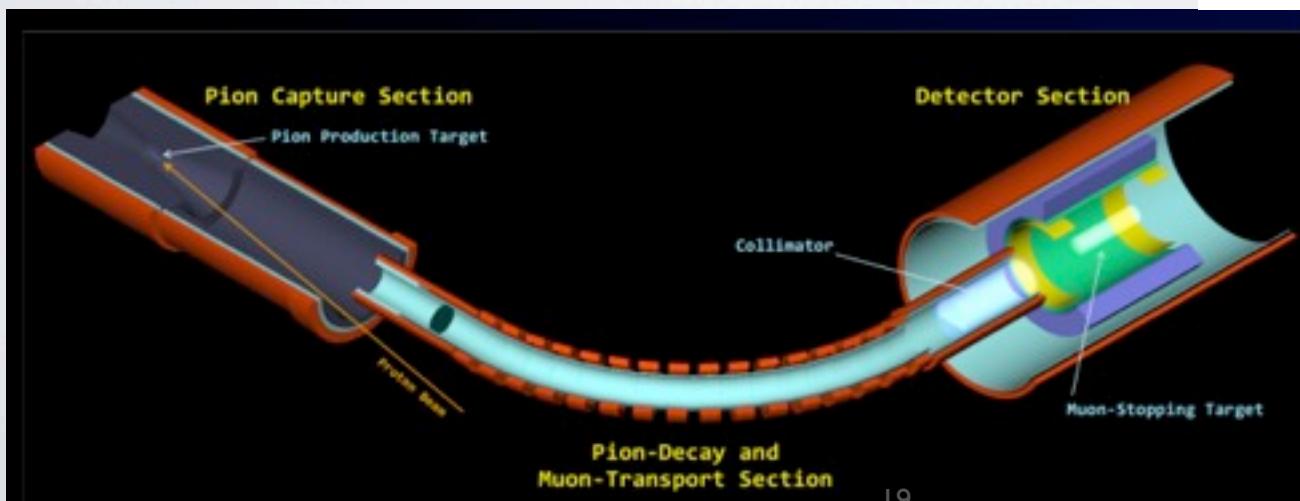
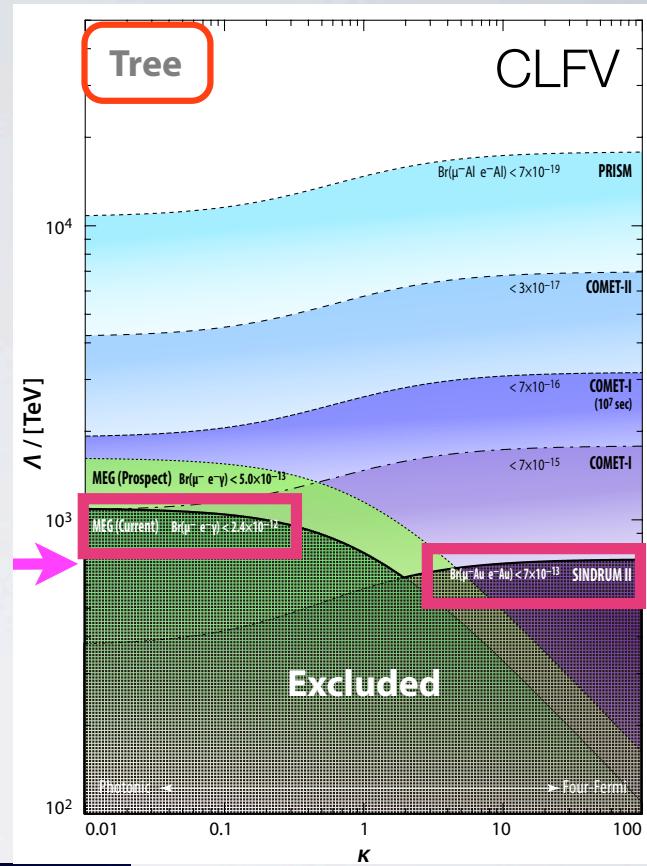
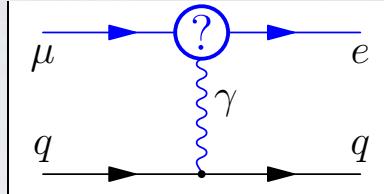
$$a_\mu = \frac{(g-2)_\mu}{2} \qquad a_\mu^{\text{exp}} - a_\mu^{\text{SM}} = (39.4 \pm 8.5) \times 10^{-10}$$

# COMET

- $\mu \rightarrow e$  conversion

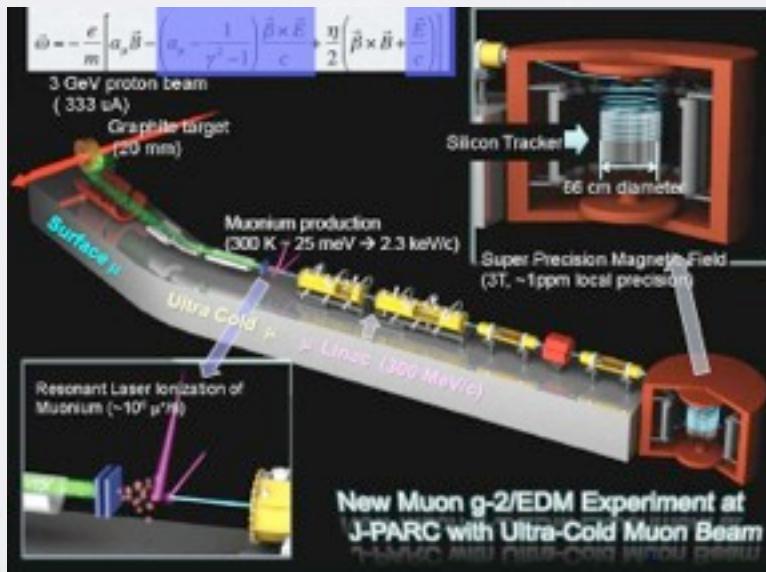
- J-PARC: Approved in 2012 (JFY)

- Use a pulsed proton beam to produce a pulsed high intensity muon beam of  $\sim 10^{11}$   $\mu/\text{s}$  (today PSI intensity  $10^8 \mu/\text{s}$ )



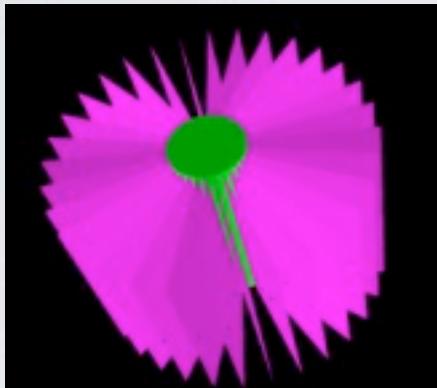
# G-2/EDM

- Mesure de  $a_\mu \rightarrow$  currently there is a  $\sim 3.3 \sigma$  tension between theory and experiments
- Theory and experiments errors have similar size  $\rightarrow$  new experiments are needed + need to reduce the theoretical error
- g-2/EDM: experiment approved at J-PARC to measure  $a_\mu$  with an increased precision

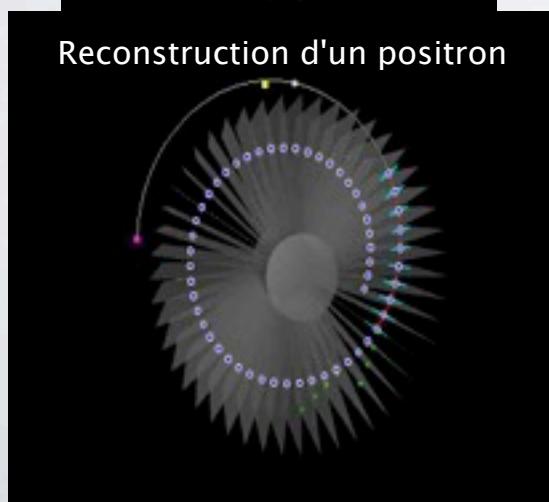


Participation du groupe Muon du LPNHE approuvée par la Collaboration g-2/EDM en 2011

- Simulation et « tracking »
- Caractérisation du détecteur.

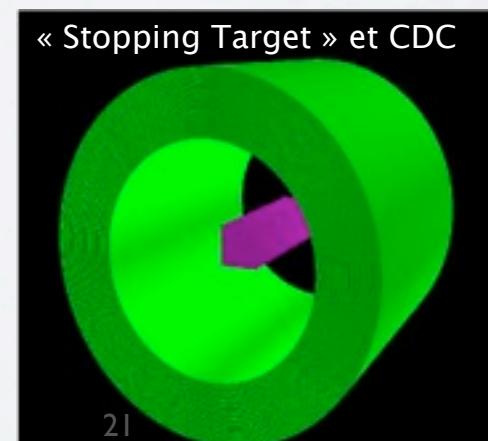


Reconstruction d'un positron

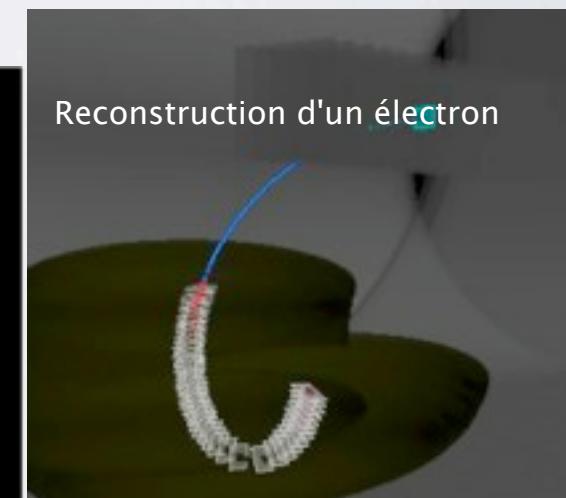


Participation du Groupe Muon du LPNHE approuvée par la Collaboration COMET en décembre 2012

- Simulation et « tracking »
- Caractérisation d'une cible active d'arrêt de muons en Si et de mesure de faisceau.



« Stopping Target » et CDC



## 2nd Workshop on Muon g-2 and EDM in the LHC Era

2012 May 25 LPNHE Paris  
1222RC08

This Workshop is aiming at getting all theoreticians, experimentalists and engineers involved or interested in the preparation of the g-2/EDM at JPARC experiment. Presentations of the current status and the ongoing activities will update the French nuclear and particle physics community. It will also review the activities of the already existing and growing g-2/EDM French collaboration.

The impact of muon g-2 and EDM measurements will be reviewed in the context of the narrowing of the space for New Physics by the LHC experimental results.



Chaired by  
W. da Silva,  
F. Kapusta,  
T. Mibe,  
N. Saito

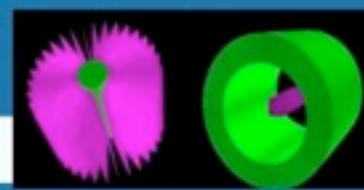
Local Organization

W. da Silva  
J. David  
J.F. Genat  
F. Kapusta  
M. Knecht  
L. Marquet

<http://indico.in2p3.fr/conferenceDisplay.py?confId=6637>



## Réunions de Collaboration et Workshops organisés au LPNHE



Workshop on silicon detectors for  
g-2/EDM/COMET experiments

20-21 février 2014  
LPNHE Paris  
Salle Pauli-Poincaré

Overview  
Agenda  
Timetable  
Registration  
[L. Registration Form](#)  
List of registrants  
Access to LPNHE



Démarre 20 févr. 2014 09:00  
Fin 21 févr. 2014 19:00  
Europe/Paris



En cours avec le soutien de l'IN2P3 à travers les accords FJPPL (2014 : fin mai à Bordeaux).

