

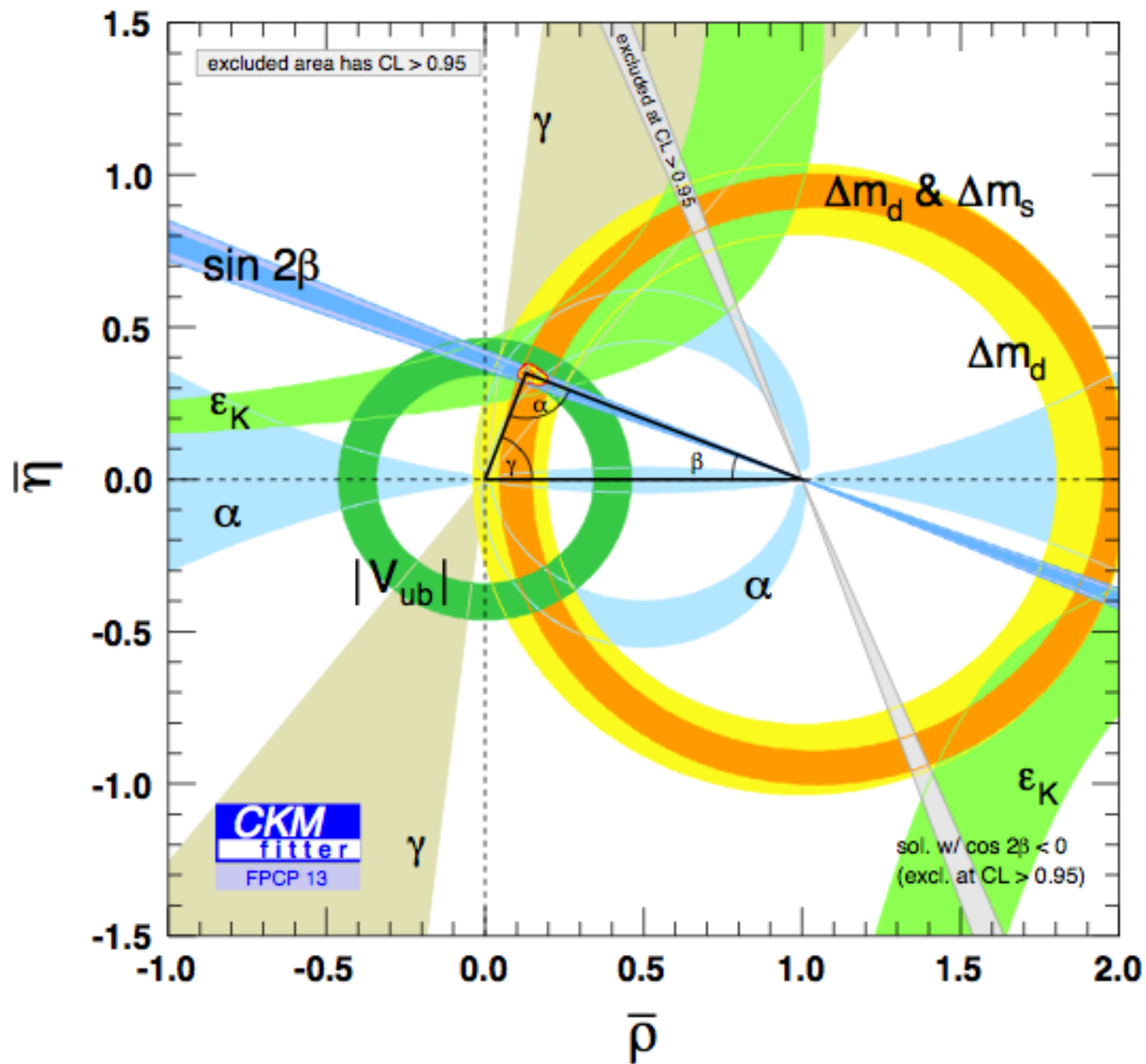
LHCb @ LPNHE

Francesco Polci
on behalf of the LPNHE LHCb group

The LHCb group at LPNHE

Responsable: Eli Ben-Haim	(été 2010) MdC UPMC
<i>Matthew Charles</i>	<i>(Sep. 2013) MdC UPMC</i>
<i>Francesco Polci</i>	<i>(Oct. 2011) CNRS</i>
<i>Maurice Benayoun</i>	<i>CNRS (émérite), garde toujours le contacte avec LHCb</i>
<i>Luigi Del Buono</i>	<i>CNRS</i>
<i>Diego Milanés</i>	<i>(Nov. 2012) Post doc « Emergence UPMC » (2 ans)</i>
<i>Samuel Coquereau</i>	<i>(Sep. 2012) Doctorant (2^{ème} année)</i>
<i>Louis Henry</i>	<i>(Sep. 2013) Doctorant (1^{ère} année)</i>
<i>Olivier Le Dortz</i>	<i>(Oct.2013) CNRS, Ingénieur de recherche en électronique</i>

We also have regularly master students

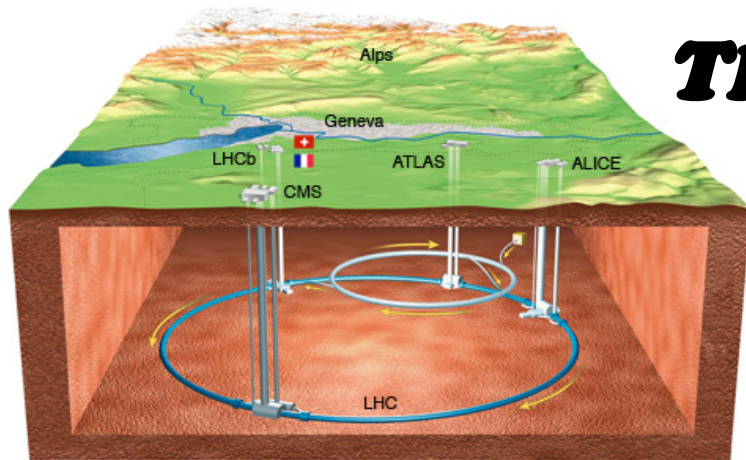


► Future prospects

“Minimalistic” list of the key (low-energy) quark flavor-violating observables:

LPNHE est impliqué

- γ from tree ($B \rightarrow DK, \dots$) S-LHCb [et S-Bfactory]
- $|V_{ub}|$ from exclusive semi-leptonic B decays S-Bfactory [SuperKEKB & SuperB]
- $B_{s,d} \rightarrow l^+ l^-$ S-LHCb + ATLAS & CMS
- CPV in B_s mix. $[\phi_s]$ S-LHCb + ATLAS & CMS
- $B \rightarrow K^{(*)} l^+ l^-, \nu \nu$ S-LHCb / S-Bfactory
- $B \rightarrow \tau \nu, \mu \nu (+D)$ S-Bfactory
- $K \rightarrow \pi \nu \nu$ Kaon beams [NA62, KOTO, ORKA]
- CPV in charm S-LHCb / S-Bfactory



The LHCb detector at CERN

Data collected in pp collisions:

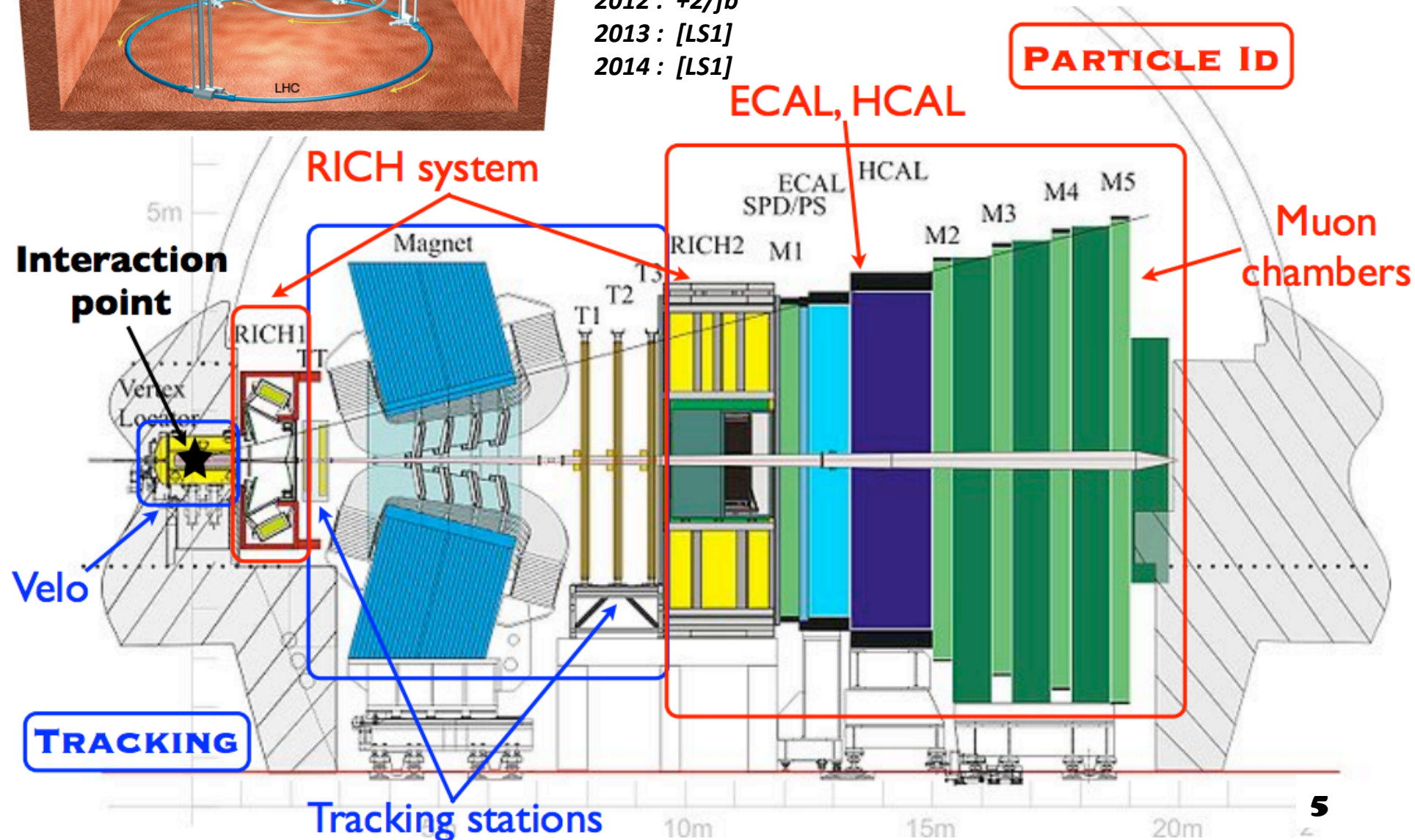
2010 : 0.035 /fb

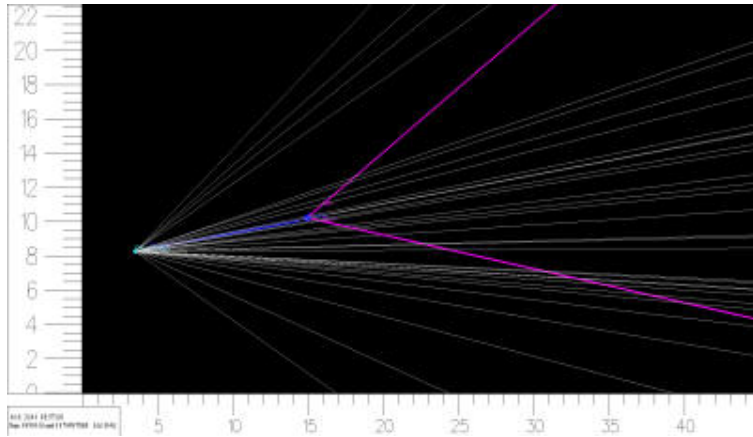
2011 : 1/fb

2012 : +2/fb

2013 : [LS1]

