

# Quelques nouvelles récentes

Sébastien Descotes-Genon

`descotes@th.u-psud.fr`

Laboratoire de Physique Théorique  
CNRS & Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France

Orsay, 22 juillet 2016



# Été comme hiver

# Les "confs"

- En physique des particules, conférences d'hiver (Moriond) et d'été (ICHEP, Lepton-Photon, EPS-HEP)
- ICHEP: conf. internationale, organisée sous l'égide de l'International Union of Pure and Applied Physics, tous les 2 ans, dans un endroit différent (Amérique, Asie, Europe)



- 1 semaine, à Chicago (Etats-Unis)
- Environ 1300 participants littéralement du monde entier
- Autant pour les présentations, calibrées, que pour les discussions, informelles, aux pauses (rumeurs...)
- Autres occasions de rencontres: réunions satellites (12 !), conférences thématiques, workshops spécialisés, séminaires...

# Les quatre premiers jours d'ICHEP2016

- Sessions parallèles (9 sessions, 15-20 min sur sujet spécifique)
- Plus de 1100 talks + sessions posters + réunions parallèles

LHCb results wi...	Data Acquisition with GPU...	Search for Sterile Neutrino ...	Supersymm versus Extra Dim...	The ATLAS Dataflow ...	IAXO, next-generation of heliosc...	VERITAS Observation of the Gal...	Anisotropic flow and related p...	Will there be energy frontier c...
Z+jet production at NNLO (...)	Fermilab HEP Cloud: an elastic...	PROSPECT: A Short-baseline ...	Search for supersymmetry with diph...	The Fast Interaction...	CULTASK, the Coldest Axion Ex...	Multimesse studies with the V...	Recent results on collective...	Muon storage for the Muon ...
V+jets and MC modelling at the LHC (20' + 5')	The FIFE Project at Fermilab: Computing...	SoLiD: Search for Oscillations.	Searches for SUSY in photons and tau c...	The CMS Level-1 Tr...	Axion Dark Matter Experiment (ADMX) S...	Measurement of the Cosmic-ray Electron ...	Correlations in small systems with ALIC...	Advanced Controls for Particle Accelerators...
VINICIA for Hadron Colliders ...	GeantV: from CPU to acceler...	SOX : Short Distance ...	Imposing LHC constraints...	The ATLAS Run-2 Tri...	ADMX Microwave Cavity Re...	Observation of Galactic Cosmic R...	Anomalous Chiral Transport...	Superconducting technology for future ...
Prompt photons, diphotons...	Developments in Architecture and Services for using ...	MicroBoONE Experiment...	Naturalizing Supersymmetry with a Tw...	Overview of the AT...	Single Microwave Photon D...	Searches for Dark Matter an...	Measurement of flow and correlation...	Recomissioning and Perspectives...
New Approach to Hard Corrections in Precisi...		Neutrino-argon int...	Searches for R-Parity violating SUSY with the ATLA...	The Upgrade of the ATLA...	Status of the ADMX-HF Dark Matter Axion Se...	Fundamenta physics with the Cherenkov Telescope...	Measurement of the ridge correlations in pp and pPb colli...	Performance and Perspective of Beijing Electron P...
How to make the short bas...				Data acquisition and onlin...				
Break								16:30 - 17:00
Hadron spectroscopy at BES-III ...	Results from the Search fo...	Lighting up Collider Searches...	The Silicon Vertex De...	Searching for Dark Matter Us...	Tools for Higgs Boson Pr...	Correlating new physics s...	Heavy Flavor Production...	Single Top quark production...

*Higgs Physics, Neutrino Physics, Beyond the Standard Model, Top Quark and Electroweak Physics, Quark and Lepton Flavor Physics, Strong Interactions and Hadron Physics, Heavy Ions, Astro-particle Physics and Cosmology, Dark Matter Detection, Formal Theory Developments, Accelerator: Physics, Performance, R&D and Future Accelerator Facilities, Detector: R&D and Performance, Computing and Data Handling, Education and Outreach, Technology Applications and Industrial Opportunities, Diversity and Inclusion. . .*