- COMET : Simulations pour le moniteur d'extinction de faisceau. Muon stopping active target ( Silicon Pixel Layers Active Stopping Hodoscope ) : simulations et test des pixels d'ATLAS à JPARC. Participation à la mise en place du Framework ICEDUST(Integrated Comet Experiment Data User Software Toolkit) avec les collègues d'Imperial College London.

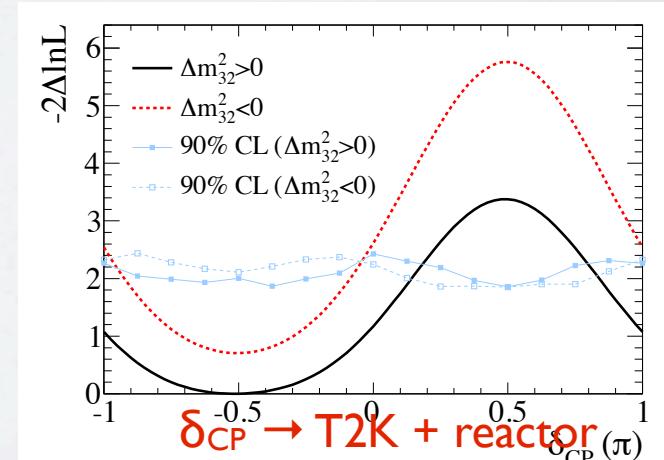
- g-2/EDM : Design des structures de support et alignement. Développement des outils de « tracking » en phase avec ICEDUST/GENFIT. Cartes de champ dépendantes du temps dans GEANT4. Simulations avec utilisation de la grille au CC-IN2P3 :VO France Asia avec iRODS.

- théoriciens français intéressés par g-2 et cLFV (BSM, Cosmologie, GdR Terascale)

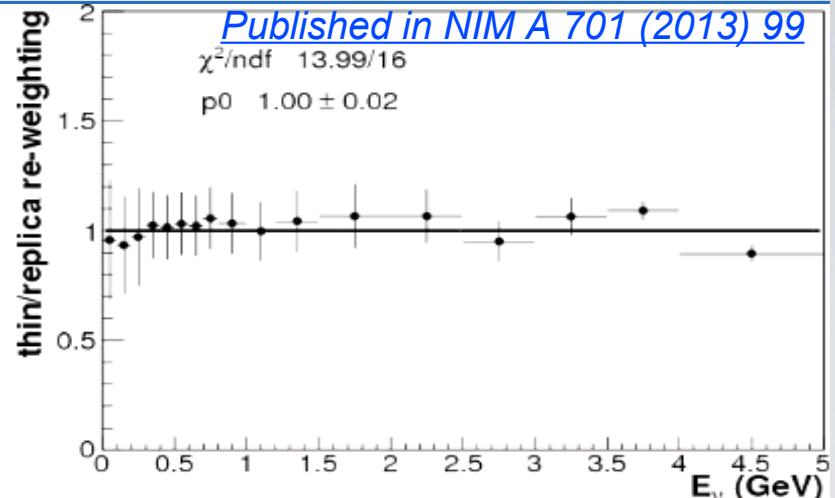
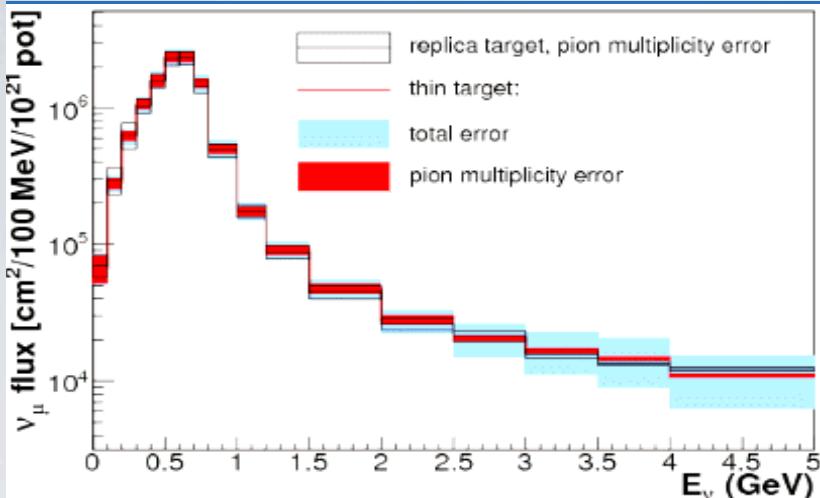
# NEUTRINO PHYSICS

# Neutrino physics: the knowns and the unknowns

- ✓ Neutrino physics is the only field in particle physics in which we are still missing some fundamental parameters
  - ✓ The main goal is not to look for new physics but to measure some fundamental parameters (mass, hierarchy, CPV, Majorana or Dirac)
- ✓ In the last years one of these parameters ( $\theta_{13}$ ) was measured
  - ✓ Daya Bay, RENO → Observed ( $>5\sigma$ )  $\nu_e$  disappearance from reactor
  - ✓ T2K → Observed ( $>5\sigma$ )  $\nu_e$  appearance from accelerator  $\nu_\mu$  beam
- ✓ All the mixing angles in the PMNS matrix are large and different from 0
- ✓ Next generation of long baseline neutrino oscillation experiments with clearly defined physics goals:
  - ✓ Measurement of CP violation phase  $\delta_{CP}$
  - ✓ Determination of the mass hierarchy ( $\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$  or  $\nu_2 > \nu_1 > \nu_3$ )



# T2K perspectives: systematics reduction



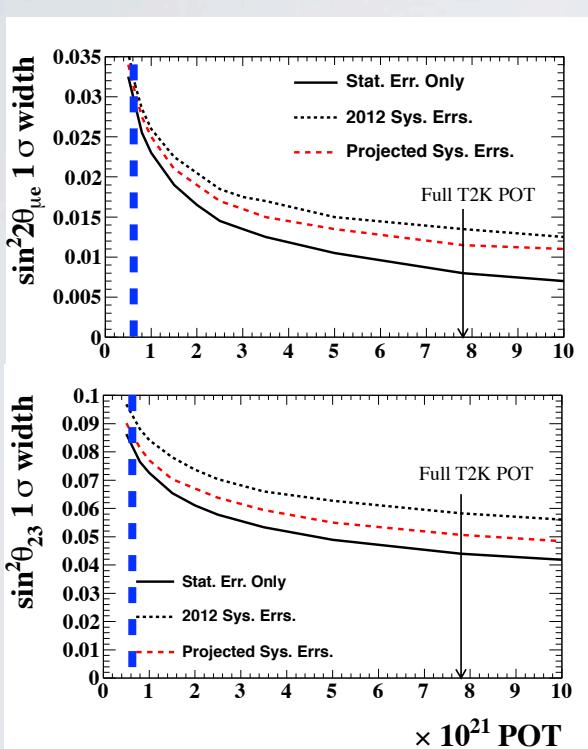
- ✓ NA61 → analysis of T2K replica target data
  - ✓ Already published with 2007 pilot run
    - ✓ Consistent with thin target
    - ✓ Improve the coverage of the phase space
    - ✓ Goal: 5% on absolute neutrino fluxes, 3% on far-to-near ratio
- ✓ ND280 → improve angular coverage of  $\nu_\mu$  analyses, measure anti- $\nu$ 
  - ✓ Many  $\nu_\mu$  and  $\nu_e$  cross section measurements to be done

NA61 can also take data for future accelerator based neutrino experiments (LBNE and LBNO)

# T2K perspectives

- ✓ 1st observation of  $\nu$  appearance ( $\nu_e$  app.)
- ✓ Best measurement of  $\theta_{23}$  ( $\nu_\mu$  disappearance)
- ✓ Errors on the oscillation parameters are dominated by statistical uncertainties

<10% of total expected stat!



(a) 100%  $\nu$ -running.

Full exp. stat with 50%  $\nu$  and 50% anti- $\nu$

In 2014-2015: take only anti- $\nu$

- best measurement of anti- $\nu_\mu$  disappearance
- initial searches of anti- $\nu_e$  appearance (3 exp. events + 2 background events)

In the long term: 50%  $\nu$ -anti- $\nu$  running

- best sensitivity to solve the octant degeneracy

→ best sensitivity to  $\delta_{CP}$

→ up to  $\sim 3\sigma$  sensitivity at the end of T2K

Combination with Nova to obtain

→ additional information on  $\delta_{CP}$

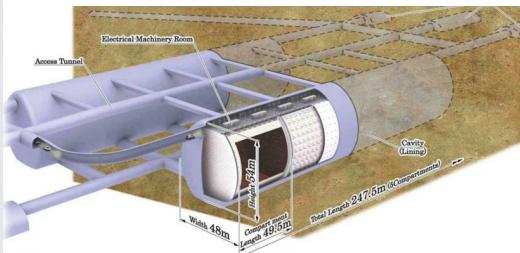
→ indications of the Mass Hierarchy

# Next generation accelerator experiments

- ✓ By 2020 there might be indications for  $\delta_{CP}$  or MH but at least one new, dedicated experiment is needed to measure these parameters → also best detector in the world to study  $\nu$  from SN and proton decay

Japan → Hyper-Kamiokande

Water Cherenkov  
technology



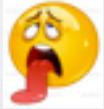
25 x Super-Kamiokande

Short baseline (300 km),  
existing J-PARC beam

$\delta_{CP}$  from  $\nu$ /antiv  
asymmetry



MH from  
atmospheric  $\nu$



US → LBNE

Liquid Argon technology



35 kton underground detector  
New beam from FNAL  
Medium-long baseline (1300 km)

$\delta_{CP}$  mainly from  
 $\nu$ /anti $\nu$  asymmetry

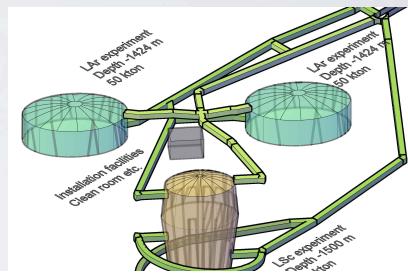


MH from  
matter effects



Europe → LBNO

Liquid Argon technology



Phased approach  
20 + 50 kton  
Underground detector  
New beam from CERN  
Very-long baseline (2300 km)

MH from matter  
effects on very long  
baseline



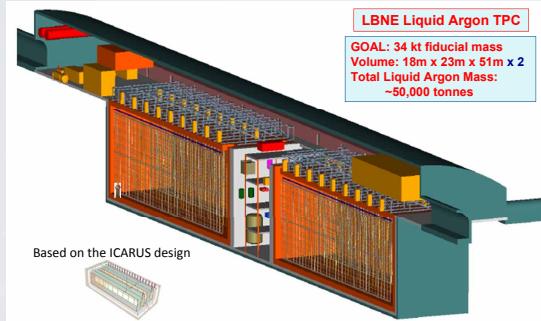
$\delta_{CP}$  from L/E



# The Liquid Argon option

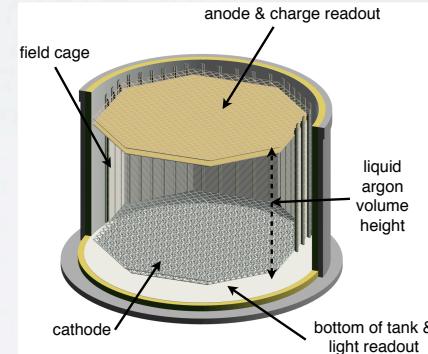
- ✓ Long baseline → matter effects
- ✓ First and second oscillation maximum
- ✓ Need a wide band beam to cover the first oscillation maximum ( $\sim 3\text{-}4$  GeV) and the second oscillation maximum ( $> 1$  GeV)
- ✓ Neutrino energy not optimal for water Cherenkov detectors → Liquid Argon option