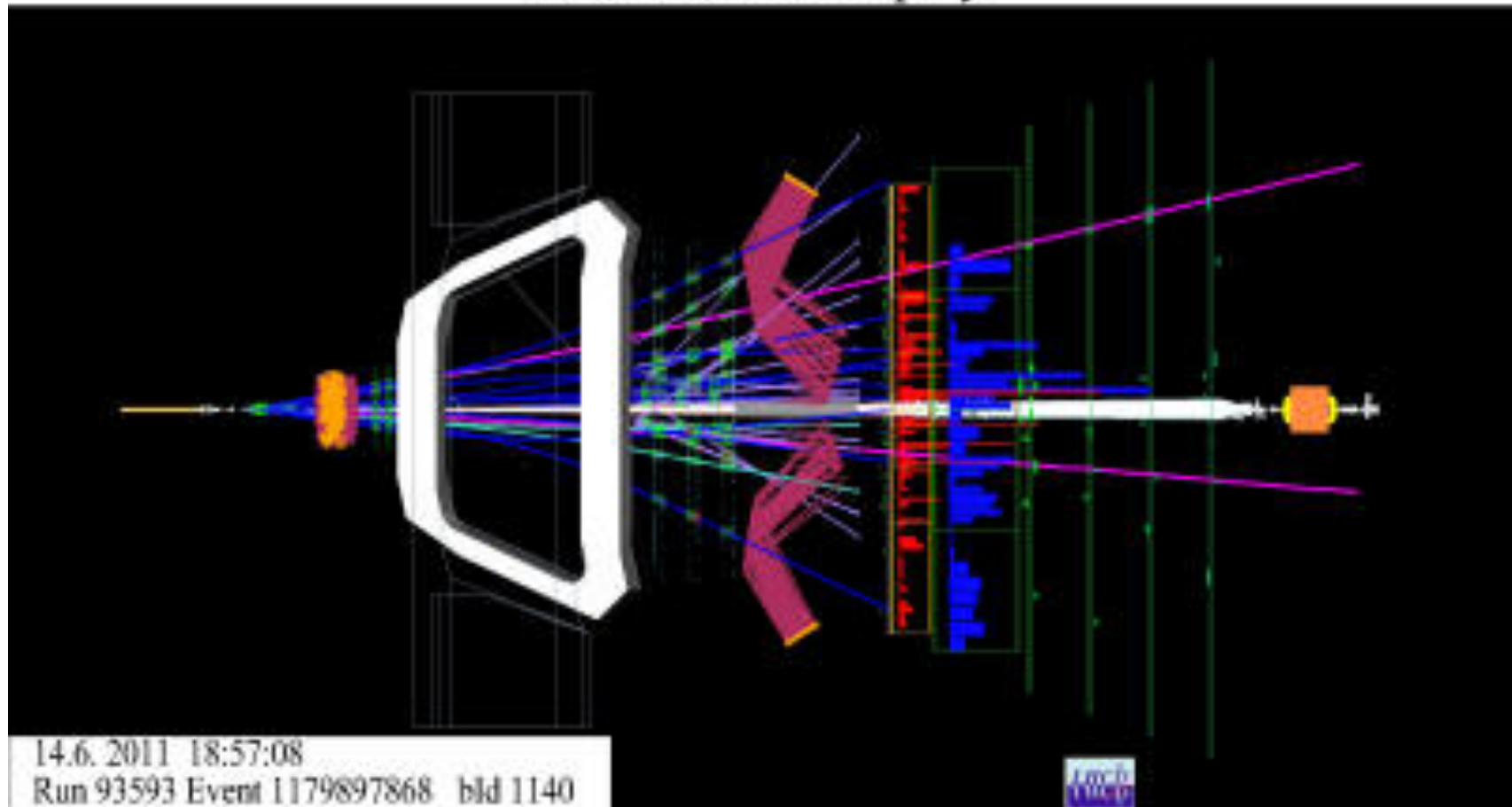
2014 : [LS1]





Candidate $B_s \rightarrow \mu\mu$

LHCb Event Display

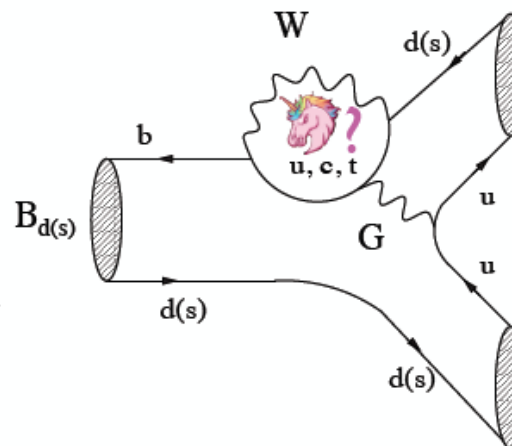


Our activities

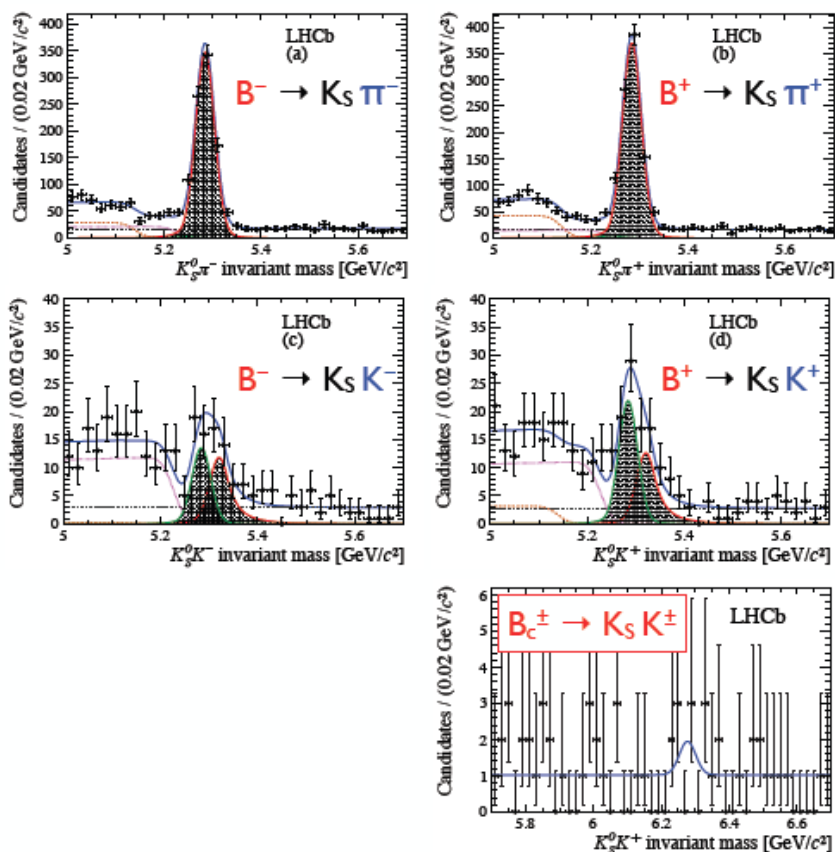
- Data analysis:
 - 1) B->charmless
 - 2) $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$
 - 3) Charm (finishing)
- Service tasks:
 - 1) MC: implementation and tuning of PYTHIA 8 (article en preparation)
 - 2) MC liaison and "Stripping" liaisons pour des WGs
 - 3) Shifts (~100% du quota) and L0 trigger piquet
- LHCb upgrade:
 - 1) Firmware back-end
 - 2) Simulation and pattern recognition

