

Quelques nouvelles récentes

Sébastien Descotes-Genon

`descotes@th.u-psud.fr`

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

Orsay, 23 juillet 2015



Été comme hiver

Les "confs"

- En physique des particules, conférences d'hiver (Moriond) et d'été (ICHEP, Lepton-Photon, EPS-HEP)
- EPS-HEP: conf. européenne, organisée sous l'égide de la Société Européenne de Physique, tous les 2 ans, un endroit différent
- 1 semaine, à Vienne (Autriche)



- De 800 à 1000 participants littéralement du monde entier
 - Autant pour les présentations, calibrées, que pour les discussions, informelles, aux pauses (rumeurs...)
- Autres occasions de rencontres: réunions satellites, conférences thématiques, workshops spécialisés, séminaires. . .

Les trois premiers jours d'EPS-HEP 2015

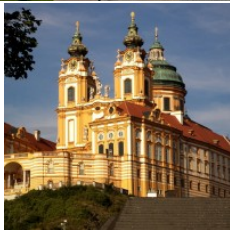
- Sessions parallèles (7 sessions, 15-20 min sur sujet spécifique)
- 700 interventions + une session posters

	Precise Prediction of the Dark M...	Status of Light Sterile Neutrinos	Inclusive and Semi-Inclusive Jet measurement	Searches for low mass dark bosons	Prospects for SUSY discovery ...	Colour Reconnection - Models a...	Measurement of t-channel single top quark p...
	Dulition of axion dark radiation	Search for sterile neutrinos ...	Jet results in heavy ion collisions with the ATLAS experiment at the LHC	Search for the dark photon in ...	Searches for squarks and gluinos ...	Measurement of observables...	Measurement of single top production in the tW-c...
15:00	Axino and gravitino dark matte...	STEREO: search for a sterile neu...	Jet results in heavy ions with CMS	Measurements of CP violation in $B^0 \rightarrow \{d/s\} \dots$	Searches for 3rd generation...	Measurements of particle production,...	Tevatron combined single top production...
	Leptogenesis in natural low-scale s...	First results of the deployment...	Jet results in heavy ions with CMS	Phi_s and Delta Gamma_s ...	SUSY searches with lepto...	Small-x QCD and forward physics res...	Measurement of tbar production cross section
	Dark Matter Self-Interactions...	SOX : Short Distance Neutrino O...	HS42	New physics searches with heavy...	Searches for R-Parity Violating...	Charged-particle multiplicities...	HS31
	Cosmological models with QGP: DM, ...	nuMSM: the model, its predictions...	Transverse momentum spectra of charged particles and identified hadrons in...		Compressed SUSY searches a...	Testing QCD with CMS using jets ...	Top-quark pair production at hadron ...
16:00	Coffee Break						
	Arcades						
	The Dark Energy Survey: St...	Heavy neutrinos in particle ph...	Flow and correlations results from CMS	The Precision of the CKM A...	Proposing a new LHC search for l...	Production of c cbar c cbar in sin...	Measurements of the top quark pair production...
	Investigating Dark Energy and Gravit...	Searches for leptosquarks and heavy ...	Results on angular correlations with ALICE	Precision measurement of Δm_d usi...	Killing the CMSSM softly	Study of fragmentation functions i...	Measurement of differential cross secti...
17:00	Holographic reconstruction of scalar fi...	Indirect searches for sterile neu...	Latest results from the NA61/SHINE	Re-examining $\sin^2 \theta_{12}$ \b...	pMSSM combination of SUSY se...	Measurements of the elastic, ine...	Top quark pair production measurements.
	Dynamically	Global fit to		Study of CP	$\sqrt{s} \sim 125\text{GeV}$	Data-driven	

Standard Model and Beyond, Electroweak Symmetry Breaking, Neutrino Physics, Flavour Physics CP Violation, QCD and Hadronic Physics, Heavy Ions, Future Facilities, Astroparticle Physics, High Energy Astrophysics, Cosmology, String Theory, Non-Perturbative Field Theory, Detectors and Data Handling, Accelerator R&D, Outreach. . .