## US: Single Phase technology

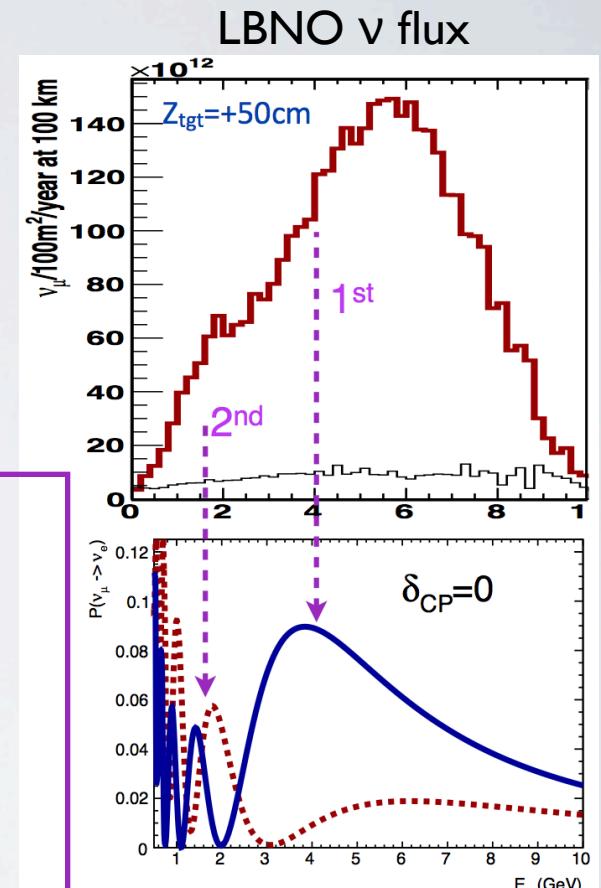


ICARUS-design, wire chamber  
Cannot be scaled → very difficult to do  
more than few kTon

## Europe: Double Phase



Interactions in Liquid, amplification on  
Gas → easier to scale to larger drift  
distances and masses



# LAGUNA/LBNO

- ✓ European funded design study to assess the feasibility of research infrastructure → End Summer 2014
- ✓ 7 sites, 3 technologies (WC, LAr, LSc)
- ✓ First priority: Pyhasalmi mine in Finland
- ✓ **GLACIER: Double Phase Liquid Argon technology**
  - ✓ Incremental approach: 20 kTon + 50 kTon
  - ✓ Precise design and costing done during the LAGUNA Design Study
- ✓ Expression of interested to SPSC in 2013
  - ✓ Well received by SPSC
- ✓ Triggered a R&D program to demonstrate the feasibility of a Double Phase 20 kTon LAr detector
  - ✓ WA105 @ CERN
  - ✓ French groups: APC, IPNL, LAPP, LPNHE, SPP

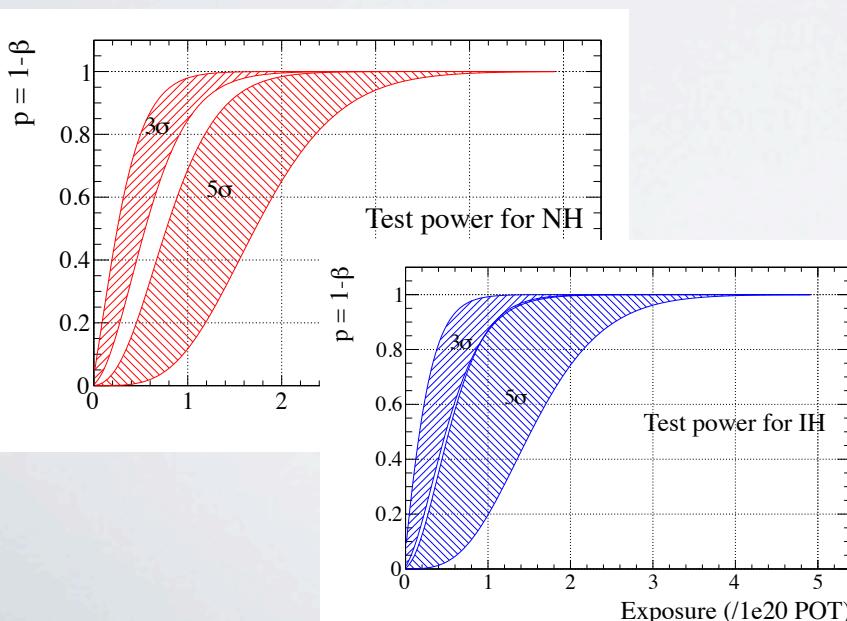


# LAGUNA/LBNO physics case

Accepted on JHEP, arXiv:1312.6520

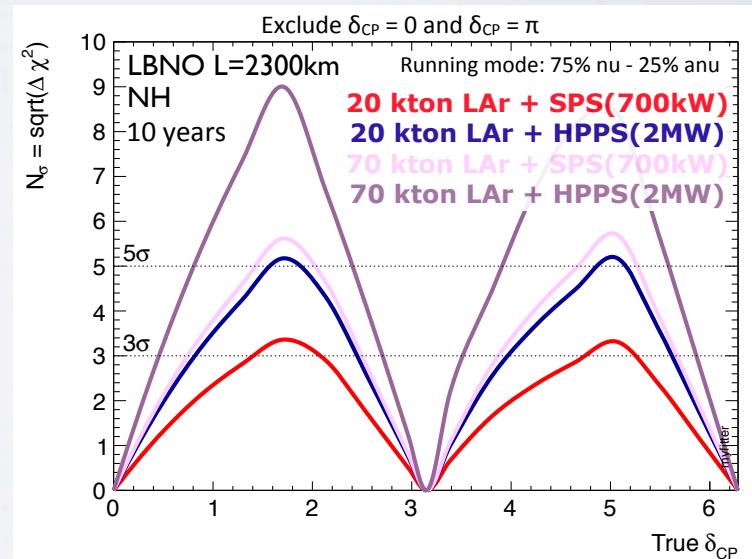
## Mass Hierarchy

- ✓ Very long baseline allow a guaranteed determination ( $>5\sigma$ ) of MH  $\rightarrow$  only setup that can do this
- ✓  $>3\sigma$  (5) in 2 (5) years with 20 kTon detector for any value of  $\delta_{CP}$



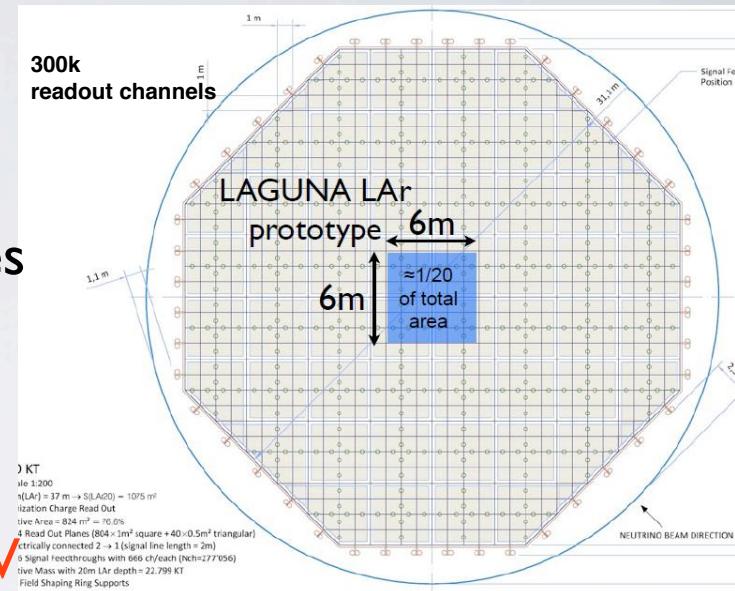
## CP violation

- ✓ Once MH is known there are no more degeneracies and CP violation can be determined from L/E oscillation pattern
- ✓ First phase (20 kT, 10 y)  $\rightarrow 3\sigma$  for 40% of the true values of  $\delta_{CP}$
- ✓ Ultimate sensitivity  $\rightarrow$  70 kT detector + HPPS



# LAGUNA/LBNO prototype: WA105

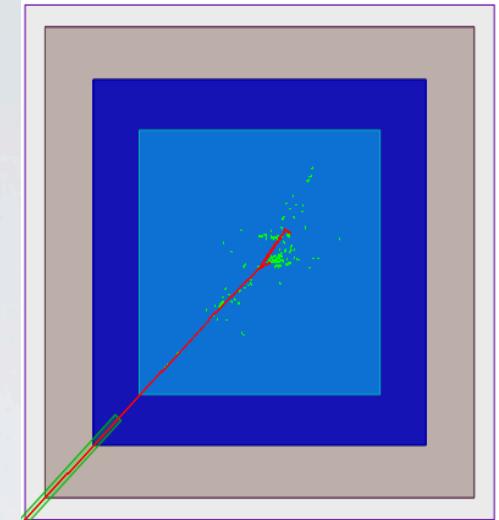
- ✓ 6x6x6 m<sup>3</sup> TPC LAr Double Phase
- ✓ Extension of the NA @ CERN
- ✓ TDR submitted to SPSC in April 2014
- ✓ Full scale demonstrator of all the technologies needed for the construction of a 20 kTon detector
  - ✓ LNG tank, Purification system
  - ✓ Proof long drift, HV system of 300-600 kV
  - ✓ Double phase readout, electronics
- ✓ Assess the performances in shower reconstruction
  - ✓ Exposed to a charged particle beam
  - ✓ Hadronic and EM calorimetry, PID performances
  - ✓ Software development, LAr reconstruction



The successful operation of a large scalable demonstrator will put European group in a strong position for the participation to a world-wide joint program

