

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

Café du Sédi Des nouvelles du LHC



Nathalie Besson

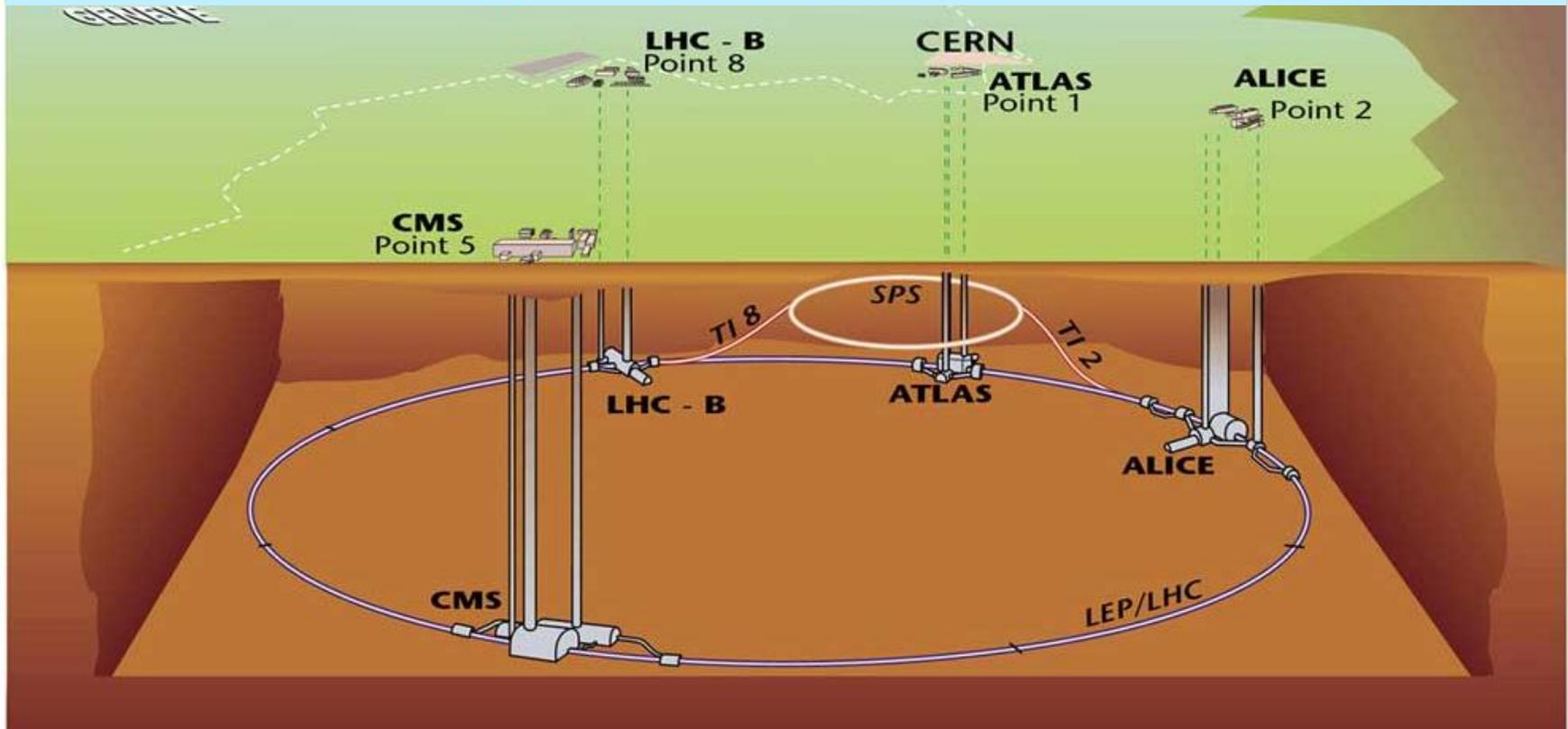
02/06/2016

Large Hadron Collider

Collisionneur proton-proton à haute énergie de 27 km de circonférence

Collisions à 7, 8 et 13 TeV d'énergie / 25 ns (99,9999991% de c)

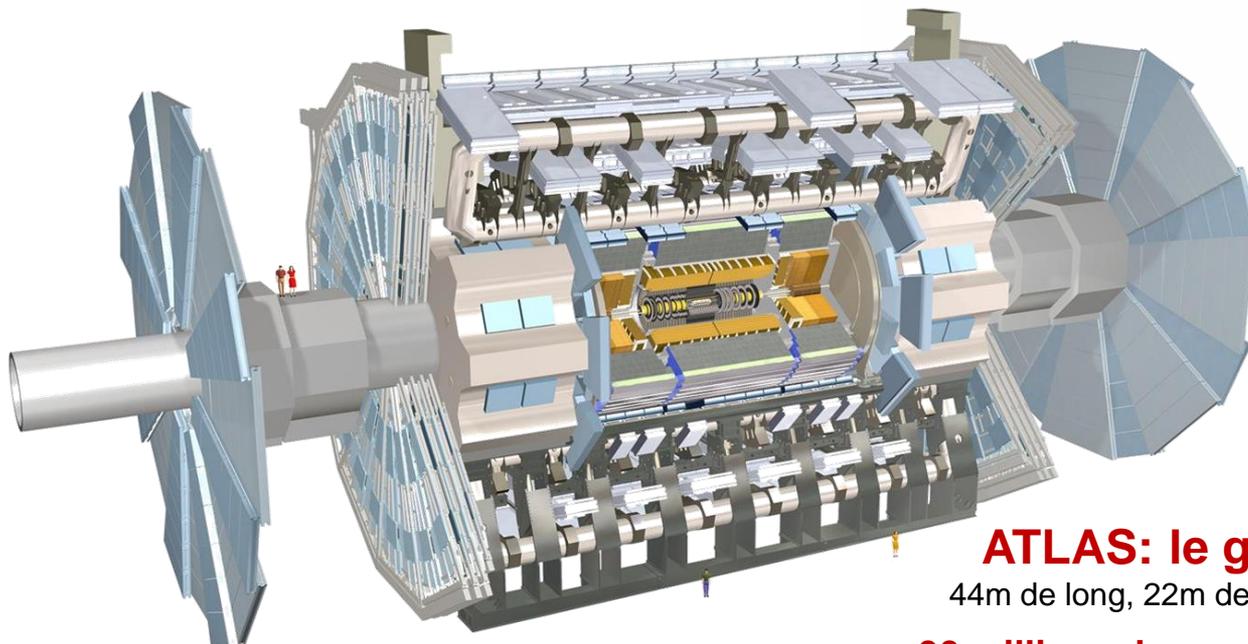
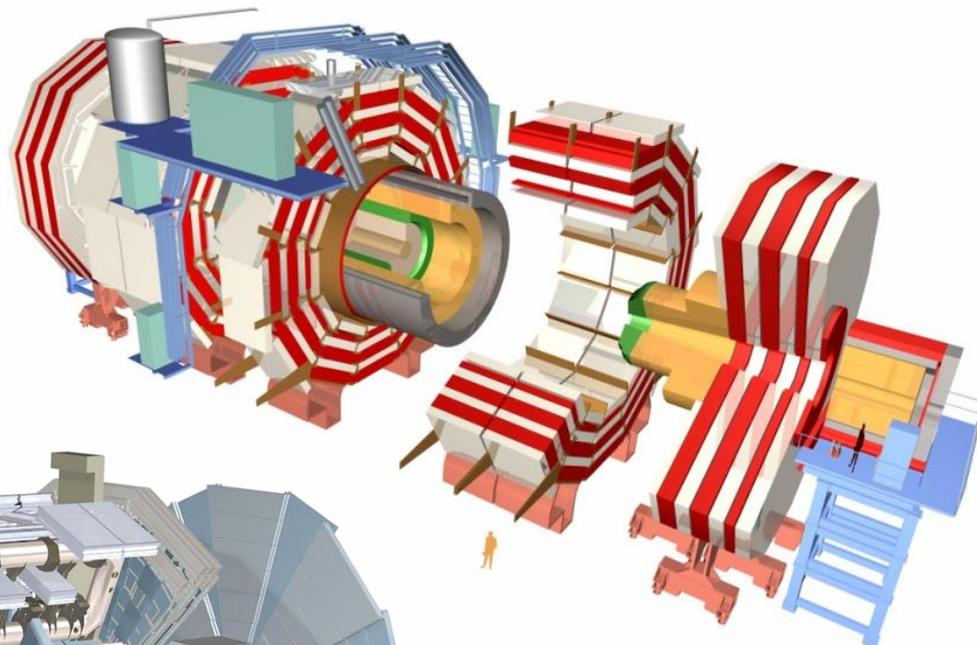
Quelques 10^{11} protons par paquet



CMS: le poids lourd

21.5m de long, 15m de Ø, 12500t
Solénoïde supra le + gd et le + puissant (4T)

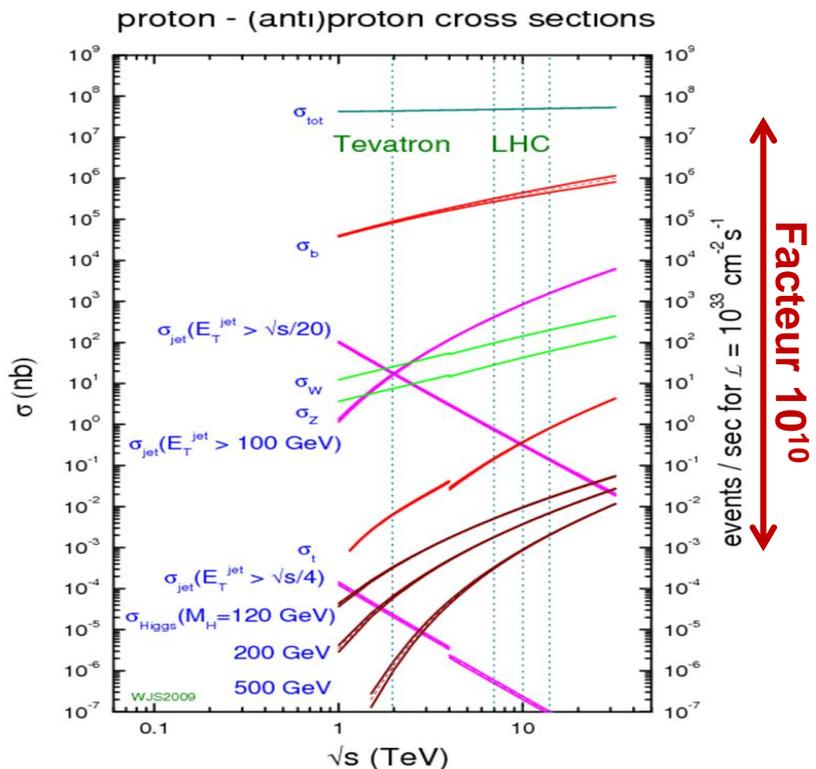
~ 90 millions de canaux de lecture



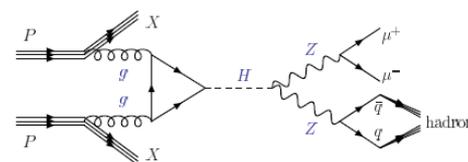
ATLAS: le géant

44m de long, 22m de Ø, 7000t

~90 millions de canaux de lecture



Recherche = hypothèse sur la masse



$$N_{\text{ev}} = \mathcal{L} \times P(g/p) \times \hat{\sigma}(gg \rightarrow H) \times B(H \rightarrow ZZ) \times B(Z \rightarrow \mu\mu) \times BR(Z \rightarrow qq)$$

⇒ Cahier des charges de la machine : haute **énergie** et haute **luminosité**

⇒ Cahier des charges des détecteurs : résolution, herméticité

Imaginons un faisceau de particules a , caractérisé par un flux de ϕ_a par unité de temps et de surface, en collision sur une cible fixe de particules b , caractérisée par une densité ρ_b par unité de volume. Le nombre de collisions ayant lieu pendant une unité de temps dt dans un élément de volume dV est $dN \propto (\phi_a dt)(\rho_b dV)$.

