

# Quelques nouvelles récentes

Sébastien Descotes-Genon

`descotes@th.u-psud.fr`

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

Orsay, 26 juillet 2017



# Été comme hiver





# Les trois premiers jours d'EPS-HEP 2017

- Sessions parallèles (9 sessions, 15-20 min sur sujet spécifique)
- Près de 600 interventions !
- Une après-midi “HEP et société” + expo “Art et Science en Italie”

*Accelerators for HEP*

*Astroparticle Physics*

*Cosmology, Dark Energy,*

*Gravitational Waves Dark*

*Matter Detector R&D and Data*

*Handling Flavour Physics and*

*Fundamental Symmetries*

*Heavy Ion Physics Higgs and*

*New Physics Neutrino Physics*

*Outreach, Education, and*

*Diversity Quantum Field and*

*String Theory QCD and*

*Hadronic Physics Top and*

*Electroweak Physics. . .*

00:00	Latest results of the LHC experiment at LHC	The CMS Ma Teo trigger in ...	WIMP Jangho Lee Direct Detection Experiments	Theory Adhir Gajjar overview on FCNC B-decays	Ruchi Gupta Measurement of the H...	Quarkonia in heavy ion collisions	Open problems in Neutrino Physics	New results on the multiplicity and centr...	Inclusive and differential W and Z boson cross ...
	LHCb inputs to astroparticle physics	Construction and commissioning of the ...	Room Moscati-1, Palazzo del Casinò	Room Moscati-2, Palazzo del Casinò	Measurement of properties of Higgs bo...	Suppression of heavy quarkonia in pA and A...	Room Casini, Palazzo del Casinò	Measurement of high-mass dijet and dip...	High Precision Measurement of the di...
	On the Matter Content of Astrophysical Jets	Valeria Diets Performance and trau...	Room Moscati-1, Palazzo del Casinò	Room Moscati-2, Palazzo del Casinò	The Latest CMS result on Higgs boson decay...	Indrani Das Quarkonium producti...	The latest T2K neutrino oscillation results	Measurement of isotropic cross-section...	W boson zero Mainz polarization in vector ...
	The PRISMA PDF fit of prompt neutrino fluxes	Operational Experiences and Performance with...	Jeff Martin DarkSide Status and P...	Room Moscati-2, Palazzo del Casinò	Measurement of the B Higgs boson mass in L...	Measurement of quarkonia production ...	Latest oscillation results from the NDnuA...	Low energy ...	Differential measurements of the ...
10:00	Understanding cosmic ray small scale anisotropies	The ATLAS Trigger in Run-2 - Design, Menu...	Room Moscati-1, Palazzo del Casinò	Room Moscati-2, Palazzo del Casinò	Simon White Recent measurements of radiative and electroweak Penguin Decays at Belle	Inclusive search for boosted Higgs boson...	Charmonium production in pPb and...	More results from the OPERA experiment.	Recent diffractive and exclusive results from...
	Room Martinelli, Palazzo del Casinò	Performance and new developments of the r...	New results from LUX	Room Moscati-1, Palazzo del Casinò	KLOE-2 Inner Tracker the First Cylindrical G...	The LZ Dark Matter experiment	Rare B decays at LHC	Results for SM Higgs decaying to bottom q...	Measurement of fermionic couplings o...
	The DAMPE experiment: a probe for high energy cosmic-ray	The Solid short baseline neutrino dete...	Generating Minimal Dark Matter: Wiltschko	A Mauro Valli Systematic Study of D...	Coffee break	Coffee break	Coffee break	Coffee break	Coffee break
11:00	Coffee break	Coffee break	Coffee break	Coffee break	Coffee break	Coffee break	Coffee break	Coffee break	Coffee break
	Room Martinelli, Palazzo del Casinò	Room Anicò, Palazzo del Casinò	Room Moscati-2, Palazzo del Casinò	New physics searches with EW penguins and...	Sala Parla, Palazzo del Casinò	11:00 - 11:30	Room Casini, Palazzo del Casinò	Room Steller, Palazzo del Casinò	Room Volpi, Palazzo del Casinò
	Time dependence of helium flux measured by PAMELA	The NA62 Calorimeter Level 0 Trigger Operati...	WIMP theory review	Lepton Flavor (Universality) Violation...	Determination of the Higgs boson propertie...	Measurements of the Upsilon meson produ...	Results Ross/Notale here ...	2e+ production in pp and p-Pb collisions w...	The global electroweak fit: present status, con...
	Characteristic Energy Dependence of Primary and Secondary Cosmic Rays with the ...	The CERN Neutrino Platform	Room Moscati-1, Palazzo del Casinò	Room Moscati-2, Palazzo del Casinò	Results on B <sub>s</sub> - ...	Search for rare and exotic Higgs boson decays at CMS	Nabaran Dev Heavy Marzio Rissold Flavor ...	Neutrino physics and nuclear astrophysics...	D-meson and charm baryon measurements...
12:00	Precision Measurements of 5He-to-4He ratio in Cosmic Rays with the ...	Technological Prototypes and Result...	Axion as a non-WIMP dark matter candidate	Rare FCNP radiative Higgs decays BRto ...	Recent Gerald Eigen searches for beyond-...	Search for non-standard, rare or invisib...	Physics with fixed target collisions in L...	Present status of neutrino cross section	Results on production and decay of B hadro...
	Latest results of the Pierre Auger Observatory	ATLAS Forward Proton detectors: first exper...	The ANITA and HECA experiments in Antarc...	New physics searches with heavy flavour ob...	Simon King SMASH: A non-transient approach to...	Latest results on searches for MSSM H...	Heavy flavour and Quarkonium produc...	Latest Results From MicroBoNE	Fit of electroweak parameters in collid...

# En images





# Le dimanche

- Digérer les résultats, travailler, faire du tourisme...
- Des activités "sociales" (visites, concerts...) proposées