# WA105

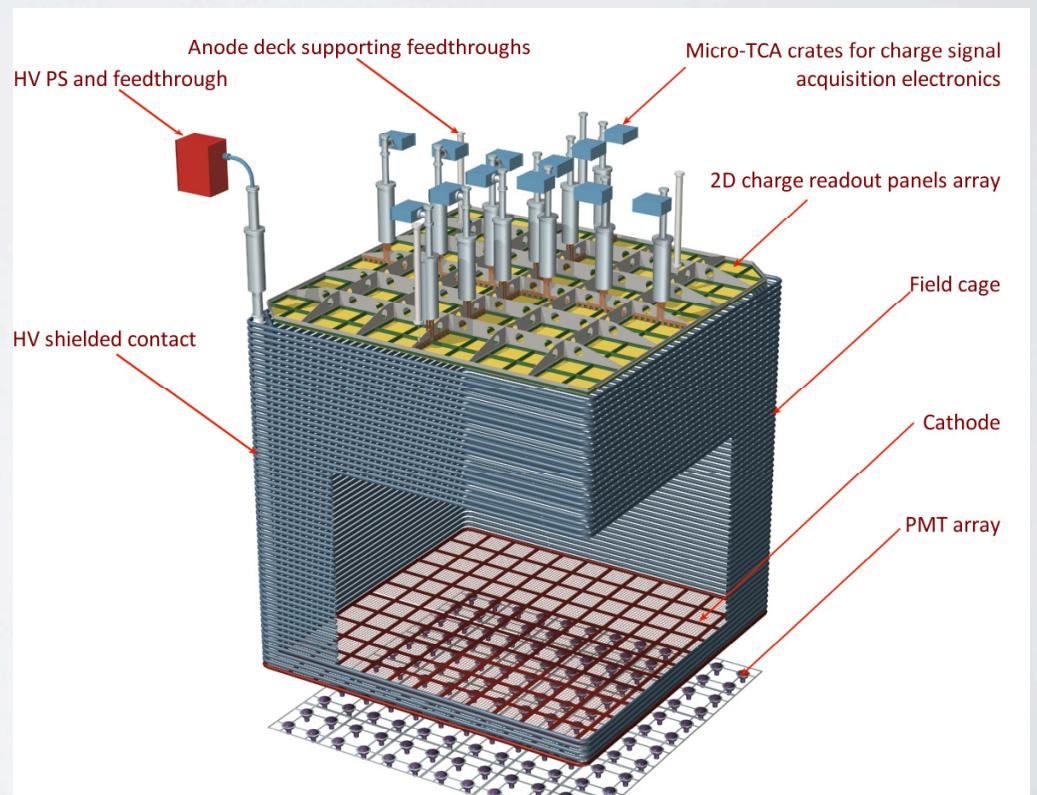
- ✓ Approved by CERN Research Board
- ✓ Participation from CERN, France, KEK, Spanish, Swiss groups already approved
  - ✓ Presentation at IN2P3 Scientific Council in June 2013
- ✓ Participation of Finnish, Italian, UK and US groups under discussion



MoU with CERN to be submitted by the end of the year

Total cost: 7.9 MCHF  
CERN support: 3.7 MCHF

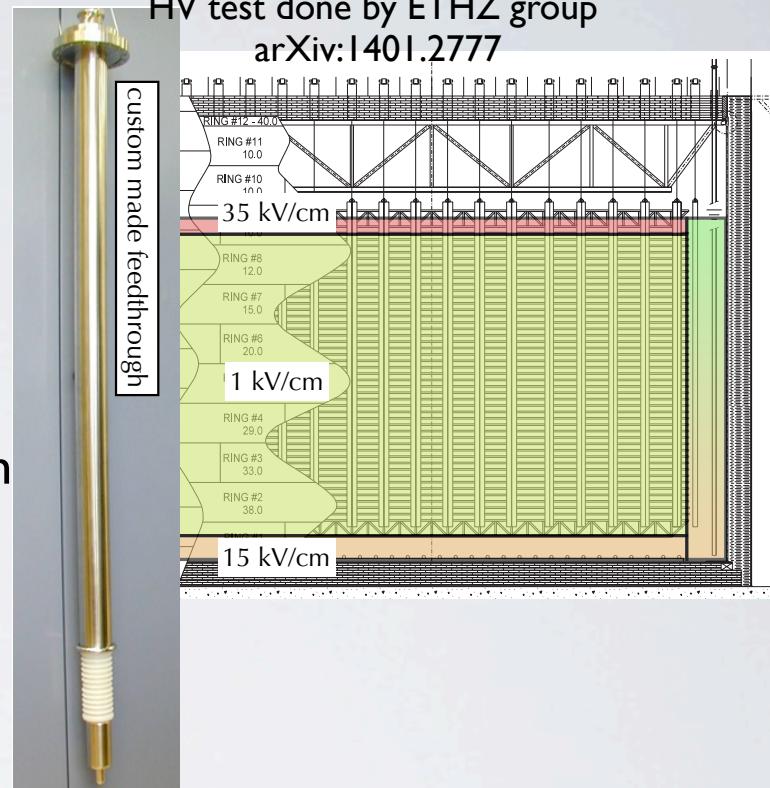
Possible timescale:  
Occupancy EHN1: September 2015  
Vessel constructed: March 2016  
Inner detector constructed: Jan. 2017  
Start commissioning: March 2017  
Test-beam data: Spring 2017



7680 readout channels, ICARUS T600 for a similar fiducial mass had 27000 channels

# LPNHE involvements in WA105

- ✓ GLACIER → the drift of electrons over long distances → high electric field
  - ✓ GLACIER: 20 meters drift
  - ✓ ~0.5-1 kV/cm is optimal → 1-2 MV PS
  - ✓ WA105: demonstrate that electrons can be drifted over 6 m using 300-600 kV PS
- ✓ Build a ~8m long (3m to reach LAr) feed through to transport HV from PS to cathode
- ✓ Existing feedthrough → ~1.5 m long, tested up to 100 kV
- ✓ We visited ETHZ installation @ CERN with Daniel Vincent and Didier Laporte in March and we agreed to
  - ✓ Collaborate to build a new one for an intermediate prototype (1x1x3) to be operated next year
  - ✓ Build final feedthrough for the 6x6x6



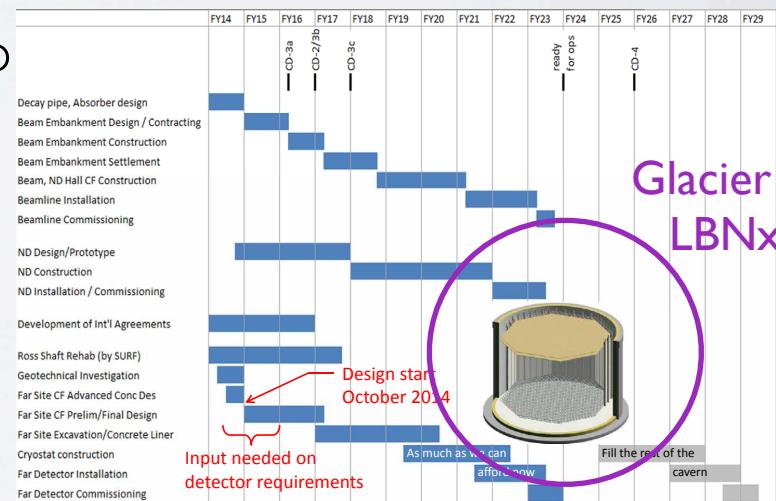
Other possible involvements are to collaborate with IPNL to develop the DAQ (with Diego Terront) + Software and reconstruction developments

# World-wide program: LBNx option (US)

J. Strait (LBNE project manager) presentation  
at the last LBNO meeting

- ✓ LBNO in Europe has many advantages w.r.t. LBNE from the physics point of view
- ✓ But need to convince Finland and CERN...
- ✓ LBNE in US has been already funded by the DOE with ~850 M\$
- ✓ This is just enough to build beamline and underground infrastructure + maybe a small 5 kTon detector
- ✓ Need help from international partners to reach 35 kTon detector → minimum acceptable for physics @ LBNE
- ✓ If WA105 prove that LAr Double Phase works → install 20 kTon detector in the US

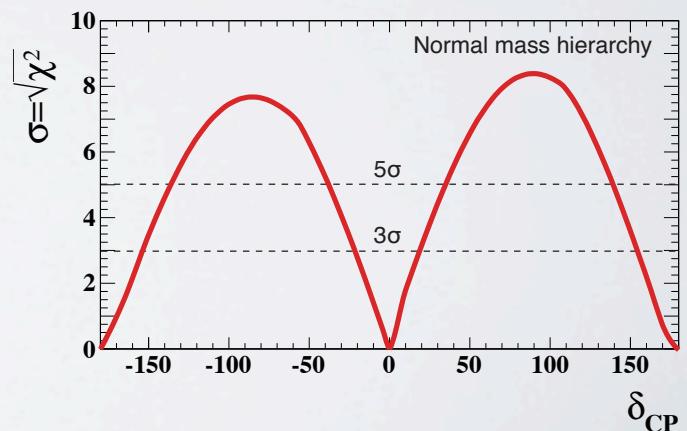
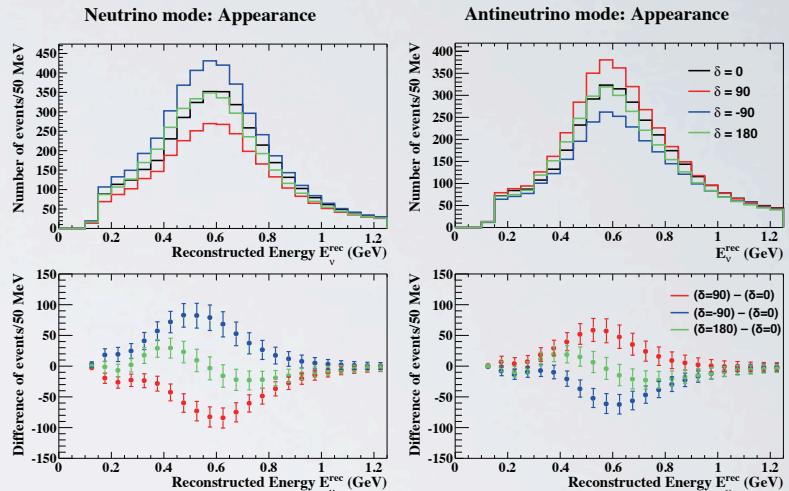
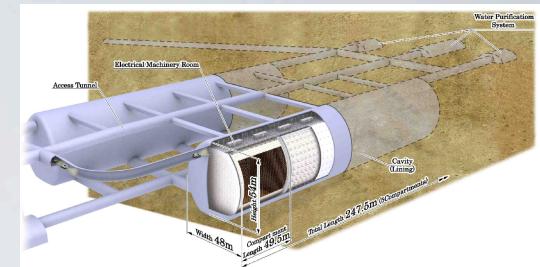
	DOE+HEP	Scenario A Other US International	DOE+HEP	Scenario B Other US International	DOE+HEP	Scenario C Other US International
CF - beamline						
CF - near detector						
CF - far detector		10 kt		34 kt		34 kt
Beamline technical systems						
Far detector cryo infrastructure						
Far detector - 5 kt module						
Far detector - additional module(s)						
Muon beamline detector						
Near neutrino detector						