Le coefficient de proportionnalité est la **section efficace**.

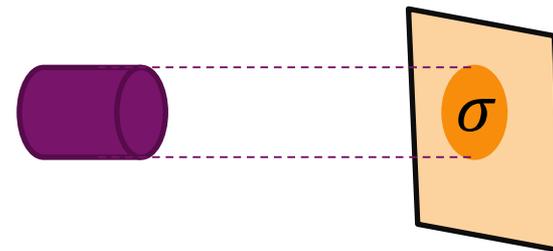
En physique classique, c'est l'ombre du faisceau sur la cible :

Unité, le barn = 10^{-24} cm²

$$\frac{dN}{dV dt} = \sigma \phi_a \rho_b$$

Taux de collisions

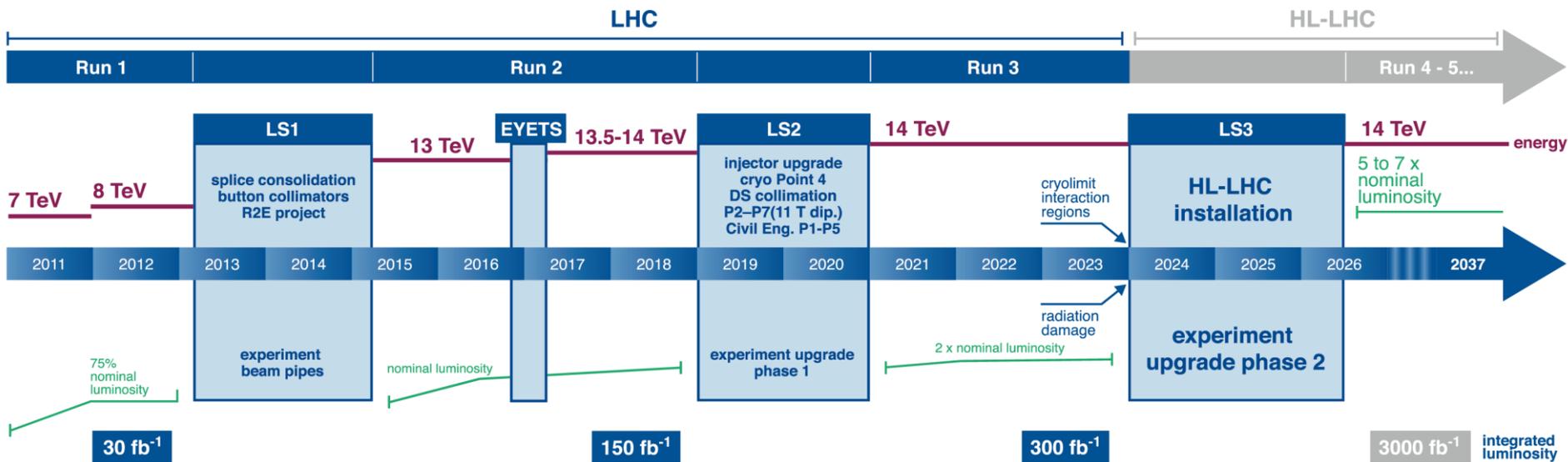
Facteur de flux



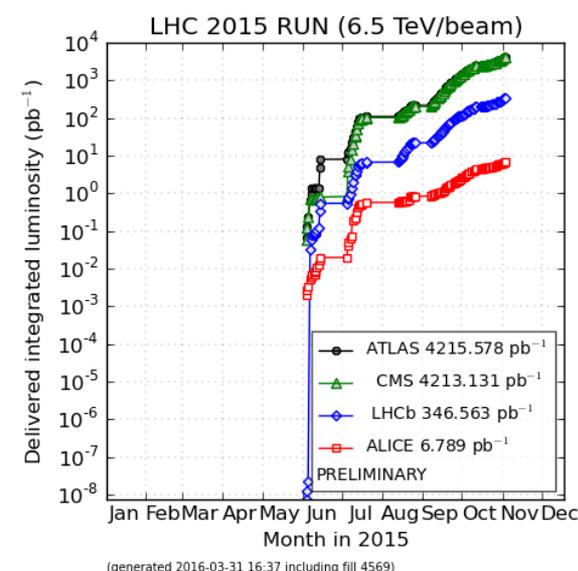
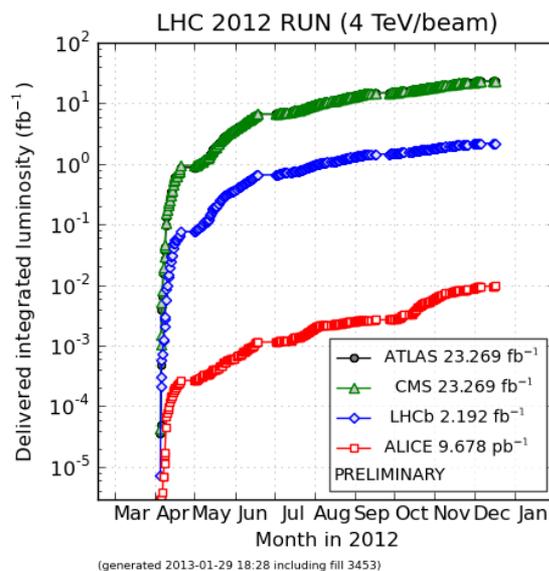
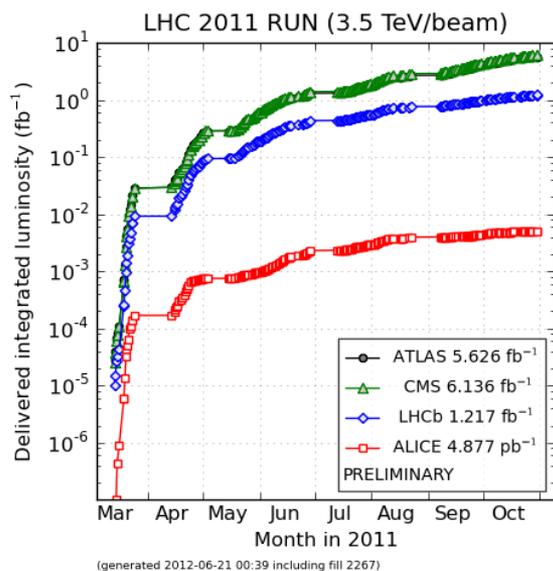
Luminosité, paramètre dépendant de la machine (nombre de paquets de protons, nombre de protons par paquet, tailles transverse des paquets...)

$$N = \sigma \times \mathcal{L}$$

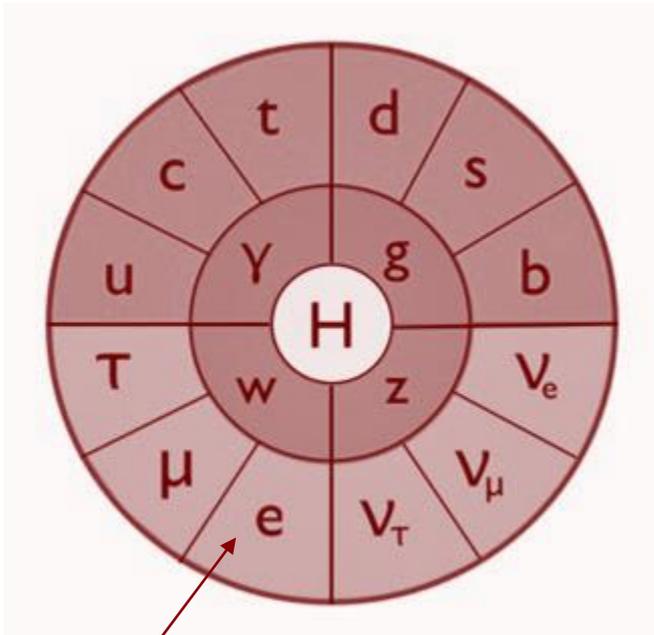
Inverse d'une section efficace donc en b⁻¹



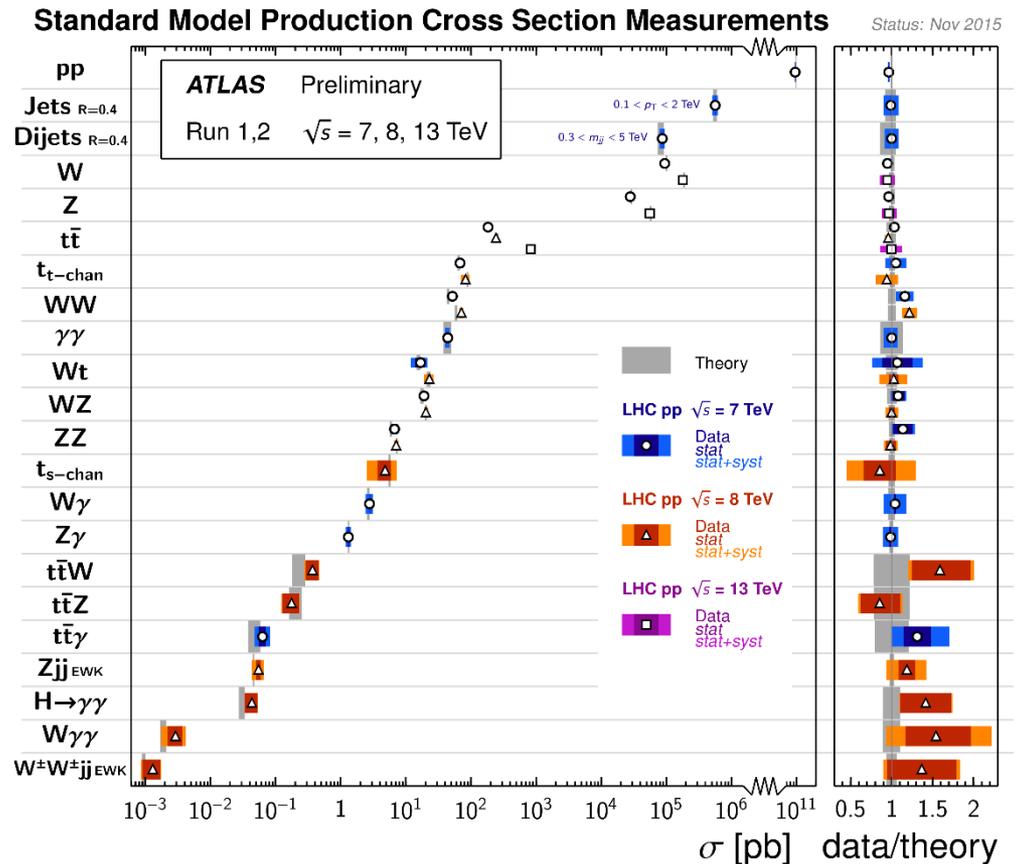
| Caractéristiques | fin 2010 | fin 2011 | fin 2012 | Fin 2015 |
|--|----------|----------|----------|----------|
| E_f (TeV) | 3.5 | 3.5 | 4 | 6.4 |
| n paquets | 368 | 1380 | 1374 | 1825 |
| N_p protons par paquet ($\times 10^{11}$) | 1.2 | 1.35 | 1.55 | 1.1 |
| Δt entre paquets (ns) | 150 | 50 | 50 | 25 |
| \mathcal{L} instantanée ($10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) | 0.2 | 3.3 | 7 | 0.4 |