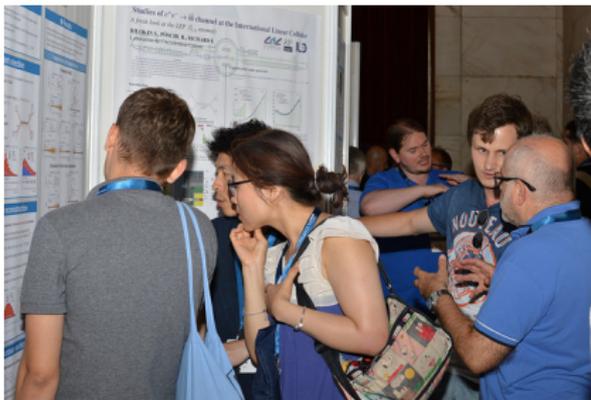


# Les trois derniers jours d'EPS-HEP 2017

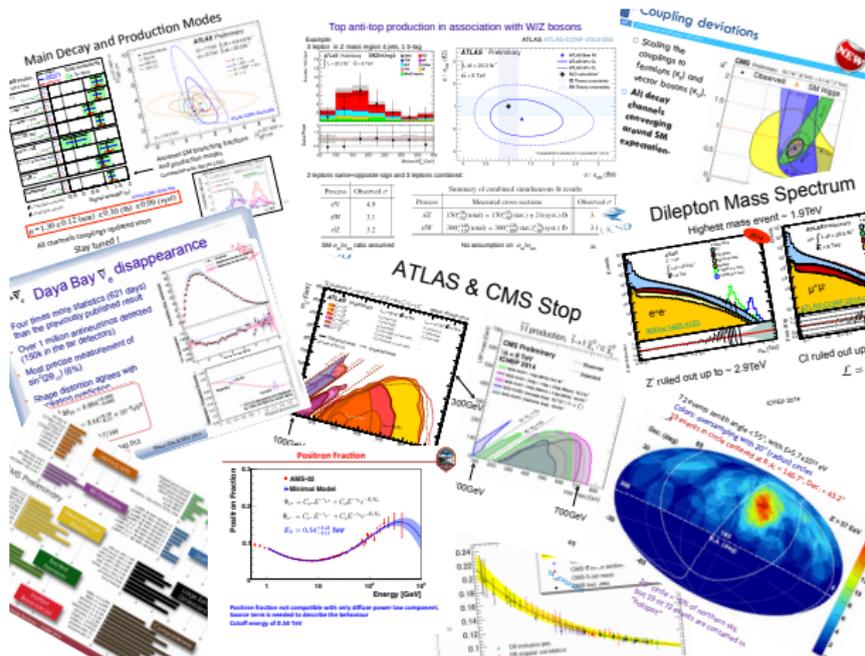
- 3 jours de sessions plénières (exposés plus longs sur un domaine)
- Remise de prix, souvent précurseurs du Prix Nobel, dont E. Heijne, R. Klanner, G. Lutz (détecteurs silicium) et R. Weiss, K. Thorne, B. Barish (LIGO)
- Session poster (vin et fromage, et prix !), banquet, concert

	<b>Gravitational Wave observations: status and perspectives</b>	<i>Michele Punturo</i> 
	<i>Sala Grande, Palazzo del Cinema</i>	14:30 - 15:00
15:00	<b>Interplay Between the Higgs and Cosmology</b>	<i>Oleg Lebedev</i> 
	<i>Sala Grande, Palazzo del Cinema</i>	15:00 - 15:30
	<b>Standard Model Measurements (EWK and Top physics)</b>	<i>Marjorie Shapiro</i> 
	<i>Sala Grande, Palazzo del Cinema</i>	15:30 - 16:00
16:00	<b>Coffee break</b>	16:00 - 16:30
	<b>The Standard Model Theory</b>	<i>Stefan Dittmaier et al.</i> 
	<i>Sala Grande, Palazzo del Cinema</i>	16:30 - 17:00
17:00	<b>Top Quark Physics</b>	<i>Michal Czakon et al.</i> 
	<i>Sala Grande, Palazzo del Cinema</i>	17:00 - 17:30
	<b>The Information Paradox: QM and Black Holes</b>	<i>Kyriakos Papadodimas et al.</i> 
	<i>Sala Grande, Palazzo del Cinema</i>	17:30 - 18:00

# En images



# De quoi se cultiver



- Beaucoup de transparents
- Des articles paraissent juste après les talks
- Proceedings (comptes-rendus) à écrire dans la foulée
- Impossible de tout résumer ! Quelques éclairages très limités

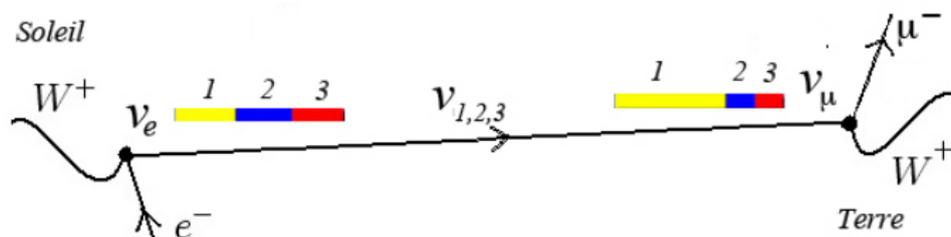
# Trois neutrinos sur une balance

# 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

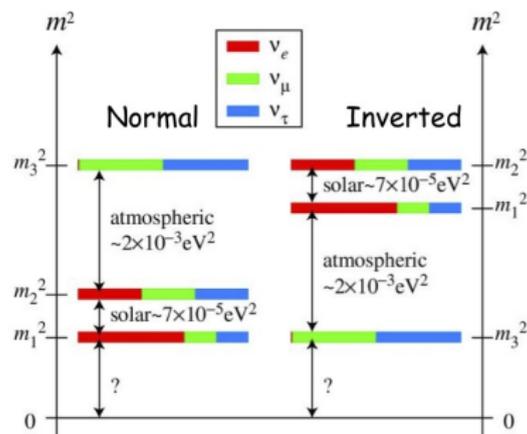
- Neutrinos solaires
- Neutrinos atmosphériques
- Neutrinos d'accélérateurs
- Neutrinos de réacteurs

SNO, SK...

SuperKarmiokande...

MINOS, T2K, NOvA...

KamLand, RENO, Daya Bay...



- Précision des connaissances

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

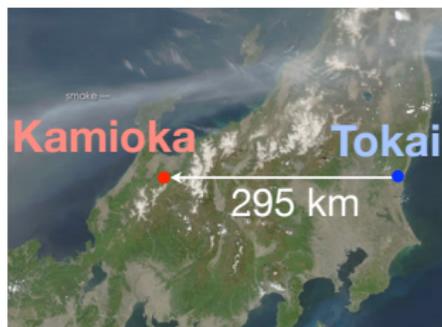
$$\sin^2 \theta_{12} \simeq 6\%,$$

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

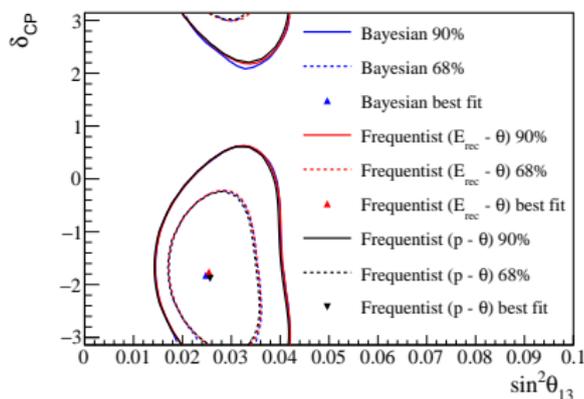
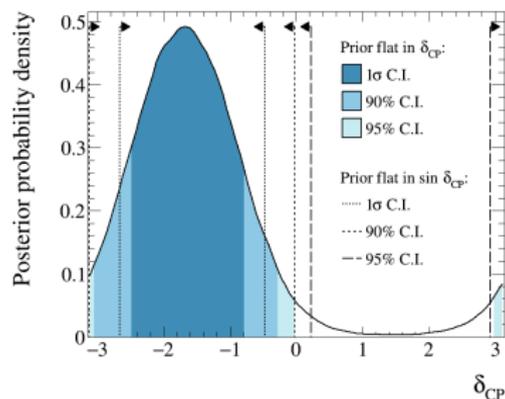
$$\sin^2 \theta_{23} \simeq 9\%$$

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

# Le voile se lève sur $\delta$



- T2K: faisceau (anti)neutrino de Tokai vers SuperKamiokande (Japon) 295 km
- $\text{NO}\nu\text{A}$ : 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  $\bar{\nu}_e$