# Le dimanche



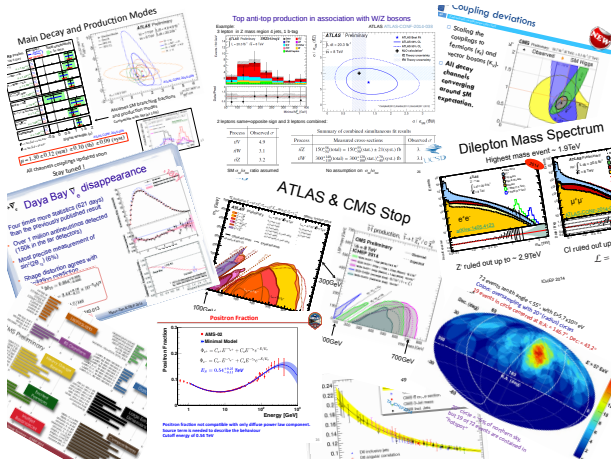
- Digérer les résultats, travailler, faire du tourisme. . .
- Des réunions de groupes spécifiques (International Committee for Future Accelerators, IUPAP C11, stands entreprises. . .)

# Les trois derniers jours d'ICHEP2016

- 3 jours de sessions plénières (exposés plus longs sur un domaine)
- Remise de prix comme “Champion of Science Award” (membres du Congrès défendant l'enseignement supérieur et la recherche)
- Conférence grand public sur les ondes gravitationnelles
- Plusieurs activités de vulgarisation des sciences/médias

09:00	Higgs, Top and Electroweak - Higgs Measurements (25' + 5')	Florencia Canelli
	Chicago Ballroom	09:00 - 09:30
	Higgs, Top and Electroweak - Top and Electroweak measurements (25' + 5')	Ulla Blumenschein
	Chicago Ballroom	09:30 - 10:00
10:00	Higgs, Top and Electroweak - Interpretations of results, outlook and new ideas (25' + 5')	Heather Logan
	Chicago Ballroom	10:00 - 10:30
	Break	
		10:30 - 11:00
11:00	Beyond the Standard Model - Searches for SUSY (25' + 5')	Wolfgang Adam
	Chicago Ballroom	11:00 - 11:30
	Beyond the Standard Model - Exotica searches (25' + 5')	Shih-Chieh Hsu
	Chicago Ballroom	11:30 - 12:00
12:00	Beyond the Standard Model - Interpretations of results, outlook and new ideas (25' + 5')	Kiwoon Choi
	Chicago Ballroom	12:00 - 12:30

# De quoi se cultiver...



- Beaucoup de transparents
- Des articles paraissent juste après les talks
- Proceedings (comptes-rendus) à écrire dans la foulée



# Un petit problème de causalité

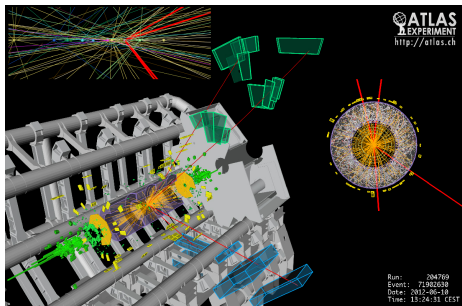
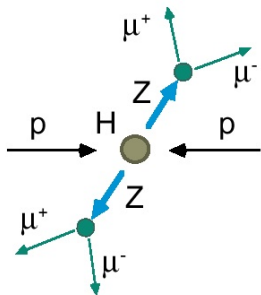
- Les Rencontres ont parfois lieu **avant** les conférences d'été
- En l'absence de boule de cristal...
- ... trois nouvelles récentes...
- ... qui seront à suivre dans les mois qui viennent !



# A la recherche de la nouvelle résonance

# Analyser et interpréter

- Particules créées étudiées via une cascade de désintégrations
- Reconstruction en suivant les trajectoires
- Lois de conservations (énergie-impulsion, charge électrique...)
- Certaines particules ne sont pas détectées (neutrinos...)



- Sélection des évènements pour éliminer bruits de fond
- Reste à interpréter en s'appuyant sur la théorie

# Résonances, pics et autres bosses

Solution pour Klein Gordon (spin 0) dans l'espace des impulsions

$$(\partial_\mu \partial^\mu + m^2)\phi(x) = j(x) \implies \tilde{\phi}(p) = \frac{1}{m^2 - p^2} \times \tilde{j}(p)$$

**Propagateur** qui décrit l'évolution de la particule

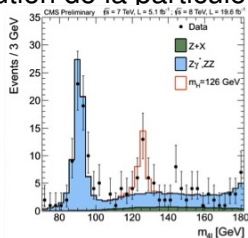
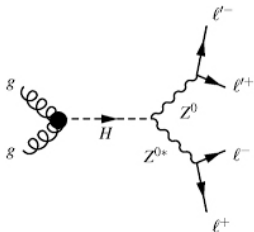