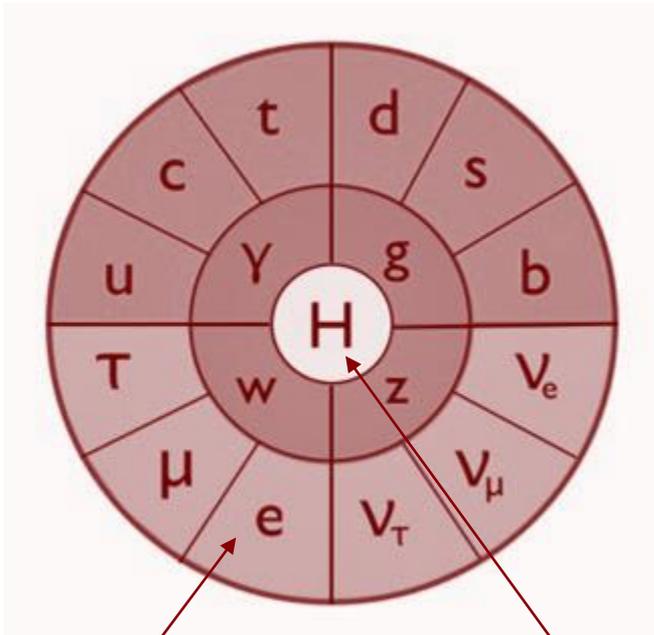
25 paramètres libres, assez d'observables pour tout contraindre, modèle cohérent à mieux que 3σ et **tous les résultats en accord avec les prédictions**



électron1897

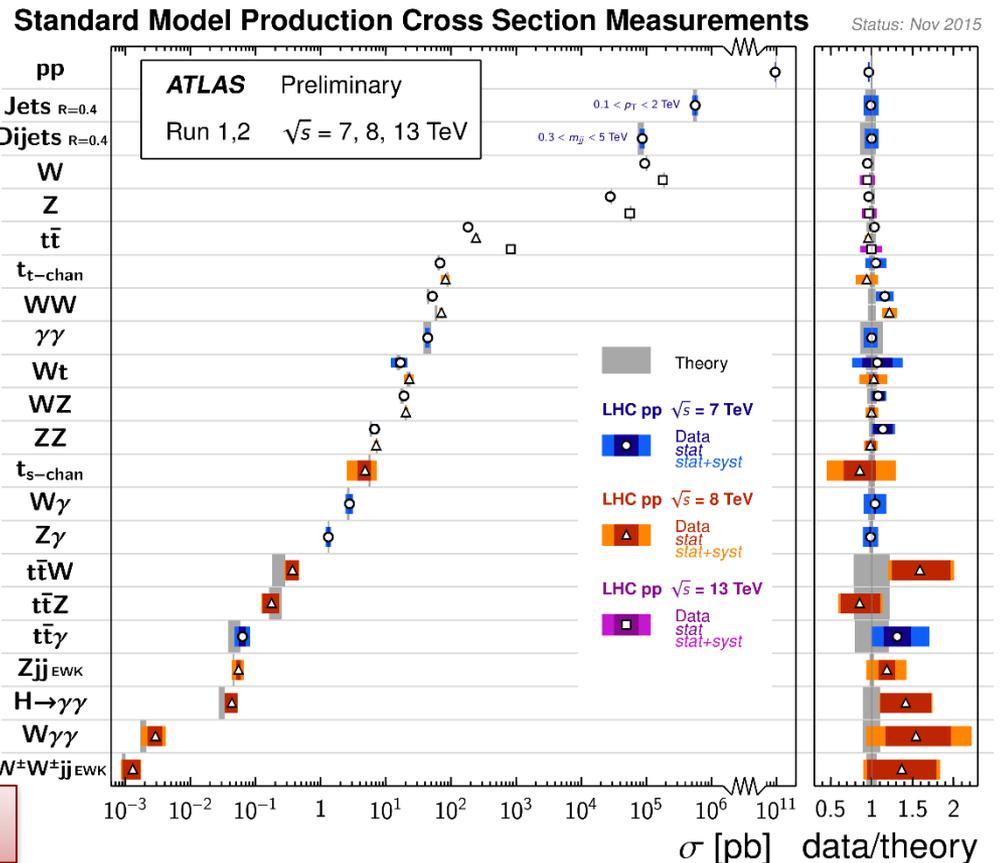


25 paramètres libres, assez d'observables pour tout contraindre, modèle cohérent à mieux que 3σ et **tous les résultats en accord avec les prédictions**



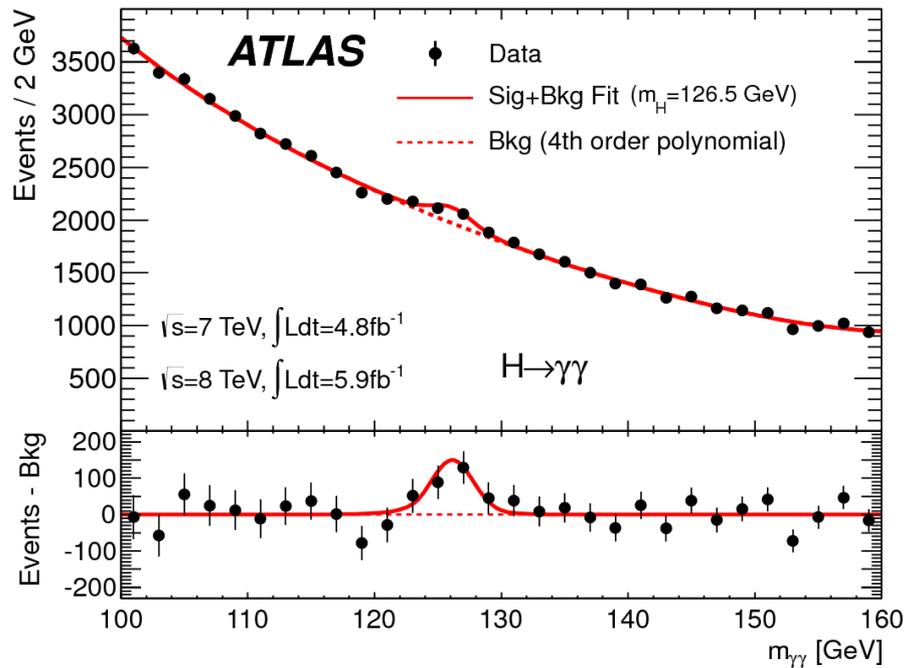
électron 1897

Boson de Higgs 2012



Découverte et mesure des propriétés du boson de Higgs !

La dernière particule à manquer au tableau de chasse : le seul boson scalaire du modèle.



ATLAS $H \rightarrow \gamma\gamma$

CMS $H \rightarrow \gamma\gamma$

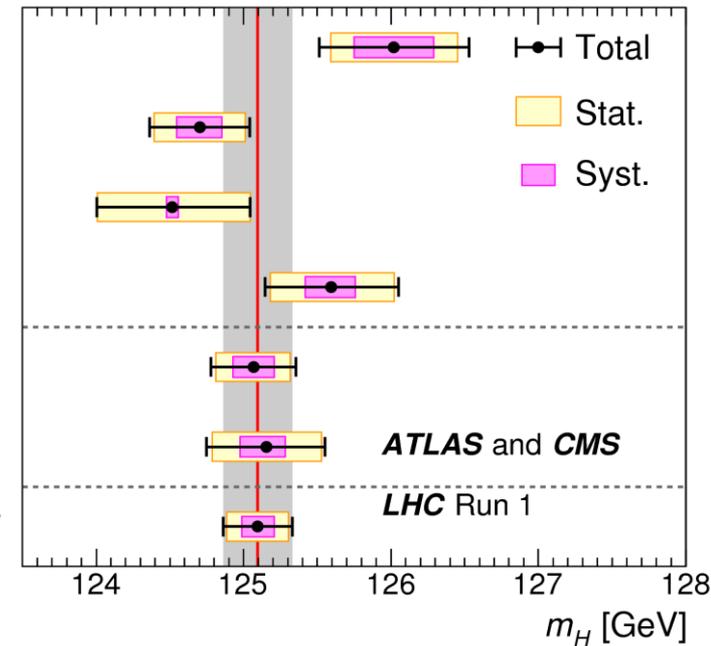
ATLAS $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

CMS $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

ATLAS+CMS $\gamma\gamma$

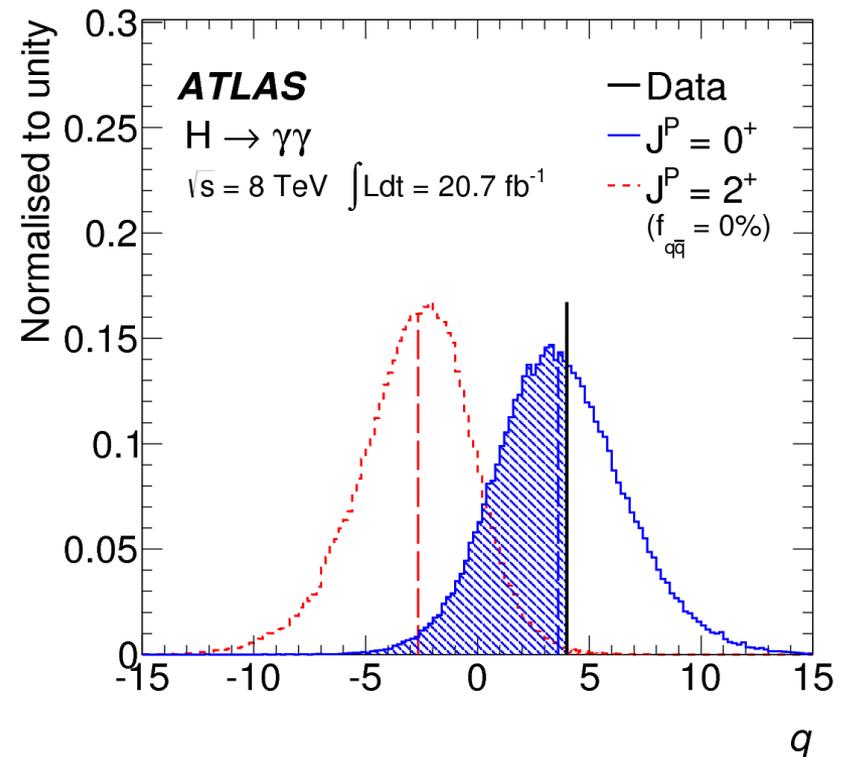
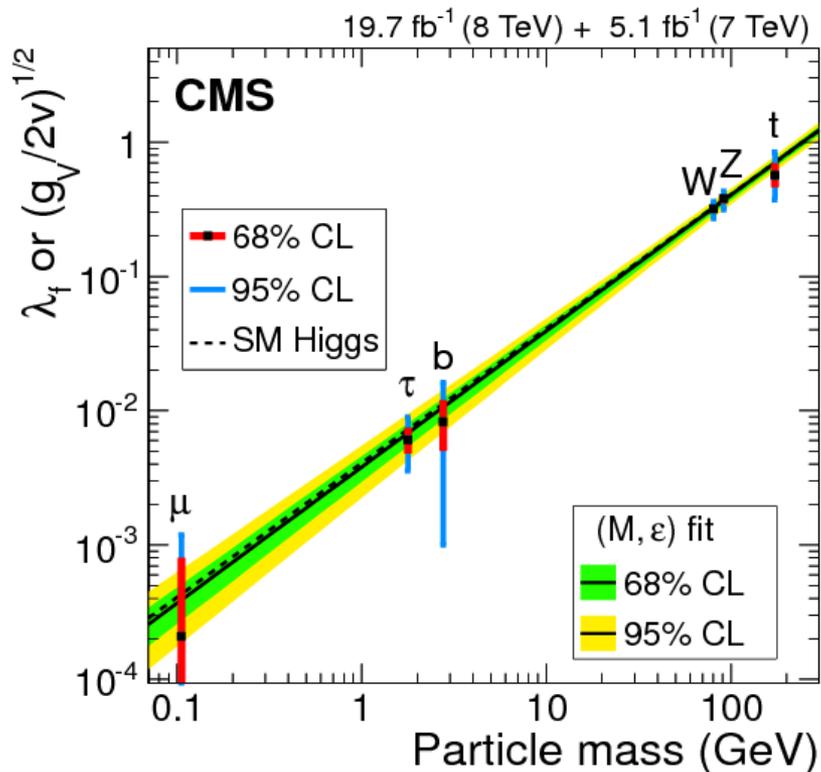
ATLAS+CMS $4l$