Le dimanche

- Digérer les résultats, travailler, faire du tourisme. . .
- D'autres activités sociales (concert, banquet. . .) prévues les soirs

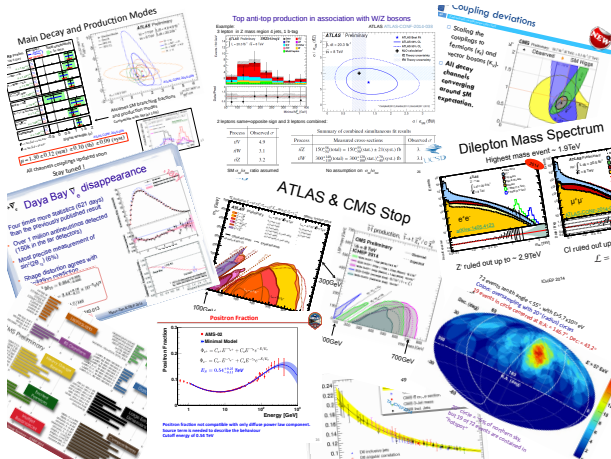


Les trois derniers jours d'EPS-HEP 2015

- 3 jours de sessions plénières (exposés plus longs sur un domaine)
- Remise de prix, dont l'EPS Prize, souvent précurseur du Prix Nobel, à J. D. Bjorken, G. Altarelli, Y. L. Dokshitzer, L. Lipatov et G. Parisi pour leurs travaux sur l'interaction forte
- Conférence de presse sur les premiers résultats du run 2 du LHC
- Plusieurs activités de vulgarisation des sciences

	Dark matter theory	<i>Tomer VOLANSKY</i>
	<i>Audi Max</i>	08:30 - 09:00
09:00	Direct searches for dark matter	<i>Jocelyn MONROE</i>
	<i>Audi Max</i>	09:00 - 09:30
	High energy cosmic rays: Photons and charged particles (incl. antimatter)	<i>Werner HOFMANN</i>
	<i>Audi Max</i>	09:30 - 10:00
10:00	Neutrino astrophysics (incl. dark matter searches)	<i>Francis HALZEN</i>
	<i>Audi Max</i>	10:00 - 10:30
	Coffee break	
	<i>Arcades</i>	10:30 - 11:00
11:00	Cosmic microwave background	<i>Ken GANGA</i>
	<i>Audi Max</i>	11:00 - 11:30
	Observational cosmology (beyond CMB, including lensing)	<i>Ofer LAHAV</i>

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

- D'ordinaire, les Rencontres ont lieu avant les conférences d'été
- Cette année, EPS commence aujourd'hui (Nicolas y participe)

Un petit problème de causalité

- D'ordinaire, les Rencontres ont lieu avant les conférences d'été
- Cette année, EPS commence aujourd'hui (Nicolas y participe)



Un petit problème de causalité

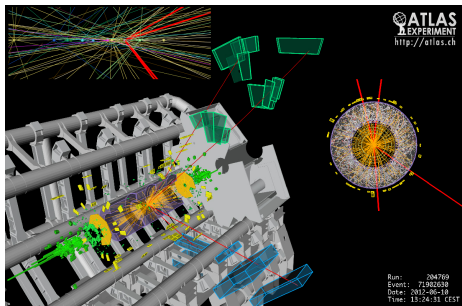
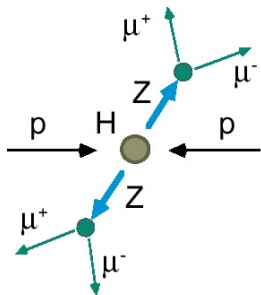
- D'ordinaire, les Rencontres ont lieu avant les conférences d'été
- Cette année, EPS commence aujourd'hui (Nicolas y participe)
- En l'absence de boule de cristal...
- ... trois nouvelles récentes...
- ... qui seront à suivre dans les mois qui viennent !