# Résonances, pics et autres bosses

Solution pour Klein Gordon (spin 0) dans l'espace des impulsions

$$(\partial_\mu \partial^\mu + m^2)\phi(x) = j(x) \implies \tilde{\phi}(p) = \frac{1}{m^2 - p^2} \times \tilde{j}(p)$$

**Propagateur** qui décrit l'évolution de la particule



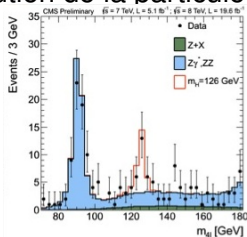
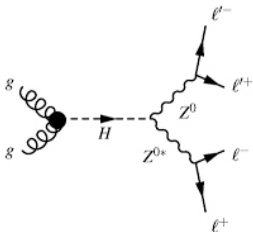
● Probabilité  $P(gg \rightarrow H \rightarrow ZZ^*) \propto \left| g_{Hgg} \times \frac{1}{m^2 - p^2} \times g_{HZZ} \right|^2$

# Résonances, pics et autres bosses

Solution pour Klein Gordon (spin 0) dans l'espace des impulsions

$$(\partial_\mu \partial^\mu + m^2)\phi(x) = j(x) \implies \tilde{\phi}(p) = \frac{1}{m^2 - p^2} \times \tilde{j}(p)$$

**Propagateur** qui décrit l'évolution de la particule



- Probabilité  $P(gg \rightarrow H \rightarrow ZZ^*) \propto \left| g_{Hgg} \times \frac{1}{m^2 - p^2} \times g_{HZZ} \right|^2$
- Mais particule intermédiaire, instable, de temps de vie  $\tau$

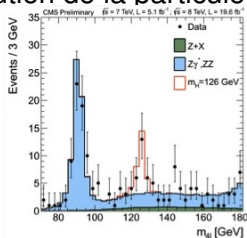
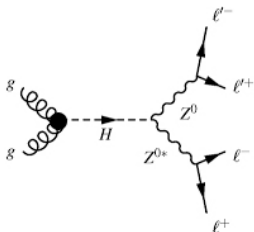
$$\phi(t, \vec{x}) \propto e^{-imt} \rightarrow e^{-t/(2\tau)} e^{-imt} \implies m \rightarrow m - i\Gamma/2 \quad \Gamma = 1/\tau$$

# Résonances, pics et autres bosses

Solution pour Klein Gordon (spin 0) dans l'espace des impulsions

$$(\partial_\mu \partial^\mu + m^2)\phi(x) = j(x) \implies \tilde{\phi}(p) = \frac{1}{m^2 - p^2} \times \tilde{j}(p)$$

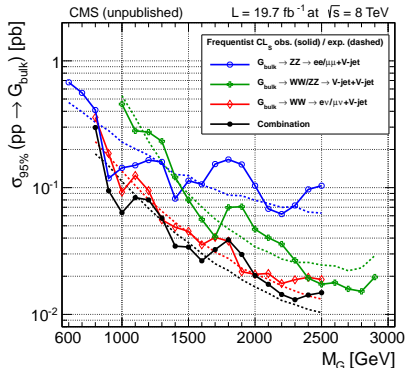
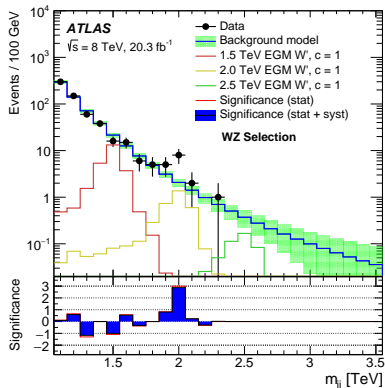
**Propagateur** qui décrit l'évolution de la particule



- Probabilité  $P(gg \rightarrow H \rightarrow ZZ^*) \propto \left| g_{Hgg} \times \frac{1}{m^2 - p^2} \times g_{HZZ} \right|^2$
- Mais particule intermédiaire, instable, de temps de vie  $\tau$   
 $\phi(t, \vec{x}) \propto e^{-imt} \rightarrow e^{-t/(2\tau)} e^{-imt} \implies m \rightarrow m - i\Gamma/2 \quad \Gamma = 1/\tau$
- Probabilité  $P$  fait un pic autour de  $p^2 = (p_Z + p_{Z^*})^2 \simeq m^2$ ,  
 selon une courbe de **résonance de largeur  $\Gamma$**