LHCb: $B_{(c)}^+ \rightarrow K_S h^+$

- $B_{(s)}^0 \rightarrow h h'$ sont sensible à $\beta, \gamma \dots$
- ... mais avec des **incertitudes hadroniques**
- On peut les supprimer en utilisant des canaux reliés par **SU(3)** -- comme $B^+ \rightarrow K_S h^+$



Fleischer, PLB 459 (1999) 306



Mesures des BR et des asymmetries CP:

$$\frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K_S^0 K^+)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+)} = 0.064 \pm 0.009 \text{ (stat.)} \pm 0.004 \text{ (syst.)},$$

$$\mathcal{A}^{CP}(B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+) = -0.022 \pm 0.025 \text{ (stat.)} \pm 0.010 \text{ (syst.)},$$

$$\mathcal{A}^{CP}(B^+ \rightarrow K_S^0 K^+) = -0.21 \pm 0.14 \text{ (stat.)} \pm 0.01 \text{ (syst.)}.$$

Limite sur B_c (avec suppositions):

$$\mathcal{B}(B_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^+) < 4.6 \times 10^{-4} \text{ at 90\% confidence level}$$

LHCb: $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S h^+ h'^-$

- Objectif ultime: mesure des parametres CKM: β , β_s , γ
- Après l'upgrade, nous attendons incertitudes \sim qq degrés
- Nous commençons par des mesures de BRs avec 1 fb^{-1}

Désintégration	Observé avant LHCb?	Favorisée ou supprimée?
B^0	✓	F
B^0	✓	S
B^0	✓	F
B_s	X	S
B_s	X	F
B_s	X	S

- Article publié: plusieurs mesures, y compris les **premières observations** de $B_s \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ et $B_s \rightarrow K_S K^\pm \pi^\mp \dots$

LHCb: $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S h^+ h'^-$

Parmi les résultats:

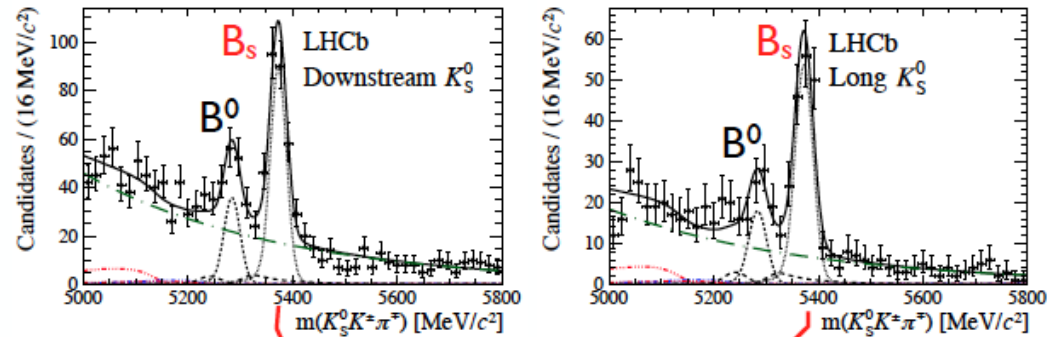
$$\frac{B(B^0 \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp)}{B(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} = 0.128 \pm 0.017 \text{ (stat.)} \pm 0.009 \text{ (syst.)},$$

$$\frac{B(B^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-)}{B(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} = 0.385 \pm 0.031 \text{ (stat.)} \pm 0.023 \text{ (syst.)},$$

$$\frac{B(B_s^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)}{B(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} = 0.29 \pm 0.06 \text{ (stat.)} \pm 0.03 \text{ (syst.)} \pm 0.02 (f_s/f_d),$$

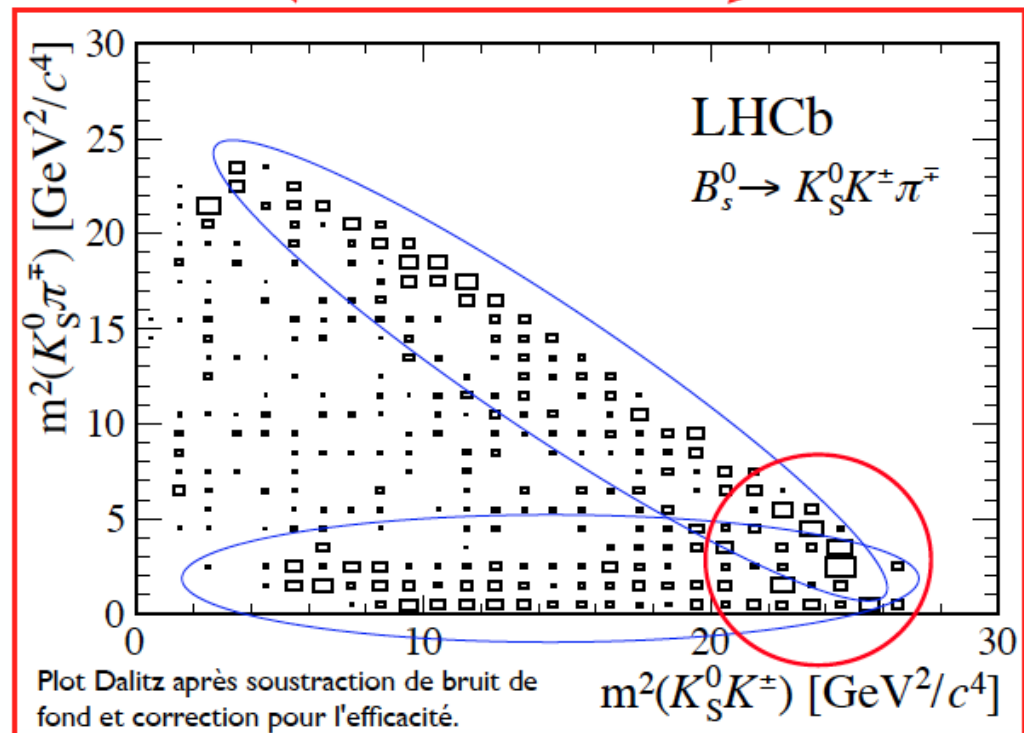
$$\frac{B(B_s^0 \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp)}{B(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} = 1.48 \pm 0.12 \text{ (stat.)} \pm 0.08 \text{ (syst.)} \pm 0.12 (f_s/f_d),$$

$$\frac{B(B_s^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-)}{B(B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-)} \in [0.004; 0.068] \text{ at 90\% CL.}$$



Structure intéressante

- Contributions possibles d'états intermédiaires K^*
- Région d'interférence



$$\text{LHCb: } B_{(s)}^0 \rightarrow K_S h^+ h'^{-}$$

En cours :