ATLAS+CMS $\gamma\gamma+4l$

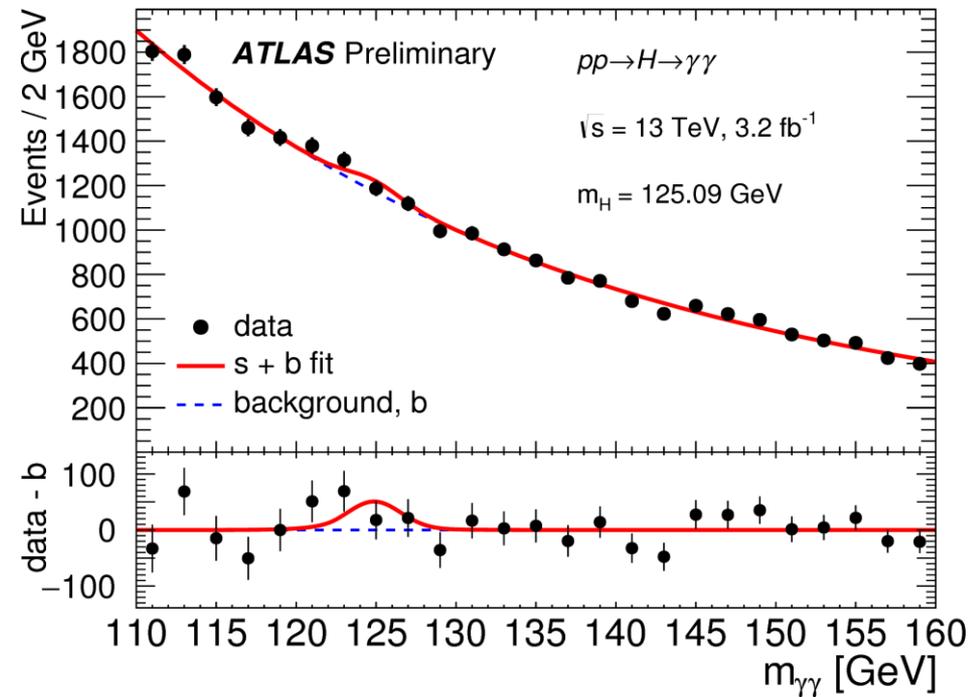
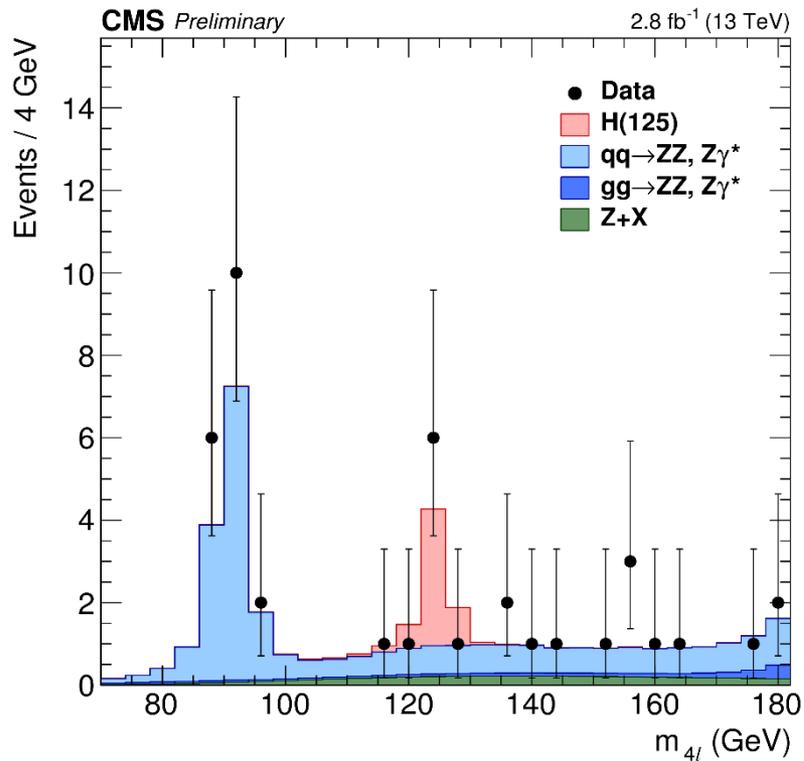


Découverte et mesure des propriétés du boson de Higgs !

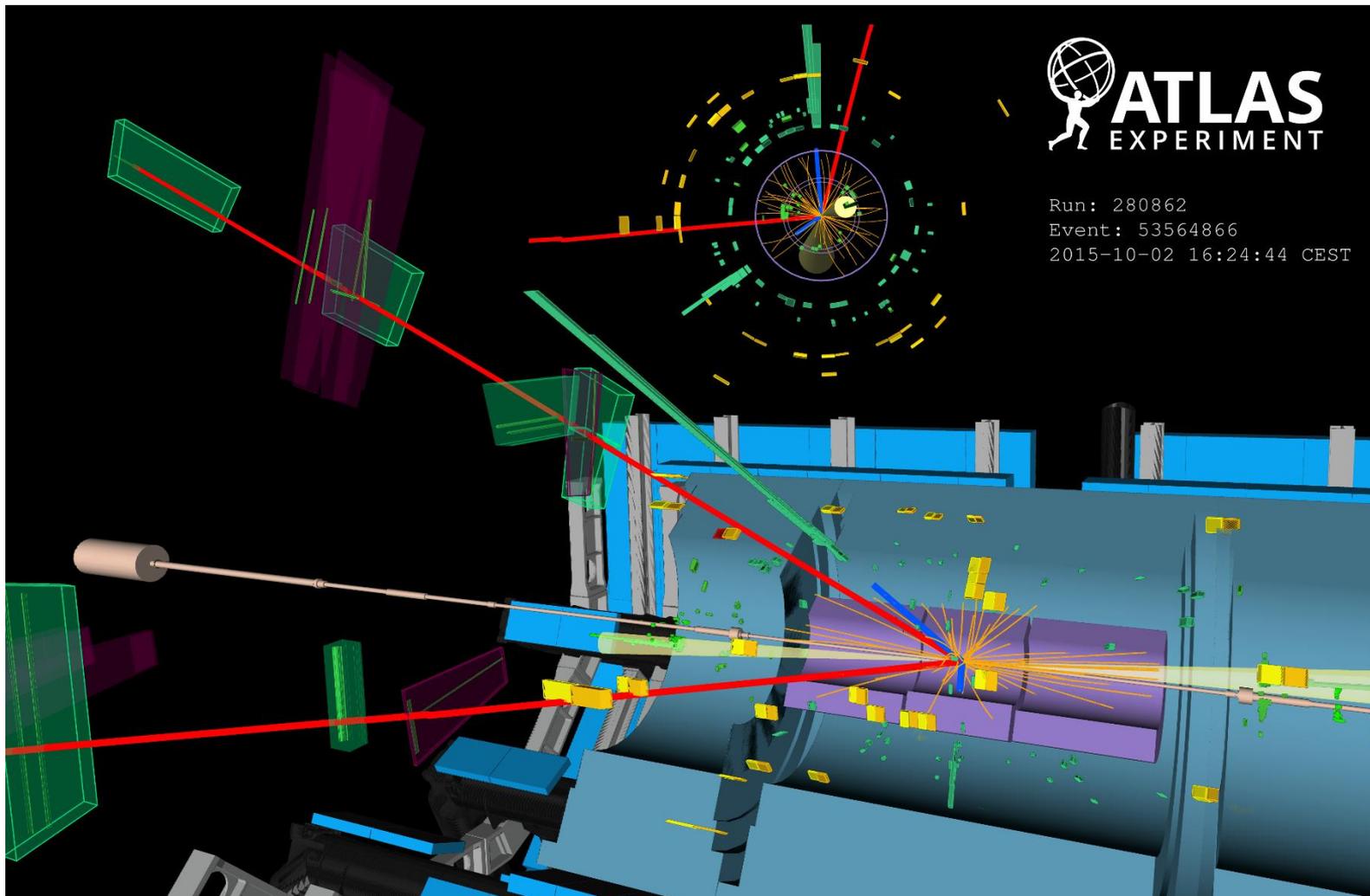
La dernière particule à manquer au tableau de chasse : le seul boson scalaire du modèle.