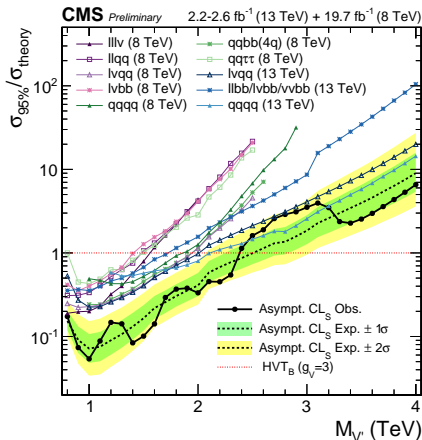
# Des excès intrigants (Juin 2015)

- Au LHC à 8 TeV, collisions  $pp$  produisant  $WW$ ,  $WZ$ ,  $ZZ$
- Il semble apparaître des pics autour de 2 TeV pour ATLAS et CMS



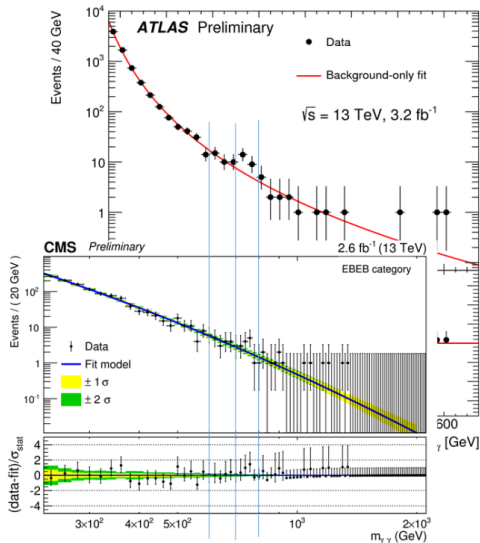
- Mais pas les mêmes paramètres (sections efficaces)
- Et difficile à accommoder dans un modèle cohérent et simple (couplages importants  $WZ$ , aux  $g, u, d$ , mais résonance étroite ?)

# ... finalement peu concluants (été 2016)



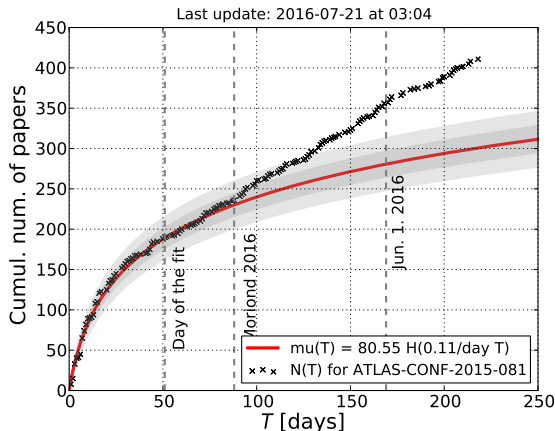
- Analyse à 13 TeV avec  $\simeq 3.2 \text{ fb}^{-1}$ , sans excès significatif
- Hypothèses sur le type de particule nouvelle ( $W'$ ,  $Z'$ ...)
- Combinaison 8 et 13 TeV: pas d'indication d'écart par rapport aux attentes du MS, certainement fluctuation statistique...

# Un Noël 2015 mouvementé



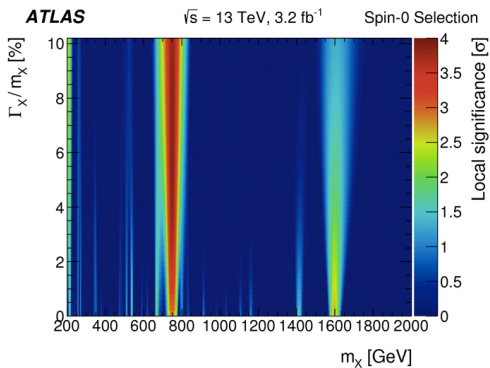
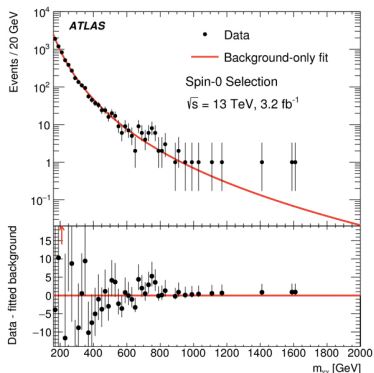
- Annonce au séminaire au CERN pour Noël 2015
- Plus d'évènements que prévus avec 2 photons à 750 GeV
- De façon cohérente par ATLAS et CMS
- Explication via une particule intermédiaire dans un diagramme à la Higgs

# Publish or perish



- Beaucoup, beaucoup d'articles théoriques et de citations
- Modèle d'ambulance chasing pour décrire la production d'articles en l'absence de nouvelle info expérimentale (arXiv:1603.01204)
- Par ex, entre l'annonce de Noël et Moriond 2016...