- Recherche du mode $B_s \rightarrow K_S K^+ K^-$ avec 3/fb
- **Analyse en amplitude** avec 3/fb intégrée en temps
 - Déterminera le contenu résonant des désintégrations
 - Fournira une étude de faisabilité d'analyses futures plus complexes (sensible à β_s via les termes hyperboloques)

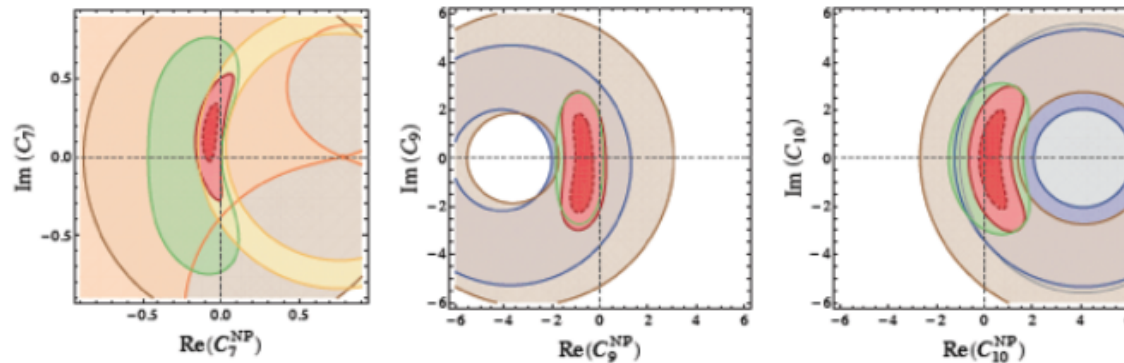
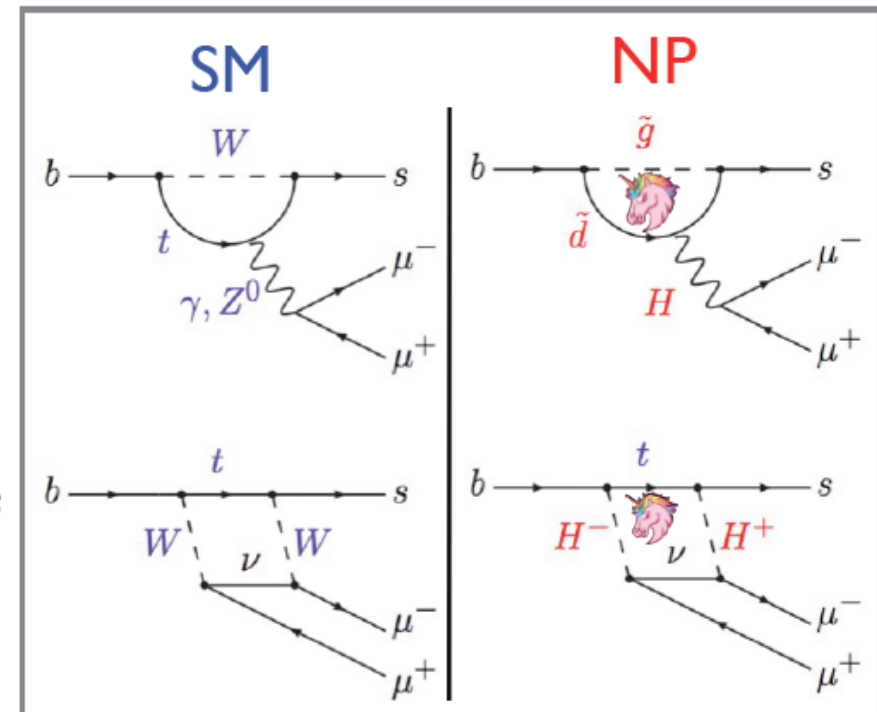
Nos contributions (entre autres) :

- Efficacité (développement d'un outil dédié de simulation)
- Fitter
- Etude détaillé de bruit de fond

Sujet de thèse de Louis Henry (en particulier le canal $K_S K^+ K^-$)

LHCb: $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

- Désintégration FCNC
- Puissant test du modèle standard: nouvelle physique dans les boucles?
- Faible BR: $\sim 10^{-6}$
- Même quand on ne trouve pas de nouvelle physique, les contraintes de la mesure sont très fortes et guident les théoriciens dans la construction de modèles.



arXiv[1206.0273]
W. Altmannshofer
and D. Straub

$B \rightarrow X_s l^+ l^-$, $\text{BR}(B \rightarrow X_s \gamma)$ (yellow), $A_{\text{CP}}(b \rightarrow s \gamma)$, $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$,
 $B \rightarrow K \mu^+ \mu^-$, $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, and **combination** at 1 and 2σ .

Analyse angulaire de $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

La cinématique de la désintégration est décrite complètement en fonction de $q^2 = m^2(\mu\mu)$ et de trois angles: θ_l, θ_K, ϕ

$$\Gamma = f(q^2, \theta_l, \theta_K, \phi; [\text{set d'observables}])$$

... dont certaines ont une signification physique claire:

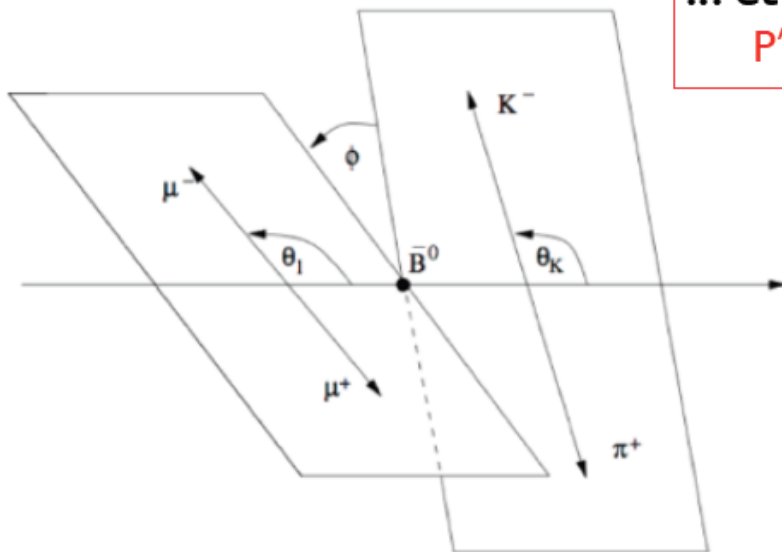
A_{FB} = asymétrie avant-arrière du di-muon