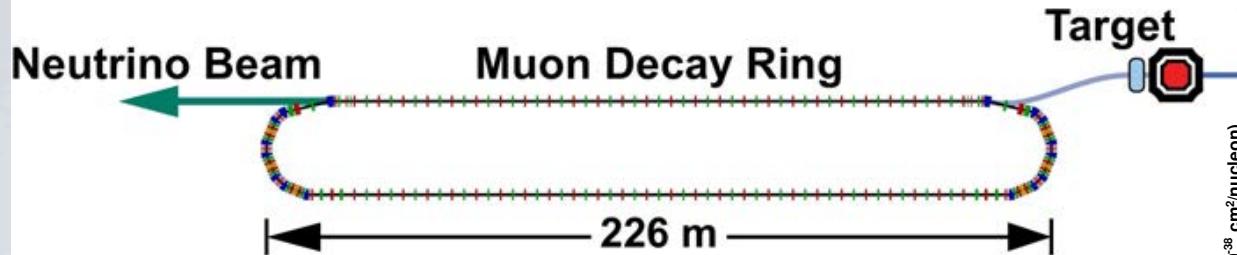
# IDEAS FOR THE FUTURE

# Neutrinos: Hyper-Kamiokande

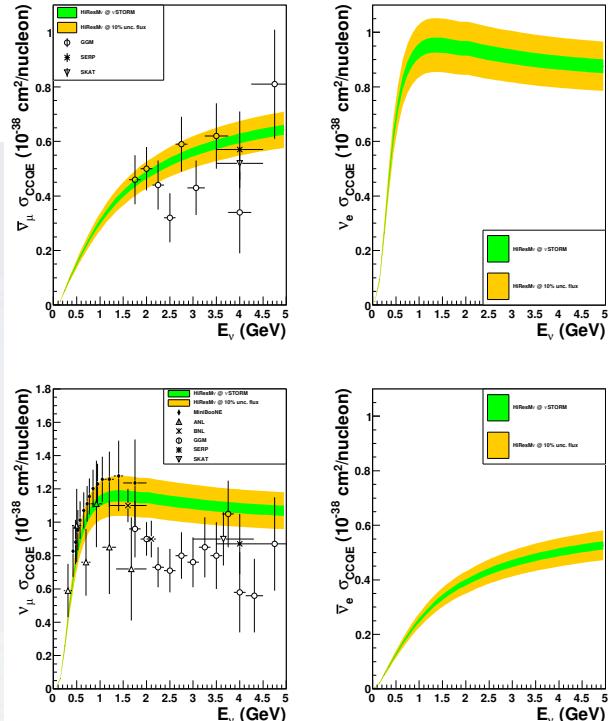
- ✓ 1 Mton water Cherenkov detector (500 ton FV) → 25 times SK
- ✓ Strong support in Japan (selected in Japanese Master Plan of Large Research Projects)
- ✓ Best sensitivity to CP-violation
- ✓ Short baseline → not good for MH
  
- ✓ At LPNHE we are currently not involved in the project → not enough manpower → decided to contribute to European efforts
- ✓ But we are in a good position to join HK if it will move forward (and LAGUNA won't...)
- ✓ Involved in ND280, NA61 that will both be needed for HK
- ✓ We can imagine a direct involvement in HK as well in the next years → in T2K we are not part of SK but that will be different for HK



# Neutrinos: NuSTORM



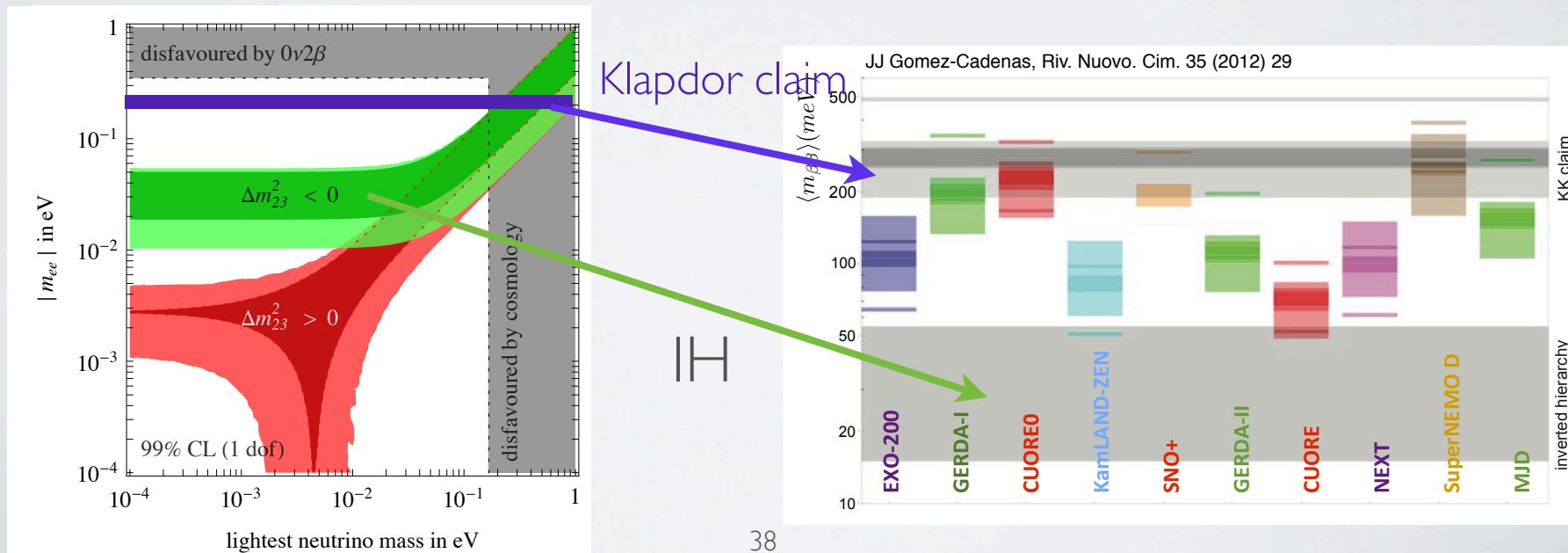
- ✓ Proposal submitted to FNAL PAC and CERN
- ✓ Produce neutrinos ( $\nu_\mu$  and  $\nu_e$ ) from  $\mu$  decays
- ✓ Observe them at  $\sim 1$  km distances with Near and a Far Detector
  - ✓ Search for sterile neutrinos
  - ✓ Measure  $\nu_\mu$  and  $\nu_e$  x-sections  $\rightarrow$  the main syst. for experiments looking for  $\delta_{CP}$
  - ✓ Profit of well known fluxes and large numbers of  $\nu_e$  (50% w.r.t.  $\sim 1\%$  in conventional  $\nu$  beams)



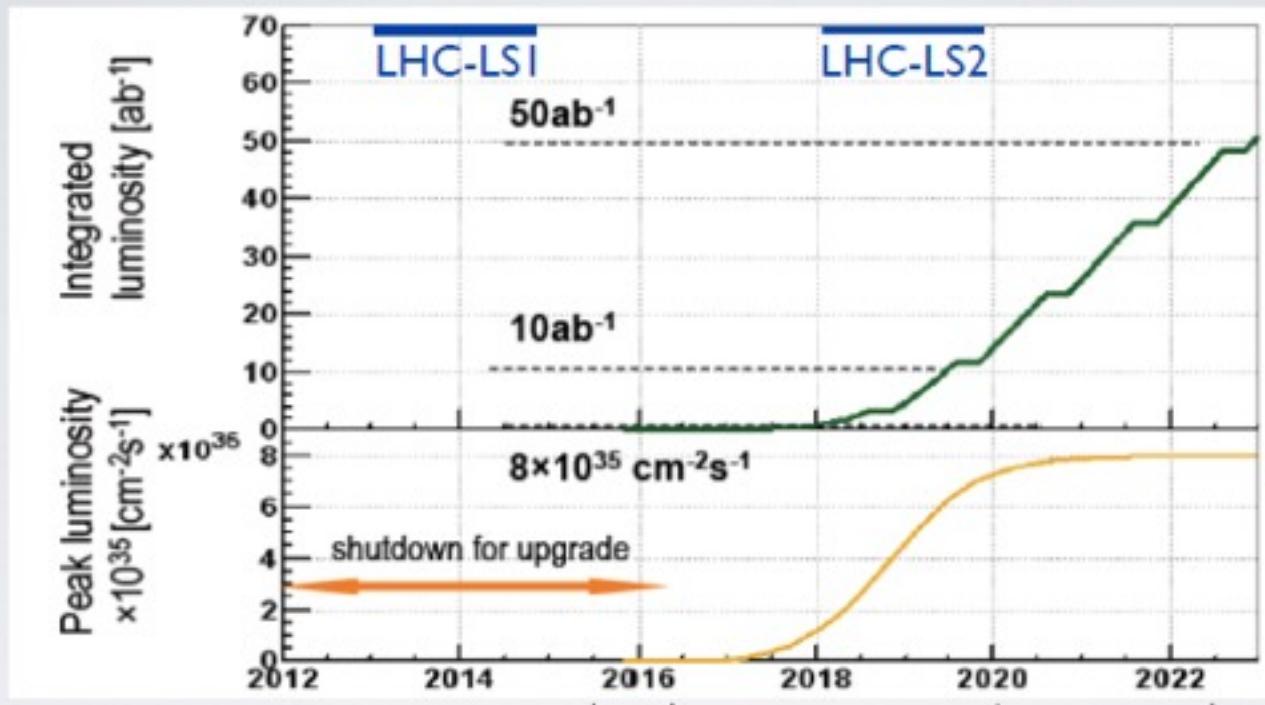
Error source [%]	$\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$	$\sin^2 2\theta_{13} = 0$
Beam flux and near detector (w/o ND280 constraint)	2.9 (25.9)	4.8 (21.7)
$\nu$ interaction (external data)	7.5	6.8
Far detector and FSI+SI+PN	3.5	7.3
Total	8.8	11.1

# $0\nu\beta\beta$

- ✓ Neutrinos are the only fermions that can be Majorana particles ( $\nu = \text{anti-}\nu$ )
  - ✓ Explain the smallness of the  $\nu$  masses through see-saw mechanism → heavy Majorana partner would be the natural candidate to explain matter-antimatter asymmetry in the early universe
- ✓ Golden channel to observe Majorana nature of neutrinos → double beta decay without neutrinos → only possible if neutrinos are their own anti-particle
- ✓ Many experiments are taking / will take data in the next years



# La prise de données



mi-2015 : BEAST II  
commissioning collisionneur

- mi 2015 - fin 2015 : vide imparfait, hauts courants
- janvier 2016 - mi 2016 : champs magnétiques nominaux, tuning des faisceaux pour atteindre  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

mi-2016 :  
démarrage de la prise de données  
 détecteur installé et luminosité instantanée  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

2022 :  
**50 ab<sup>-1</sup>**  
**enregistrés.**

~2020 :  
**10 ab<sup>-1</sup>** enregistrés  
et lumi. instantanée nominale  
 $0.8 \times 10^{36} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

# Complémentarité Belle 2 / LHCb

	Belle 2	LHCb upgrade
Statistique	:(	:)
Événements propres	:)	:(
Hadrons B produits	Bu, Bd, run dédiés pour Bs	Bu, Bd, Bs, baryons,...
Mode avec neutrinos	:)	:(

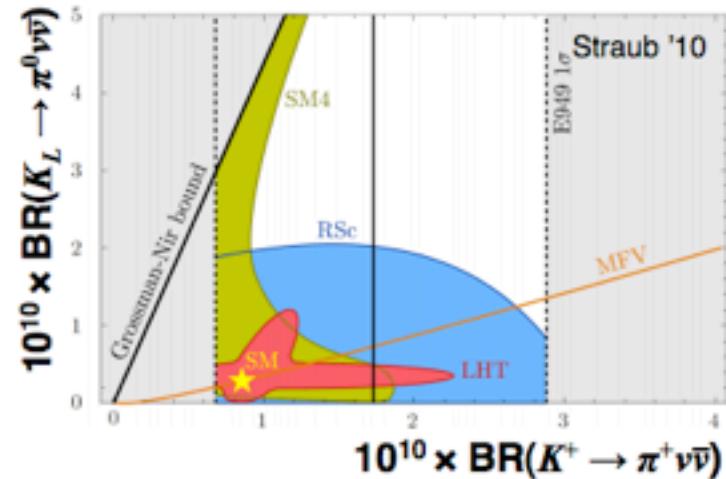
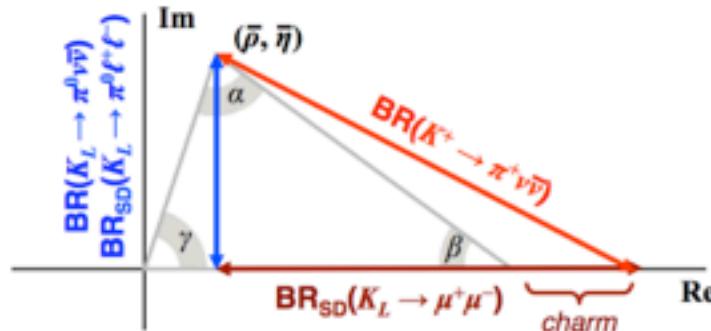
Certaines mesures ne peuvent être faites que par Belle II ou LHCb  
⇒ nécessité d'avoir les 2 expériences!

