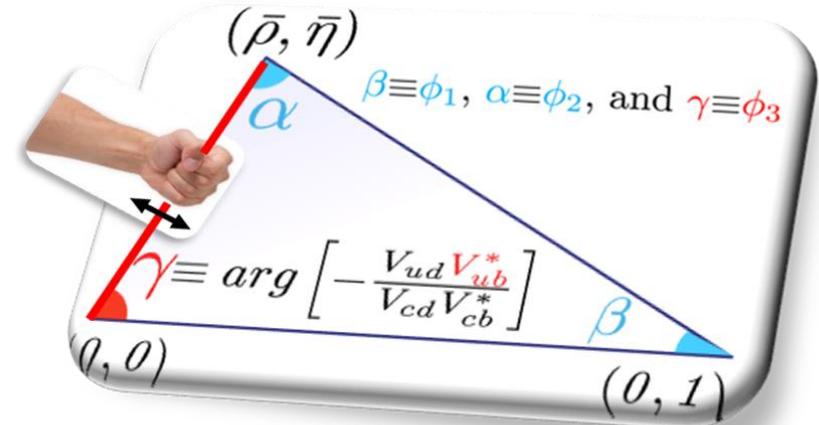
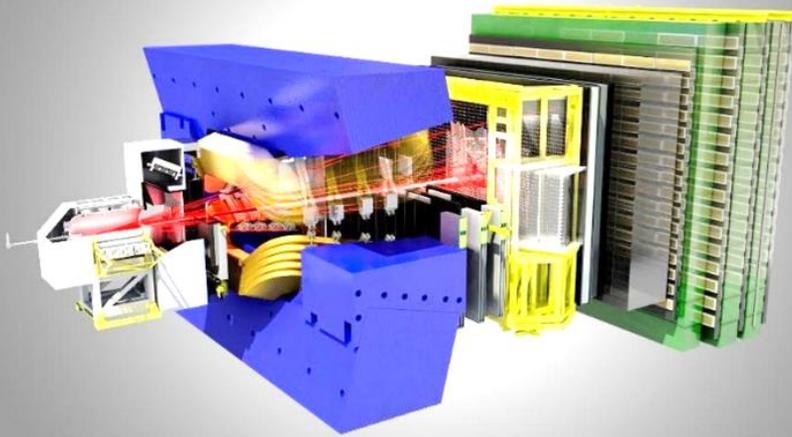


30 ans (12 en fait ...) de physique à LHCb

V. Tisserand, LPC-Clermont Ferrand, France

Amphi Recherche 1^{er} décembre 2022



25 ans (1998) de groupe LHCb au LPC

93 personnes (sans compter les stagiaires)

Nom	Prénom	Start date	End date	Profession
ACHARD	Cyrille	2019		
AFSHARNIA	Hossein	2018		PhD
AJALTOUNI	Ziad	1997		
ALLEZARD	Audrey	2005	2005	CDD
ARVEUF	Nicolas	2021		
ATTOME	Elodie	2004	2005	CDD
BAALOUCH	Marouen	2012	2016	PhD
BLANCHARD	Guillaume	2014		
BOHNER	Gérard	1998	2007	
BONNARD	Jonathan	2013	2013	
BONNEFOY	Roméo	2003		
BONY	Martine	2017	2020	
BORIS	Quintana	2016	2019	PhD
BORRAS	David	2003	2006	PhD
BRETON	Vincent	1998	2002	
BRUN	Nicole	1999	2002	
CARLOGANU	Cristina	2002	2007	
CHANAL	Hervé	2006		
CHASSAGNY	Valérie	2005	2005	CDD
COGNERAS	Eric	2011		
COMBARET	Benoit	2005	2005	CDD
CONTE	Eric	2004	2007	PhD
CORNAT	Rémi	2000	2007	
CROUAU	Michel	2002	2007	
CROZATIER	Cedric Guy	2019	2019	
DANIEL	Jessy	2021		PhD
DAUDON	François	2000	2019	
DELAGE	Emmanuel	2004	2007	
DESCHAMPS	Olivier	2000		
EL RIFAI	Ibrahim	2011	2015	PhD
FALVARD	Alain	1997	1999	
FAYARD	Christian	2000		
GALPIER	Cyrille			
GASQ	Christine	2013	2021	
GAZZONI	Giulio	2014	2017	PhD
GRABALOSA	Marc	2012	2015	PostDoc
HADJIVASILIOU	Christos	2015	2018	PostDoc
HAMRAT	Sonia	2015	2017	PhD
HENRARD	Pierre	2000	2017	
HOBALLAH	Mostafa	2011	2015	PhD
HOLOP	Florence			
INSA	Christophe	2014		
JACQUET	Philippe	2002	2010	
JAHJAH-HUSSEIN	Marwa	2007	2011	PhD
JOLY	Baptiste	2022		

JOUVE	Frederic	2021		
KHOUDIR	Inga			
KOZEIHA	Mohamad	2014	2017	PhD
LACAN	Catherine	2004	2007	CDD
LANNUSSE	Jean-Marie			
LAUBSER	Julien	2003	2007	PhD
LECOQ	Jacques	1998	2007	
LEFEVRE	Regis	2002		
LI GIOI	Luigi	2009	2012	PostDoc
MAGAUD	Gilles	2017	2019	
MAGNE	Magali	2004		
MANEN	Samuel Pierre	2021		
MARATAS	Jan Mickelle	2012	2015*	PhD
MARTEMIYANOV	Maxim	2007	2008	PostDoc
MERCIER	Marie-Lise	2000	2018	
MIRALLES	Tristan	2021		PhD
MONTEIL	Stéphane	2002		
NISS	Valentin	2006	2014	
NIVOIX	Marc	2004	2007	
PERRET	Pascal	1997		
PIALOUX	Sylvie	2006	2007	CDD
PILLET	Nicolas Geoffroy	2013		
PIRARD	René	2006	2006	
QUINTANA	Boris Julien	2016	2019	PhD
RABAT	Thierry	2006	2006	CDD
RAMAHERISON	Julien Joseph	2018	2019	
REINMUTH	Guy	2003	2017	
RIMBAULT	Cécile	2000	2004	PhD
ROA ROMERO	Diego Alejandro	2009	2013	PhD
ROBERT	Arnaud	2002	2006	PhD
RONFET	Bernard	2004	2004	
ROYER	Laurent	2003		
SAHUC	Eric	2004	2007	
SAZAK	Halime	2019	2022	PhD
SOARES LAVRA	Lais	2019	2022	PostDoc
SOBCZAK	Krzysztof Grzegorz	2008	2011	PhD
SUCHORSKI	Kristophe	2005	2007	CDD
SUDRE	Nelly	2005	2005	CDD
TISSERAND	Vincent	2017		
TISSERON	Florence	2004	2004	CDD
TROUILLEAU	Cyrille	1999	2001	
VANDAELE	Richard	2014		
VERDIER	Pierre	2004	2007	
VERNET	Maxime	2015	2018	PhD
VERT	Pierre-Etienne	2017	2020	
VITRANT	Jean-René			

XU	Zehua	2021		PostDoc
YENGUI	Firas	2014	2014	CDD



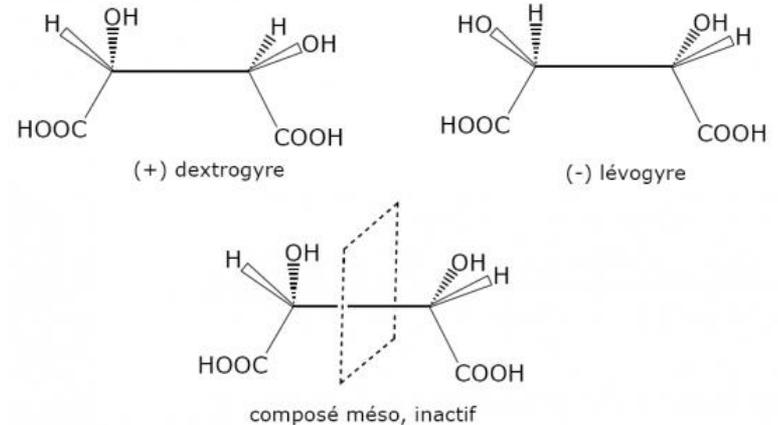
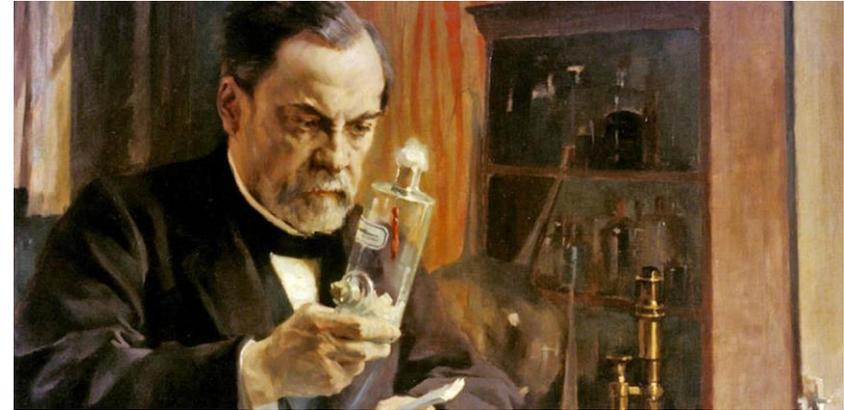
Symétries discrètes (CPT)

- **Parité** : un événement vu dans un miroir est-il aussi réaliste que l'original ?
- **Renversement du Temps**: regarder un film à l'envers aboutit à un événement réaliste ?
- **Conjugaison de Charge**: peut-on distinguer la matière de l'antimatière ?



Lewis Carroll (1871)
« À travers le miroir, et
Ce qu'Alice y a trouvé »

parité

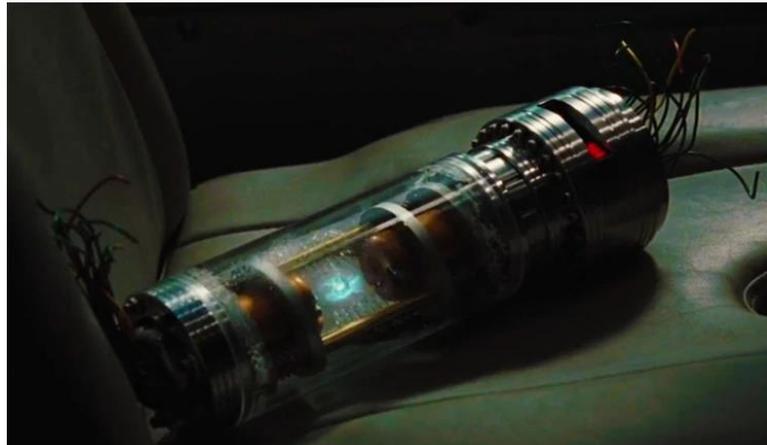
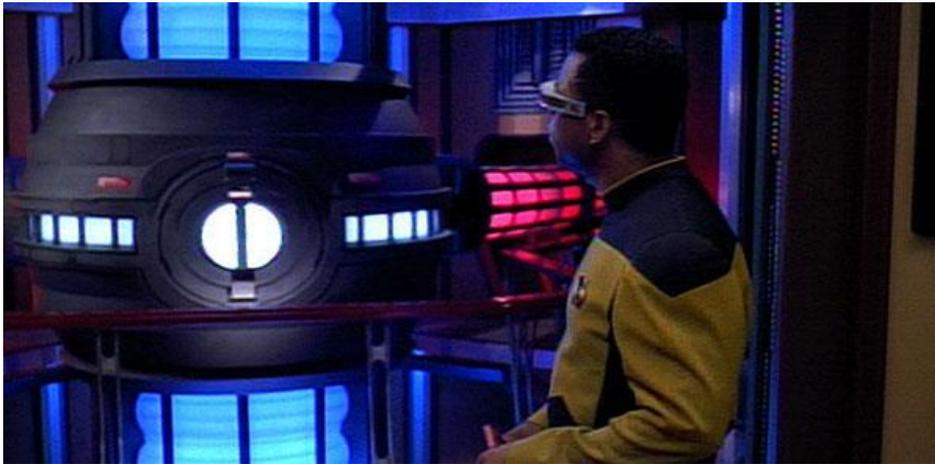


Louis Pasteur et la chiralité moléculaire
(1847-1856) [lumière polarisée &
cristallographie]

Symétries discrètes (CPT)

- **Parité** : un événement vu dans un miroir est-il aussi réaliste que l'original ?
- **Renversement du Temps**: regarder un film à l'envers aboutit à un événement réaliste ?
- **Conjugaison de Charge**: peut-on distinguer la matière de l'antimatière ?

Réacteurs/conteneurs d'antimatière



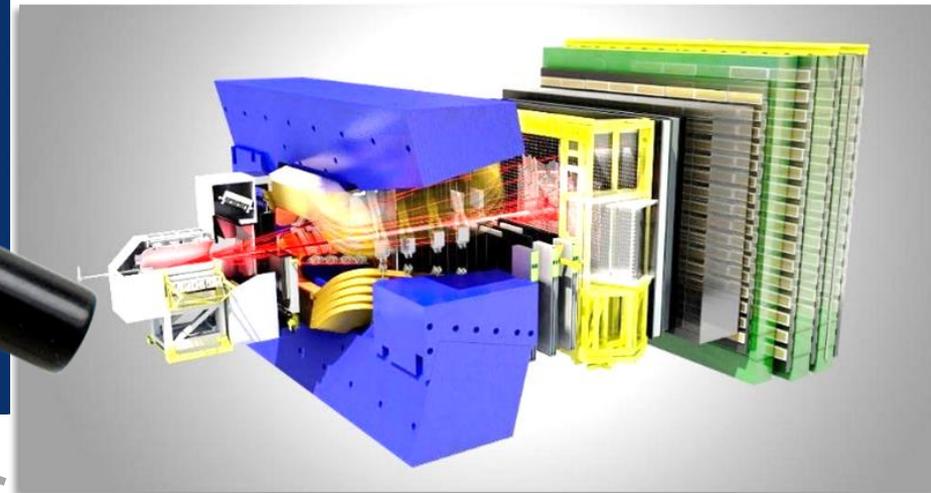
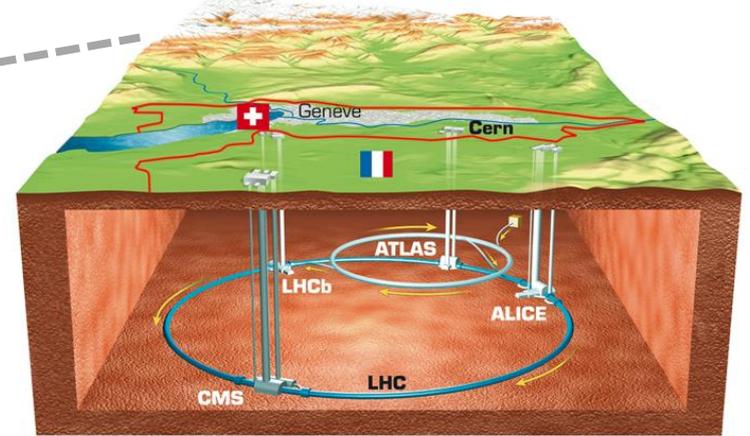
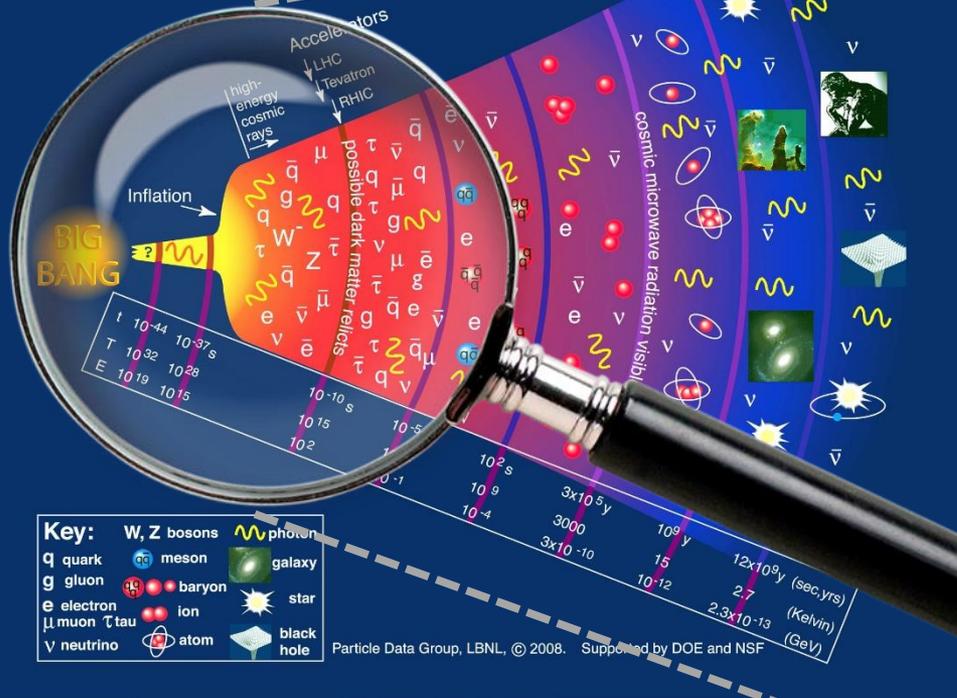
Machines à remonter le temps