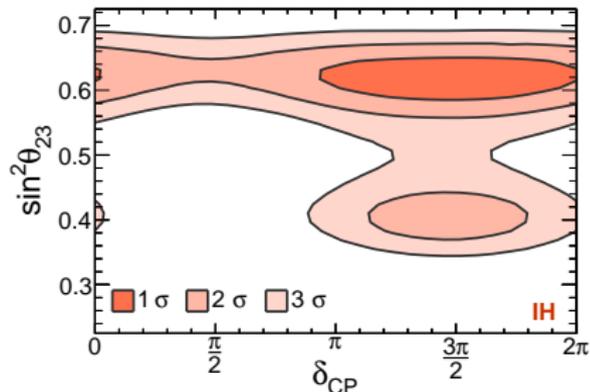
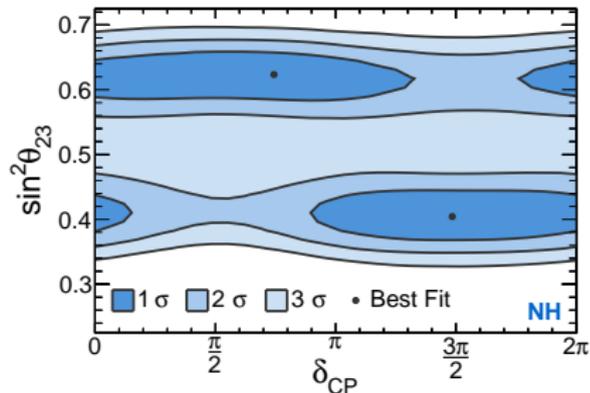


- Comparant  $\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$
- Quelle que soit la hiérarchie de masse, asymétrie entre  $\nu$  et  $\bar{\nu}$

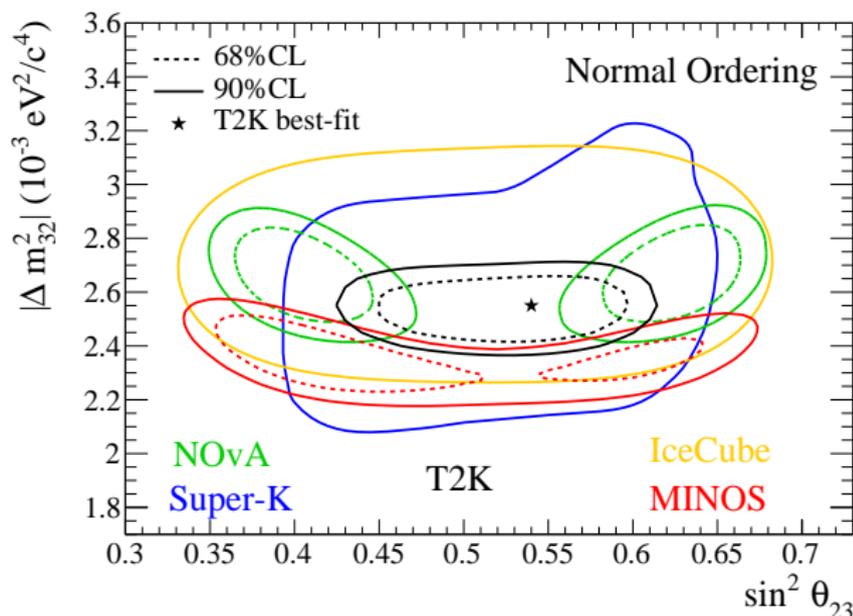
$$\delta_{CP} \in [-2.95, -0.44](NH), \quad [-1.47, -1.27](IH) @ 90\% CL$$

- excluant la conservation de CP à 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 nuages à l'horizon ?

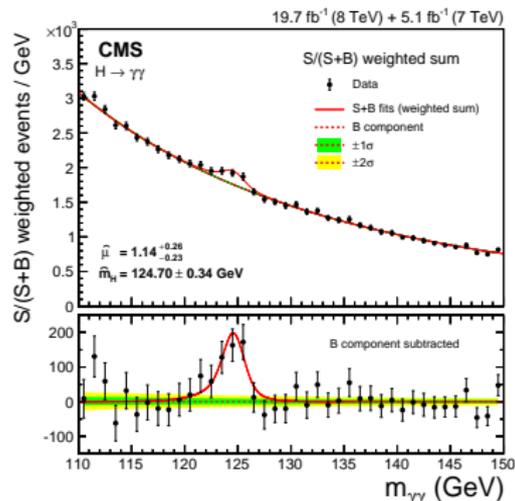


- Une tension apparait entre NOvA et T2K
- NOvA:  $\sin^2 \theta_{23} = 0.404^{+0.030}_{-0.022}$  ou  $0.624^{+0.022}_{-0.030}$
- T2K:  $\sin^2 \theta_{23} = 0.534^{+0.046}_{-0.044}$  ... à suivre ! (DUNE, HyperK)

Tous les leptons naissent  
libres et égaux en droits ?  
Pas si sûr !

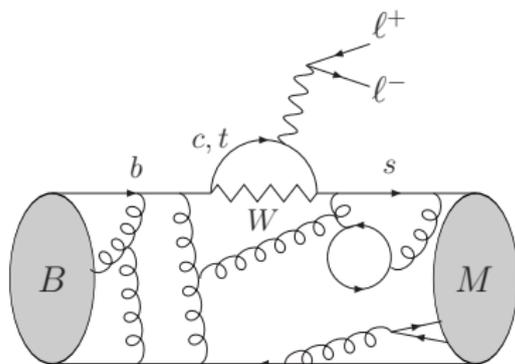
# Deux chemins complémentaires

Voie relativiste:  $E = mc^2$



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

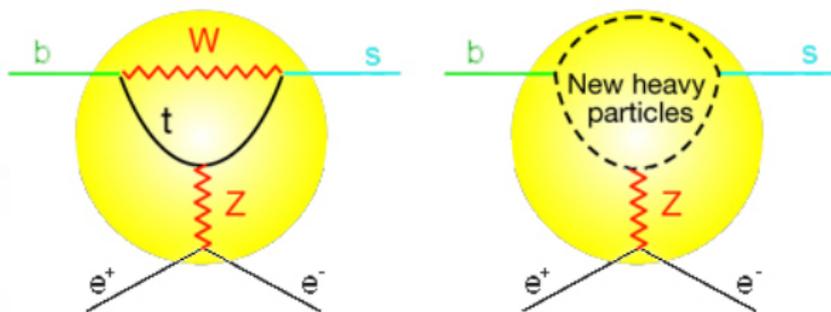
Voie quantique:  $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$



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

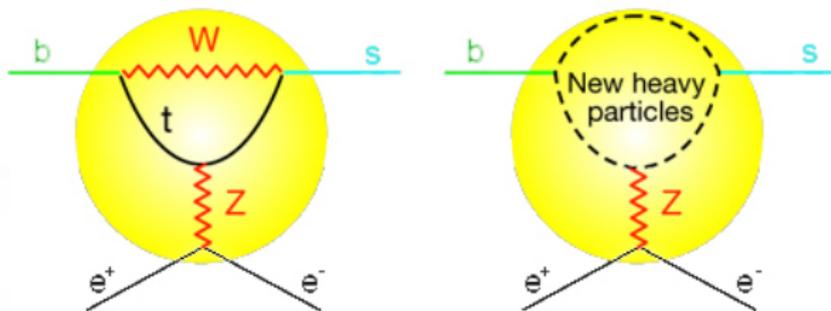
$$b \rightarrow sl^+l^- \quad (l = e \text{ ou } \mu)$$