F_L = polarisation longitudinale du K^*

S_3 et A_9 = liés à la polarisation du photon

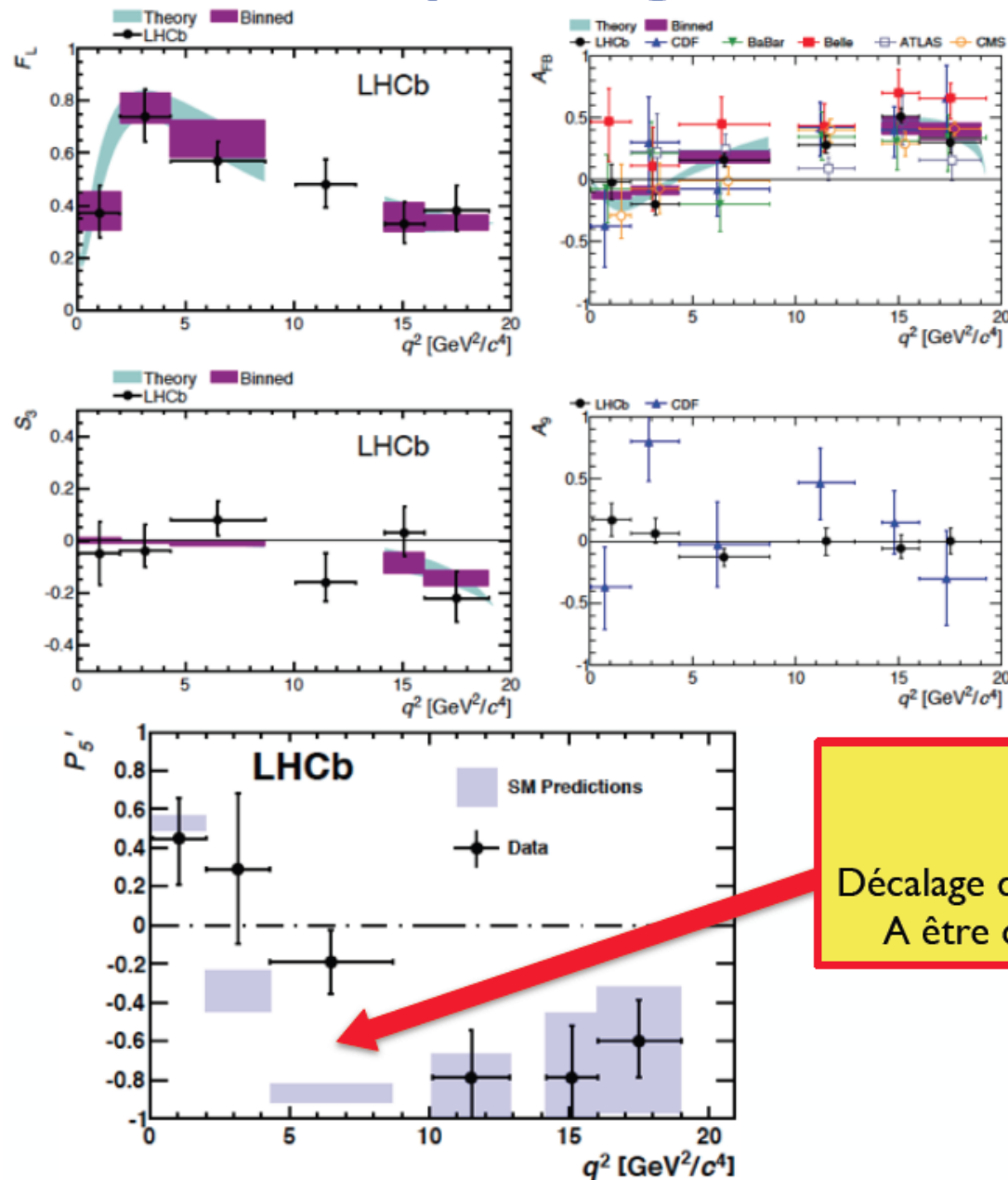
... et d'autres un peu moins claire:

P'_4, P'_5, P'_6, P'_8



$$\frac{1}{d\Gamma/dq^2 d \cos \theta_l d \cos \theta_K d \phi} \frac{d^4(\Gamma)}{d \cos \theta_l d \cos \theta_K d \phi} = \frac{9}{16\pi} \left[F_L \cos^2 \theta_K + \frac{3}{4} (1 - F_L) (1 - \cos^2 \theta_K) \right. \\ \left. - F_L \cos^2 \theta_K (2 \cos \theta_l - 1) + \frac{1}{4} (1 - F_L) (1 - \cos^2 \theta_K) (2 \cos^2 \theta_l - 1) \right. \\ \left. + S_3 (1 - \cos^2 \theta_K) (1 - \cos^2 \theta_l) \cos 2\phi + \frac{3}{4} A_{FB} (1 - \cos^2 \theta_K) \cos \theta_l \right. \\ \left. + A_9 (1 - \cos^2 \theta_K) (1 - \cos^2 \theta_l) \sin 2\phi \right]$$

Analyse angulaire de $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$



Résultats publiés (1fb^{-1})

- LHCb a la meilleure précision
- LHCb mesure pour la première fois des nouvelles observables
- Les mesures sont dominés par l'incertitude statistique.

Chaud!

Décalage de 3.7σ dans cette fourchette.
A être confirmé plus de données...

Analyse angulaire de $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

Nos contributions à l'analyse publié (1 fb^{-1}) :

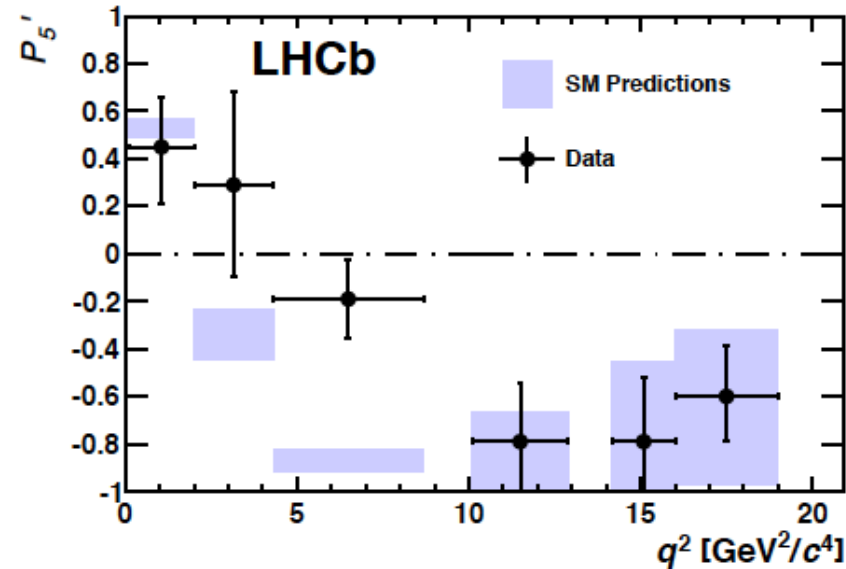
- évaluation de l'onde S($K\pi$)
- mise en place de la méthode pour correction des biais résultant de la masse non nulle du μ
- validation du fit par un cross-check indépendant des résultats dans le premier bin en q^2
- revue de l'analyse des observables P'

... et à l'analyse des 3 fb^{-1} en cours (thèse de Samuel Coquereau):

- production des ntuples pour le groupe de travail
- optimisation de la sélection des événements
- amélioration des descriptions du signal et du bruit

Résultats attendus en automne!