Le boson de Higgs pointe son nez dans les données à 13 TeV



UN CANDIDAT HIGGS EN 2 ÉLECTRONS 2 MUONS



ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits

Status: March 2016

ATLAS Preliminary

$\sqrt{s} = 7, 8, 13 \text{ TeV}$

| Model | e, μ, τ, γ | Jets | E_T^{miss} | $\int \mathcal{L} d\mathcal{L} [\text{fb}^{-1}]$ | Mass limit | $\sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$ | $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ | Reference | |
|---|--|--|---------------------|--|-------------------|-------------------------------|---|--|---|
| Inclusive Searches | MSUGRA/CMSSM | 0-3 $e, \mu/1-2 \tau$ | 2-10 jets/3 b | Yes | 20.3 | \tilde{g}, \tilde{g} | 1.85 TeV | $m(\tilde{g})=m(\tilde{g})$ | 1507.05525 |
| | $\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow g\tilde{\chi}_1^0$ | 0 | 2-6 jets | Yes | 3.2 | \tilde{q} | 980 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}, m(1^{\text{st}} \text{ gen. } \tilde{q})=m(2^{\text{nd}} \text{ gen. } \tilde{q})$ | ATLAS-CONF-2015-062 |
| | $\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow g\tilde{\chi}_1^0$ (compressed) | mono-jet | 1-3 jets | Yes | 3.2 | \tilde{q} | 610 GeV | $m(\tilde{g})-m(\tilde{q}_1^0)<5 \text{ GeV}$ | To appear |
| | $\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow gq\ell(\ell/\nu/\nu\nu)\tilde{\chi}_1^0$ | 2 e, μ (off-Z) | 2 jets | Yes | 20.3 | \tilde{q} | 820 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}$ | 1503.03290 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow g\tilde{q}\tilde{q}^*$ | 0 | 2-6 jets | Yes | 3.2 | \tilde{g} | 1.52 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2015-062 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow gq\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow gqW^\pm\tilde{\chi}_1^0$ | 1 e, μ | 2-6 jets | Yes | 3.3 | \tilde{g} | 1.6 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)<350 \text{ GeV}, m(\tilde{\chi}^\pm)=0.5(m(\tilde{q}_1^0)+m(\tilde{g}))$ | ATLAS-CONF-2015-076 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow gq\ell(\ell/\nu/\nu\nu)\tilde{\chi}_1^0$ | 2 e, μ | 0-3 jets | - | 20 | \tilde{g} | 1.38 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}$ | 1501.03555 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow gqWZ\tilde{\chi}_1^0$ | 0 | 7-10 jets | Yes | 3.2 | \tilde{g} | 1.4 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)=100 \text{ GeV}$ | 1602.06194 |
| | GMSB ($\tilde{\ell}$ NLSP) | 1-2 $\tau + 0-1 \ell$ | 0-2 jets | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 1.63 TeV | $\tan\beta > 20$ | 1407.0603 |
| | GGM (bino NLSP) | 2 γ | - | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 1.34 TeV | $c\tau(\text{NLSP})<0.1 \text{ mm}$ | 1507.05493 |
| | GGM (higgsino-bino NLSP) | γ | 1 b | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 1.37 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)<950 \text{ GeV}, c\tau(\text{NLSP})<0.1 \text{ mm}, \mu<0$ | 1507.05493 |
| | GGM (higgsino-bino NLSP) | γ | 2 jets | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 1.3 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)<850 \text{ GeV}, c\tau(\text{NLSP})<0.1 \text{ mm}, \mu>0$ | 1507.05493 |
| | GGM (higgsino NLSP) | 2 e, μ (Z) | 2 jets | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 900 GeV | $m(\text{NLSP})>430 \text{ GeV}$ | 1503.03290 |
| Gravitino LSP | 0 | mono-jet | Yes | 20.3 | $\mu^{1/2}$ scale | 865 GeV | $m(\tilde{G})>1.8 \times 10^{-4} \text{ eV}, m(\tilde{g})=m(\tilde{g})=1.5 \text{ TeV}$ | 1502.01518 | |
| 3^{rd} gen. \tilde{g}, \tilde{q} | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow b\tilde{b}\tilde{\chi}_1^0$ | 0 | 3 b | Yes | 3.3 | \tilde{g} | 1.78 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)<800 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2015-067 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$ | 0-1 e, μ | 3 b | Yes | 3.3 | \tilde{g} | 1.76 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}$ | To appear |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow b\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$ | 0-1 e, μ | 3 b | Yes | 20.1 | \tilde{g} | 1.37 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)<300 \text{ GeV}$ | 1407.0600 |
| 3^{rd} gen. squarks direct production | $\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$ | 0 | 2 b | Yes | 3.2 | \tilde{b}_1 | 840 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)<100 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2015-066 |
| | $\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$ | 2 e, μ (SS) | 0-3 b | Yes | 3.2 | \tilde{b}_1 | 325-540 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=50 \text{ GeV}, m(\tilde{\chi}^\pm)=m(\tilde{q}_1^0)+100 \text{ GeV}$ | 1602.09058 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$ | 1-2 e, μ | 1-2 b | Yes | 4.7/20.3 | \tilde{t}_1 | 117-170 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=2m(\tilde{q}_1^0), m(\tilde{q}_1^0)=55 \text{ GeV}$ | 1209.2102, 1407.0583 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\chi}_1^0$ or $\tilde{t}_1\tilde{t}_1^0$ | 0-2 e, μ | 0-2 jets/1-2 b | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 90-198 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=1 \text{ GeV}$ | 1506.08616, ATLAS-CONF-2016-007 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow c\tilde{\chi}_1^0$ | 0 | mono-jet/c-tag | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 90-245 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)-m(\tilde{q}_1^0)<85 \text{ GeV}$ | 1407.0608 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (natural GMSB) | 2 e, μ (Z) | 1 b | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 150-600 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)>150 \text{ GeV}$ | 1403.5222 |
| | $\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + Z$ | 3 e, μ (Z) | 1 b | Yes | 20.3 | \tilde{t}_2 | 290-610 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)<200 \text{ GeV}$ | 1403.5222 |
| $\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + h$ | 1 e, μ | 6 jets + 2 b | Yes | 20.3 | \tilde{t}_2 | 320-620 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}$ | 1506.08616 | |
| EW direct | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$ | 2 e, μ | 0 | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 90-335 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}$ | 1403.5294 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1(\tilde{\nu})$ | 2 e, μ | 0 | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 140-475 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}, m(\tilde{\ell}, \tilde{\nu})=0.5(m(\tilde{t}_1^0)+m(\tilde{q}_1^0))$ | 1403.5294 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{\nu}(\tau\tilde{\nu})$ | 2 τ | - | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 355 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=0 \text{ GeV}, m(\tilde{\tau}, \tilde{\nu})=0.5(m(\tilde{t}_1^0)+m(\tilde{q}_1^0))$ | 1407.0350 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1\tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1\tilde{\chi}_1^0(\tilde{\nu}\nu), \tilde{\nu}\tilde{\chi}_1^0(\tilde{\nu}\nu)$ | 3 e, μ | 0 | Yes | 20.3 | $\tilde{t}_1, \tilde{t}_1^*$ | 715 GeV | $m(\tilde{t}_1^0)=m(\tilde{q}_1^0), m(\tilde{q}_1^0)=0, m(\tilde{\ell}, \tilde{\nu})=0.5(m(\tilde{t}_1^0)+m(\tilde{q}_1^0))$ | 1402.7029 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1\tilde{t}_1 \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 Z\tilde{\chi}_1^0$ | 2-3 e, μ | 0-2 jets | Yes | 20.3 | $\tilde{t}_1, \tilde{t}_1^*$ | 425 GeV | $m(\tilde{t}_1^0)=m(\tilde{q}_1^0), m(\tilde{q}_1^0)=0, \text{ sleptons decoupled}$ | 1403.5294, 1402.7029 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1\tilde{t}_1 \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 h\tilde{\chi}_1^0$ | e, μ, γ | 0-2 b | Yes | 20.3 | $\tilde{t}_1, \tilde{t}_1^*$ | 270 GeV | $m(\tilde{t}_1^0)=m(\tilde{q}_1^0), m(\tilde{q}_1^0)=0, \text{ sleptons decoupled}$ | 1501.07110 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1\ell$ | 4 e, μ | 0 | Yes | 20.3 | $\tilde{t}_{2,3}$ | 635 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=m(\tilde{q}_1^0), m(\tilde{q}_1^0)=0, m(\tilde{\ell}, \tilde{\nu})=0.5(m(\tilde{t}_1^0)+m(\tilde{q}_1^0))$ | 1504.5086 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1\ell$ | 4 e, μ | 0 | Yes | 20.3 | $\tilde{t}_{2,3}$ | 635 GeV | $c\tau < 1 \text{ mm}$ | 1507.05493 |
| | GGM (wino NLSP) weak prod. | 1 $e, \mu + \gamma$ | - | Yes | 20.3 | \tilde{W} | 115-370 GeV | | |
| | Long-lived particles | Direct $\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^\pm$ | Disapp. trk | 1 jet | Yes | 20.3 | $\tilde{\chi}_1^\pm$ | 270 GeV | $m(\tilde{\chi}_1^\pm)-m(\tilde{q}_1^0)<160 \text{ MeV}, \tau(\tilde{\chi}_1^\pm)=0.2 \text{ ns}$ |
| Direct $\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^\pm$ | | dE/dx trk | - | Yes | 18.4 | $\tilde{\chi}_1^\pm$ | 495 GeV | $m(\tilde{\chi}_1^\pm)-m(\tilde{q}_1^0)<160 \text{ MeV}, \tau(\tilde{\chi}_1^\pm)<15 \text{ ns}$ | 1506.05332 |
| Stable, stopped \tilde{g} R-hadron | | 0 | 1-5 jets | Yes | 27.9 | \tilde{g} | 850 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=100 \text{ GeV}, 10 \mu\text{s} < \tau(\tilde{g}) < 1000 \text{ s}$ | 1310.6584 |
| Metastable \tilde{g} R-hadron | | dE/dx trk | - | - | 3.2 | \tilde{g} | 1.54 TeV | $m(\tilde{q}_1^0)=100 \text{ GeV}, \tau > 10 \text{ ns}$ | To appear |
| GMSB, stable $\tilde{\tau}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\tau}(\tilde{e}, \tilde{\mu}) + \tau(e, \mu)$ | | 1-2 μ | - | - | 19.1 | $\tilde{\tau}$ | 537 GeV | $10 < \tan\beta < 50$ | 1411.6795 |
| GMSB, $\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma\tilde{G}$, long-lived $\tilde{\chi}_1^0$ | | 2 γ | - | Yes | 20.3 | $\tilde{\chi}_1^0$ | 440 GeV | $1 < \tau(\tilde{\chi}_1^0) < 3 \text{ ns}, \text{SPS8 model}$ | 1409.5542 |
| $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow ee\nu/\mu\nu/\mu\nu$ | | displ. $ee/\mu\mu/\mu\nu$ | - | - | 20.3 | $\tilde{\chi}_1^0$ | 1.0 TeV | $7 < c\tau(\tilde{\chi}_1^0) < 740 \text{ mm}, m(\tilde{g})=1.3 \text{ TeV}$ | 1504.05162 |
| GGM $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow Z\tilde{G}$ | | displ. vtx + jets | - | - | 20.3 | $\tilde{\chi}_1^0$ | 1.0 TeV | $6 < c\tau(\tilde{\chi}_1^0) < 480 \text{ mm}, m(\tilde{g})=1.1 \text{ TeV}$ | 1504.05162 |
| RPV | LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e\mu/\tau/\mu\tau$ | $e\mu, e\tau, \mu\tau$ | 0 | - | 20.3 | $\tilde{\nu}_\tau$ | 1.7 TeV | $A_{311}^0=0.11, A_{132/133/233}=0.07$ | 1503.04430 |
| | Bilinear RPV CMSSM | 2 e, μ (SS) | 0-3 b | Yes | 20.3 | \tilde{q}, \tilde{g} | 1.45 TeV | $m(\tilde{g})=m(\tilde{g}), c\tau_{\text{LSP}} < 1 \text{ mm}$ | 1404.2500 |
| | $\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp, \tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow ee\nu, \mu\tilde{\nu}_e, \mu\tilde{\nu}_\tau$ | 4 e, μ | - | Yes | 20.3 | $\tilde{\chi}_1^\pm$ | 760 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)>0.2 \times m(\tilde{t}_1^0), A_{121} \neq 0$ | 1405.5086 |
| | $\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp, \tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau\tilde{\nu}_\tau, e\tilde{\nu}_e, e\tilde{\nu}_\tau$ | 3 $e, \mu + \tau$ | - | Yes | 20.3 | $\tilde{\chi}_1^\pm$ | 450 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)>0.2 \times m(\tilde{t}_1^0), A_{133} \neq 0$ | 1405.5086 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow qqq$ | 0 | 6-7 jets | - | 20.3 | \tilde{g} | 917 GeV | $\text{BR}(\tilde{g})=\text{BR}(\tilde{g})=\text{BR}(\tilde{g})=0\%$ | 1502.05686 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow gq\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow qqq$ | 0 | 6-7 jets | - | 20.3 | \tilde{g} | 980 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)=600 \text{ GeV}$ | 1502.05686 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow h\tilde{t}, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{s}$ | 2 e, μ (SS) | 0-3 b | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 880 GeV | | 1404.2500 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{s}$ | 0 | 2 jets + 2 b | - | 20.3 | \tilde{t}_1 | 320 GeV | | 1601.07453 |
| | $\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{t}$ | 2 e, μ | 2 b | - | 20.3 | \tilde{t}_1 | 0.4-1.0 TeV | $\text{BR}(\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{e}/\mu\tilde{s}) > 20\%$ | ATLAS-CONF-2015-015 |
| | Other | Scalar charm, $\tilde{c} \rightarrow c\tilde{\chi}_1^0$ | 0 | 2 c | Yes | 20.3 | \tilde{c} | 510 GeV | $m(\tilde{q}_1^0)<200 \text{ GeV}$ |

*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown.