- 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



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

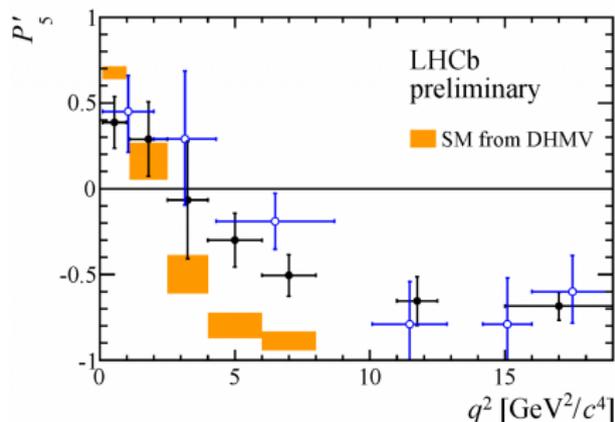
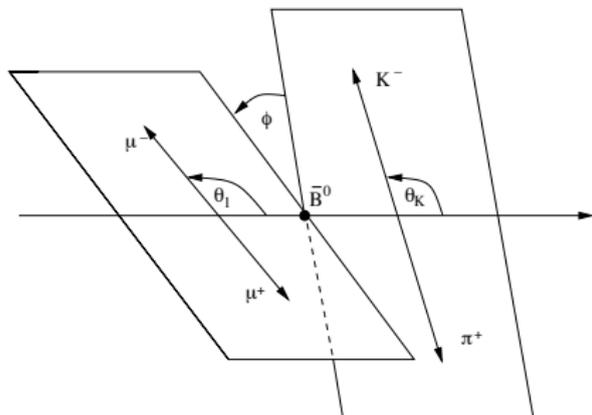
- Courant neutre changeant la saveur:  $b$  et  $s$  de même charge
- Processus avec une très faible probabilité dans le Modèle Standard (passage via  $W$  et  $t$  virtuels)
- Sensible à des états intermédiaires virtuels lourds au-delà du MS, qui se manifesteront par des écarts entre MS et expérience



- Processus théorique en termes de quarks, mais expériences mesurées en termes de hadrons: compliqué sur le plan théorique !
- Beaucoup de transitions possibles entre différents hadrons:  
 $B \rightarrow Kl^+l^-$ ,  $B \rightarrow K^*l^+l^-$ ,  $B_s \rightarrow \phi l^+l^-$ ,  $\Lambda_b \rightarrow \Lambda l^+l^- \dots$

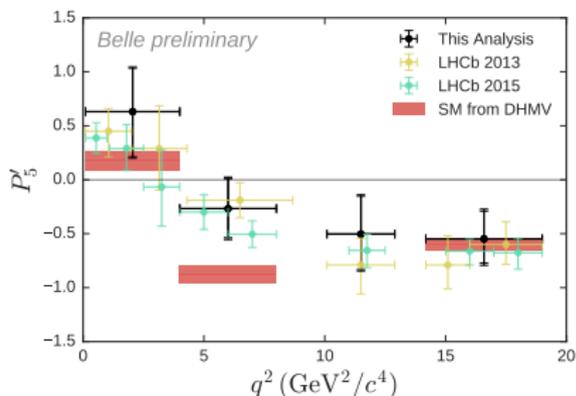
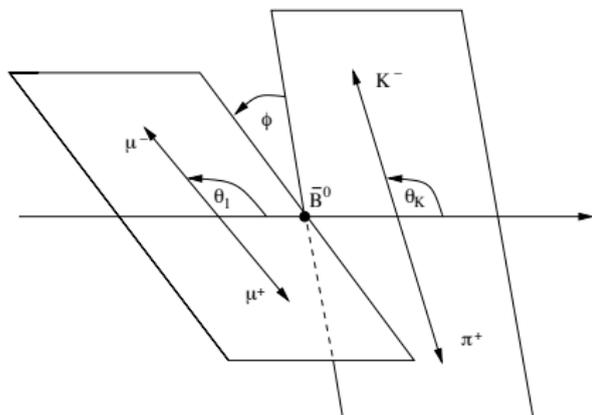
# $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

- 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

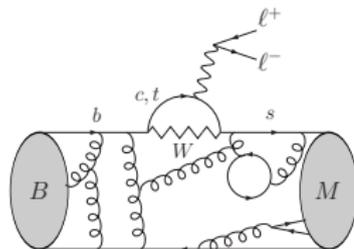
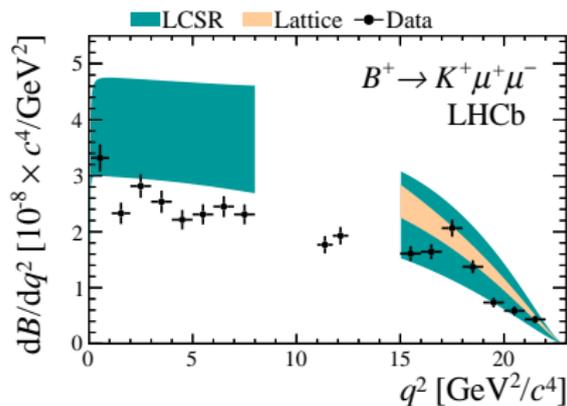


$$B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$$

- 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

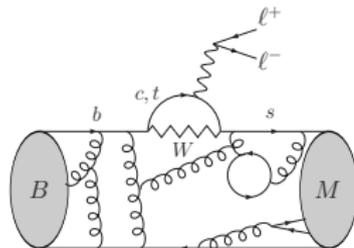
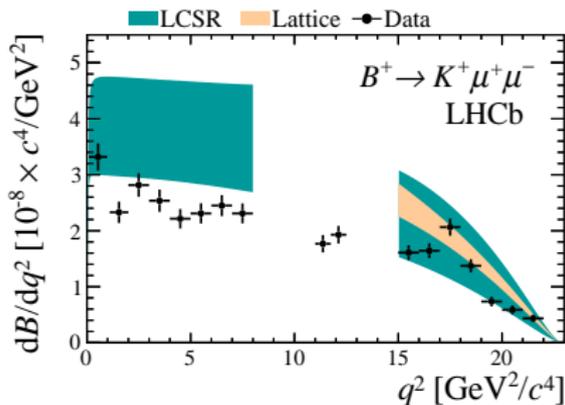


# $B \rightarrow K\ell\ell$

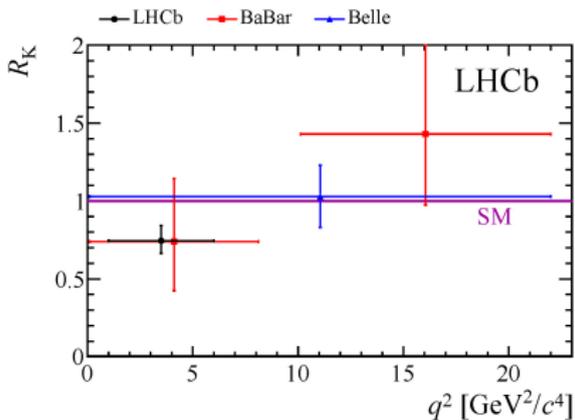


- LHCb:  $Br(B \rightarrow K\mu\mu)$  trop bas par rapport au MS

# $B \rightarrow K\ell\ell$

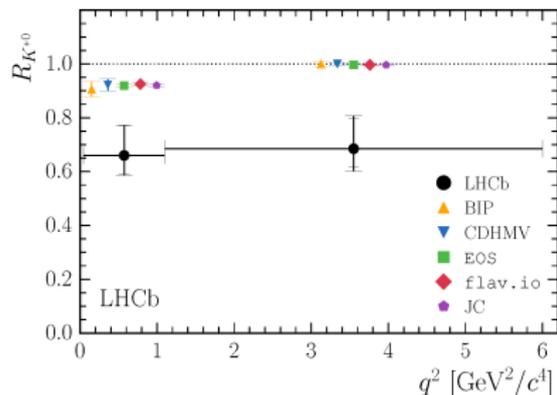


- LHCb:  $Br(B \rightarrow K\mu\mu)$  trop bas par rapport au MS

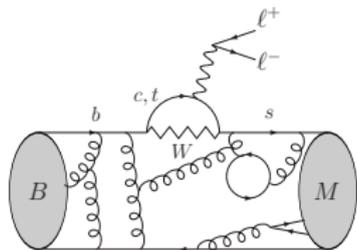


- $R_K = \frac{Br(B \rightarrow K\mu\mu)}{Br(B \rightarrow K\ell\ell)} \Big|_{[1,6]} = 0.745^{+0.090}_{-0.074} \pm 0.036$
- = 1 dans le MS (universalité du couplage leptonique)
- Comparaison par LHCb pour d'autres modes, comme  $B \rightarrow K^* \ell\ell$  ou  $B_s \rightarrow \phi \ell\ell$  ?