Compétitions et cross-check pour les mesures en commun

# Experimental status of $K \rightarrow \pi\nu\bar{\nu}$

**Reminder: Important to measure both  $K^+$ ,  $K_L$**

- New physics affects channels differently
- With both BRs unitarity triangle overconstrained



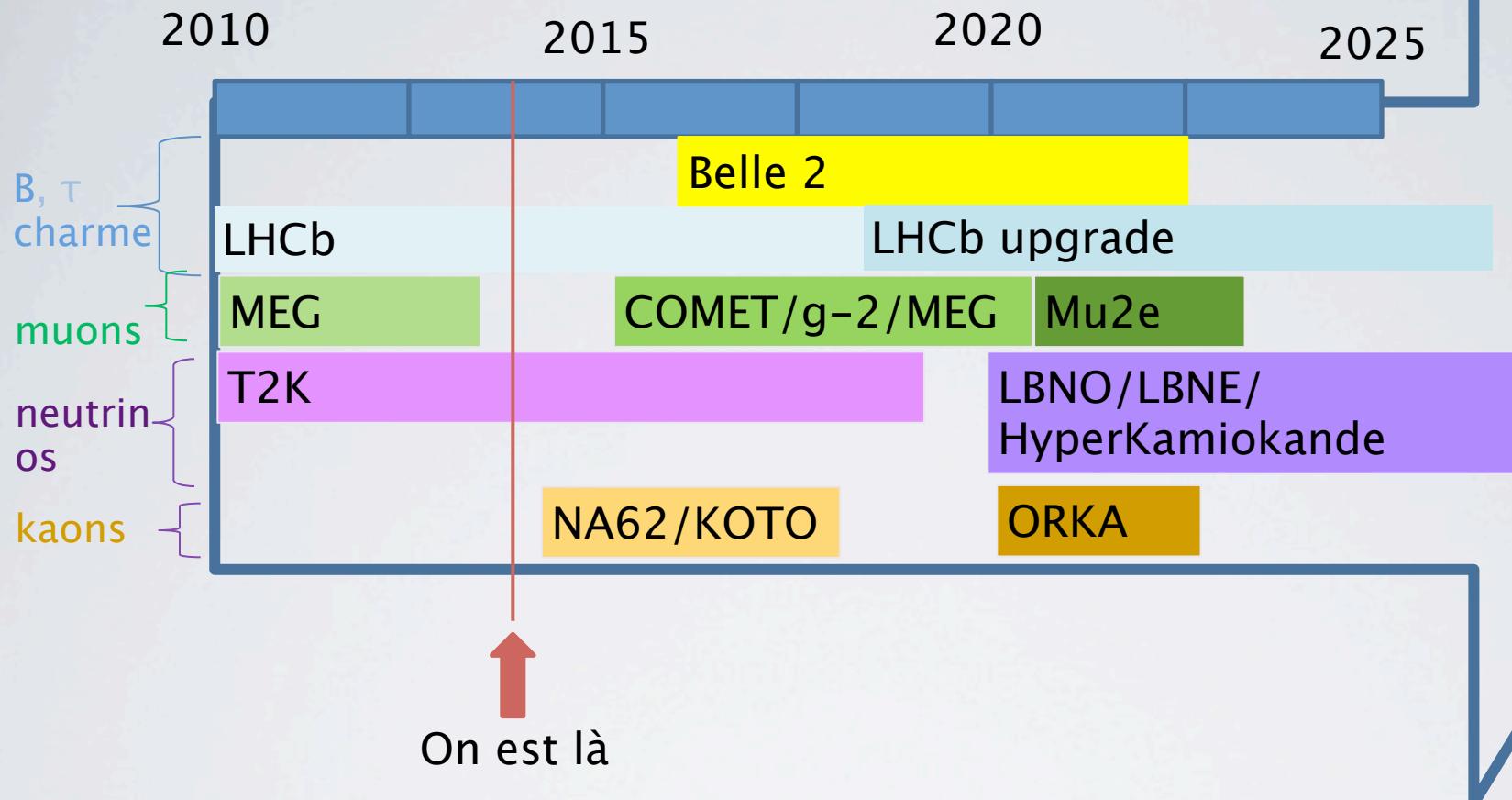
## Experiments running, planned, or proposed

Expt.	Primary beam ( $E$ GeV)	Secondary beam ( $E$ GeV)	Start date + run years	SM events	Status
NA62	SPS (450)	positive (75)	2014+2	100	Ready
ORKA	FNAL MI (95)	$K^+$ (0.6)	2020+5	1000	Proposal
KOTO	JPARC-I (30)	neutral (2 peak)	2013+3	~3	Running
KOTO/2	JPARC-II (30)	neutral (~2 peak)	2025?	>100	Concept
FNAL $K_L$	Project X (3)	neutral (0.7 peak)	2030?	1000	Concept

$$K_L \rightarrow \pi^0 \nu\bar{\nu} < K^+ \rightarrow \pi^+ \nu\bar{\nu} < \text{ballistic}$$

+ PRIN at SPS (nominally 2x better than KOTO)

# Conclusion



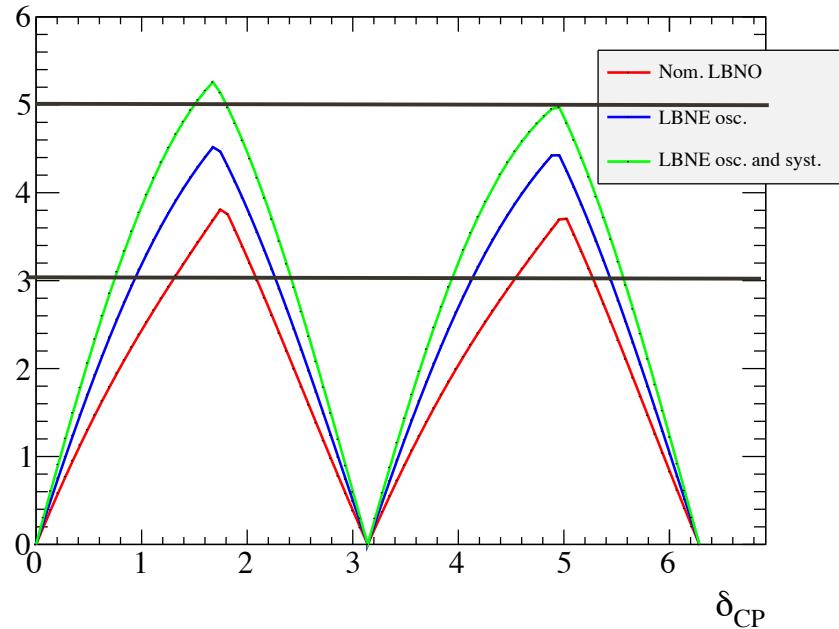
Vaste programme mondial en physique des saveurs,  
expériences complémentaires qui seront capables de mesuré  
des parametres fondamentaux, restreindre l'espace de phase  
de la nouvelle physique ou la découvrir!

Merci de votre attention!

Et je vous rappelle qu'il y aura pas de  
reunion du vendredi aujourd'hui!!!

# BACK-UP SLIDES

# LBNO



20 kton,  $1.5 \times 10^{21}$  pot

red: LBNO paper assumptions

blue:  $\sin^2(2\theta_{13}) = 0.10 \pm 0.03$

$\sin^2(\theta_{23}) = 0.38 \pm 0.02$

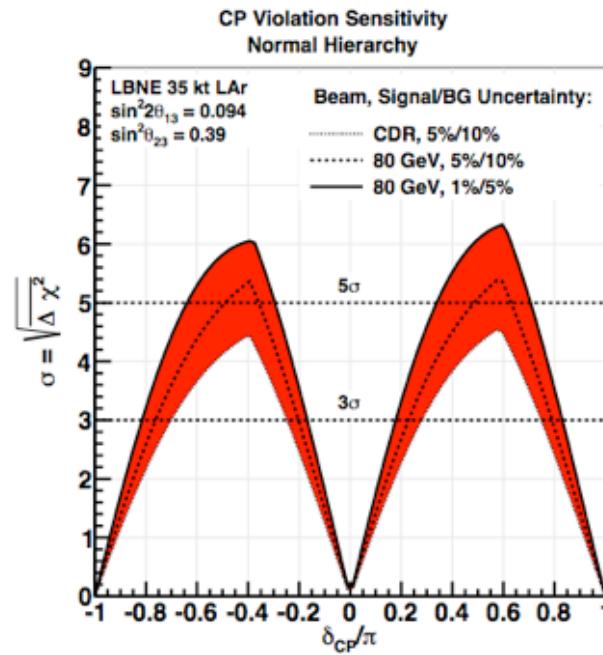
green: same as blue

for oscillation parameters

+  $\sigma(\text{sig})/\sigma(\text{bkg})$  1%/5%

# LBNE

(B.Wilson @ LAGUNA meeting on February)



35 kton, 3+3 years, 1.2 MW

Dotted line (80 GeV, 5%/10%) can be compared with the LBNO blue curve  
 Continuous line (80 GeV, 1%/5%) can be compared with LBNO green curve

# $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S h^+ h^-$ : prochaines étapes

- Dans l'immédiat :
  - Combiner les données de 2011 ( $1\text{fb}^{-1}$ ) + 2012 ( $2\text{fb}^{-1}$ )
  - Effectuer une **analyse en amplitude**
  - En particulier, nous travaillerons sur l'état  $B_{d,s} \rightarrow K_S K^+ K^-$
  - Dans le cadre du groupe de travaille, nous étudierons aussi l'état récemment observé  $B_s \rightarrow K_S K^\pm \pi^\mp$
  - L'analyse déterminera la structure du plan de Dalits des désintégrations
  - En même temps elle déterminera la faisabilité d'une **analyse dépendante du temps**
- Plus tard :
  - Effectuer, d'une manière graduelle, des analyses en amplitude plus compliquées qui nécessitent de l'étiquetage de saveur. Ceci est un défit avec LHCb (projet pour l'upgrade).
  - Des testes du modèle standard avec une analyse complète, dépendante du temps, pourrait être réalisés à une échelle de temps de 5 ans

# Phase de mélange du $B_s^0$ : plan pour le moyen terme

- En attendant qu'un analyse dépendante du tagging sera effectuée avec l'upgrade, nous exploiterons l'évolution temporelle de l'état initial pure  $B_s^0$  :