Symétries discrètes (CPT)

- **Parité** : un événement vu dans un miroir est-il aussi réaliste que l'original ?
- **Renversement du Temps**: regarder un film à l'envers aboutit à un événement réaliste ?
- **Conjugaison de Charge**: peut-on distinguer la matière de l'antimatière ?

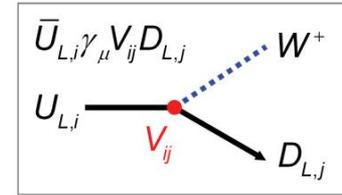
History of the Universe



Le **Modèle standard (MS)** et la **matrice CKM unitaire** → **mélange des 3 familles de quarks & violation CP**

- le boson de Higgs donne une masse aux bosons élémentaires et fermions (quarks, leptons) par des couplages de Yukawa, mais il n'y a pas que ça !

$$\mathcal{L}_{cc}^{\text{quarks}} = \frac{g}{2\sqrt{2}} W_{\mu}^{\dagger} \left[\sum_{ij} \bar{u}_i(q_2) \gamma^{\mu} (1 - \gamma^5) V_{ij} d_j \right] + \text{h.c}$$



- les courants chargés (EW) impliquent des transitions entre les familles de quarks : les quarks se désintègrent [il n'y a pas de courant neutre changeant de saveur (FCNC) au niveau de l'arbre (c'est-à-dire de mécanisme GIM)].

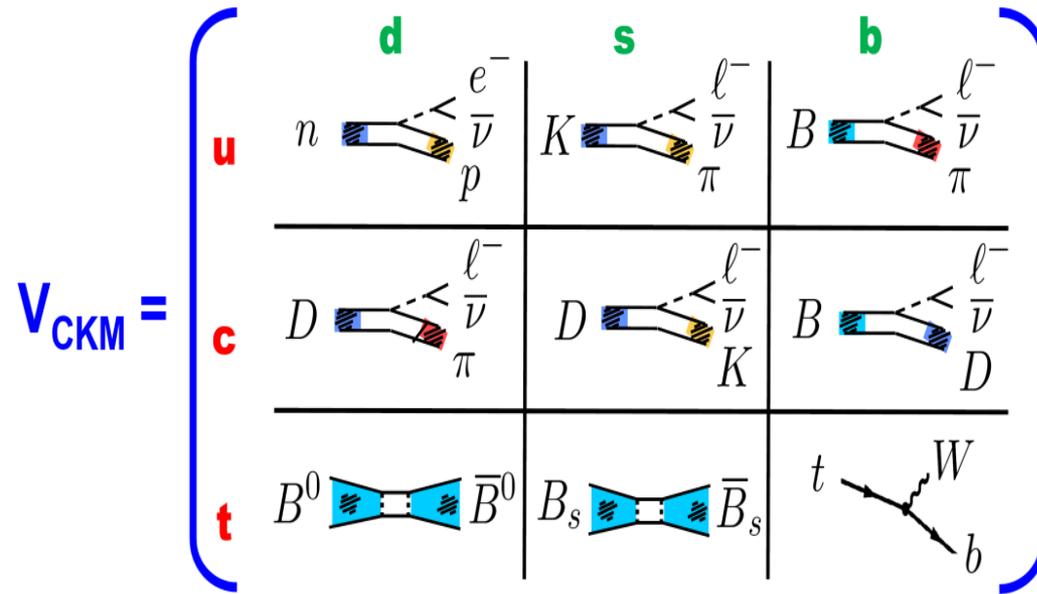
$$V_{\text{CKM}} = \begin{pmatrix} \text{u} & \text{d} & \text{s} & \text{b} \\ 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ \text{c} & -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ \text{t} & A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$+ \mathcal{O}(\lambda^4) \quad (VV^{\dagger} = \mathbf{1})$$

- forte hiérarchie dans les couplages EW $V_{\text{CKM}}(ij)$ pour les 3 familles (couplages diagonaux vs $\propto \lambda^N \approx (0.225)^N$: → **angle de Cabibbo**).

- mécanisme **KM** (Kobayashi-Maskawa): 3 générations & 4 paramètres : **A**, **λ** , **ρ** & **1 phase η complexe qui est la seule source de CPV dans SM.**

La matrice CKM : le triangle d'unitarité & La phénoménologie très riche des saveurs de quarks

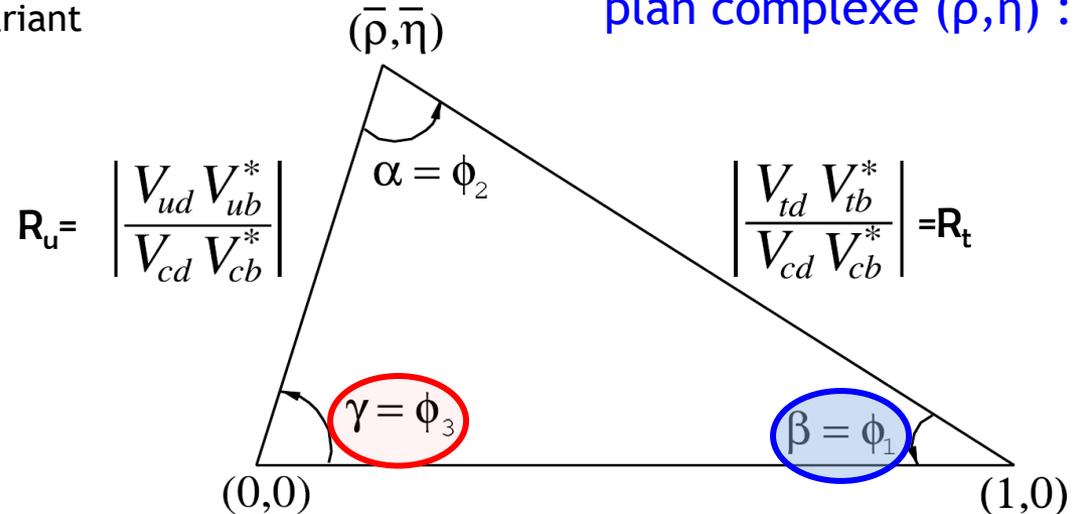


→ 4 paramètres (A, λ, ρ & η) à obtenir/tester : physique des nucléons, K, D, B(s) & physique top.
 → relation d'unitarité dans le système B_d (1^{ère} ligne/3^{ème} colonne):

$$\frac{V_{ud} V_{ub}^*}{V_{cd} V_{cb}^*} + 1 + \frac{V_{td} V_{tb}^*}{V_{cd} V_{cb}^*} = 0$$

$$O(1) + O(1) + O(1)$$

Triangle d'unitarité dans le plan complexe $(\bar{\rho}, \bar{\eta})$:



Paramétrisation « à la Wolfenstein » phase invariant & valid at any orders in λ @ CKMfitter

(EPJ C41, 1-131, 2005):

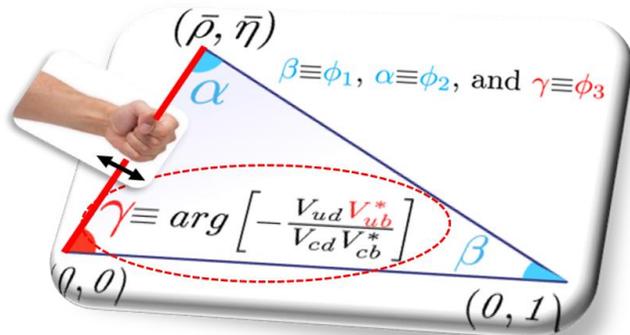
$$\bar{\rho} + i\bar{\eta} = -\frac{V_{ud} V_{ub}^*}{V_{cd} V_{cb}^*}$$

$$\lambda^2 = \frac{|V_{us}|^2}{|V_{ud}|^2 + |V_{us}|^2}$$

$$A^2 \lambda^4 = \frac{|V_{cb}|^2}{|V_{ud}|^2 + |V_{us}|^2}$$

→ L'angle CKM γ est un paramètre fondamental du MS lié à la phase complexe du mécanisme KM responsable de la violation CP dans le secteur des quarks

Il y a déjà 12 ans, après la BaBar@SLAC et la Belle@KEK des usines B, nous le savions déjà!

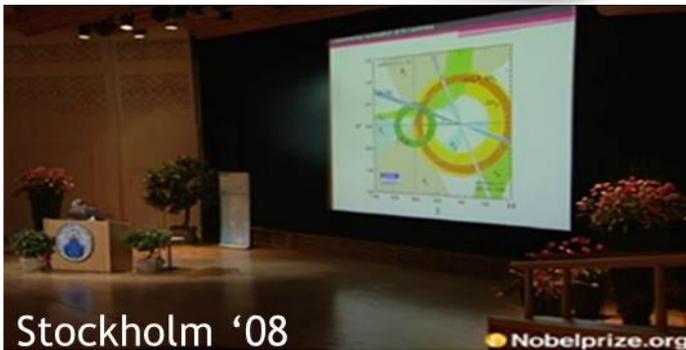


M. Kobayashi & T. Masakawa, Prix Nobel de physique 2008

Le mécanisme KM est la principale source de CPV à l'échelle de la EW (c'est-à-dire @

$$m_{W/Z})$$

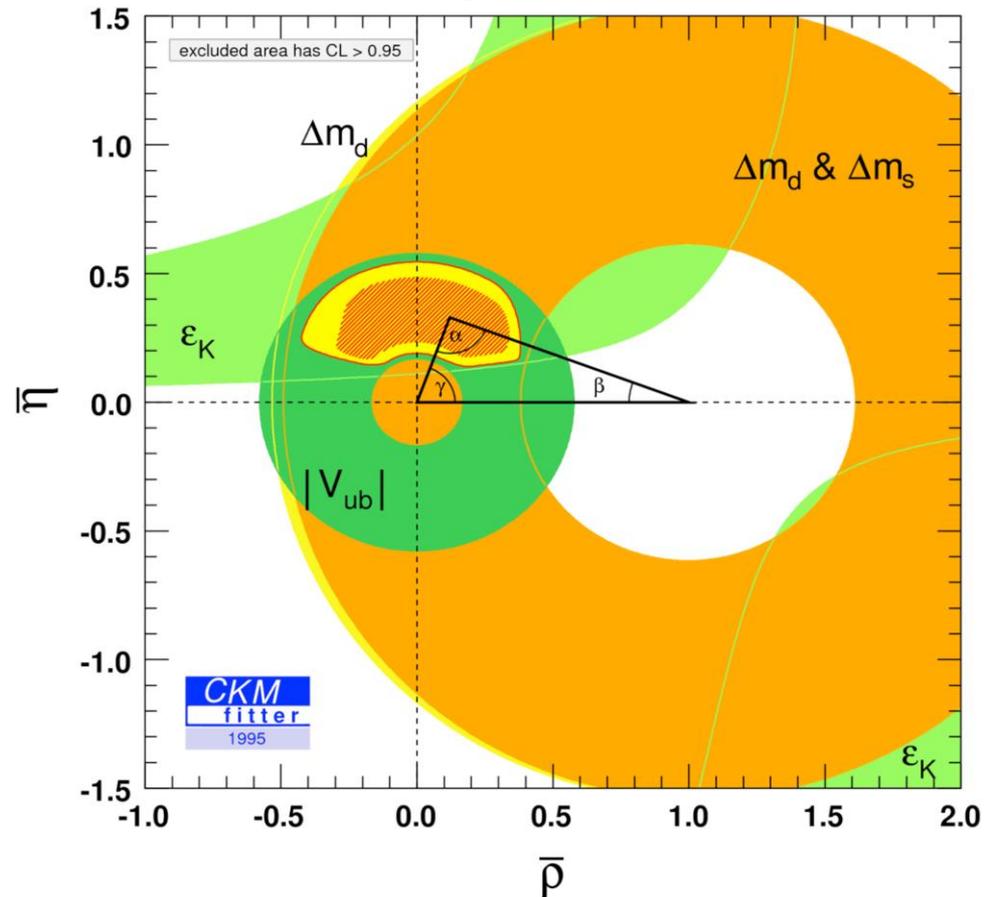
Mais il y a encore de la place pour la physique au-delà du MS!