# $B \rightarrow K^* \ell \ell$



$$R_{K^*} = Br(B \rightarrow K^* \mu \mu) / Br(B \rightarrow K^* e e)$$



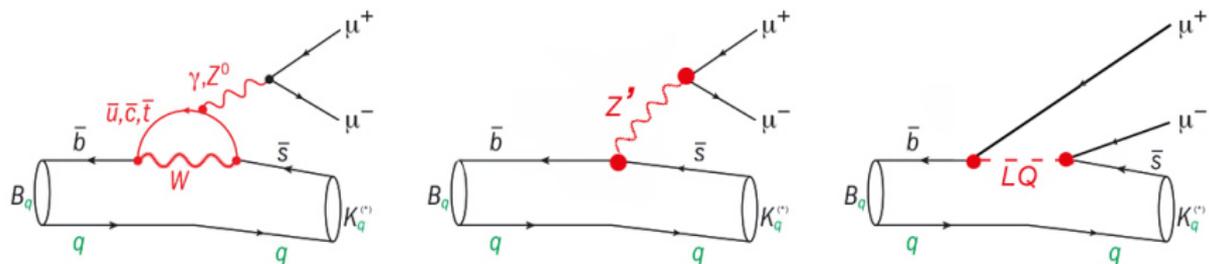
- LHCb 2017:  $R_{K^*}$  est lui aussi trop bas par rapport au MS
- $\simeq 1$  dans le MS (universalité du couplage leptonique)
- L'universalité des couplages leptoniques serait donc mise en défaut !
- Très bon accord avec les autres déviations observées
- En accord avec une contribution de NP de 25% par rapport au MS

# 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 (?)

# 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 (?)

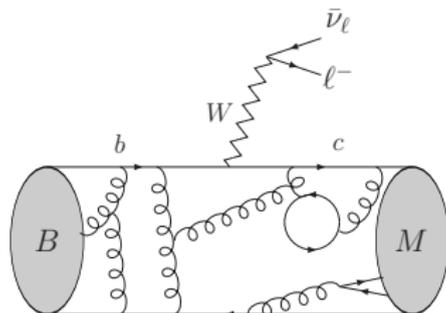
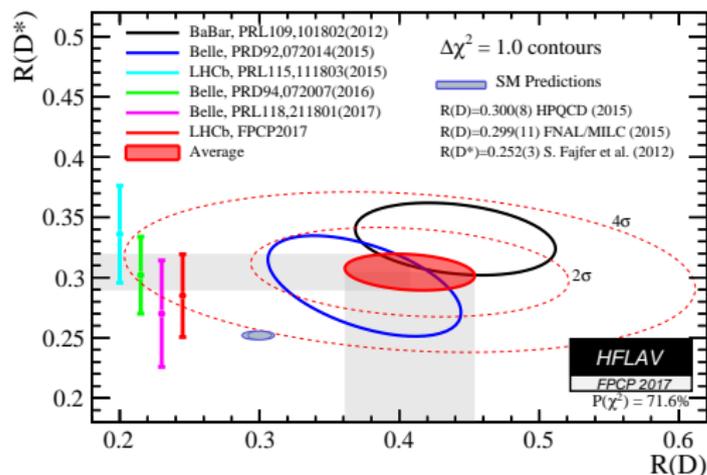


Deviations cohérentes avec explication de NP, mais laquelle ?

- 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 ( $b \rightarrow s \ell_1 \ell_2$  possible ?)

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

- Comparaison des transitions  $b \rightarrow c\ell\nu_\ell$  ( $\ell = e, \mu$ ) 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  $\tau$  ?

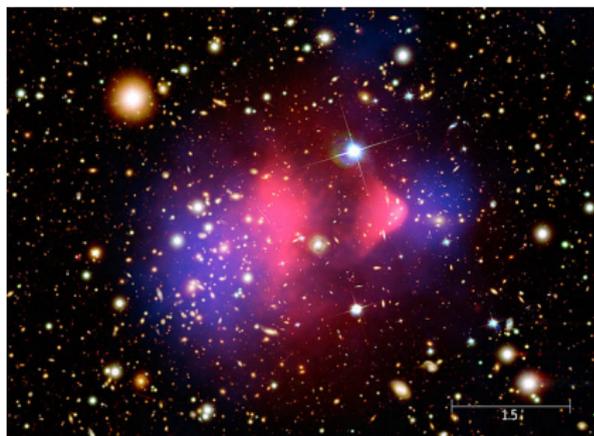
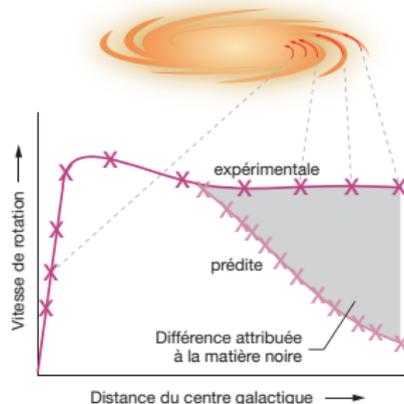


$$R_{D^{(*)}} = \frac{Br(B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu)}{Br(B \rightarrow D^{(*)}\ell\bar{\nu}_\ell)}$$

D'autres comparaisons de modes avec différents leptons chargés en préparation au LHC (LHCb...) et ailleurs (Belle...)

# Lumière sur la matière noire

# Matière noire et nouvelle physique



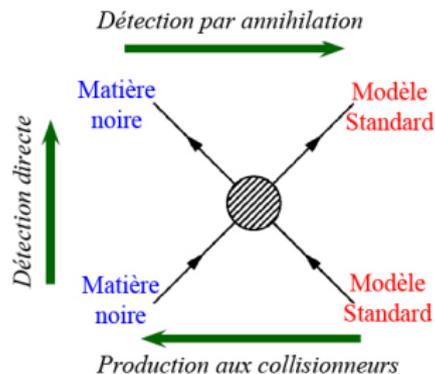
En se basant sur les lois de la gravitation, pas assez de matière visible

- Pour expliquer la dynamique des grandes structures (galaxies. . .)
- Pour décrire l'évolution de l'Univers (ray. de fond cosmologique)

## Matière "noire"

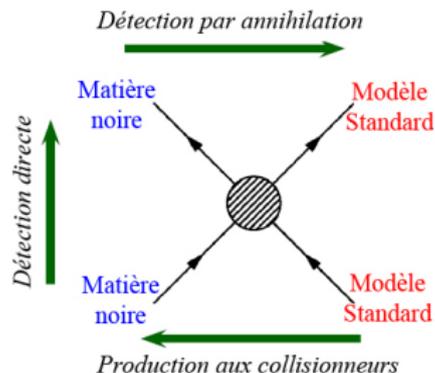
- lourde, stable, neutre, interagissant peu avec son environnement, hormis par interaction gravitationnelle
- particule nouvelle  $\chi$ , hors du Modèle Standard ?