# Un diphoton qui reste à confirmer (été 2016)



- Analyses ATLAS et CMS pour spin 0 et spin 2
- En utilisant tout 8 TeV ( $\simeq 20 \text{ fb}^{-1}$ ), un peu de 13 TeV ( $\simeq 3 \text{ fb}^{-1}$ )
- Meilleur fit ATLAS: spin 0, masse de 750 GeV, largeur de 45 GeV
- CMS aussi un pic modeste à 750 GeV en  $\gamma\gamma$  avec différents  $B$
- Mais signification stat limitée, rien en  $Z\gamma$  ...
- Analyse de données additionnelles à 13 TeV attendue pour l'été



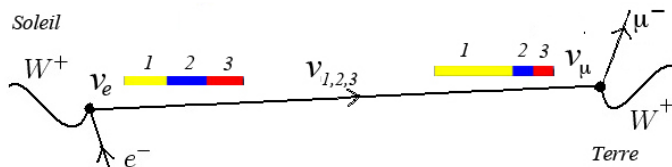
# Trois neutrinos sur une balance

# Les oscillations de neutrinos

Différence entre états propres de masse  $\nu_{1,2,3}$  et d'interactions  $\nu_{e,\mu,\tau}$

$$\begin{bmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & \\ & c_{23} & s_{23} \\ & -s_{23} & c_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{13} & & e^{-i\delta} s_{13} \\ & 1 & \\ -e^{i\delta} s_{13} & & c_{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{12} & s_{12} & \\ -s_{12} & c_{12} & \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & & \\ & e^{i\lambda_2} & \\ & & e^{i\lambda_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{bmatrix}$$

- 3 rotations:  $c_{ij} = \cos \theta_{ij}$ ,  $s_{ij} = \sin \theta_{ij}$
- Asymétrie  $\nu \bar{\nu}$ : phase  $\delta$  (Dirac),  $\lambda_{2,3}$  (Majorana)
- 6 paramètres + 2 différences de masse + 1 échelle absolue
- $\nu_e$  combinaison de 3 états  $\nu_1, \nu_2, \nu_3$ , de masses différentes, se propageant à des vitesses légèrement différentes
- la composition de l'état change sur de longues distances !  
 $|\nu_e\rangle \rightarrow c_e(L)|\nu_e\rangle + c_\mu(L)|\nu_\mu\rangle + c_\tau(L)|\nu_\tau\rangle$  **oscillation de neutrinos**



# Une connaissance qui s'affine

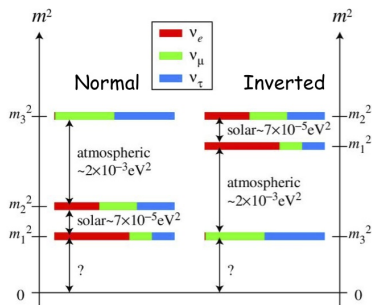
- Neutrinos solaires
- Neutrinos atmosphériques
- Neutrinos d'accélérateurs
- Neutrinos de réacteurs

SNO, SK...

SuperKamiokande...

MINOS, T2K, NOvA...

KamLand, RENO, Daya Bay...



- Précision des connaissances

$$\Delta m^2 \simeq 2\%,$$

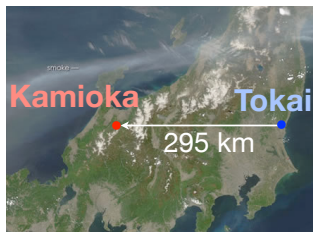
$$\sin^2 \theta_{12} \simeq 6\%,$$

$$\sin^2 \theta_{13} \simeq 5\%,$$

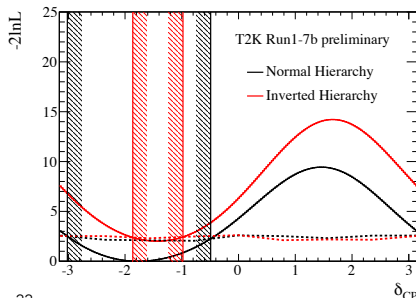
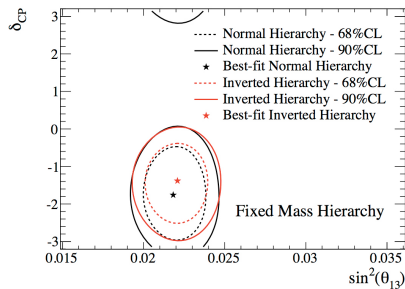
$$\sin^2 \theta_{23} \simeq 9\%$$