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

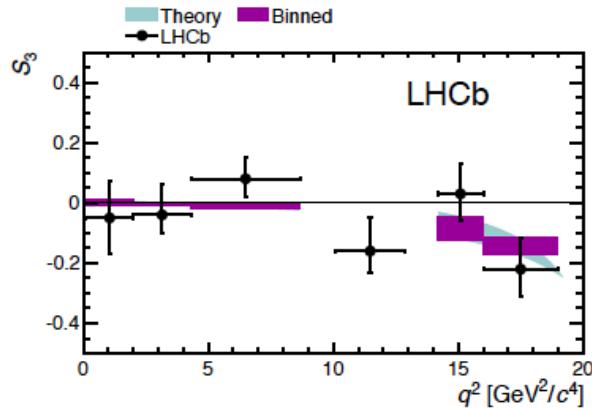


Error in 3rd bin of P_5' :

- With 3fb^{-1} of run1 => 0.11
=> $\sim 6\sigma$ deviation if central value stay the same.....
- With run1+ run2 we get 8fb^{-1} => 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 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 \Rightarrow less events
- But higher sensitivity (can reach lower q^2 where the photon diagram is dominant)
 - \Rightarrow Expected same sensitivity as muon channel
 - \Rightarrow combining with electron channel errors reduced roughly of $1/\sqrt{2}$

LHCb: Charme

Objectifs des analyses de la spectroscopie:

- Confronter les modèles de QCD
- Mesures/études des propriétés des particules

Analyses publiées:

- Etude des mesons excités $D_J \rightarrow D^+ \pi^-, D^0 \pi^+, D^{*+} \pi^-$
- Recherche du baryon Ξ_{cc}^+ (0.65/fb)

Analyses en cours:

- Etude/recherche de $\Lambda_c/\Sigma_c \rightarrow pD$ et $\bar{p}D$ (plusieurs modes)
- Recherche pour le baryon Ξ_{cc}^+ (0.65/fb)
- .. et d'ailleurs, 2 analyses de la mélange et de CPV (ΔA_{CP})

LHCb upgrade: pourquoi?

- Des déviations par rapport aux prédictions du Modèle Standard sont toujours attendues, mais elles devraient être petites ($O(1 \text{ à } 10\%)$).
- 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 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.

LHCb measurements in upgrade

Statistical sensitivities of the LHCb upgrade to key observables. For each observable the expected sensitivity is given for the integrated luminosity accumulated by the end of LHC Run 1, by 2018 (assuming 5 fb^{-1} recorded during Run 2) and for the LHCb Upgrade (50 fb^{-1}).

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

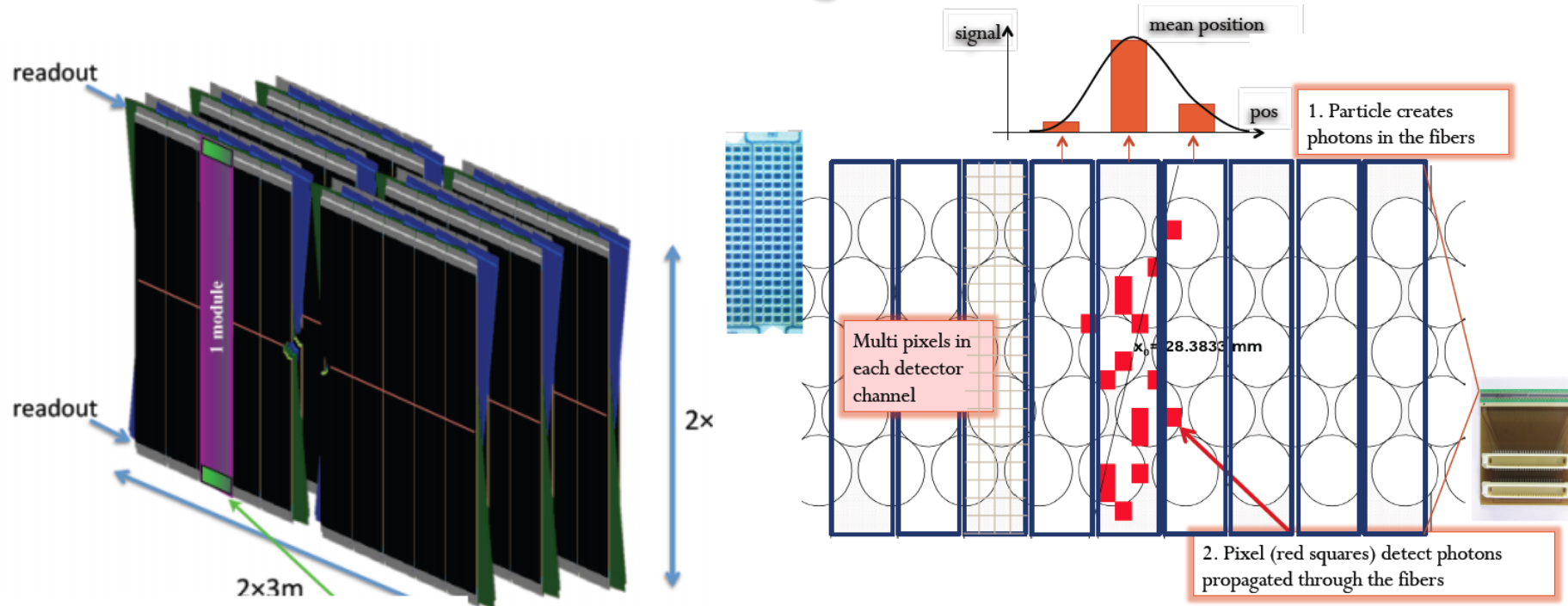
Upgrade de LHCb

- Replace/overhaul several subdetectors: VeloPixel, Trackers (UT, SciFi), RICH
- Replace readout electronics
 - Readout rate: 40 MHz instead of 1 MHz
 - Full software trigger
- Collect 50 fb⁻¹ over 10 years (from 2019, after LS2)
- Running conditions implies higher occupancies and radiation doses:
 - 25 ns bunch spacing (50 ns in 2012)
 - 2400 colliding bunches at $\sqrt{s}=14$ TeV (8 TeV in 2012)
 - Luminosity leveling at $\mathcal{L} = 2 \times 10^{33}$ cm⁻²s⁻¹ (4×10^{32} in 2012)
 - Pileup = interactions / bunch crossing ~ 2.7 (1.7 in 2012)

Que fait le 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 a deux notes publiques: sur la geometrie (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 conseil scientifique du LPNHE en Juillet.