# Observer la matière noire



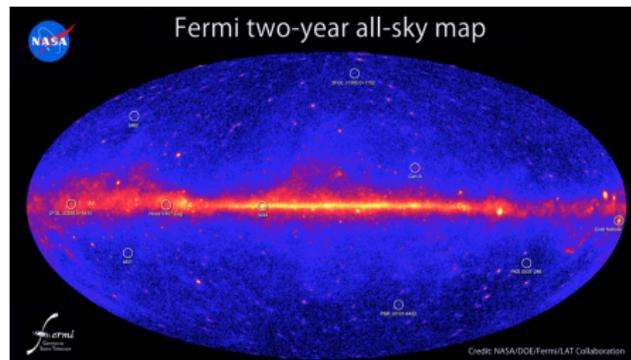
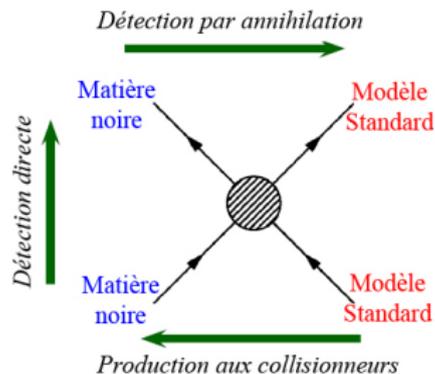
- La produire en accélérateur (si assez “légère”)

# Observer la matière noire



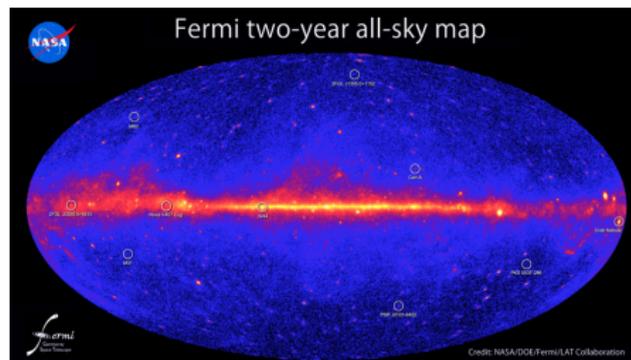
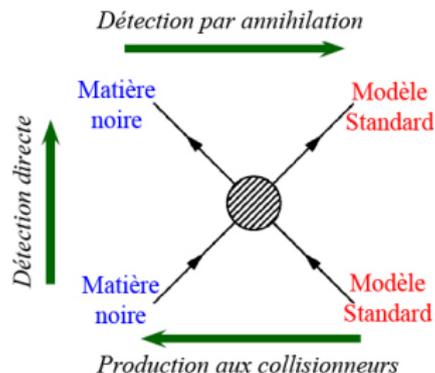
- La produire en accélérateur (si assez “légère”)
- La détecter lors de son passage sur Terre  
⇒ interaction avec noyau  $\chi + X \rightarrow \chi + X$  (recul du noyau)

# Observer la matière noire



- La produire en accélérateur (si assez “légère”)
- La détecter lors de son passage sur Terre
  - ⇒ interaction avec noyau  $\chi + X \rightarrow \chi + X$  (recul du noyau)
- Voir son annihilation en observant le ciel
  - ⇒ rayons gamma monochromatiques ( $E_\gamma = M_\chi c^2$ )
  - ⇒ excès de rayons cosmiques de haute énergie

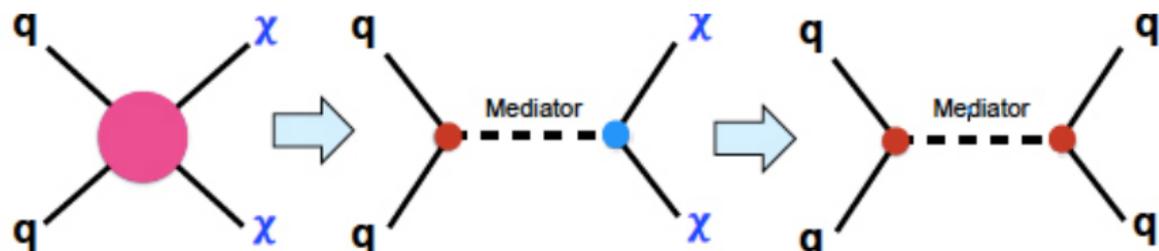
# Observer la matière noire



- La produire en accélérateur (si assez “légère”)
- La détecter lors de son passage sur Terre
  - ⇒ interaction avec noyau  $\chi + X \rightarrow \chi + X$  (recul du noyau)
- Voir son annihilation en observant le ciel
  - ⇒ rayons gamma monochromatiques ( $E_\gamma = M_\chi c^2$ )
  - ⇒ excès de rayons cosmiques de haute énergie
- Détecter sa présence par observations astronomiques
  - ⇒ déformation d’images par lentilles gravitationnelles

## En collisionneur (1)

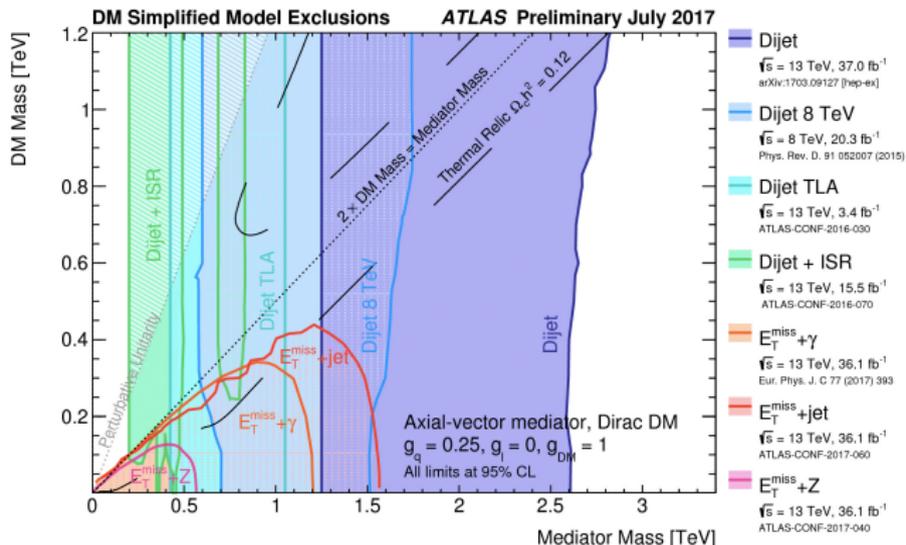
- Collision produit paire particules de matière noire qui s'évade du détecteur sans interagir avec personne (énergie manquante)
- Produit via une particule médiatrice qui peut aussi se désintégrer en particules du MS (jets de particules)



# En collisionneur (2)

En combinant différents modes

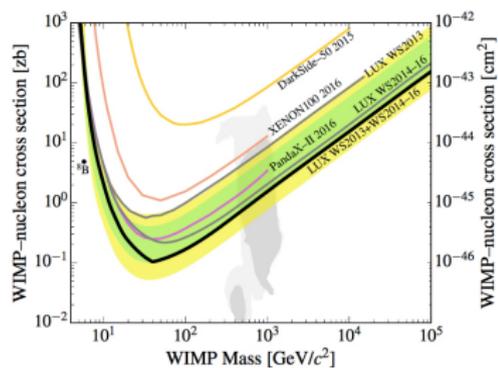
- masse du médiateur
- masse de la matière noire