Nobelprize.org

Les 25 dernières années ont vu d'énormes progrès en matière de **métrologie CKM**

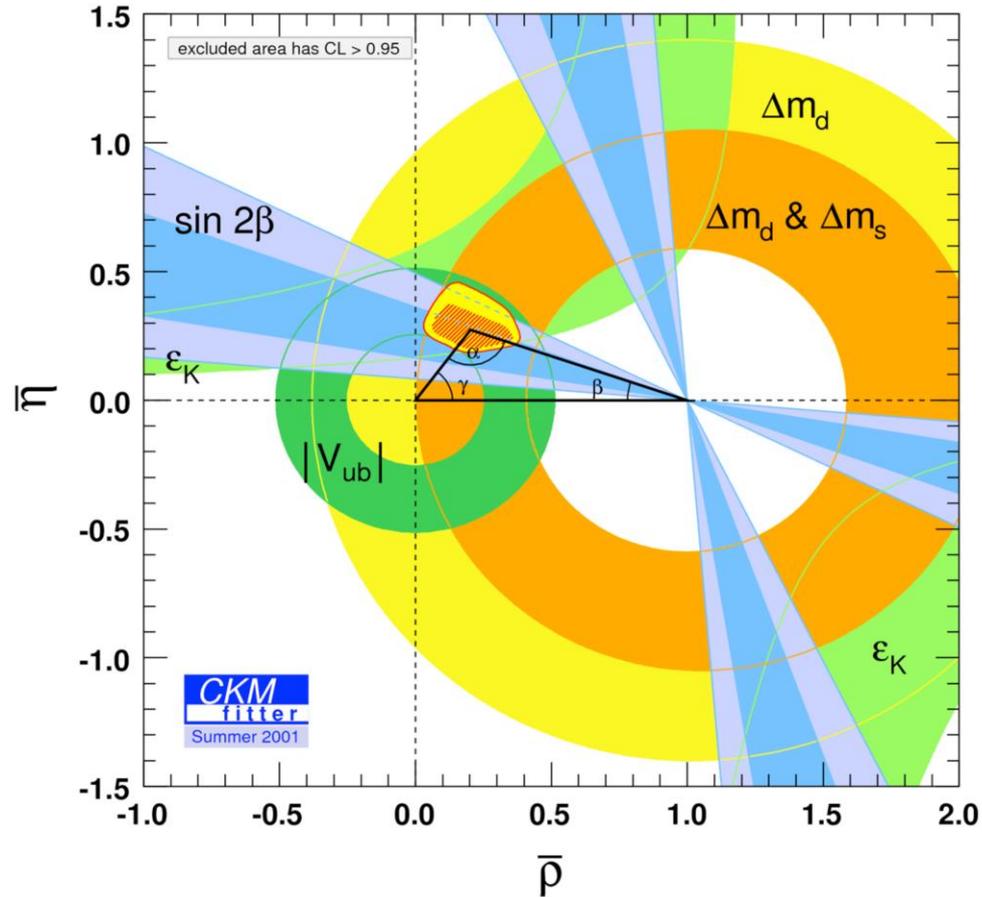
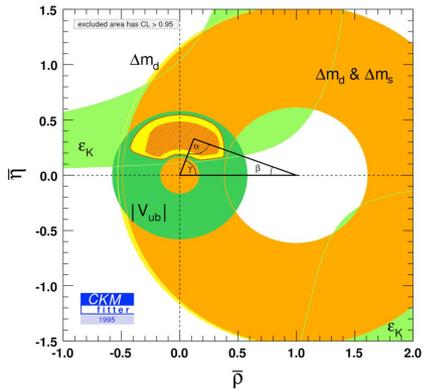
1995: après le LEP



Les 25 dernières années ont vu d'énormes progrès en matière de **métrieologie CKM**

2001: Les usines à B entrent en service

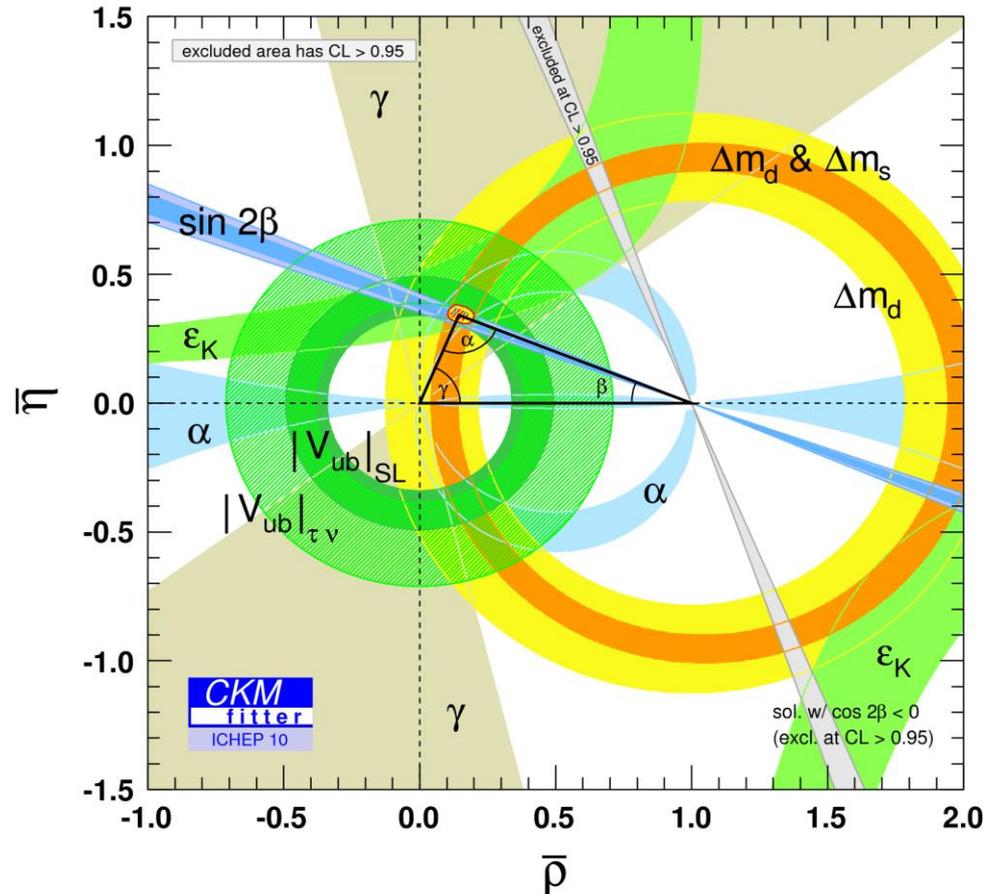
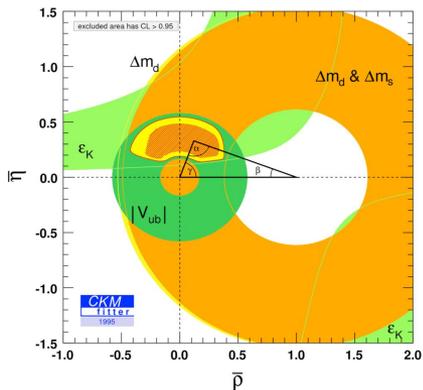
1995



Les 25 dernières années ont vu d'énormes progrès en matière de **métrologie CKM**

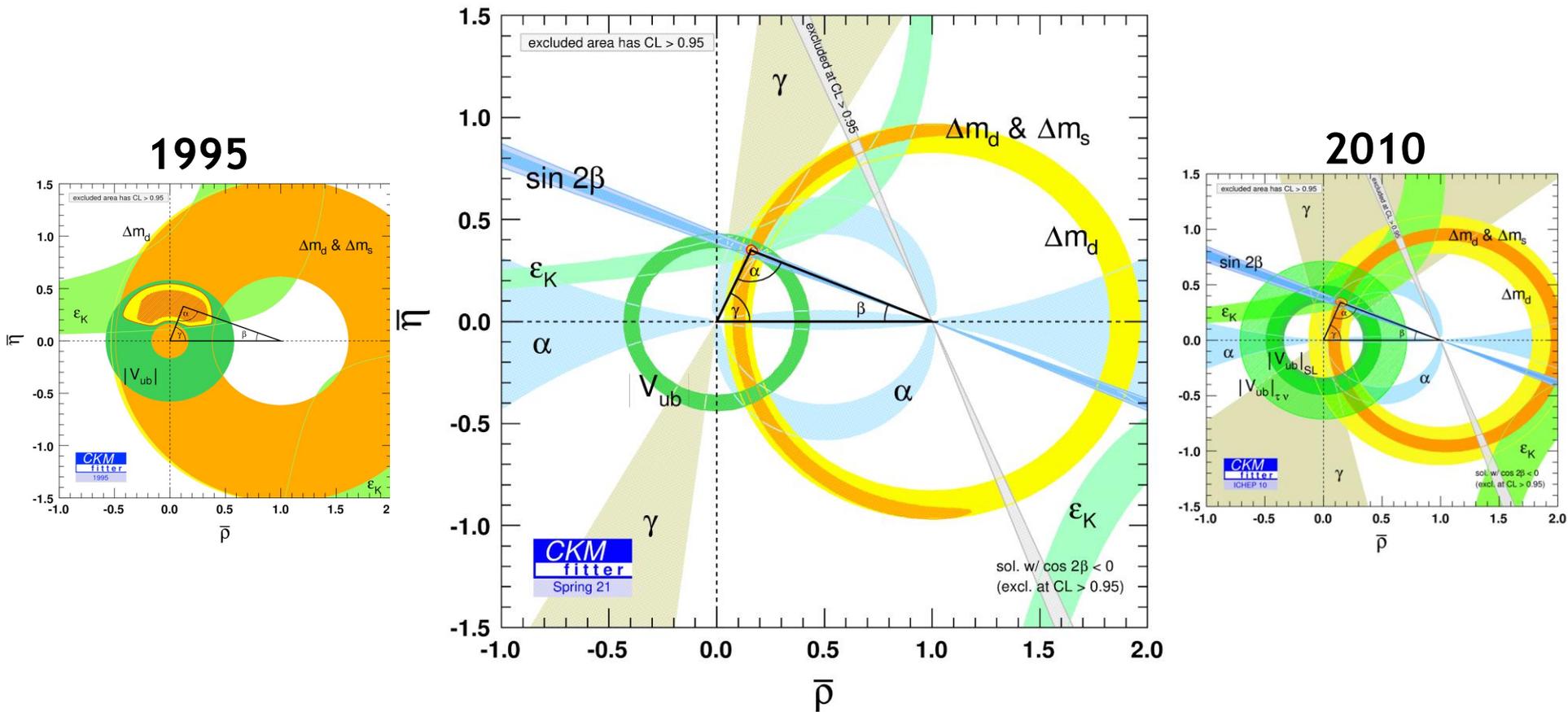
2010: testament des usines à B + CDF@TeVatron

1995



Les 25 dernières années ont vu d'énormes progrès en matière de **métrieologie CKM**

Après 10 ans de LHCb

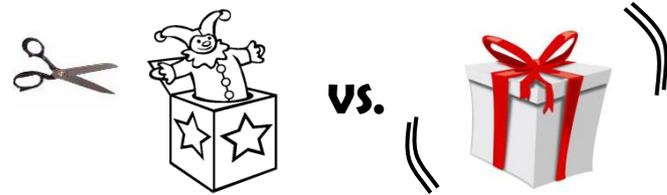


Prix Nobel pour Kobayashi & Maskawa en 2008

Pourquoi continuer à étudier la Physiques des Saveurs ?

→ La Nouvelle Physique (NP) peut être découverte : *approches complémentaires*
 (« problème inverse » du LHC : quel est le lagrangien de la NP à partir des données ?)

☑ **approche directe** [ATLAS/CMS] : en produisant et observant directement les particules nouvelles @ $\mathcal{O}(\text{TeV})$ ($\Rightarrow \sqrt{s}$ et/ou $\int \mathcal{L}.dt$?)

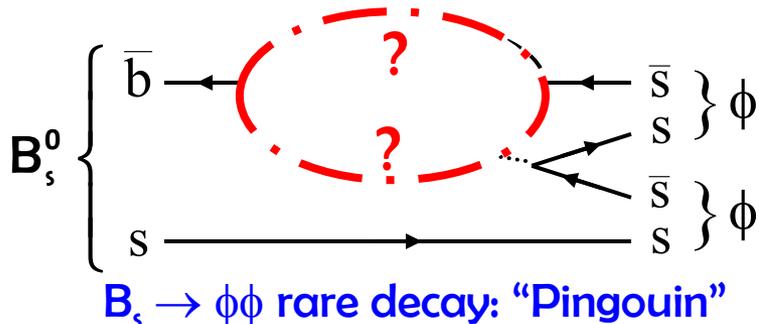


☑ **approche indirecte** [LHCb]: B_s

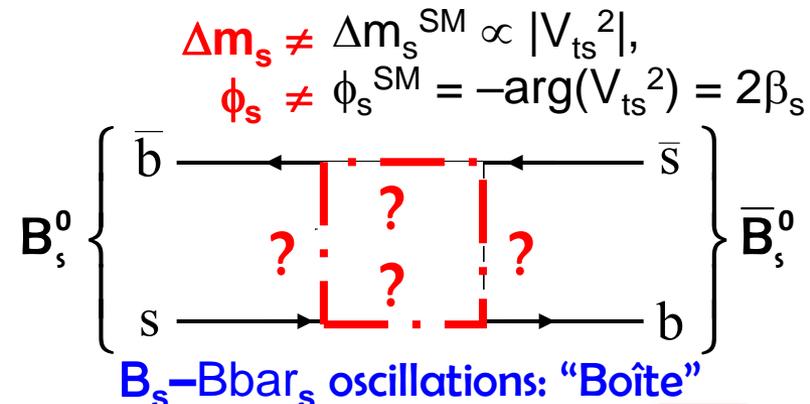
- corrections quantiques causées par **particules virtuelles** \Rightarrow **déviations/prédictions SM**
- accès à des échelles d'énergie bien au-delà des accélérateurs: $\Lambda_{NP} > 0.5-2 \times 10^4 \text{ TeV}$
- **NP@TeV**: quelle « structure » de la **physique des saveur** explique les processus **FCNC observés** ?

NOUS FAISONS DE LA MECANIQUE QUANTIQUE: Principe d'incertitude de HEISENBERG

↪ Accès aux **phases** des **nouveaux couplages** dans des **boucles** : CPV et/ou rare decays



NP



Programme de Physique de LHCb

Expérience dédiée aux **mesures de précision** pour **recherche NP** dans **CPV** et **désintégrations rares** de **tous les hadrons b** : B_d (40%), B_u (40%), **B_s (10%)**, B_c (0.1%), b-baryons (10%)

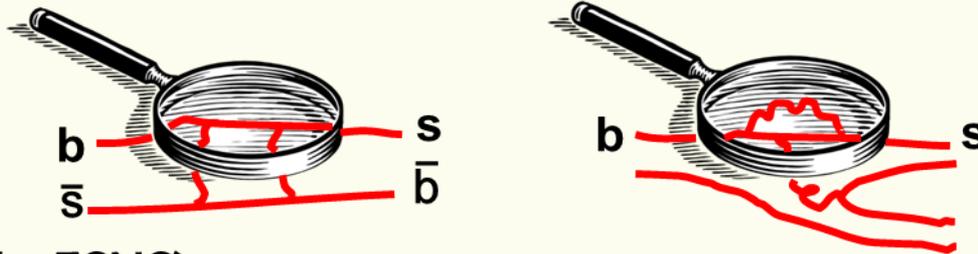


1) Mesures de précision/CKM pour recherche de déviations/SM:

- Tests de cohérence du Triangle d'unitarité : **angle γ** dans diverses méthodes/modes+ boucles/arbres.
- Comparer des mesures de la même quantité, une sensible à la NP et l'autre insensible
[ex.: $\sin(2\beta)$ arbre/pingouins avec $B_d \rightarrow (J/\psi K_S \leftrightarrow \phi K_S)$].