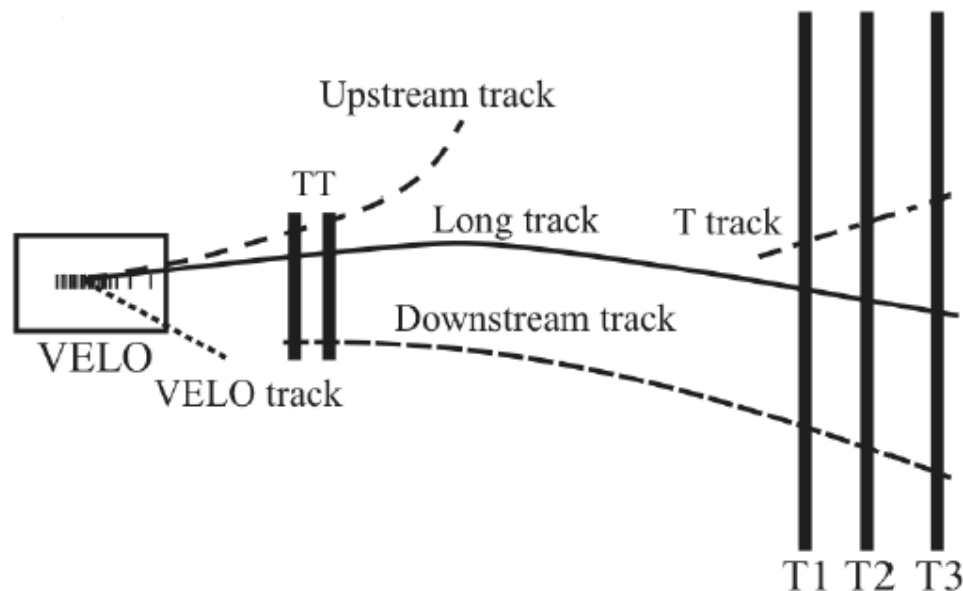
SciFi: Scintillating Fiber Tracker



- Tracking system has to be changed to resist to high radiation expected with upgrade
- 3 station, each station with four layers: x, u, v, x
- 250 μm diameter scintillating fibers, 2.5m long, arranged in multiple layers for improved light collection
- 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

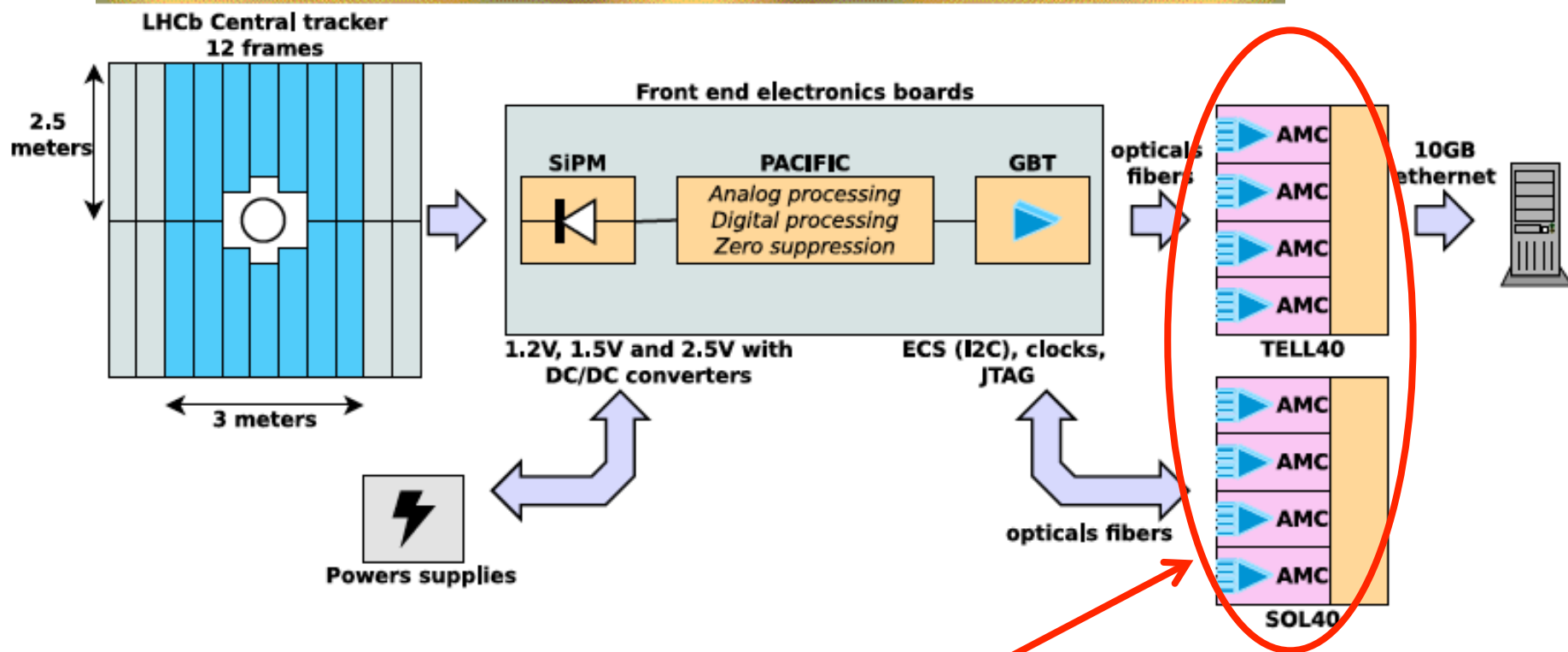
Activités software

- **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 »**:
 - Reconstitue 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 μm 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 de lecture « backend » TELL40 pour le 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)

THANK YOU
and WELCOME
from
LHCb @ LPNHE