10⁻¹ 1 Mass scale [TeV]



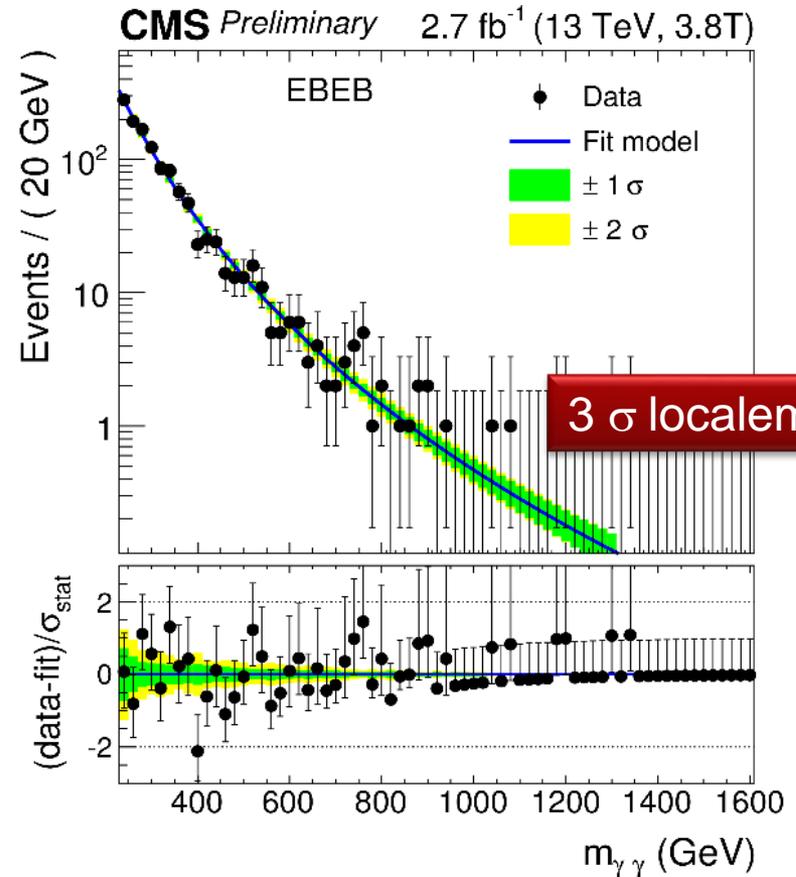
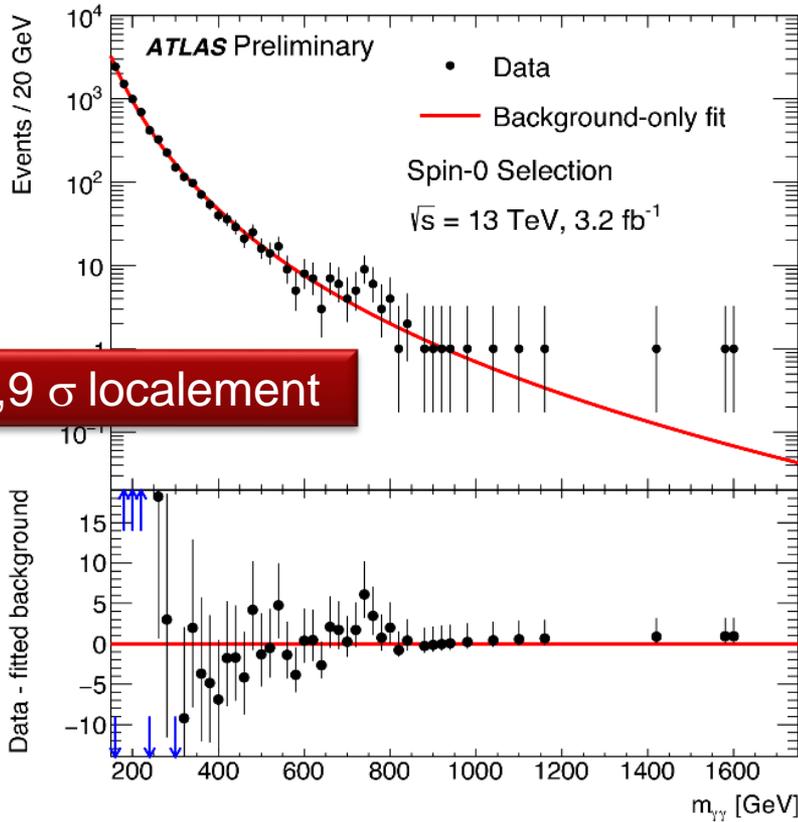
On dispose d'outils de **COURSE** non seulement pour faire des **découvertes** mais aussi des **mesures de précision**

Le modèle standard :
construction humaine
extraordinaire !

Oui mais c'est frustrant, il
marche « trop » bien, où est la
suite ???



Excès dans le spectre di-photons autour de 750 GeV



ET ÇA, ÇA N'EST PAS PRÉVU PAR LE MODÈLE STANDARD !!!!!

Expérimentateurs

Fluctuation statistique ou découverte majeure ?

On ne dit rien avant **5 sigmas*** !

Plus de données ! 2016 = 25 fb⁻¹

*proba qu'on voit ça en absence de signal inférieure à 1/1,7 millions

Théoriciens

Plus de 300 papiers sur arXiv !

Pour expliquer ce que pourrait être la « bobosse » si elle se confirme



Expérimentateurs

Fluctuation statistique ou découverte majeure ?

On ne dit pas σ sigmas* !

Plus de données \Rightarrow $\sqrt{fb^{-1}}$

*proba qu'on voit ça en absence de sig inférieure à $3 \cdot 10^{-7}$ ou 1/3,5 millions

Théoriciens

Plus de 300 papiers sur arXiv !

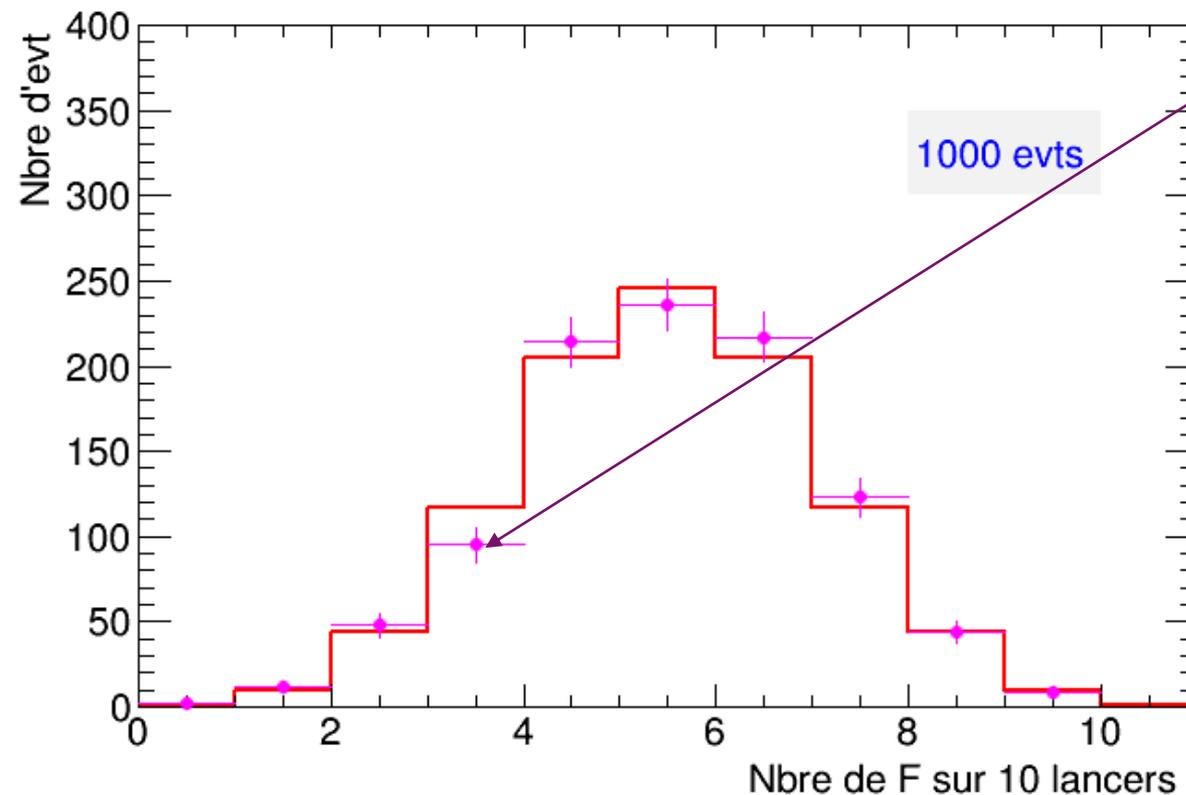
Pour expliquer ce que pourrait être la « bobosse » si elle se confirme



Collisions pour la physique de retour !



Les probabilités de fluctuation pour des grands nombres d'événements suivent la loi normale ou gaussienne.



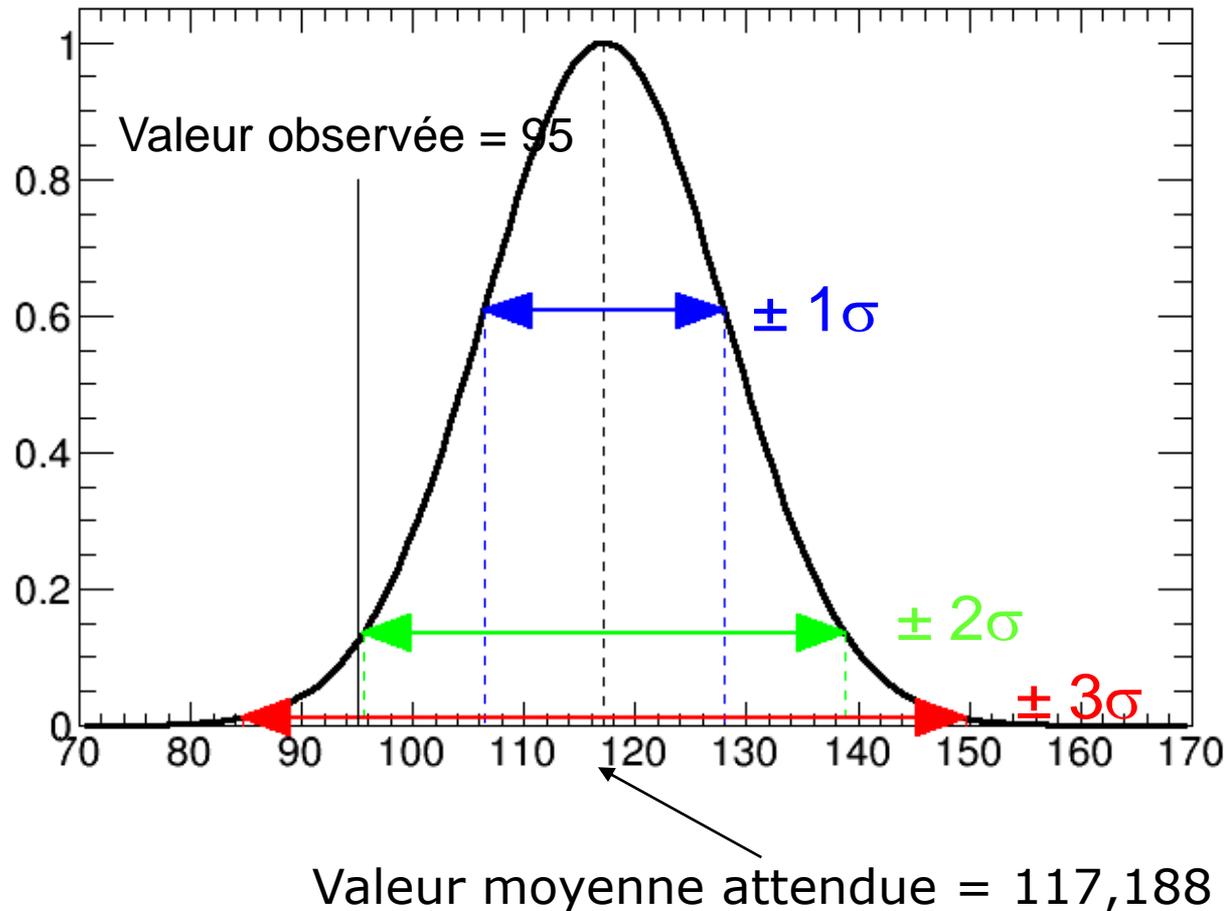
Un point pas « dans les barres d'erreur »

Dans le bin « 3F sur dix lancers » on attend **117,188** événements sur 1000 et on en observe **95**.