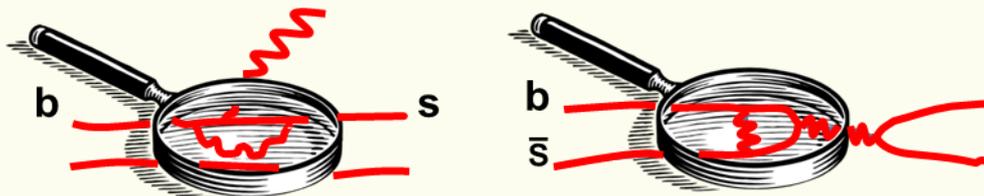
2) NP via nouvelles phases CP:

- Phase du mélange du B_s avec la désintégration $B_s \rightarrow J/\psi \phi + (J/\psi \eta^{(\prime)}, \eta_c \phi, D_s D_s \dots)$
- pingouin sans CPV: $B_s \rightarrow \phi \phi$

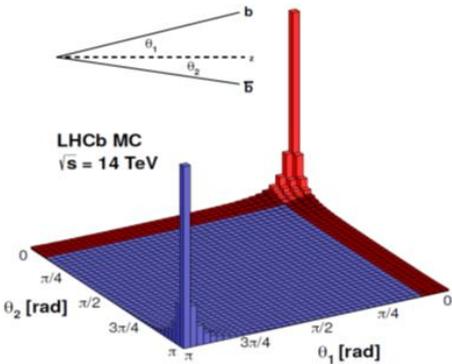
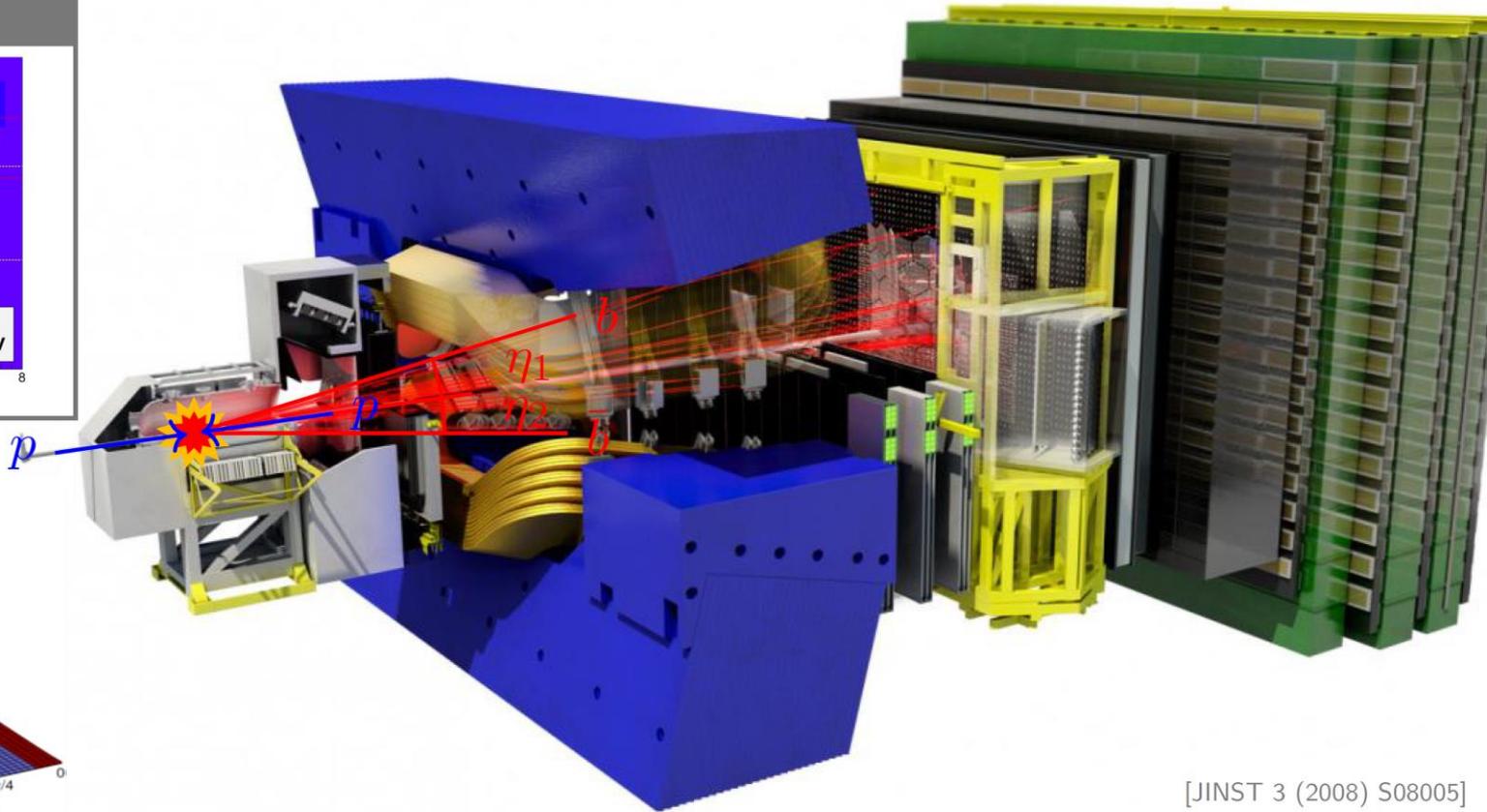
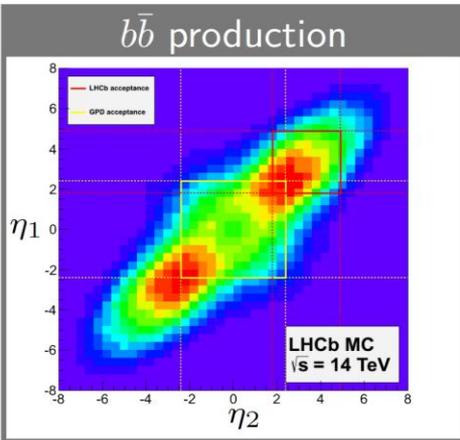


3) **NP dans désintégrations rares** ($|\Delta F|=1$ FCNC): asymétries (géom: A_{FB} , directe, dépend. du temps: C, S, ...), analyses angulaires/ amp. transversité/structure en hélicité des courants (V-A), polarisations (γ RH ?), $\mathcal{B} > SM$ pred ?

$$B \rightarrow K^* \gamma, B_s \rightarrow \phi \gamma, B \rightarrow K^* l^+ l^-, B_{(s)} \rightarrow \mu^+ \mu^- \dots$$



LHCb: un détecteur optimisé pour la physique des saveurs



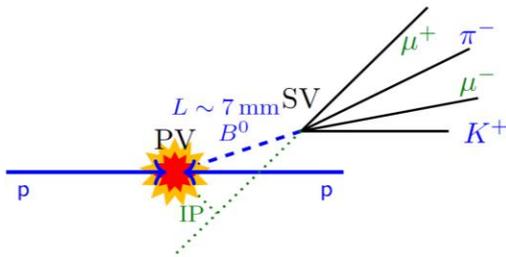
[JINST 3 (2008) S08005]
[IJMPA 30 (2015) 1530022]

- $b\bar{b}$ produced in forward/backward direction → Optimized acceptance $2 < \eta < 5$
- Huge production cross-sections in LHCb acceptance
 1.4×10^{11} $b\bar{b}$ -pairs per fb^{-1} (Run 2)
- All beauty, charm and strange hadrons produced
(B_s^0 , Λ_b^0 , B_c^+ , D_s^+ , Λ_c^+ , Σ^+ , ...)

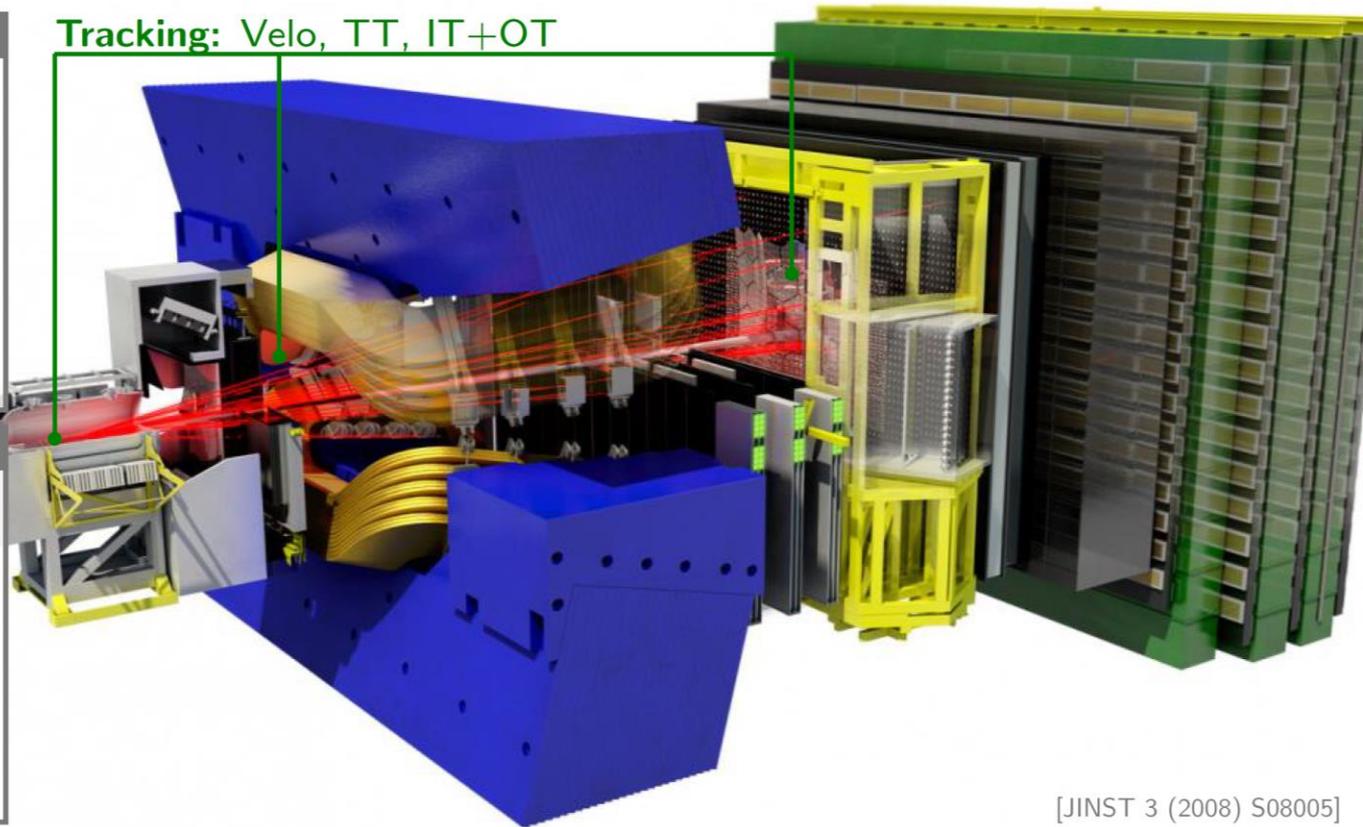
	$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$	$\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$
$\sigma_{b\bar{b}}^{\text{acc.}} [\mu\text{b}]$	75.3 ± 14.1	$144 \pm 1 \pm 21$
$\sigma_{c\bar{c}}^{\text{acc.}} [\mu\text{b}]$	1419 ± 134	2940 ± 241
Refs.	[PLB 694:209 (2010)] [NPB 871 (2013) 1-20]	[PRL 118 (2017) 052002] [JHEP 03 (2016) 159]

LHCb: un détecteur optimisé pour la physique des saveurs

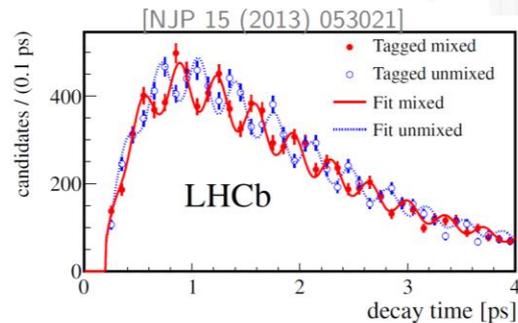
Heavy flavour signature



Tracking: Velo, TT, IT+OT



B_s^0 mixing

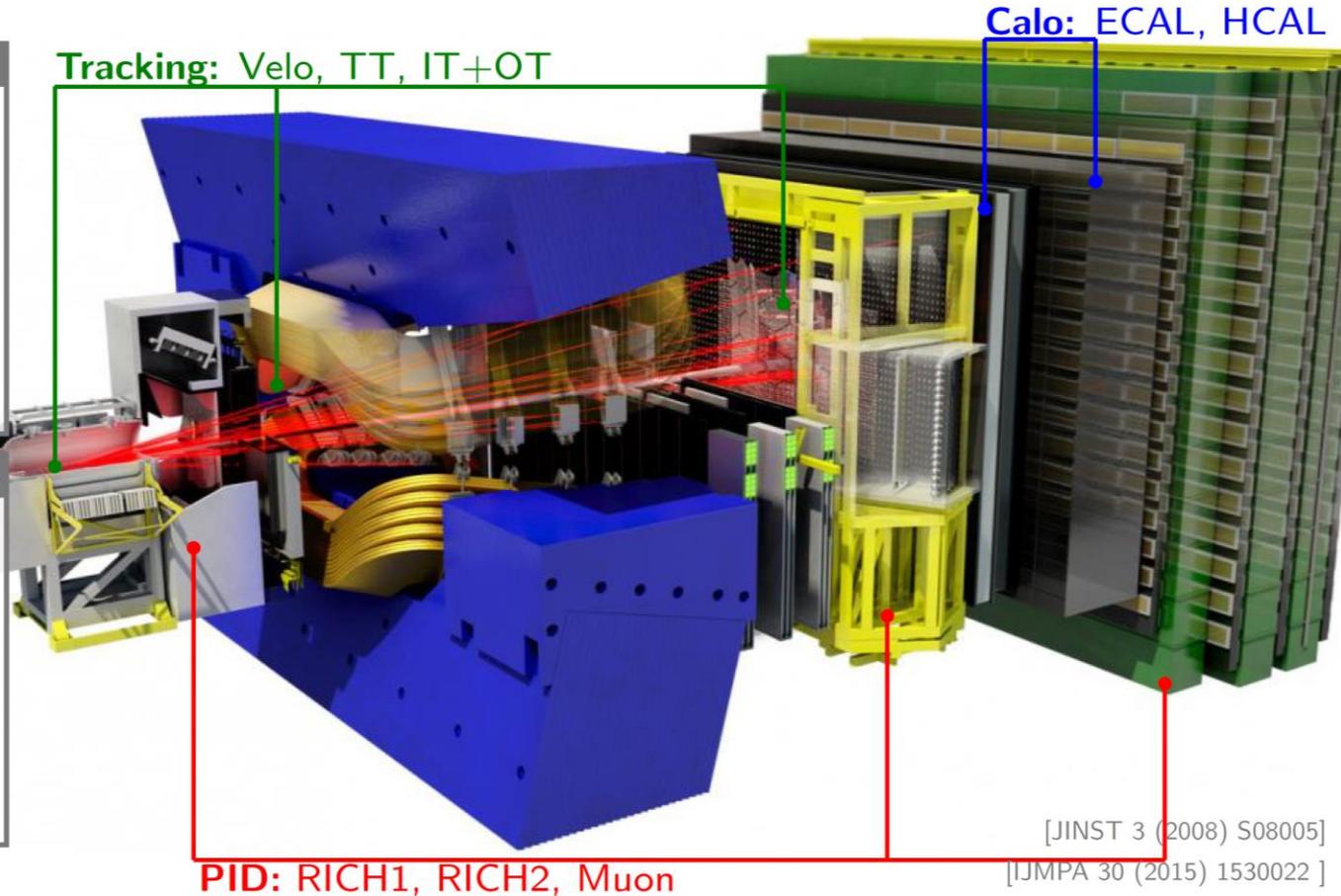
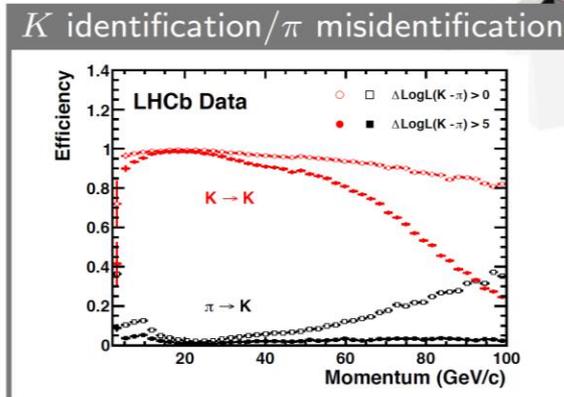
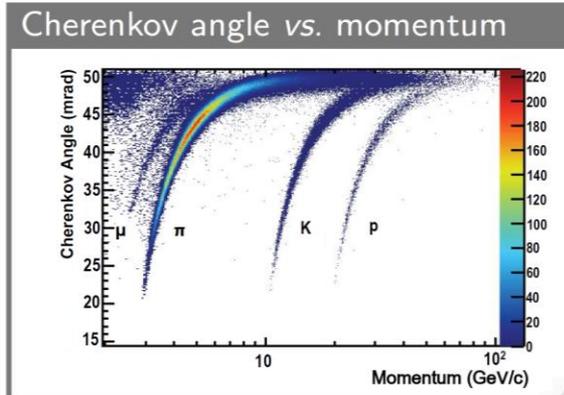