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

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

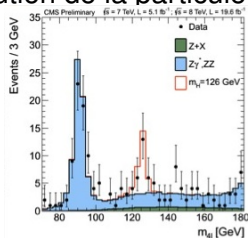
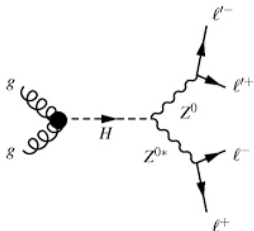
Propagateur qui décrit l'évolution de la particule

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



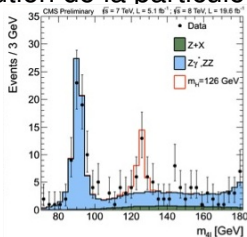
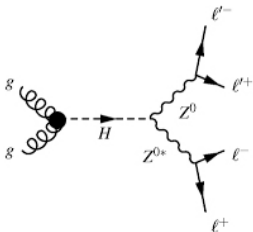
● Probabilité $P(gg \rightarrow H \rightarrow ZZ^*) \propto \left| g_{Hgg} \times \frac{1}{m^2 - p^2} \times g_{HZZ} \right|^2$

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 τ

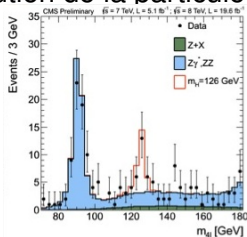
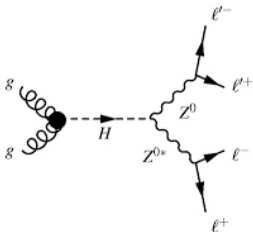
$$\phi(t, \vec{x}) \propto e^{-imt} \rightarrow e^{-t/(2\tau)} e^{-imt} \implies m \rightarrow m - i\Gamma/2 \quad \Gamma = 1/\tau$$

Résonances, pics et autres bosses

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

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

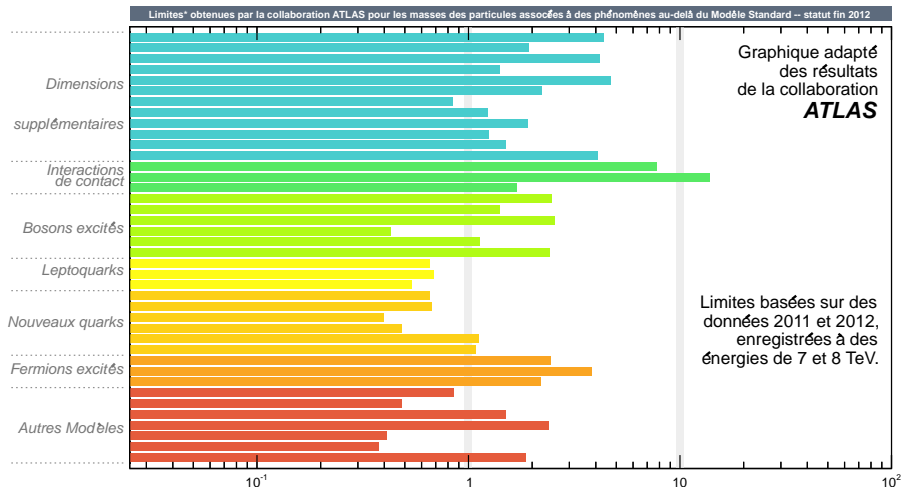
Propagateur qui décrit l'évolution de la particule



- 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 τ
 $\phi(t, \vec{x}) \propto e^{-imt} \rightarrow e^{-t/(2\tau)} e^{-imt} \implies m \rightarrow m - i\Gamma/2 \quad \Gamma = 1/\tau$
- Probabilité P fait un pic autour de $p^2 = (p_Z + p_{Z^*})^2 \simeq m^2$,
 selon une courbe de **résonance de largeur Γ**