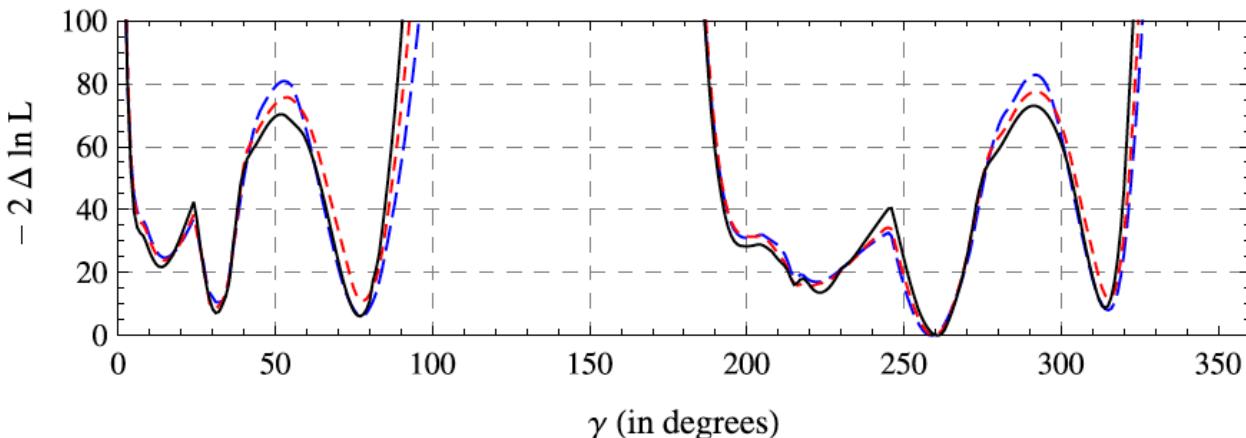
$$\frac{d\Gamma[B_s^0(t) \rightarrow f]}{dt} \propto e^{-\Gamma t} \left[ \left( |A_f|^2 + |\bar{A}_f|^2 \right) \cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2}t\right) + \left( |A_f|^2 - |\bar{A}_f|^2 \right) \cos(\Delta m_s t) \right. \\ \left. + 2 \underbrace{\text{Re}\left(\frac{q}{p} A_f^* \bar{A}_f\right)}_{\text{sinh}} \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2}t\right) - 2 \text{Im}\left(\frac{q}{p} A_f^* \bar{A}_f\right) \sin(\Delta m_s t) \right]$$

$$\frac{d\Gamma[\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f]}{dt} \propto e^{-\Gamma t} \left[ \left( |A_f|^2 + |\bar{A}_f|^2 \right) \cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2}t\right) - \left( |A_f|^2 - |\bar{A}_f|^2 \right) \cos(\Delta m_s t) \right. \\ \left. + 2 \underbrace{\text{Re}\left(\frac{q}{p} A_f^* \bar{A}_f\right)}_{\text{sinh}} \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2}t\right) + 2 \text{Im}\left(\frac{q}{p} A_f^* \bar{A}_f\right) \sin(\Delta m_s t) \right]$$

- Le terme en **sinh** donne une sensibilité à la phase de mélange même sans tagging de saveur !
- A présent nous évaluons la précision fournie par cette procédure avec les datasets présent et future (avant upgrade).

# Mesure de l'angle $\gamma$

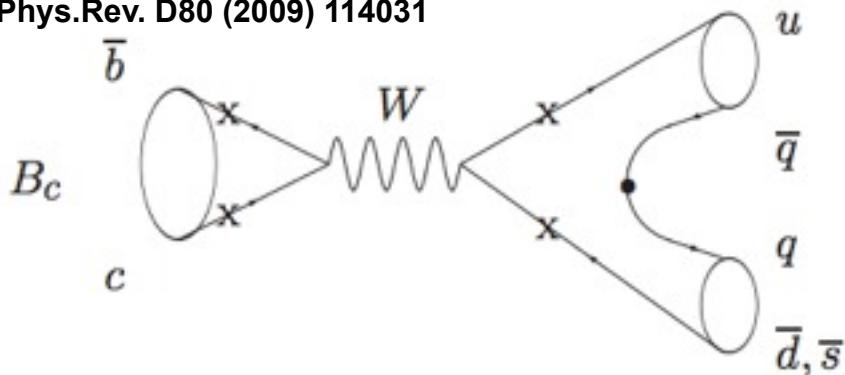
- Nous avons discuté avec un groupe de théoriciens (David London et al.) qui proposent d'extraire la phase faible  $\gamma$  à partir d'analyse en amplitudes des modes  $B \rightarrow K\pi\pi$  et  $B \rightarrow KKK$  en exploitant la symétrie SU(3)  
Phys. Lett. B 728 (2014) 206-209).
- la comparaison de l'angle  $\gamma$  mesuré dans des processus comportant des boucles avec ses mesures classiques dans des processus en arbres fournit un test du modèle standard.
- Nous faisons des tests approfondis afin de nous convaincre que les erreurs expérimentales sur  $\gamma$  sont contrôlables. En fonction du résultats, nous orienterons des efforts dans cette direction



Les études préliminaires dans Phys. Lett. B 728 (2014) 206-209 suggèrent une précision de quelques degrés sur  $\gamma$ . A vérifier !

# Désintégrations du méson $B_c$ sans particule charmée

Phys.Rev. D80 (2009) 114031



- Grands échantillons de données nécessaires
- Production de  $B_c$  fortement supprimée
- Désintégration (pas clair encore)
- Extrapolation de processus d'annihilation du  $B_d$  :  $\text{BR}(B_c \rightarrow K_S K^+) \sim O(10^{-6})$
- Calcul perturbatif de avec l'échange d'un seul gluon :  $\text{BR} \sim O(10^{-8})$  maximum

- **Terrain de jeu intéressant pour la recherche de nouvelle physique**
  - Processus similaire à  $B \rightarrow D^{(*)} \ell \nu$  (en tension avec le MS, cf. Babar). Nécessite de sonder les propriétés du boson intermédiaire par une analyse angulaire
  - Ces désintégrations n'ont pas encore été observées.
  - Le groupe du LPNHE a été pionnier dans la recherche de ces modes, faisant partie de l'analyse effectué sur données de 2011 (état final  $K_S K^+$ ) Phys.Lett. B726 (2013) 646-655. Premier limite supérieure sur le rapport de rapports d'embranchement:
- Plan pour le moyen term
  - Avec les données de Run1+Run2 : continuer l'étude déjà fait avec  $1\text{fb}^{-1}$ , espérant de trouver du signal significatif de canaux comme  $K^{*0} K^+$  and  $K_S K^+$ .
  - Concevoir et optimiser un trigger spécifique et des critères de sélection pour les études plus sophistiqués de ce mode avec l'upgrade (point suivant...)
- Long term
  - Analyse permettant de sonder la nature du boson intermédiaire (est-ce un boson scalaire chargé ?). Nécessaire une analyse angulaire d'états finals VV (e.g.  $B_c \rightarrow K_1(1270) K^*(892)$  )

$$\frac{f_c}{f_u} \cdot \frac{\mathcal{B}(B_c^+ \rightarrow K_S^0 K^+)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+)} < 5.8 \times 10^{-2} \text{ at 90% confidence level}$$

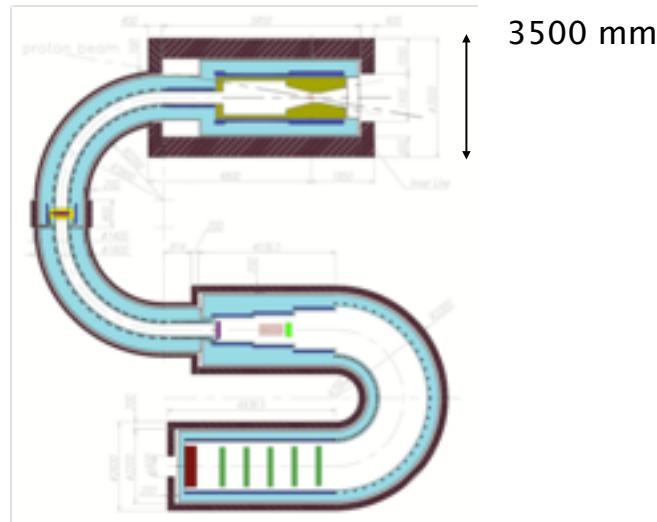
## COMET E21

Phase I pour atteindre une sensibilité de 10–14 puis Phase II  
Financement approuvé en 2012 (FJY)  
Faisceau pulsé de protons pour produire un faisceau de muons de haute intensité.  
Cible d'arrêt : 17 disques d'Al.

Participation du Groupe Muon du LPNHE approuvé par la Collaboration COMET en décembre 2012

- Simulation et « tracking »
- Caractérisation d'une cible active d'arrêt de muons en Si et de mesure de faisceau.

<http://comet.kek.jp/Introduction.html>

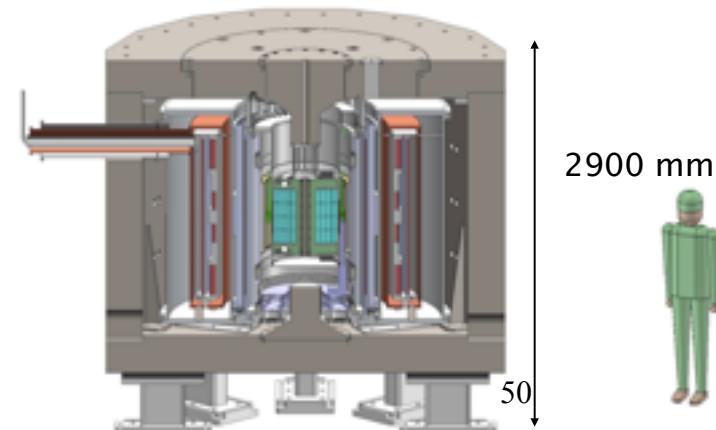


## g-2/EDM E34

Faisceau de muons de haute intensité produit par un faisceau de protons de 3 GeV.  
Accélération des muons à partir de la production de muonium.  
Champ électrique « nul », pas de « moment magique ».