- Et des inconnues: ordre des masses, violation de CP  $\delta$

# Des résultats tout nouveaux sur $\delta$



- T2K: faisceau (anti)neutrino de Tokai vers SuperKamiokande (Japon) 295 km
- NO $\nu$ A: faisceau de Fermilab à Ash River (USA) 810 km
- Dans chaque cas, un détecteur proche et un détecteur lointain (comparaison flux)
- Disparition de  $\nu_{\mu}$  ou  $\bar{\nu}_{\mu}$ , apparition de  $\nu_e$  ou de  $\bar{\nu}_e$

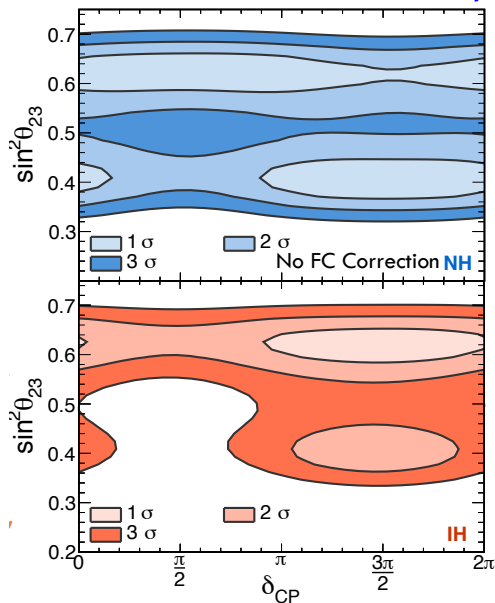


- Comparant  $\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$
- Quelle que soit la hierarchie de masse, asymétrie entre  $\nu$  et  $\bar{\nu}$

$$\delta_{CP} \in [-3.02, -0.49](NH), \quad [-1.87, -0.98](IH)@90\%CL$$

- T2K-II extension ( $\sim 2020$ ) pour améliorer  $\delta_{CP}, \theta_{23}$

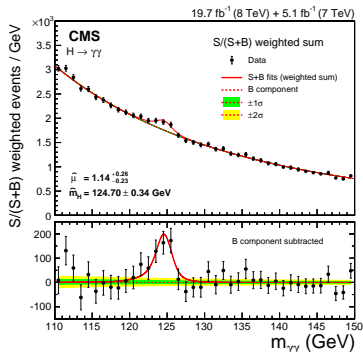
- Utilisant seulement les données sur  $\nu_e$  et  $\nu_\mu$
- Connaissances antérieures sur les angles de mélange  $\theta_{ij}$
- Favorise une asymétrie entre  $\nu$  et  $\bar{\nu}$  ( $\delta \neq 0$ )
- Des résultats avec antineutrinos pour printemps 2017



Tous les leptons naissent  
libres et égaux (?)

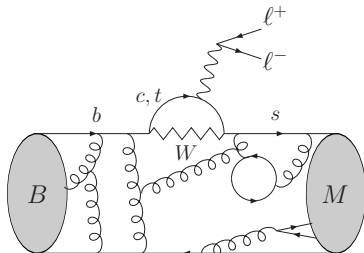
# Deux chemins complémentaires

Voie relativiste:  $E = mc^2$



Collisions avec assez d'énergie  
pour produire directement des  
particules au-delà du MS  
Haute énergie  
Preuve "directe"

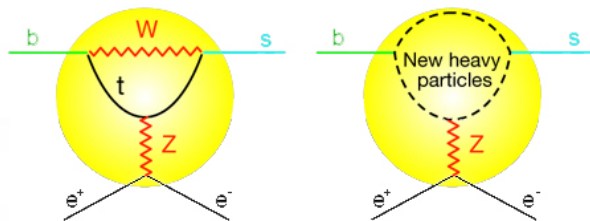
Voie quantique:  $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$



Petites déviations venant  
d'états intermédiaires  
avec des particules lourdes  
Haute intensité  
Preuve indirecte