[JINST 3 (2008) S08005]

[IJMPA 30 (2015) 1530022]

- Excellent IP resolution $\sim 20 \mu\text{m}$ to identify B decay vertices
- Decay time resolution $\sim 45 \text{ fs}$
- Resolutions $\sigma(p)/p = 0.5 - 1\%$, $\sigma(m) \sim 22 \text{ MeV}$ for two-body B -decays
→ Low combinatorial backgrounds

LHCb: un détecteur optimisé pour la physique des saveurs



- Excellent particle identification through RICH detectors and muon system
- High identification efficiencies $\epsilon_{K \rightarrow K} \sim 95\%$, $\epsilon_{\mu \rightarrow \mu} \sim 97\%$
- Low misidentification probabilities $\epsilon_{\pi \rightarrow K} \sim 5\%$, $\epsilon_{\pi \rightarrow \mu} \sim 1 - 3\%$
→ Low backgrounds from misidentification

LHCb: un détecteur optimisé pour la physique des saveurs

LHCb Run 2 trigger

40 MHz bunch crossing rate

L0 Hardware Trigger : 1 MHz readout, high E_T/P_T signatures

450 kHz h^\pm

400 kHz $\mu/\mu\mu$

150 kHz e/γ

Software High Level Trigger

Partial event reconstruction, select displaced tracks/vertices and dimuons

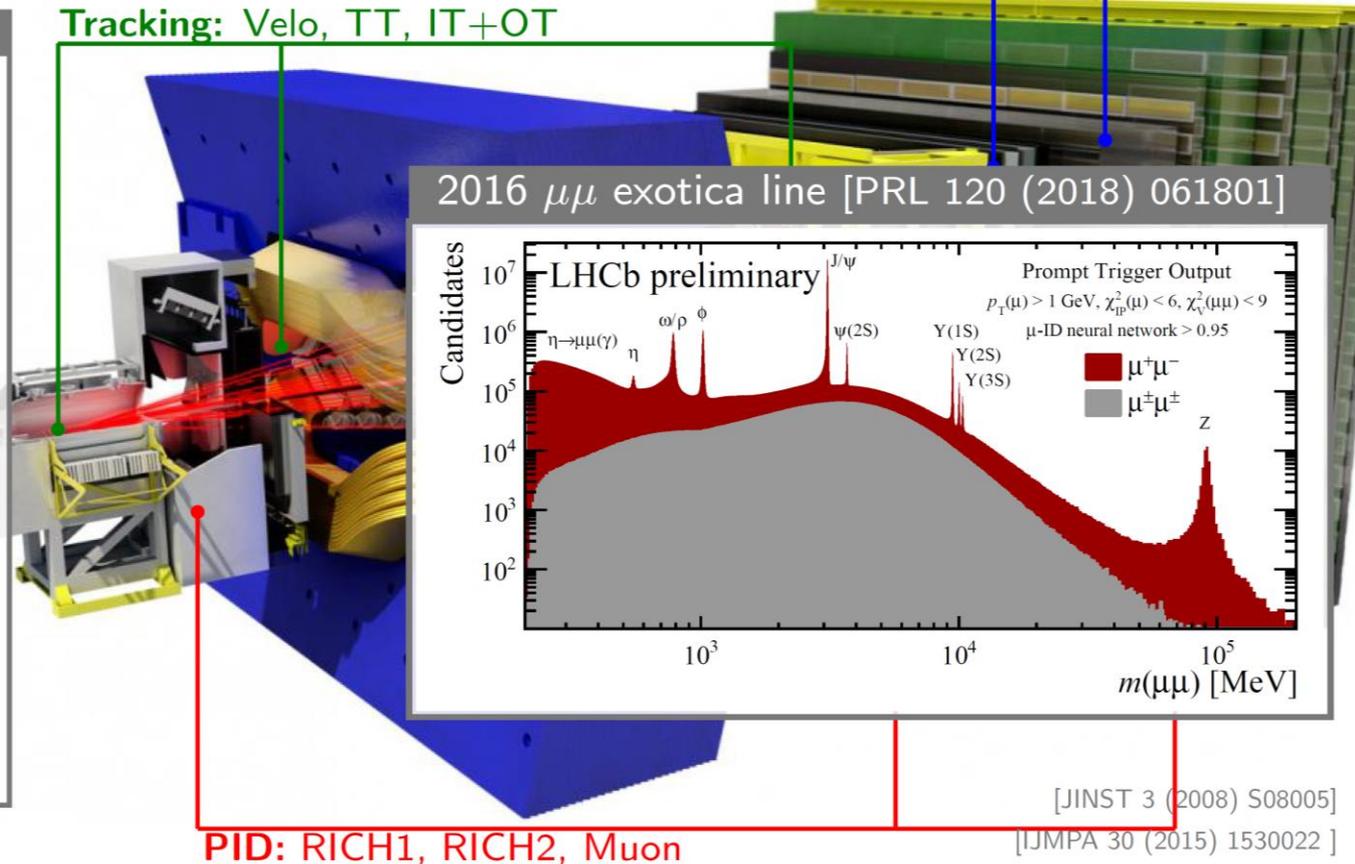
Buffer events to disk, perform online detector calibration and alignment

Full offline-like event selection, mixture of inclusive and exclusive triggers

12.5 kHz (0.6 GB/s) to storage

Tracking: Velo, TT, IT+OT

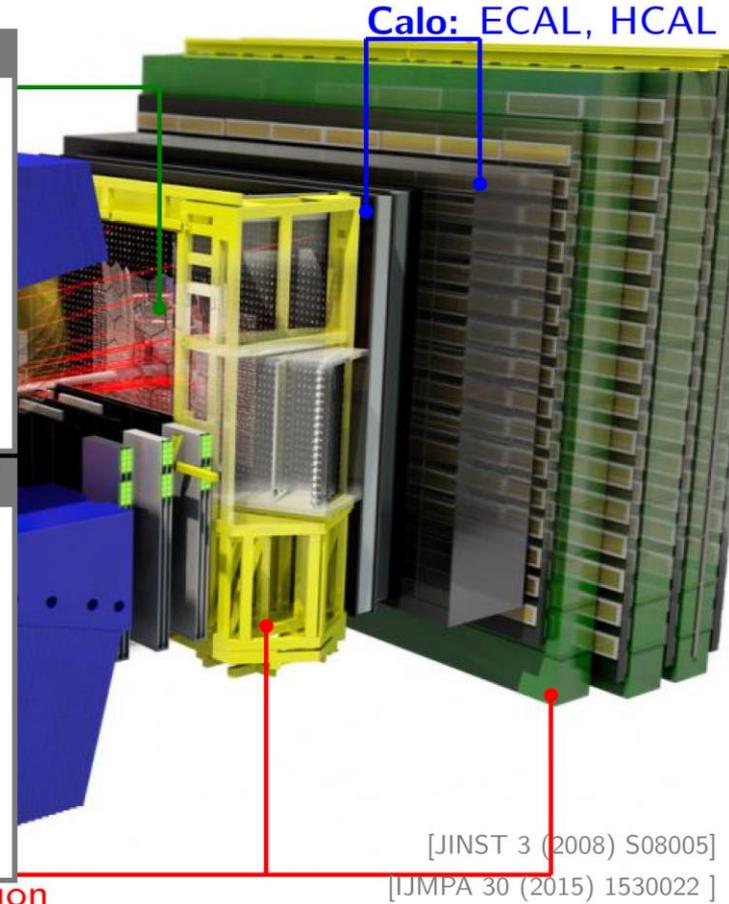
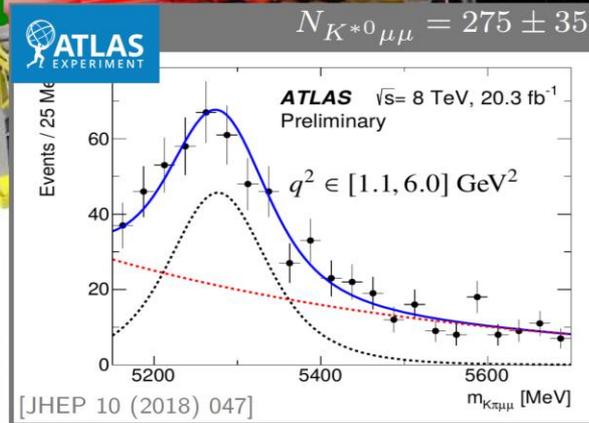
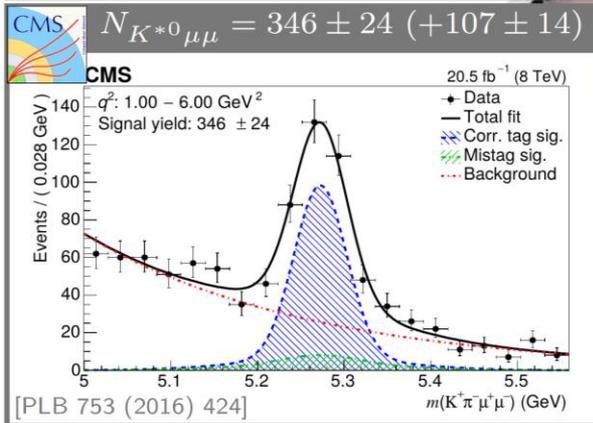
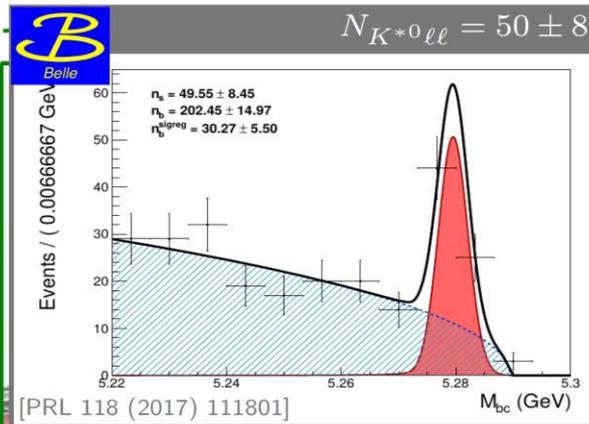
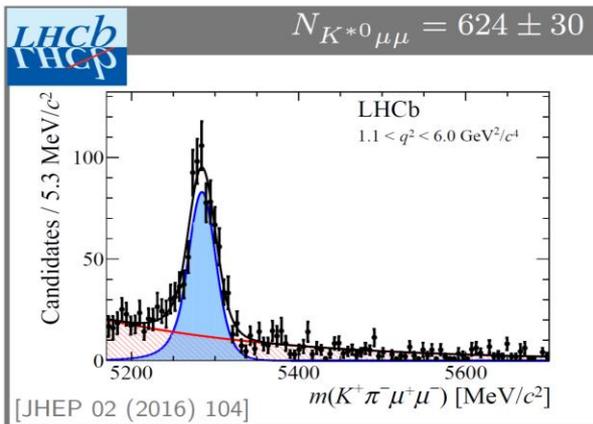
Calo: ECAL, HCAL



- Flexible trigger system with low thresholds: $p_T(\mu) > 1.8 \text{ GeV}$, $E_T(e) > 3.0 \text{ GeV}$
- High efficiencies, e.g. $\epsilon_{\text{trigger}}(B \rightarrow J/\psi X) \sim 90\%$
- Since Run 2: Online calibration and alignment, allows use of PID in trigger
- Allows low p_T physics: charm, strange, exotica, ...