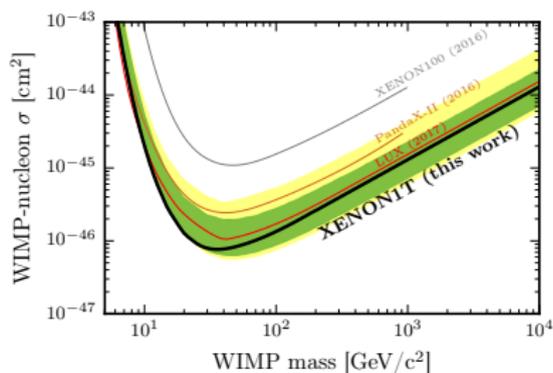
- Pas d'observation au LHC (modèles matière noire exotique)
- ATLAS et CMS étudient propriétés particules MS ( $H, t, W, Z \dots$ )

# En détection directe

- Matière noire interagissant avec cible
- Recul des noyaux, détection par ionisation/lumière/chaueur
- en particulier, XENON1T: 3.5 t de xénon liquide (ionisation/lumière), au Gran Sasso (Italie)
- run interrompu par tremblement de terre en Janvier 2017 – nouveau run actuellement: de nouveaux résultats très bientôt

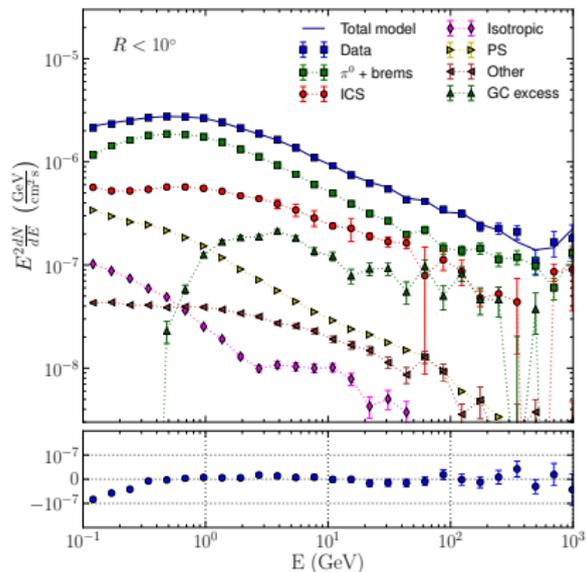
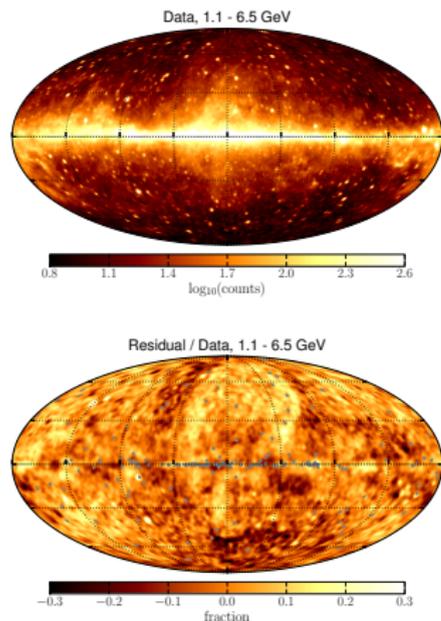


2016



2017

# En annihilation dans le ciel

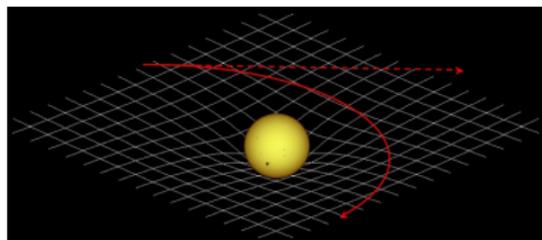


- Satellite Fermi: excès de  $\gamma$  O(GeV) venant du centre galactique
- E et distribution spatiale compatibles annihilation matière noire
- Grande incertitude due aux bruits de fond (p-ê pulsars ?)
- Pbs similaires pour AMS avec flux  $e^+$  dans rayons cosmiques

# Einstein fait des vagues

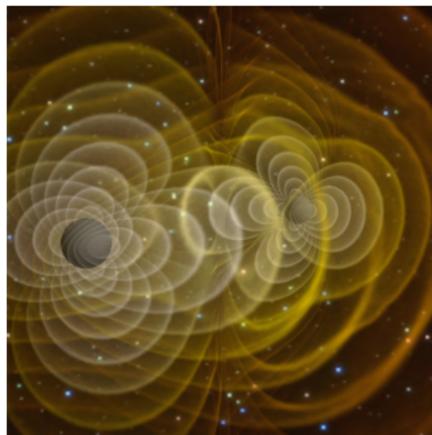
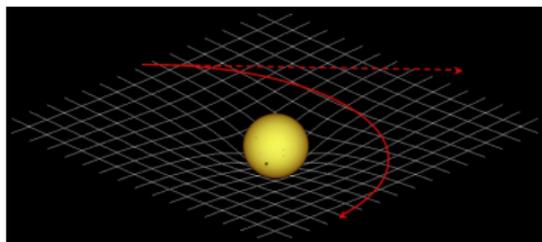
# Les ondes gravitationnelles, application de la RG

- Mécanique classique:  $t$  et  $(x, y, z)$
- Relativité restreinte (universalité de la vitesse de la lumière)
  - $x^\mu = (t, x, y, z)$
  - $x^2 = (ct)^2 - (x^2 + y^2 + z^2)$  “distance” identique dans ts référentiels
- Relativité générale (universalité de la chute libre)
  - “distance”  $x^\mu x^\nu g_{\mu\nu}$  avec  $g_{\mu\nu}$  métrique affectée par objets massifs
  - trajectoires : trajets minimaux selon cette métrique (=“attraction”)



# Les ondes gravitationnelles, application de la RG

- Mécanique classique:  $t$  et  $(x, y, z)$
- Relativité restreinte (universalité de la vitesse de la lumière)
  - $x^\mu = (t, x, y, z)$
  - $x^2 = (ct)^2 - (x^2 + y^2 + z^2)$  “distance” identique dans ts référentiels
- Relativité générale (universalité de la chute libre)
  - “distance”  $x^\mu x^\nu g_{\mu\nu}$  avec  $g_{\mu\nu}$  métrique affectée par objets massifs
  - trajectoires : trajets minimaux selon cette métrique (=“attraction”)

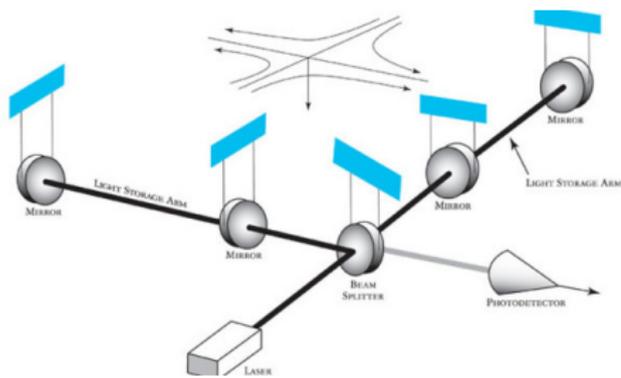


- Ondes gravit: déformations de la métrique se propageant
- Energie de processus violents, liés à des objets massifs