Tester des modèles nouveaux

- Pas de paires de nouvelles particules-antiparticules à 8 TeV
- Les particules si elles existent sont trop lourdes pour le LHC

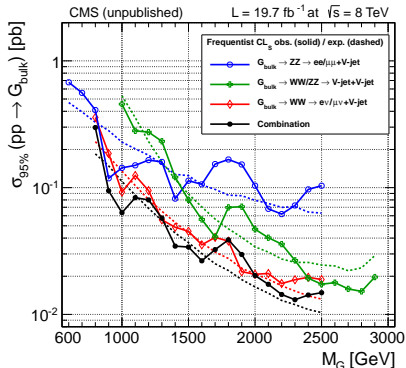
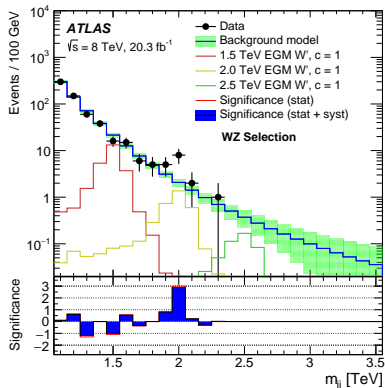


*Seulement une partie des résultats obtenus par la collaboration ATLAS (hors supersymétrie) sont présentés ici.

Limite sur la masse [TeV/c²]

Des excès intrigants (Juin 2015)

- Collisions pp produisant WW , WZ , ZZ
- Il semble apparaître des pics autour de 2 TeV pour ATLAS et CMS

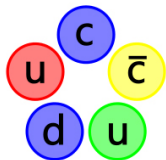
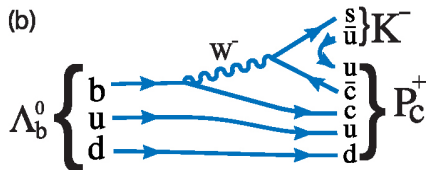
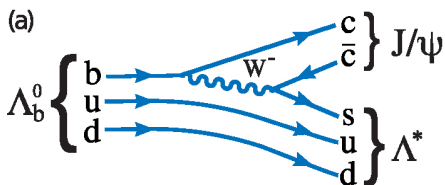


- Mais pas les mêmes paramètres (sections efficaces)
- Et difficile à accommoder dans un modèle cohérent et simple (couplages importants WZ , aux g, u, d , et résonance étroite ?)

Le penta-quoi ?

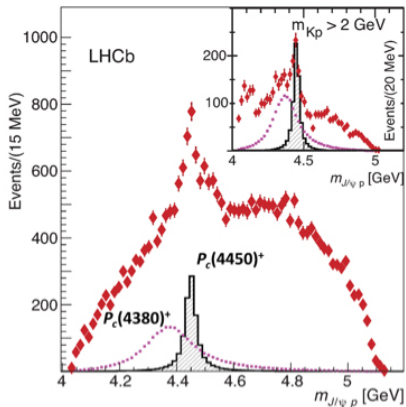
LHCb fête le 14 Juillet !

- Au CERN, LHCb étudie les désintégrations de hadrons contenant un quark b
- Entres autres $\Lambda_b \rightarrow J/\psi p K^- [(c\bar{c})(uud)(s\bar{u})]$
 - Processus attendu $\Lambda_b \rightarrow J/\psi \Lambda (\rightarrow p K^-)$ [faible, puis fort]
 - Mais aussi $\Lambda_b \rightarrow K^- P_c^+ (\rightarrow J/\psi p)$



- $P_c^+ = (uudc\bar{c})$
- en fait, 2 états de masses 4.450 et 4.380 GeV
- se désintégrant en $J/\psi p$ sous l'effet de l'interaction forte