→ L0 HW trigger was removed during LHC LS2

LHCb: un détecteur optimisé pour la physique des saveurs

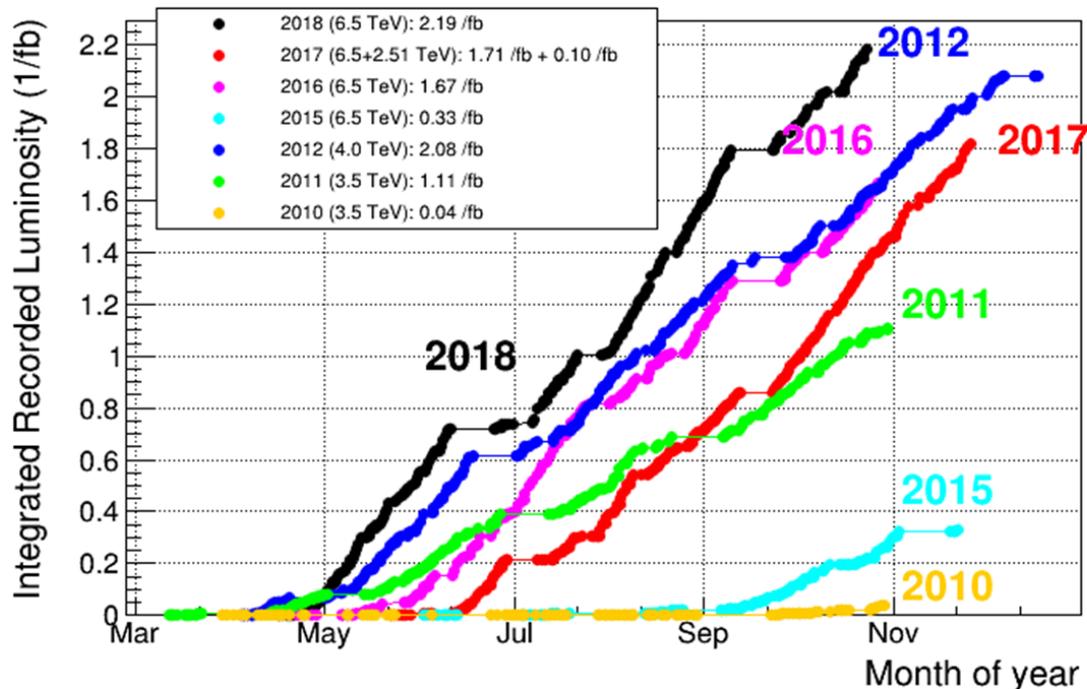


- Performance comparison using $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ Run 1 results as example
- LHCb compares very favourably
 - Largest yields ($b\bar{b}$ cross-section, large acceptance and high trigger efficiencies)
 - Excellent mass resolution and low combinatorial backgrounds
 - Negligible peaking backgrounds due to powerful particle identification

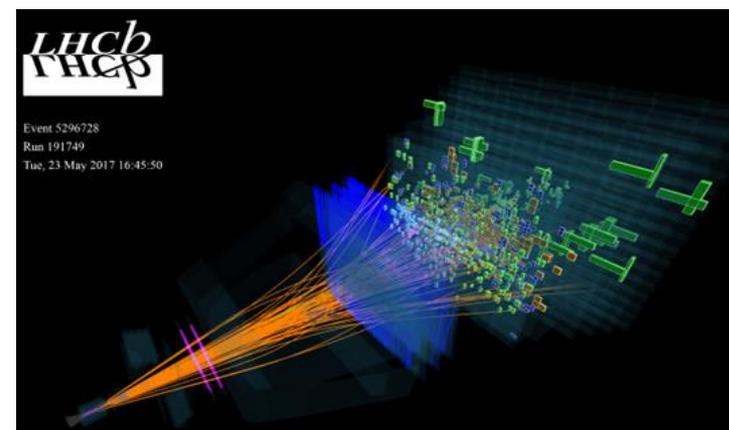
LHCb: statistique @ LHC Run1 & 2

- $1.4 \times 10^{11} \, b\bar{b}$ pairs per fb^{-1} ($\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$)
- $\mathcal{O}(10^{12}) \, c\bar{c}$ pairs per fb^{-1}
- $\mathcal{O}(10^{13}) \, K^0_s$ mesons per fb^{-1}

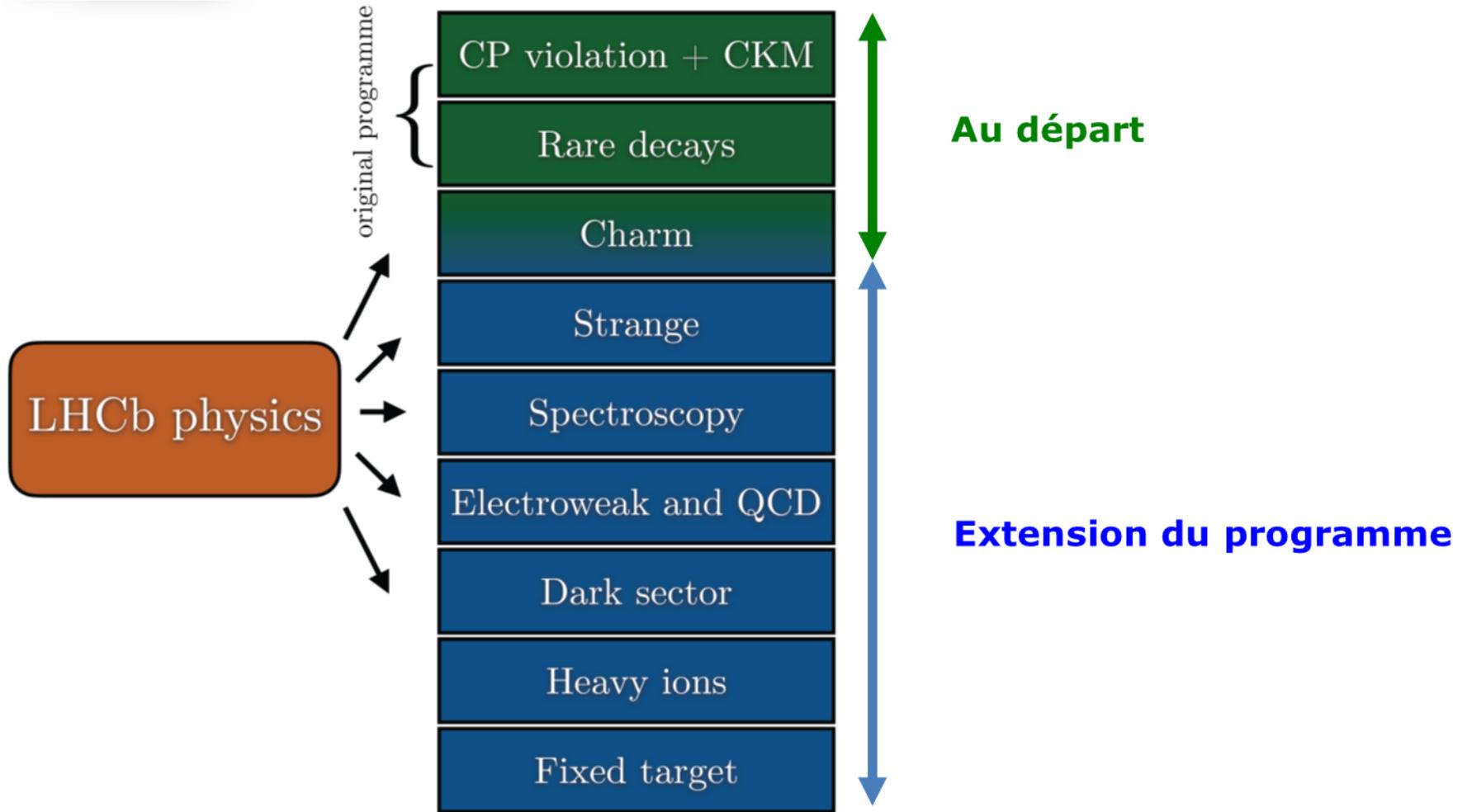
LHCb Integrated Recorded Luminosity in pp, 2010-2018



⇒ LHCb a soumis/publié
646/>600 papiers (1.12.22)



Le programme de physique de LHCb



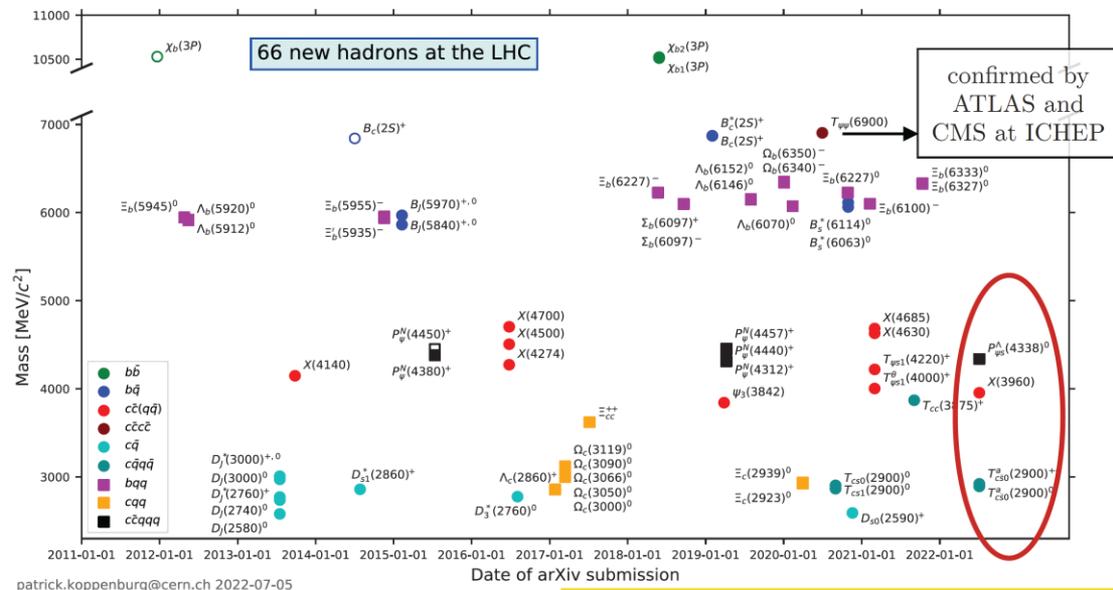
Page Publique: <https://lhcb-outreach.web.cern.ch/>

2 sources récentes:

- [Frédéric Blanc à Bologne ICHEP 22: « LHCb highlights »](#)
- [Le meeting annuel LHCb/théoriciens des saveurs oct22@CERN](#)

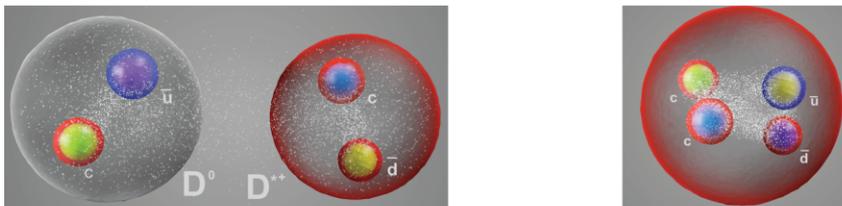
Recherche de nouveaux hadrons exotiques à LHCb

- Several conventional and exotic hadronic states discovered at the LHC, many of them (59/66) by LHCb
 - key to study of non-perturbative QCD



LHCb-FIGURE-2021-001 (update)

- nature of exotic states still unclear: loosely (hadronic molecule) or tightly bound?



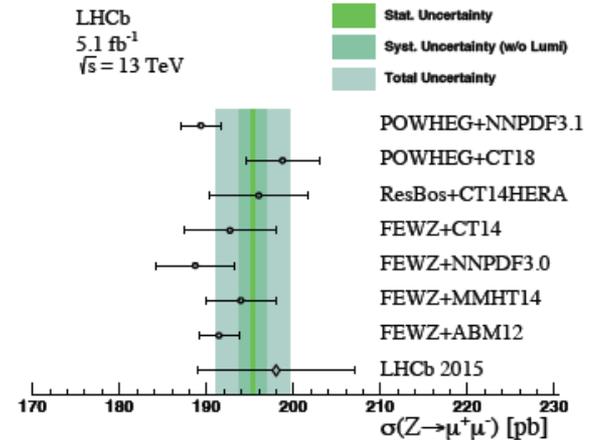
Entering a new Era!

- LHCb report the observation of new exotic states
 - $T_{c\bar{s}0}^a(2900)^{++}$, $T_{c\bar{s}0}^a(2900)^0$ (tetra-quark states)
 - $P_{\psi S}^\Lambda(4438)^0$ (penta-quark state)

New naming convention proposed by LHCb

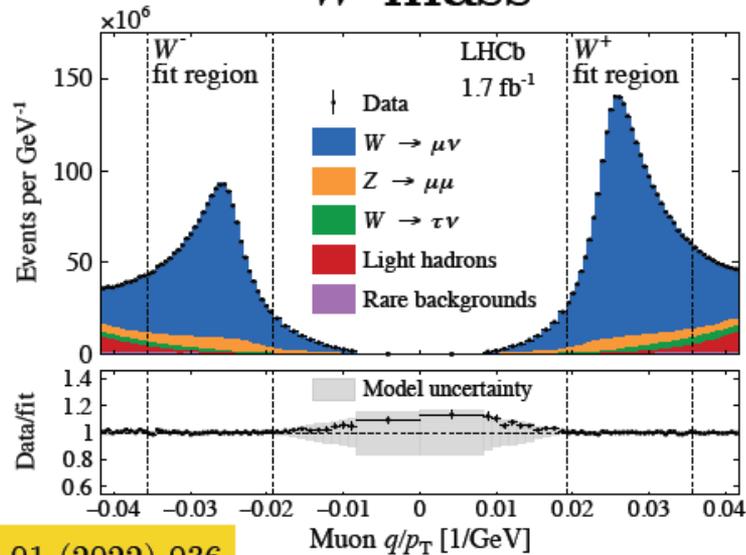
arXiv:2206.15233

Z production in pp collisions at 13TeV



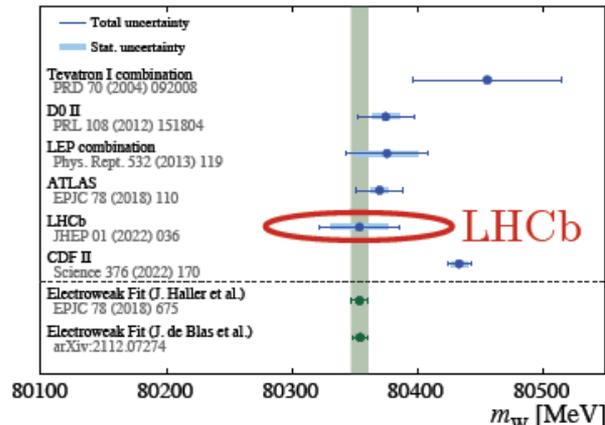
LHCb-PAPER-2021-037

W mass

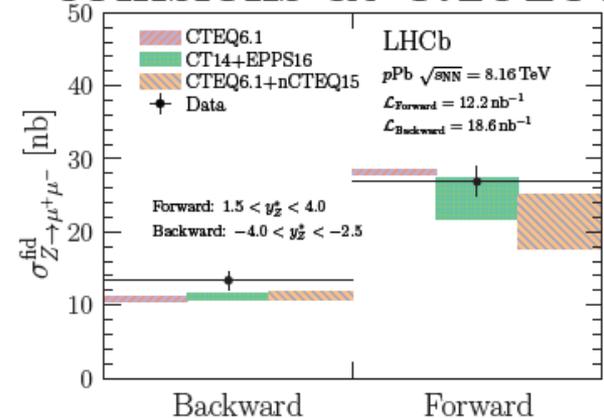


JHEP 01 (2022) 036

$$m_W = 80354 \pm 23_{\text{stat}} \pm 10_{\text{syst}} \pm 17_{\text{th}} \pm 9_{\text{PDF}} \text{ MeV}$$