FLUCTUATION statistique ou bien est-ce que l'écart est **SIGNIFICATIF** ?

Il faut calculer la probabilité qu'un tel écart existe.

On la calcule en utilisant une gaussienne centrée sur le nombre moyen attendu 117,188 de largeur (écart type ou « sigma ») $\sqrt{117,188}$

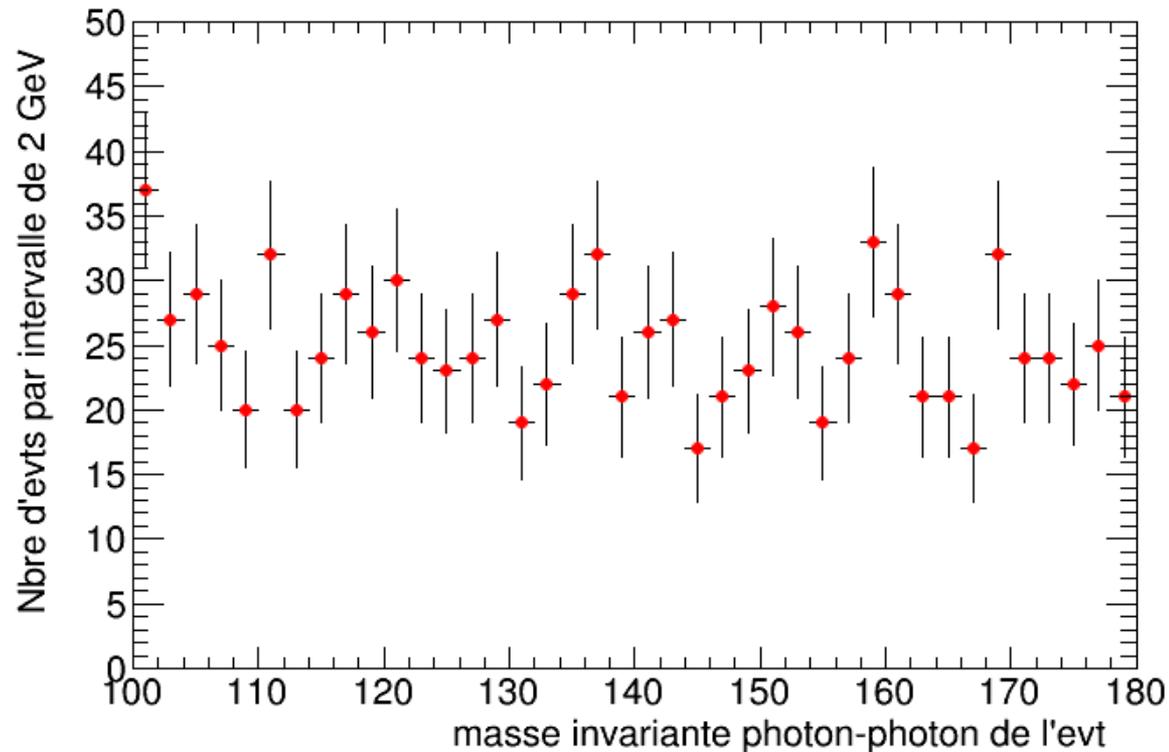


Fraction de l'aire sous la gaussienne à $\pm n \sigma$ de la valeur moyenne :

- $\pm 1 \sigma$ 0.6826 : « région à 68% de niveau de confiance »
- $\pm 2 \sigma$ 0.9545 : « région à 95% de niveau de confiance »
- $\pm 3 \sigma$ 0.9973 : que 0,27% de chance d'observer un résultat hors de cette région. **Les fameux 3 sigmas.**
- $\pm 4 \sigma$ 0.999937 : que une chance sur 15787,2 d'observer un résultat hors de cette région.
- $\pm 5 \sigma$ 0.999999 : que **une chance sur 1 744 278,3** d'observer un résultat hors de cette région. **Les fameux 5 sigmas.**

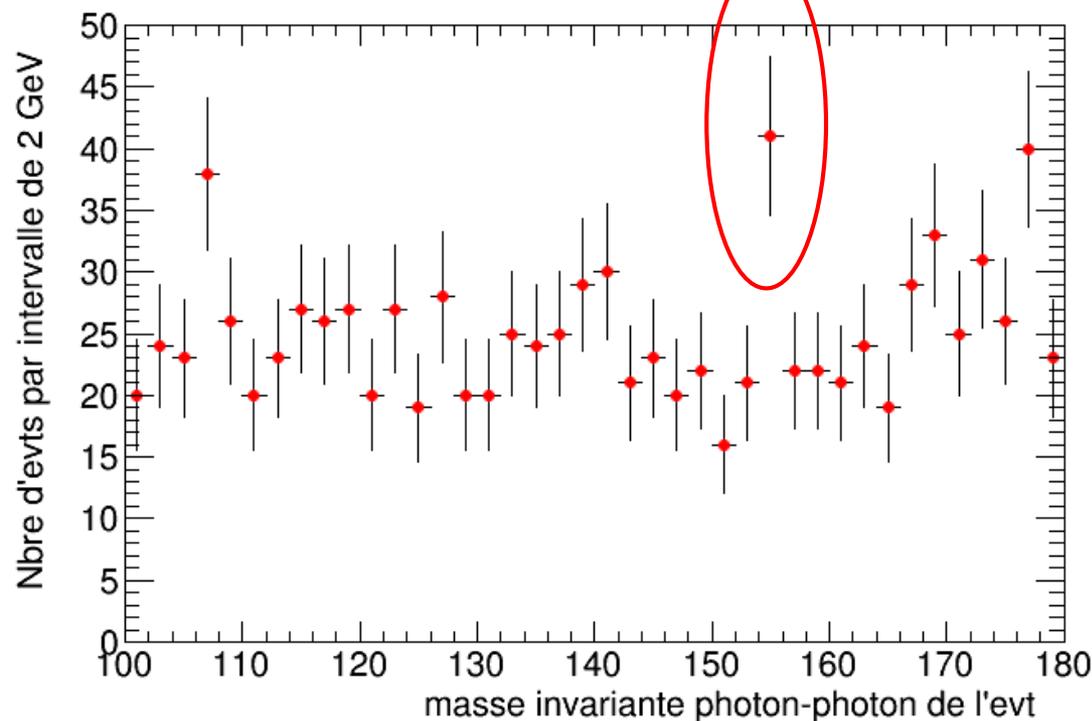
Supposons un bruit de fond avec une **distribution uniforme en masse invariante**.

Intervalles de 2gev de masse invariante, entre 100 et 180 gev (180-100/2 = 40 intervalles), **moyenne attendue** : $1000/40 = 25$.

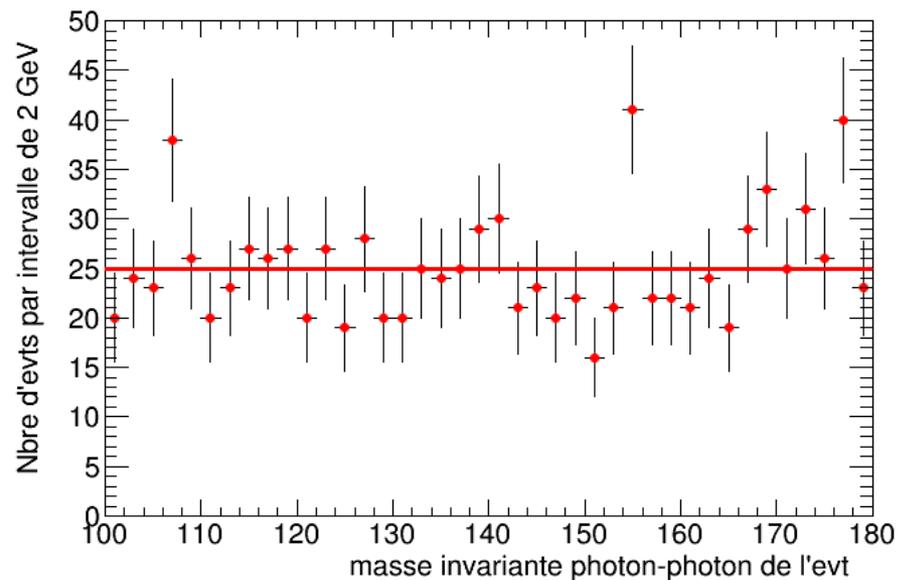


1000 expériences : chaque expérience consiste à tirer aléatoirement 1000 événements comme précédemment.

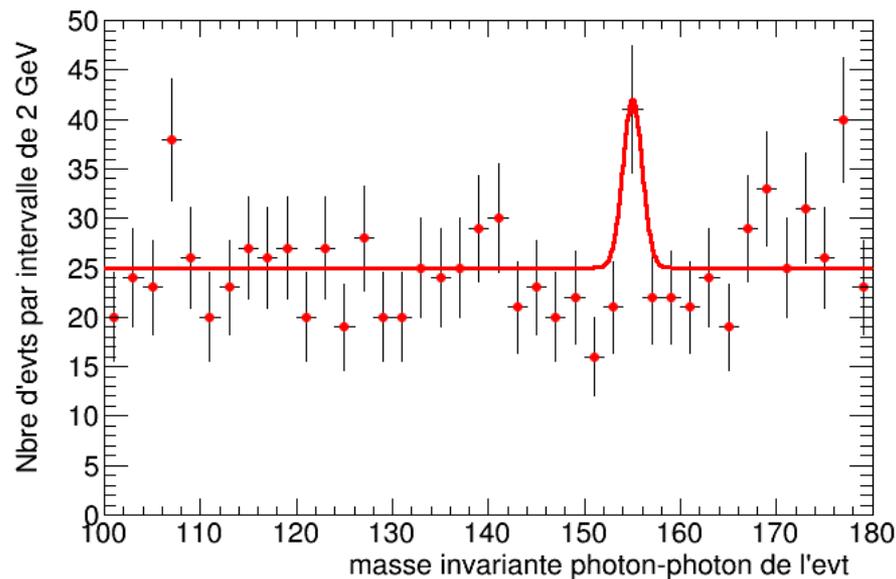
Dans **83** expériences sur les 1000, il y a un bin où le nombre d'événements observé est à plus de 3 sigmas de la valeur attendue (25).