# Des processus rares

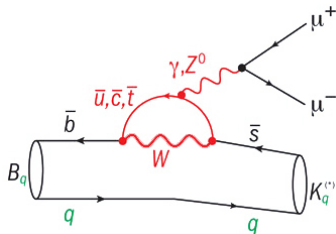


$$b \rightarrow sl^+l^- \quad (\ell = e \text{ ou } \mu)$$

- Courant neutre changeant la saveur:  $b$  et  $s$  de même charge
- Processus avec une très faible probabilité dans le Modèle Standard (passage via  $W$  et  $t$  virtuels)
- Sensible à des états intermédiaires virtuels lourds au-delà du MS, qui se manifesteront par des écarts entre MS et expérience

# Quand l'interaction forte s'en mêle

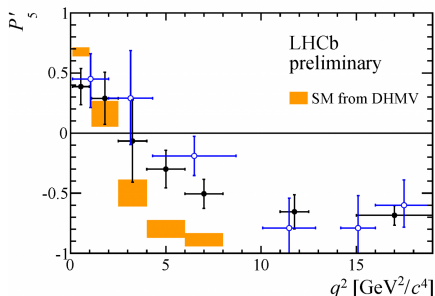
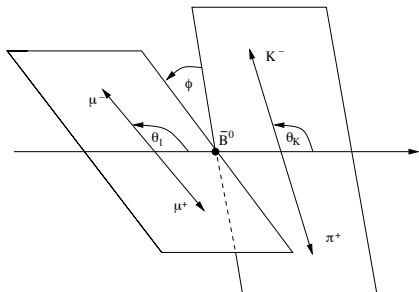
- Processus théorique en termes de quarks, mais expériences mesurées en termes de hadrons
- $b \rightarrow sl^+l^-$  peut se traduire en différentes transitions entre hadrons:  $B \rightarrow Kl^+l^-$ ,  $B \rightarrow K^*l^+l^-$ ,  $B_s \rightarrow \phi l^+l^-$ ,  $\Lambda_b \rightarrow \Lambda l^+l^- \dots$



- En présence de physique au-delà du Modèle Standard, tous ces processus sont affectés
- Mais il faut comprendre la transition entre quarks et hadrons sur le plan théorique, pour pouvoir prédire précisément les valeurs MS

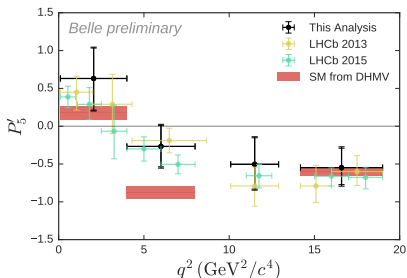
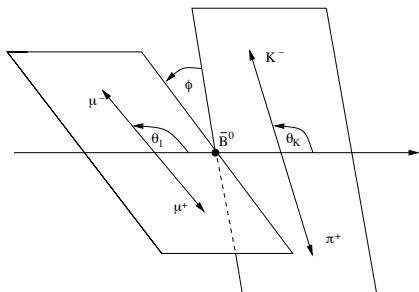
$$B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$$

- Désintégration  $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$  (avec  $K^* \rightarrow K\pi$ ) avec une géométrie compliquée (4 corps), décrite par des asymétries  $P_i$
- En fonction de  $q^2$ , masse invariante des deux muons
- Déviation de certains coefficients par rapport au Modèle Standard
- Observée en 2013 et confirmée en 2015 par LHCb

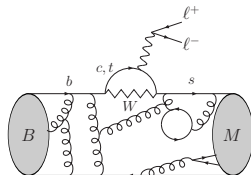
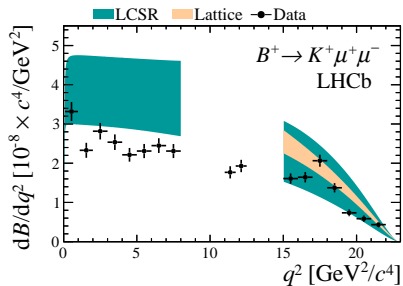


$$B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$$

- Désintégration  $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$  (avec  $K^* \rightarrow K\pi$ ) avec une géométrie compliquée (4 corps), décrite par des asymétries  $P_i$
- En fonction de  $q^2$ , masse invariante des deux muons
- Déviation de certains coefficients par rapport au Modèle Standard
- Observée en 2013 et confirmée en 2015 par LHCb
- Puis par Belle en 2016. . . en attendant Belle-II en 2018