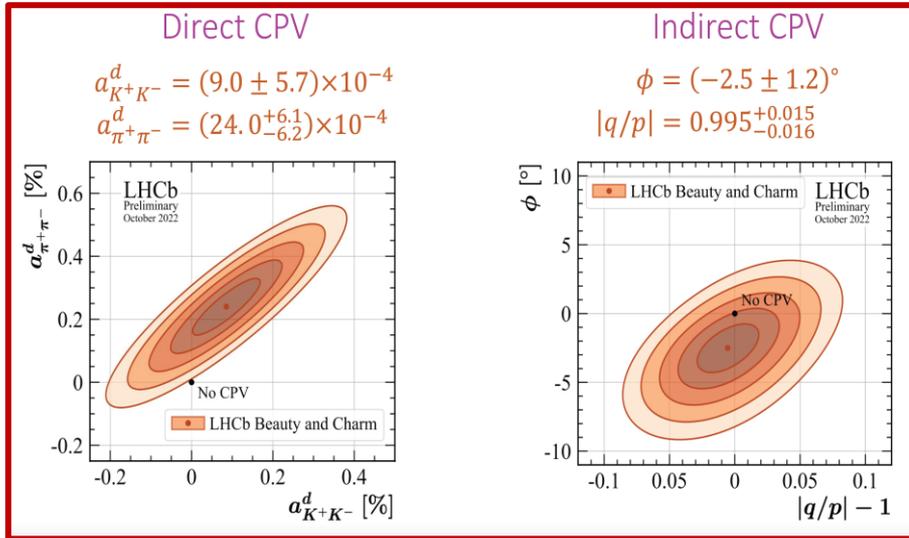


Z production in pPb collisions at 8.16TeV

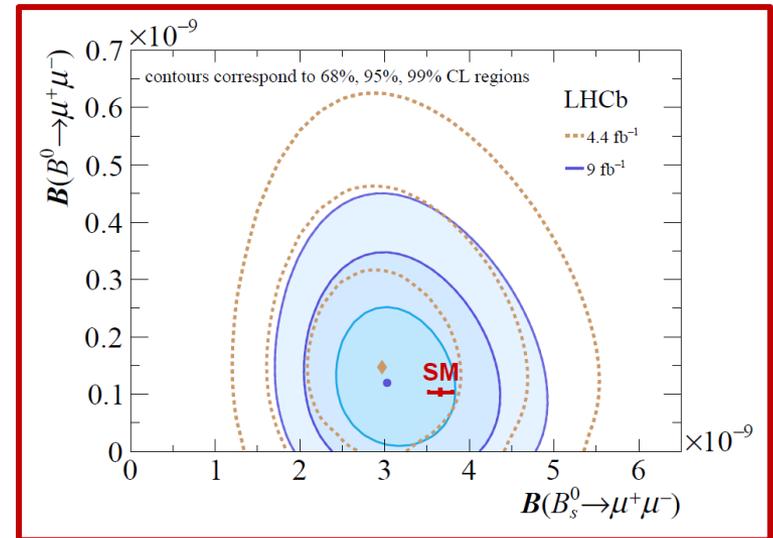


LHCb-PAPER-2022-009

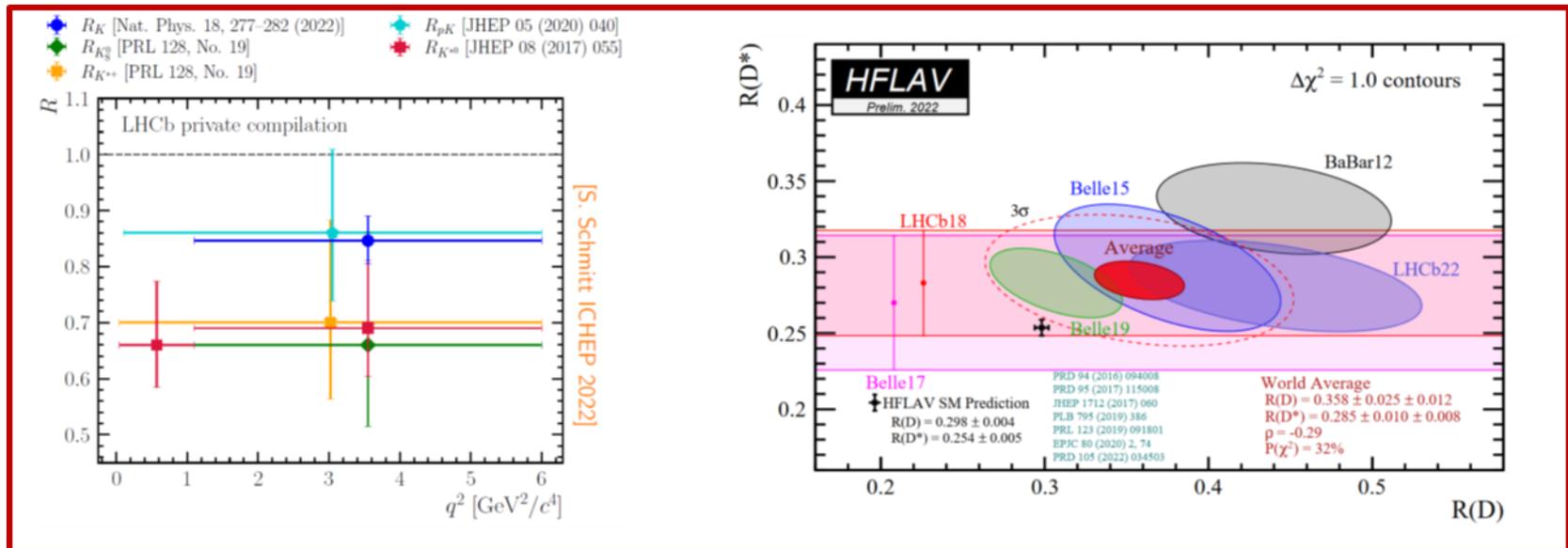
Album de photos de LHCb 2022



Charm CPV

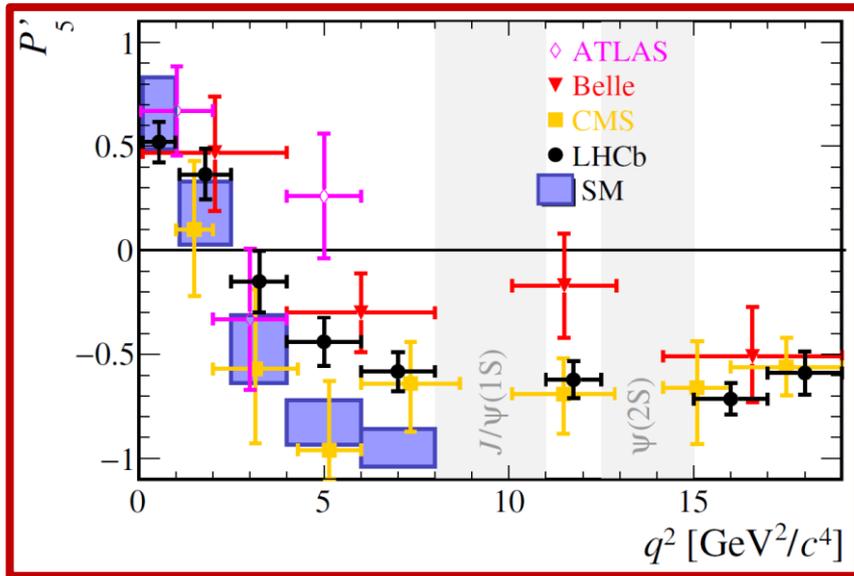


Rare B_(s) to μμ

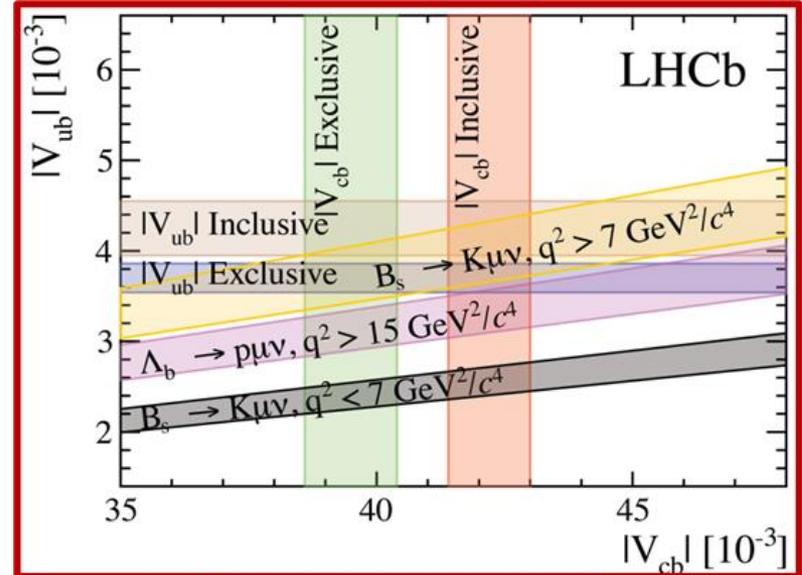


Saveurs leptoniques

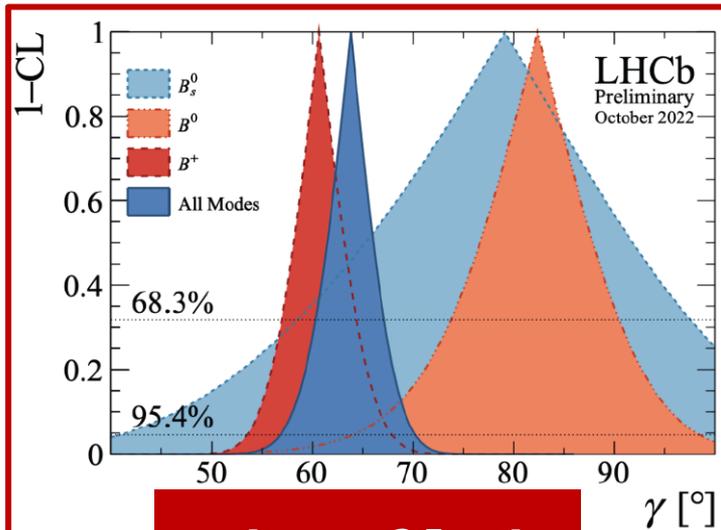
Album de photos de LHCb 2022



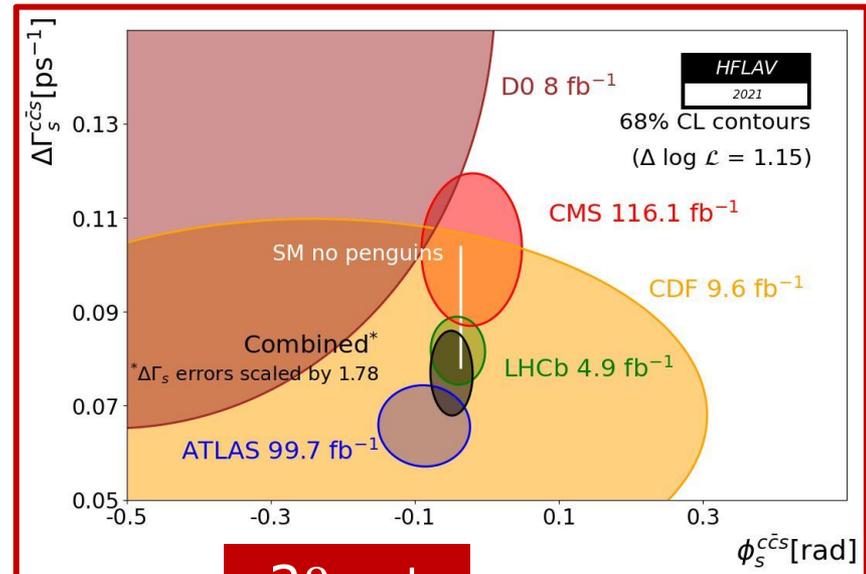
Angular P_5' B to $K^*\mu\mu$



$|V_{ub}|$ & $|V_{cb}|$



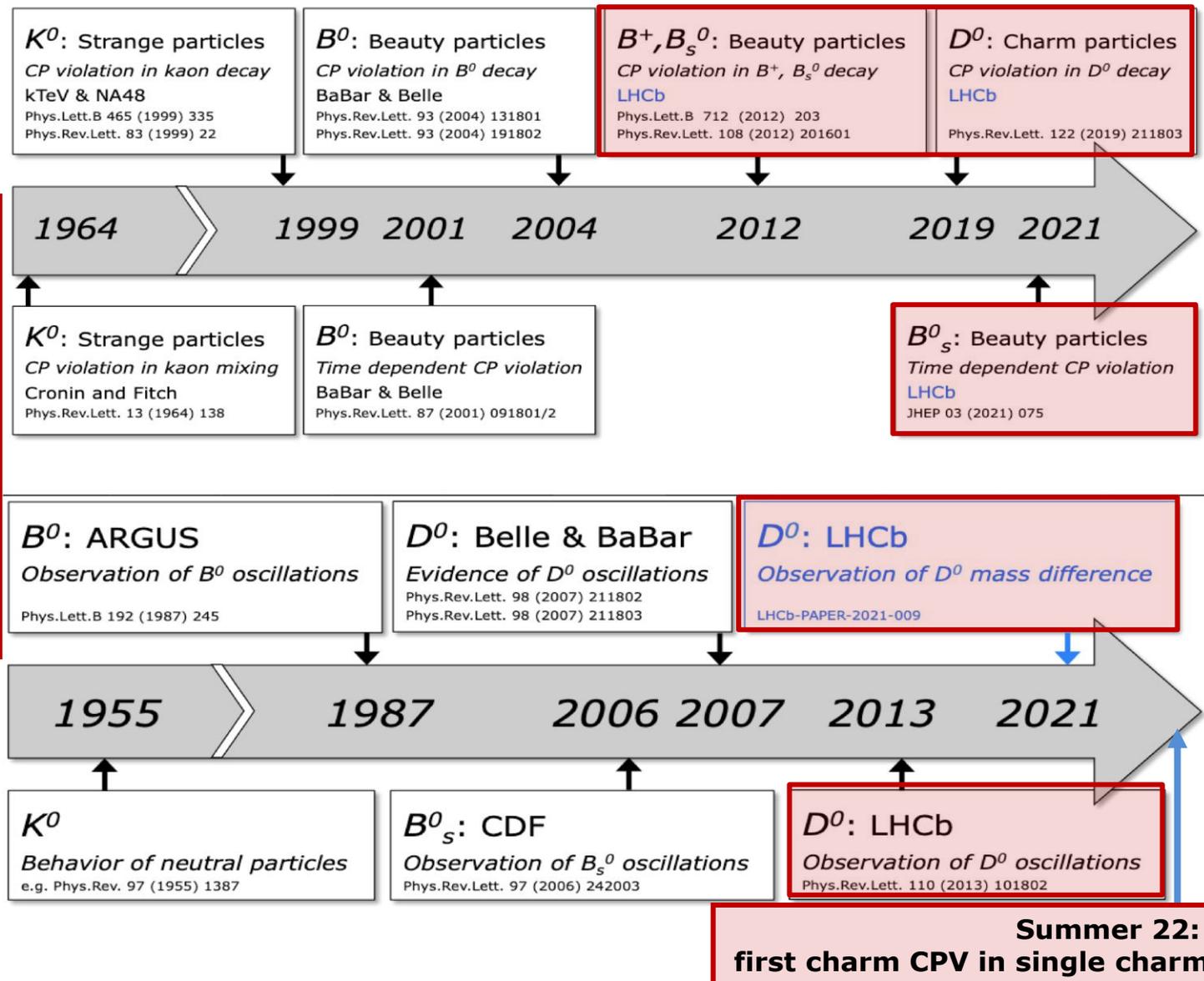
$\gamma = (63.8^{+3.5}_{-3.7})^\circ$



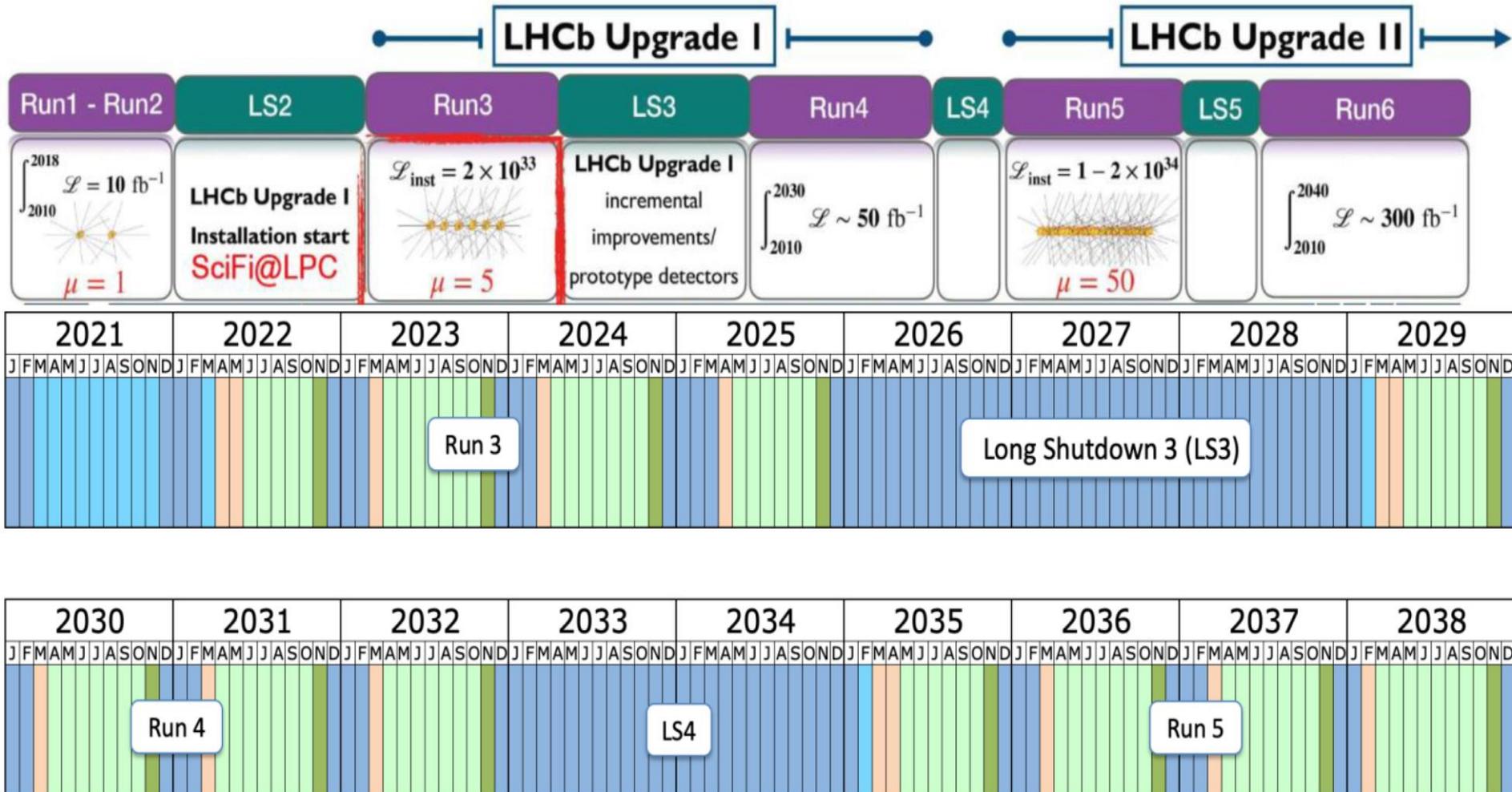
$-2\beta_s = \phi_s$

LHCb est déjà rentré dans l'histoire

Physique de la beauté, du charme & CP



REGARDONS L'AVENIR RADIEUX

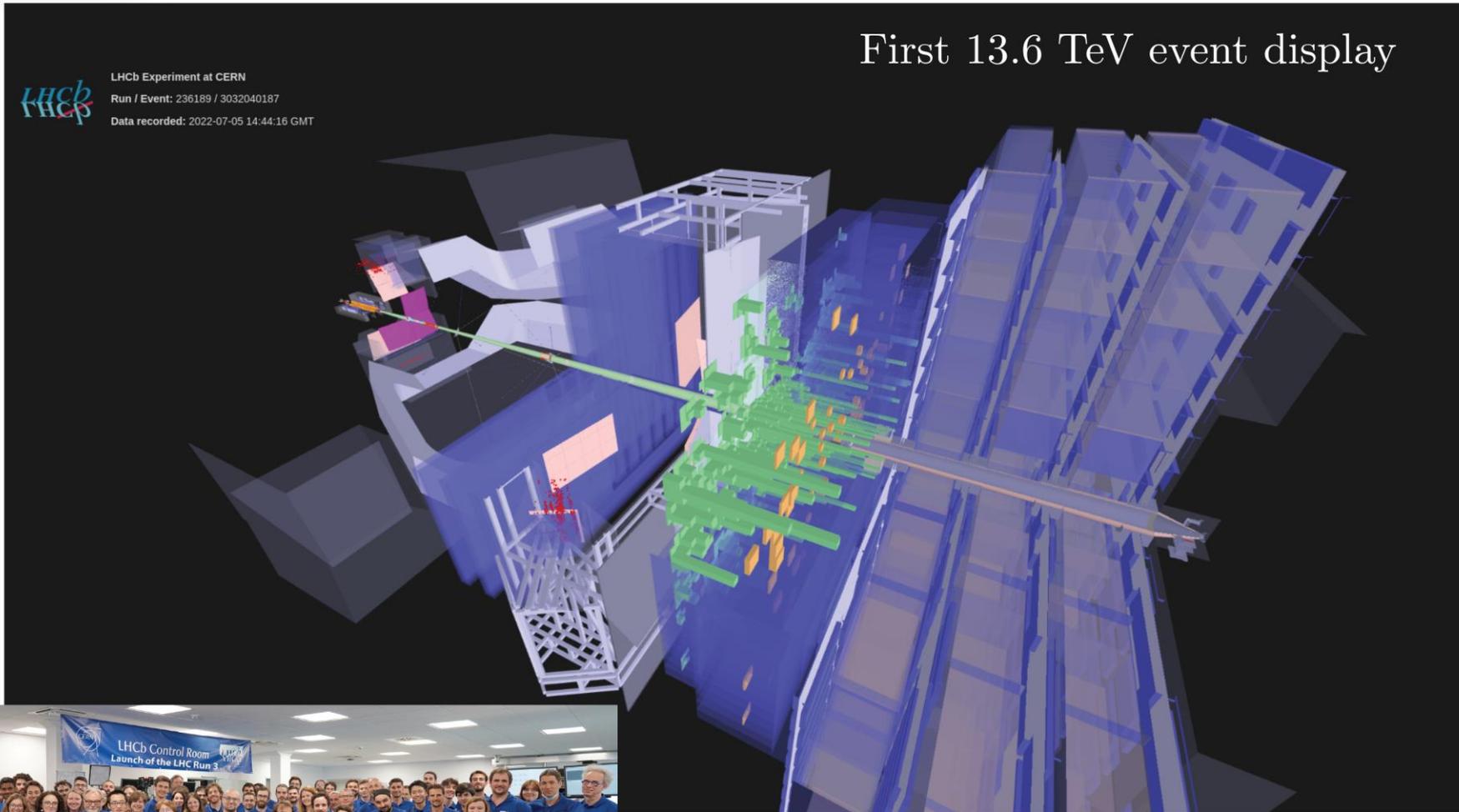


Last updated: January 2022

- Shutdown/Technical stop
- Protons physics
- Ions