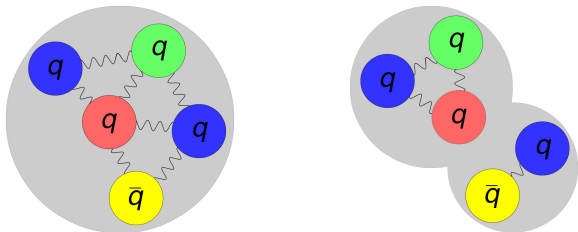
LHCb voit donc des particules instables



- Masse invariante $p K^-$:
résonance Λ
- Masse invariante $J/\psi p$: 2 pics, un bien visible, l'autre plus large caché dans le bruit de fond
- L'un serait de spin 3/2, l'autre de spin 5/2
- Probabilité d'un effet dû à une fluctuation du bruit de fond : 9 et 15 σ (soit 10^{-19} et 10^{-50})
- A condition d'avoir bien estimé le bruit de fond...

De quoi fait-on un pentaquark ?

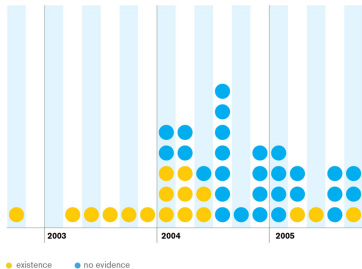
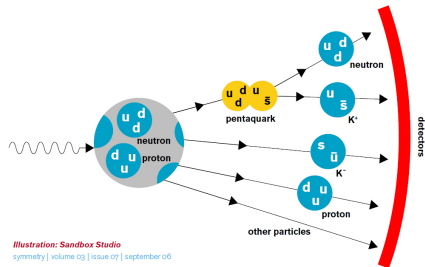
- 4 quarks et 1 antiquark, unis par la force forte
- avec des couleurs organisées pour obtenir un pentaquark blanc
- soit les quarks unis fortement tous ensemble, soit une molécule avec baryon et méson faiblement liés
- prédits dans des modèles effectifs de QCD (théorie fondamentale trop compliquée à résoudre)



- d'autres états exotiques (nombres quantiques impossibles pour qqq ou $q\bar{q}$) déjà observés, peut-être des tétraquarks ($qq\bar{q}\bar{q}$) ?
- $X(3872)$, $Z(4430)$, $Y(4140)$, $Z_c(3900)$, $Z_b(10610)$, $Z_b(10650)$...

Mais un passé discutable pour les pentaquarks

- 1997: des théoriciens russes de l'interaction forte prédisent l'existence d'états à 5 quarks ($4q+1\bar{q}$), en particulier le $\Theta^+ = u d d u \bar{s}$

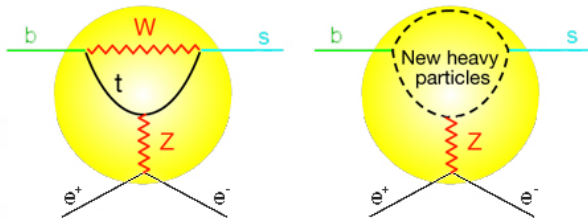


- 2003: premières “observations d'un pentaquark (Japon)
- Plusieurs confirmations expérimentales (Russie, Allemagne)...
- ... mais les résultats positifs ne peuvent être reproduits, et d'autres résultats négatifs s'accumulent
- Fluctuation statistique d'un bruit de fond insuffisamment compris, amplifiée par les sélections ... prudence donc avec le P_c^+ !