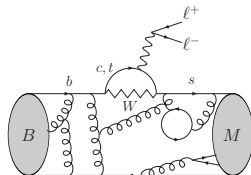
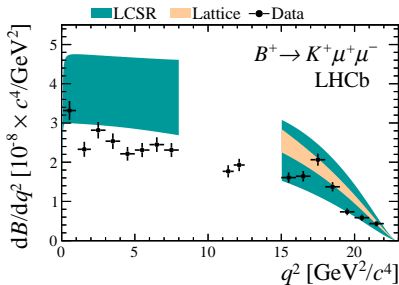


# $B \rightarrow K\ell\ell$

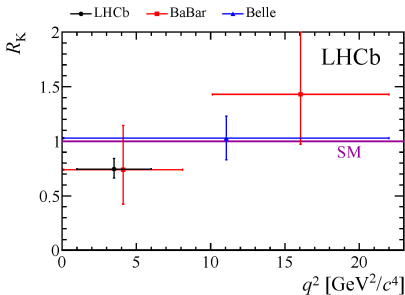


- $Br(B \rightarrow K\mu\mu)$  trop bas par rapport au MS

# $B \rightarrow K\ell\ell$



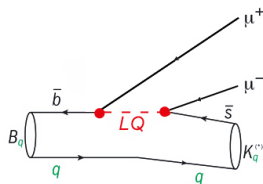
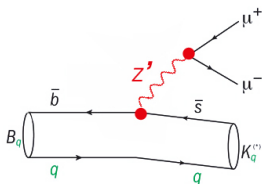
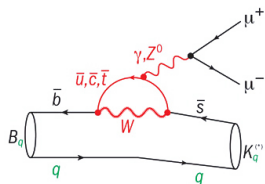
- $Br(B \rightarrow K\mu\mu)$  trop bas par rapport au MS



- $R_K = \frac{Br(B \rightarrow K\mu\mu)}{Br(B \rightarrow K\ell\ell)} \Big|_{[1,6]} = 0.745^{+0.090}_{-0.074} \pm 0.036$
- = 1 dans le MS (universalité du couplage leptonique)
- Comparaison par LHCb pour d'autres modes, comme  $B \rightarrow K^* \ell\ell$  ou  $B_s \rightarrow \phi \ell\ell$  ?

# Des explications ?

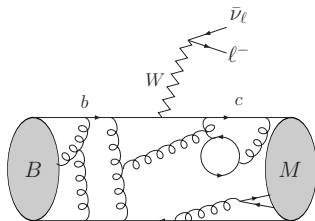
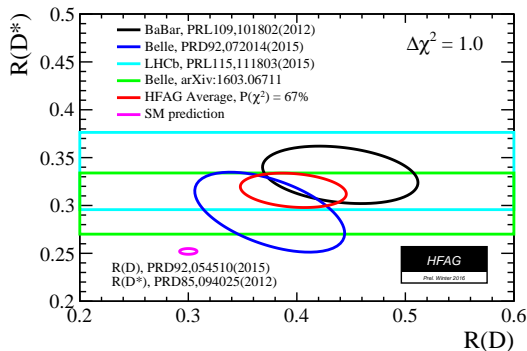
- Plusieurs fluctuations statistiques intempestives (?)
- Sous-estimation d'incertitudes expérimentales (géométrie du détecteur) ou théoriques (compréhension de QCD) (?)
- Il y a de la nouvelle physique (?)



- Nouvelle interaction  $Z'$  couplant aux muons et changeant  $b$  en  $s$
- Leptoquarks, couplant à quark + lepton des 2ème et 3ème famille
- Difficile à décrire avec la supersymétrie. . .
- Induisant des processus violant l'universalité leptonique, voire la saveur leptonique ( $b \rightarrow sl_1 l_2$  possible ?)

# Les $\mu$ , mais aussi les $\tau$ ?

- Comparaison des transitions  $b \rightarrow c\ell\nu_\ell$  et  $b \rightarrow c\tau\nu_\tau$
- Processus non supprimés dans le Modèle Standard
- Déviations inattendues et importantes
- Dues à une non-universalité aussi dans le secteur des  $\tau$  ?
- D'autres études de modes avec différents leptons chargés ?



$$R_{D^{(*)}} = \frac{Br(B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu)}{Br(B \rightarrow D^{(*)}\ell\bar{\nu}_\ell)}$$



A dans un an  
pour Lepton-Photon 2017  
en août à Guangzhou (Chine),

ou  
pour EPS-HEP 2017,  
en juillet à Venise (Italie)

ou dans deux ans,  
pour ICHEP 2018  
à Séoul (Corée du Sud) !