- Commissioning with beam
- Hardware commissioning/magnet training

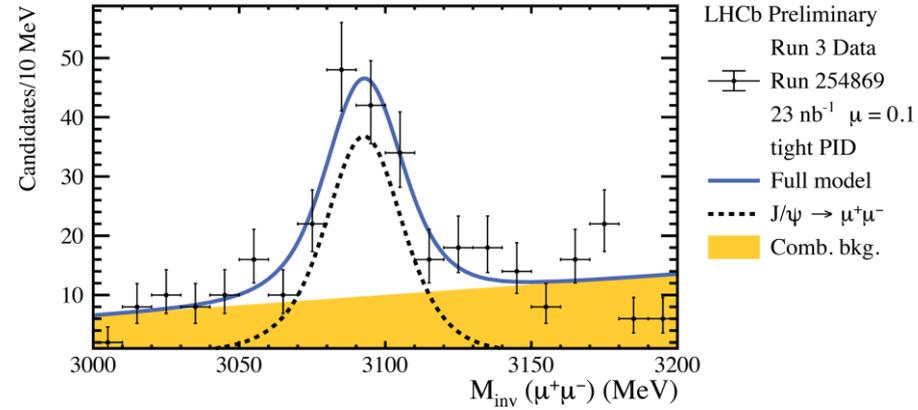
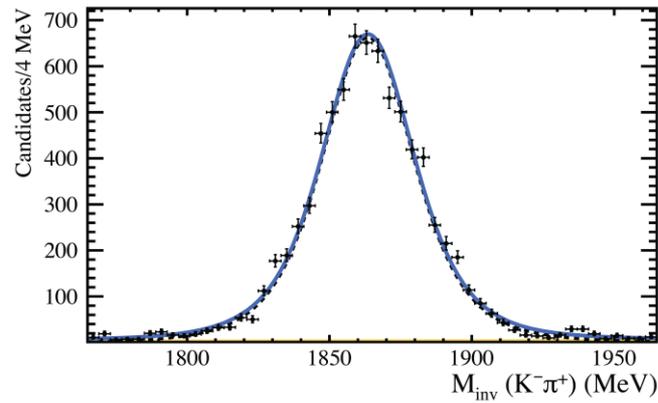


Premières données 5 juillet 2022 à 13.6 TeV



Données RUN3 à 13.6 TeV (ne manque que 1/2 UT)

NB. P. Perret, J. Daniel et Z.Xu du LPC travaillent sur l'alignement en temps de la réponse du SciFi



LHCb Experiment at CERN
Plot / Event: 25422 / 13308471
Data recorded: 2022-11-17 08:00:00 GMT

LHCb Experiment at CERN
Plot / Event: 25422 / 13308471
Data recorded: 2022-11-17 08:00:00 GMT

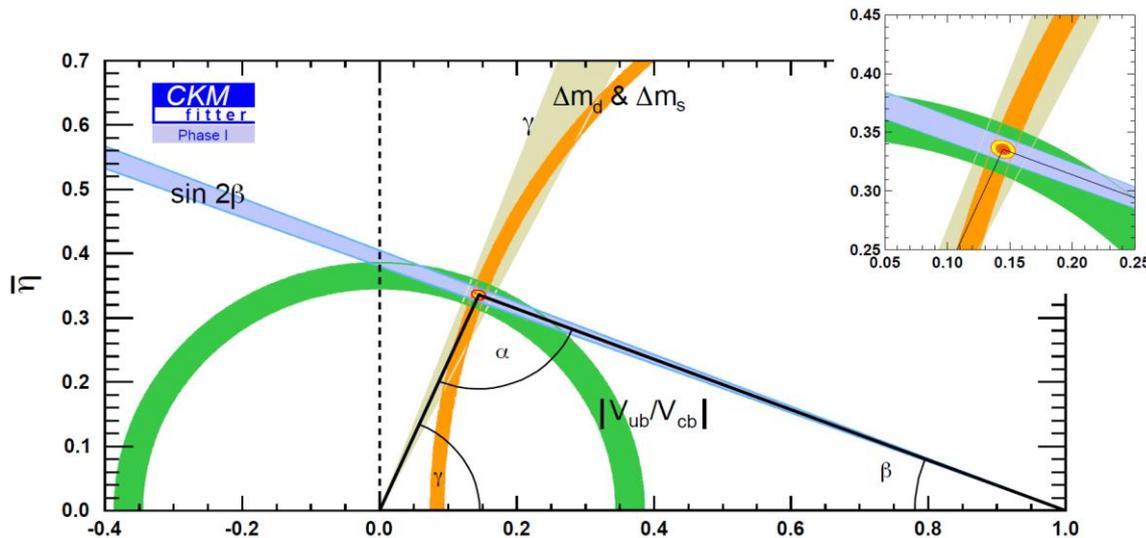
PbAr (SMOG2) unique au LHC
La semaine dernière

pp collisions
avec VELO 11 Nov

Nous sommes IMPATIENTS !



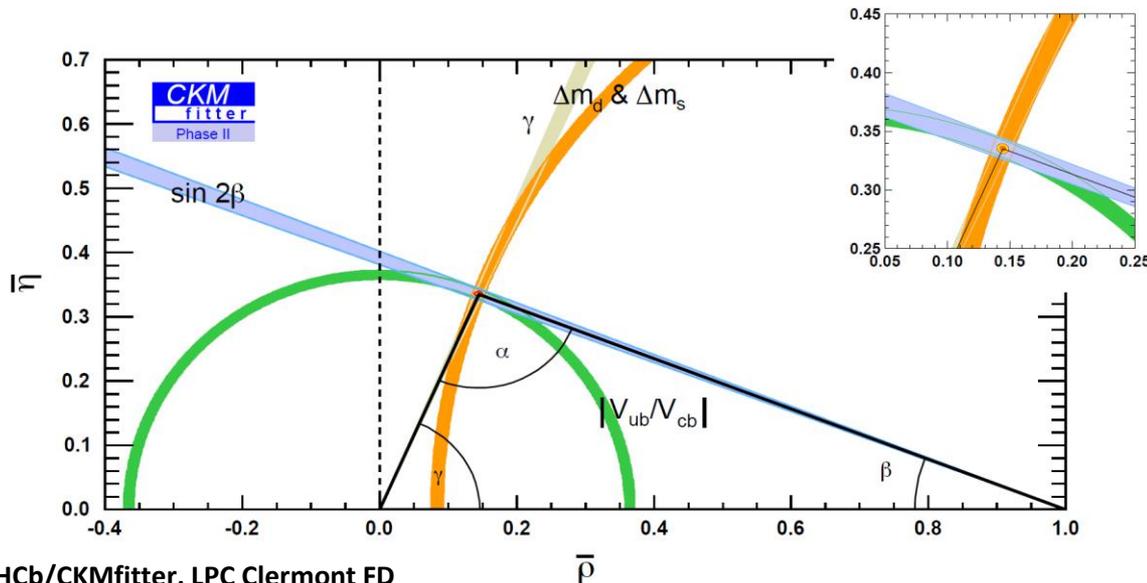
Phase I: LHCb at 23 fb⁻¹, CMS/ATLAS at 300 fb⁻¹, Belle II at 50 ab⁻¹.



~ dans environ 10 ans



Phase II: LHCb at 300 fb⁻¹, CMS/ATLAS at 3000 fb⁻¹, and Belle II at 50 ab⁻¹.



~20 ans