P-prime-5

Deux approches de la Nouvelle Physique

- ATLAS, CMS: produire de nouvelles particules et détecter leurs produits de désintégrations
- LHCb: étudier des processus rares, qui peuvent faire intervenir des particules intermédiaires (virtuelles) lourdes

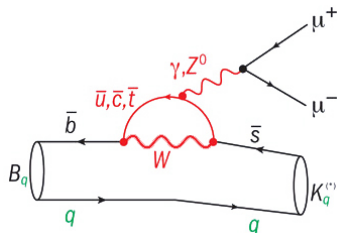


$$b \rightarrow sl^+l^- \quad (l = e \text{ ou } \mu)$$

- 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: $B \rightarrow Kl^+l^-$, $B \rightarrow K^*l^+l^-$, $B_s \rightarrow \phi l^+l^-$, $\Lambda_b \rightarrow \Lambda l^+l^- \dots$

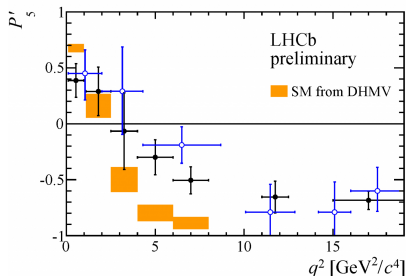
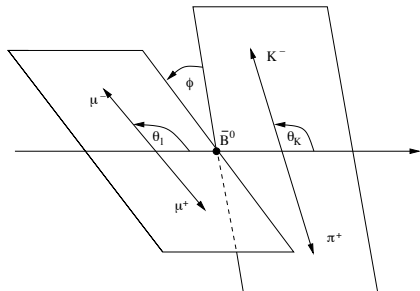


- En présence de physique au-delà du Modèle Standard, tous ces processus sont affectés : permet de croiser les résultats pour en apprendre plus !
- Mais il faut comprendre la transition entre quarks et hadrons sur le plan théorique, pour pouvoir prédire précisément les valeurs MS
modèles approchés, simulations numériques

La lente progression d'une idée

- 1990: premiers travaux théoriques sur l'intérêt de $b \rightarrow s\ell^+\ell^-$ pour la nouvelle physique
- 2000: premières estimations relativement "précises" des effets de l'hadronisation liée à QCD
- 2005-2010: constructions d'observables faiblement sensibles aux effets de QCD (et donc très sensibles à des particules au-delà du MS)
- 2008-2010: premières mesures à Babar, Belle (avec de grosses barres d'erreur),
- 2011: LHCb mesure un processus relié (et très attendu par les partisans de la supersymétrie), $B_s \rightarrow \mu\mu$, en accord avec le MS
- 2012-2015: mesures de précision à LHCb

- Décrit en partie la géométrie compliquée de la désintégration $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$ (avec $K^* \rightarrow K\pi$)
- En fonction de q^2 , masse invariante de deux muons
- Déviation par rapport au Modèle Standard, observée en 2013 et confirmée en 2015

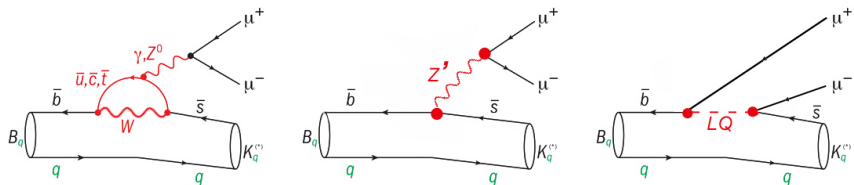


D'autres déviations dans $b \rightarrow sll$ par rapport au Modèle Standard

- $Br(B \rightarrow K\mu\mu)/Br(B \rightarrow Kee)=0.75$ (1 dans MS)
- $Br(B_s \rightarrow \phi\mu\mu), Br(\Lambda_b \rightarrow \Lambda\mu\mu)$

Des explications ?

- Plusieurs fluctuations statistiques intempestives (?)
- Sous-estimation d'incertitudes du côté 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...

A bientôt,
pour Lepton-Photon 2015
en août à Ljubljana (Slovénie),

ou dans deux ans,
pour EPS-HEP 2017,

ou bien encore dans un an,
pour ICHEP 2016
à Chicago (USA) !