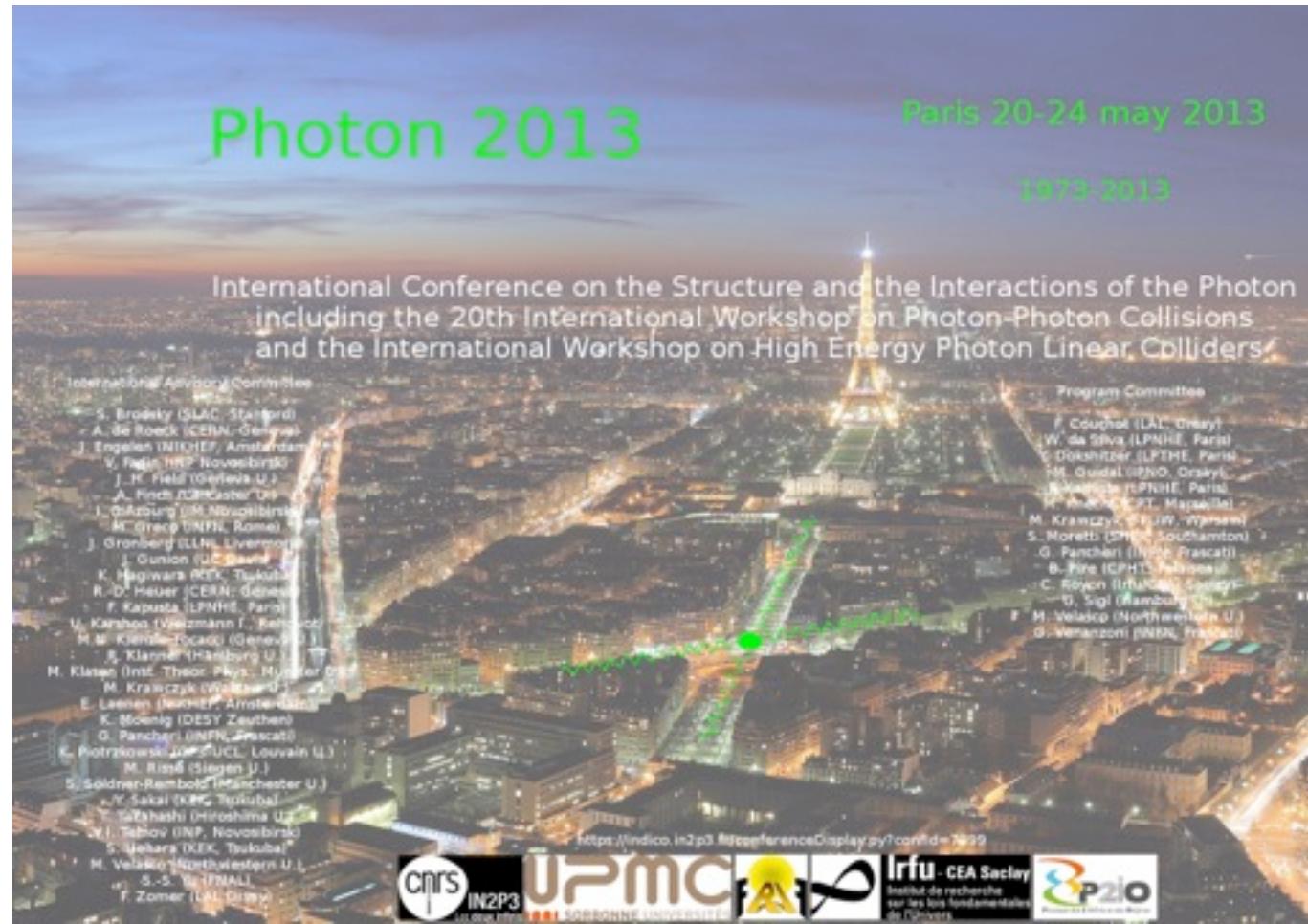
Participation du groupe Muon du LPNHE approuvé par la Collaboration g-2/EDM en 2011

- Simulation et « tracking »
- Caractérisation du détecteur.



A noter :  
Session g-2  
dans le cadre  
de Photon2013  
(exposé de Maurice B.  
et de Bogdan M.)

Physique des interactions  
photon-photon dans le  
cadre de l'ILC, d'un  
FCC (TLEP), de BelleII  
et des contributions  
HlbL à g-2.



PUB : pour la première fois,  
« An analytical expression of the asymptotic QED cross-section of four  
lepton two pair production in  $\gamma\gamma$  collisions »  
W. da Silva, F.Kapusta, Physics Letters B 718 (2012)  
Et d'autres papiers en préparation sur la production de pions  
et les collisions ultra périphériques sur ALICE

Photon2015 à Novosibirsk chez Valery Telnov

# Précisions attendues

Observable	SM theory	Current measurement (early 2013)	Belle II (50 ab <sup>-1</sup> )
$S(B \rightarrow \phi K^0)$	0.68	$0.56 \pm 0.17$	$\pm 0.03$
$S(B \rightarrow \eta' K^0)$	0.68	$0.59 \pm 0.07$	$\pm 0.02$
$\alpha$ from $B \rightarrow \pi\pi, \rho\rho$		$\pm 5.4^\circ$	$\pm 1.5^\circ$
$\gamma$ from $B \rightarrow DK$		$\pm 11^\circ$	$\pm 1.5^\circ$
$S(B \rightarrow K_S \pi^0 \gamma)$	$< 0.05$	$-0.15 \pm 0.20$	$\pm 0.03$
$S(B \rightarrow \rho\gamma)$	$< 0.05$	$-0.83 \pm 0.65$	$\pm 0.15$
$A_{\text{CP}}(B \rightarrow X_{s+d} \gamma)$	$< 0.005$	$0.06 \pm 0.06$	$\pm 0.02$
$A_{\text{SL}}^d$	$-5 \times 10^{-4}$	$-0.0049 \pm 0.0038$	$\pm 0.001$
$\mathcal{B}(B \rightarrow \tau\nu)$	$1.1 \times 10^{-4}$	$(1.64 \pm 0.34) \times 10^{-4}$	$\pm 0.05 \times 10^{-4}$
$\mathcal{B}(B \rightarrow \mu\nu)$	$4.7 \times 10^{-7}$	$< 1.0 \times 10^{-6}$	$\pm 0.2 \times 10^{-7}$
$\mathcal{B}(B \rightarrow X_s \gamma)$	$3.15 \times 10^{-4}$	$(3.55 \pm 0.26) \times 10^{-4}$	$\pm 0.13 \times 10^{-4}$
$\mathcal{B}(B \rightarrow K\nu\bar{\nu})$	$3.6 \times 10^{-6}$	$< 1.3 \times 10^{-5}$	$\pm 1.0 \times 10^{-6}$
$\mathcal{B}(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-)$ ( $1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2$ )	$1.6 \times 10^{-6}$	$(4.5 \pm 1.0) \times 10^{-6}$	$\pm 0.10 \times 10^{-6}$
$A_{\text{FB}}(B^0 \rightarrow K^{*0} \ell^+ \ell^-)$ zero crossing	7%	18%	5%
$ V_{ub} $ from $B \rightarrow \pi \ell^+ \nu$ ( $q^2 > 16 \text{ GeV}^2$ )	9% $\rightarrow$ 2%	11%	2.1%

From Snowmass report arXiv:1401.6077v1

# Physiques des kaons

- Il reste encore des mesures à faire avec les kaons! En particulier les désintégrations rares

From Snowmass report arXiv:1401.6077v1

Observable	SM Theory	Current Expt.	Future Experiments
$\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$	$7.81(75)(29) \times 10^{-11}$	$1.73^{+1.15}_{-1.05} \times 10^{-10}$ E787/E949	~10% at NA62 ~5% at ORKA ~2% at ProjectX
$\mathcal{B}(K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$	$2.43(39)(6) \times 10^{-11}$	$< 2.6 \times 10^{-8}$ E391a	1 <sup>st</sup> observation at KOTO ~5% at ProjectX
$\mathcal{B}(K_L^0 \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)$	$(3.23^{+0.91}_{-0.79}) \times 10^{-11}$	$< 2.8 \times 10^{-10}$ KTeV	~10% at ProjectX
$\mathcal{B}(K_L^0 \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-)$	$(1.29^{+0.24}_{-0.23}) \times 10^{-11}$	$< 3.8 \times 10^{-10}$ KTeV	~10% at ProjectX
$ P_T $ in $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu$	$\sim 10^{-7}$	$< 0.0050$	< 0.0003 at TREK < 0.0001 at ProjectX
$\Gamma(K_{e2})/\Gamma(K_{\mu 2})$	$2.477(1) \times 10^{-5}$	$2.488(10) \times 10^{-5}$ (NA62, KLOE)	$\pm 0.0054 \times 10^{-5}$ at TREK $\pm 0.0025 \times 10^{-5}$ at ProjectX
$\mathcal{B}(K_L^0 \rightarrow \mu^\pm e^\mp)$	$< 10^{-25}$	$< 4.7 \times 10^{-12}$	< $2 \times 10^{-13}$ at ProjectX

# BES III

- Seule expérience dédiée au charme actuellement

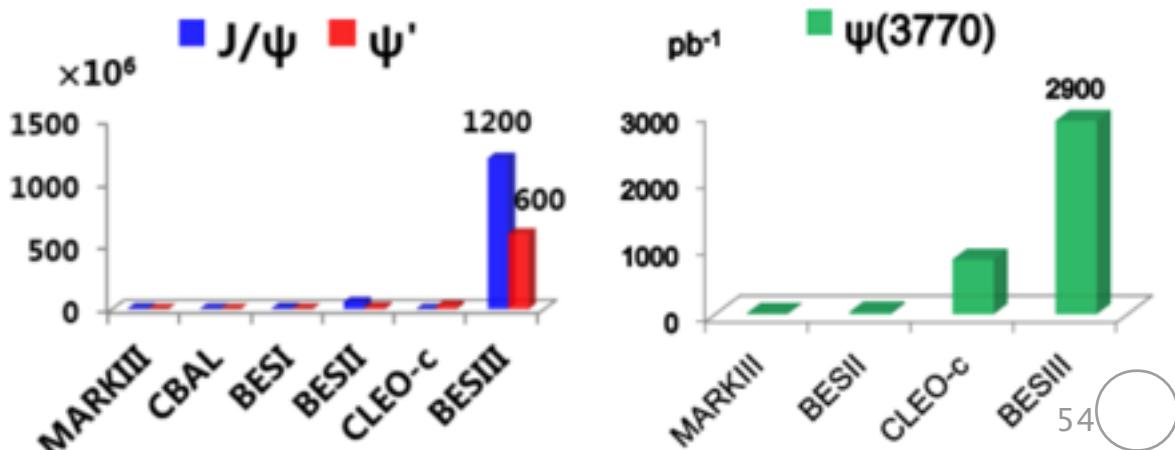
## IHEP, Beijing

### BEPCII collider :

- beam-energy  
1.0-2.3GeV
- $L = 1 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- 2004 : début construction
- 2009-aujourd'hui : prise de données

### Programme de physique

- Charm physics
- Light hadron physics
- Charmonium physics
- XYZ meson physics
- QCD &  $\tau$ -physics
- ...

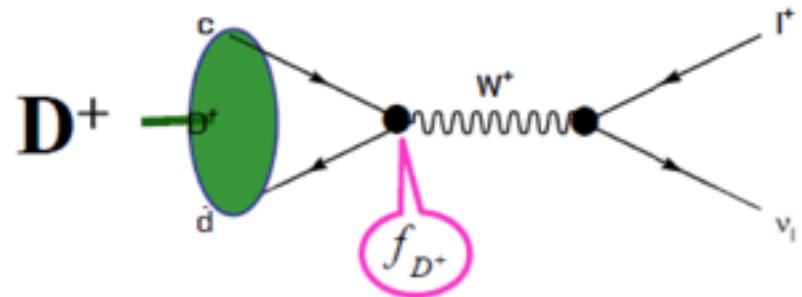


# BES III

## ○ Charm spectroscopy (tetraquarks)

### ○ Charm leptonic decay

- ▶ Constante de désintégration  $f_D$  intègre les effets de l'interaction forte
- ▶ Mesure expérimentale permet de valider theory (LQCD) afin de l'appliquer à la physique du B (oscillation B neutre) qui requiert de l'information sur  $f_B$
- ▶ Sensible à la nouvelle physique (contribution Higgs chargé...)



$$\Gamma_{\text{SM}}(D_{(s)}^+ \rightarrow l^+ \nu) = \frac{G_F^2}{8\pi} m_l^2 m_{D_{(s)}} \left(1 - \frac{m_l^2}{m_{D_{(s)}}^2}\right)^2 |V_{cd(s)}|^2 f_{D_{(s)}^+}$$

from CKM fitter