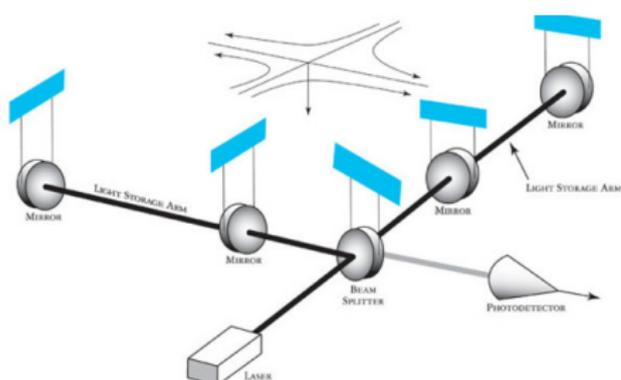
# La détection par interférométrie



- Lumière laser passant 280 fois dans deux “bras” de 4 km avant d’interférer

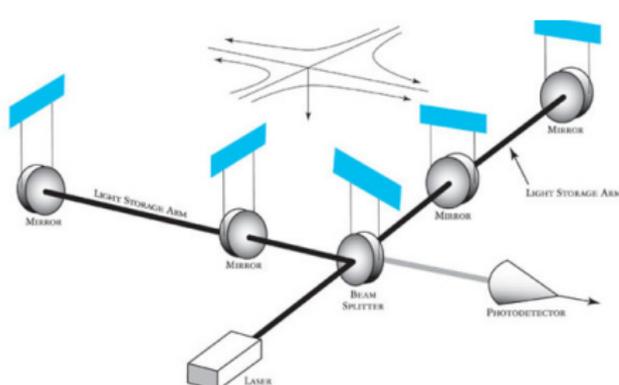


# La détection par interférométrie



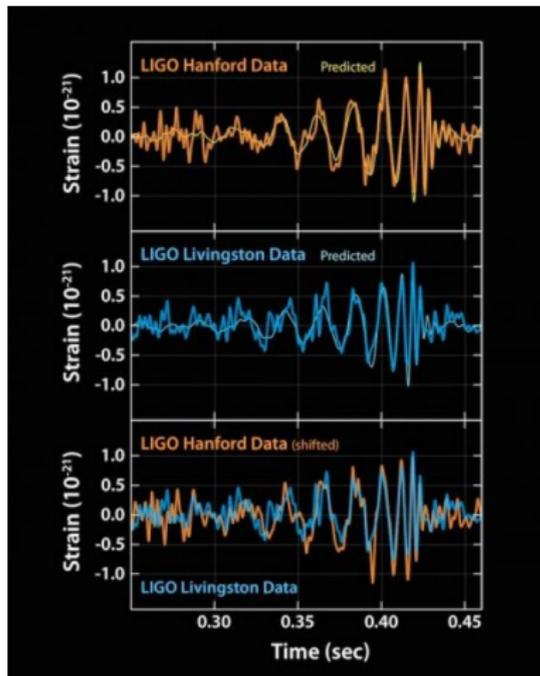
- Lumière laser passant 280 fois dans deux “bras” de 4 km avant d’interférer
- Si longueur des bras change, déplacement des franges d’interférence
- Par exemple lors du passage d’une onde gravitationnelle

# La détection par interférométrie



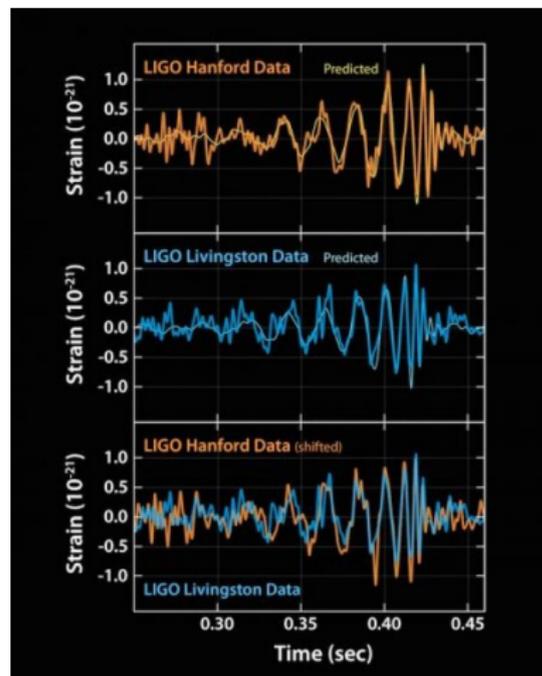
- Lumière laser passant 280 fois dans deux “bras” de 4 km avant d’interférer
- Si longueur des bras change, déplacement des franges d’interférence
- Par exemple lors du passage d’une onde gravitationnelle
- Mais beaucoup de “bruits parasites” possibles
- LIGO (2 USA) + Virgo (1 EU) : trois détecteurs en coïncidence

# La première détection



- 14 Sept 2015: signal de 0.2 secondes observé par LIGO ( $\times 2$ )
- coalescence de trous noirs de 36 et 29 masses sol., séparés de 350 km
- pour donner un trou noir de 62 masses solaires, à 1,3 milliard d'années lumière

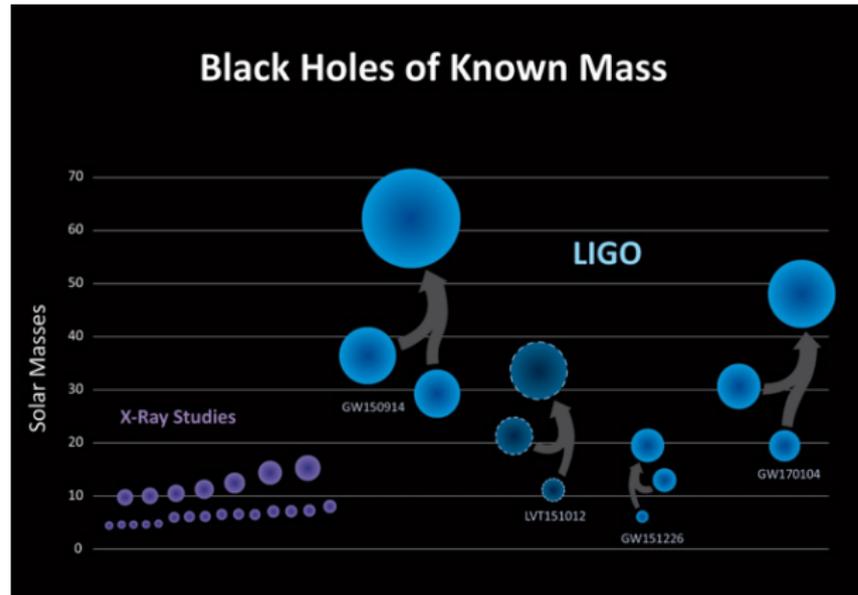
# La première détection



- 14 Sept 2015: signal de 0.2 secondes observé par LIGO ( $\times 2$ )
- coalescence de trous noirs de 36 et 29 masses sol., séparés de 350 km
- pour donner un trou noir de 62 masses solaires, à 1,3 milliard d'années lumière
- 3 masses solaires d'énergie émise sous forme d'ondes gravitationnelles
- puissance rayonnée durant 20 dernières millisecs. = 50 fois lumière de toutes étoiles observables
- pas de signaux  $\gamma$  associés !

# Le début d'une nouvelle astronomie

- Deux runs: 18/09/15-12/01/16, et depuis 30/11/16
- Participation d'Advanced Virgo
- Deux autres signaux non-ambigus d'ondes grav., avec 2 à 3  $M_{sol}$  perdues lors de la coalescence (fréquence et masse inattendues)
- Tests fins de la RG (forme des ondes, structure du trou noir obtenu)



- A venir: localiser les sources, lier à d'autres phénomènes (supernovae, bursts  $\gamma$ )
- Advanced Ligo/Virgo + de nombreux obs à venir

# En conclusion



A très bientôt  
pour Lepton-Photon 2017  
en août à Guangzhou (Chine),

ou l'année prochaine  
pour ICHEP 2018  
à Séoul (Corée du Sud)

ou dans deux ans  
pour EPS-HEP 2019,  
à Gand (Belgique) !