Bien sûr, c'est compatible avec ça :

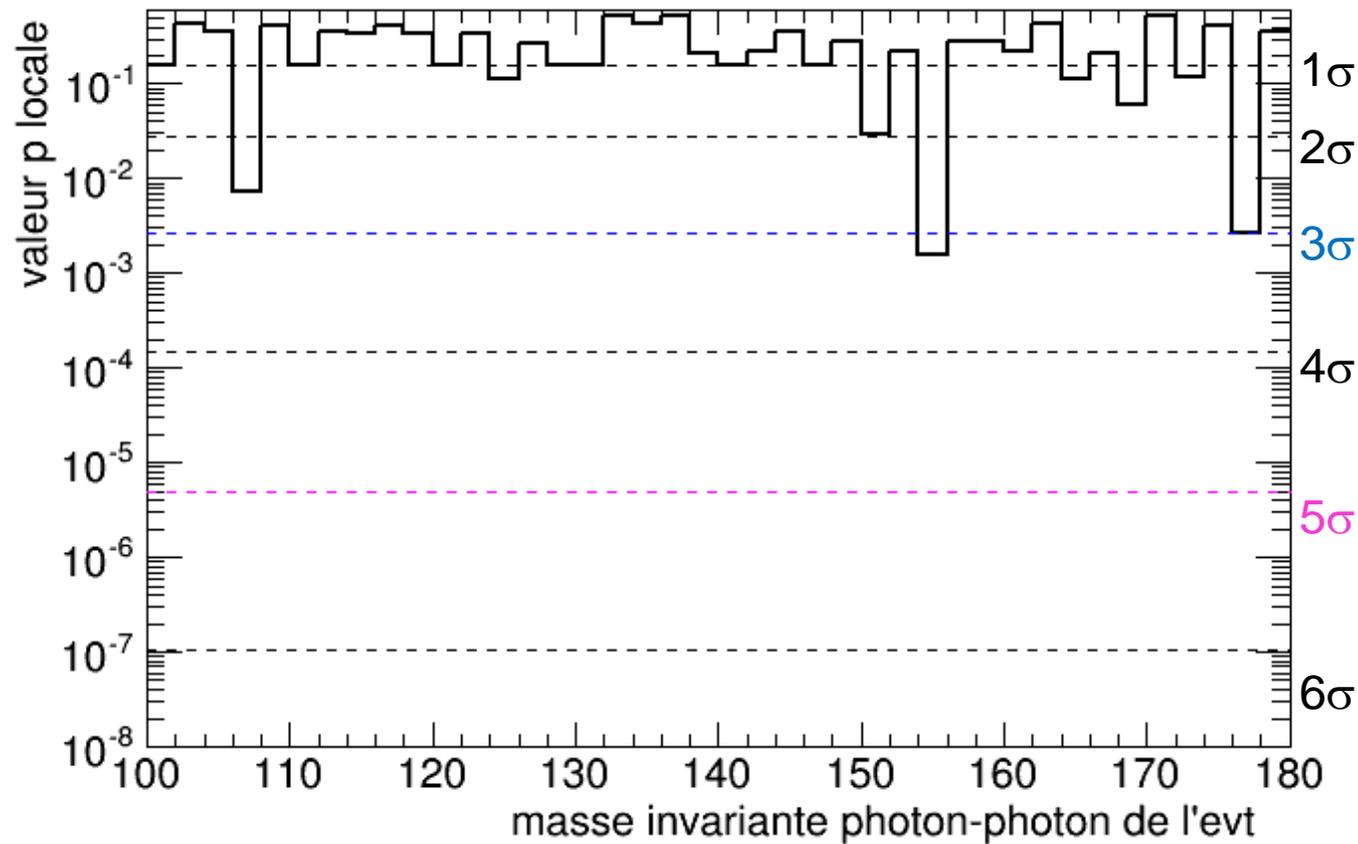
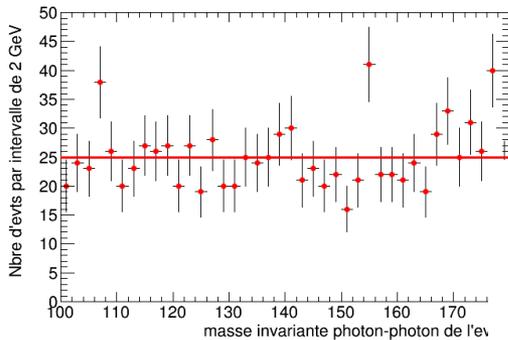


mais c'est aussi compatible avec ça :

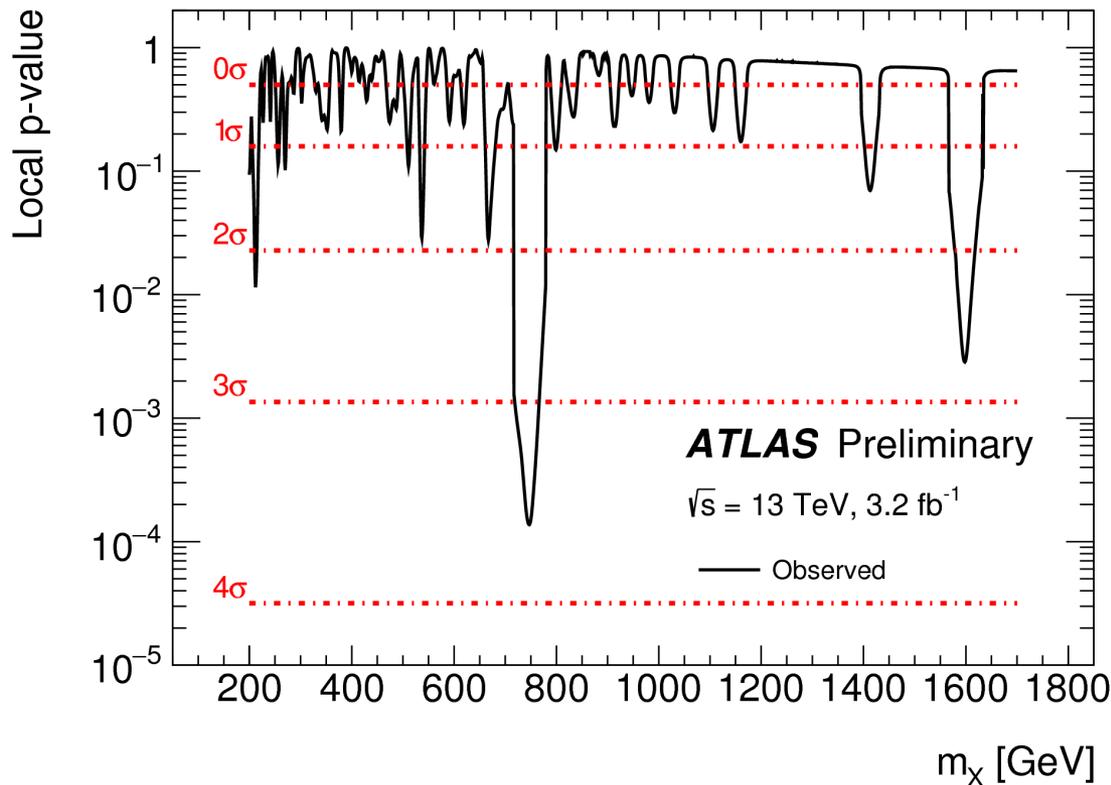
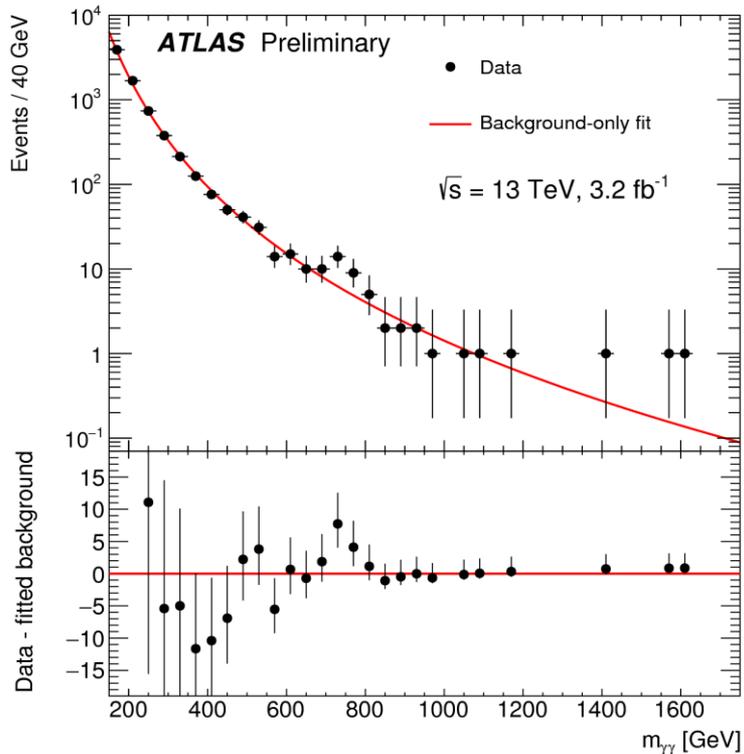


C'est pourquoi on ne teste pas l'hypothèse « est-ce tel ou tel signal hypothétique? » Mais **CONTRE** l'hypothèse « est-ce que c'est du fond qui a fluctué » et si cette hypothèse est moins probable qu'une chance sur 1 744 278,3 on peut parler de découverte d'un signal à 5 sigmas.

Avoir une chance sur mille que ce soit une fluctuation ne veut pas dire du tout qu'il y a 999 chances sur 1000 que ce soit un signal !



RETOUR SUR LA « BOSSE », QUE PEUT-ON DIRE ?



En 2015 25 ns – 2244 bunches/faisceau
 $\sim 780 \text{ pb}^{-1}$

Objectifs 2016 faisceaux plus denses,
 atteindre 1 milliard de collisions /s et
 25 fb^{-1}

25/03 remise en service – tout va très bien !

27/04 collisions à 8 bunches

28/04 collisions à 49 bunches

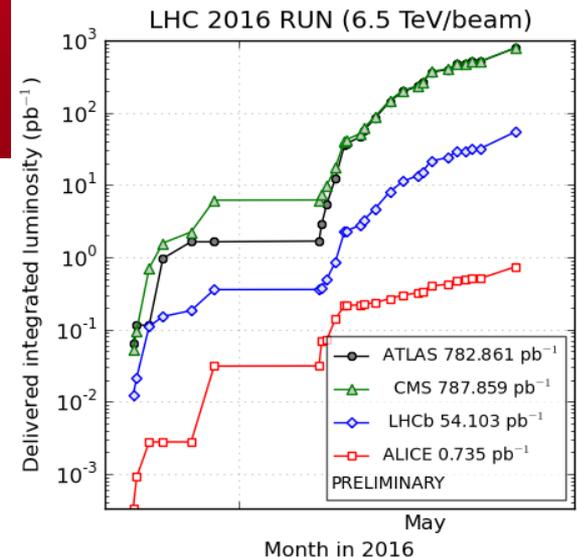
29/04 **the « fouine » incident**

07/05 collisions à 74 bunches – montée
 progressive en nombre de bunches

18/05 collisions à 1165 bunches

20/05-26/05 PS en panne

26/05 reprise des collisions

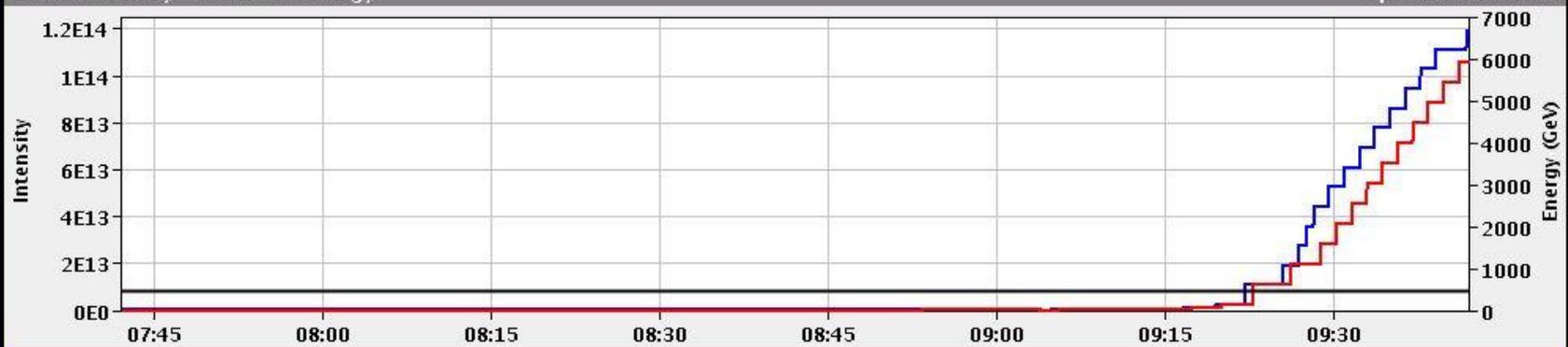


(2016-05-24 11:29 including fill 4947; scripts by C. Barschel)



| | | | | |
|-------------------|------|----------------|----------|------------|
| TED T12 position: | BEAM | TDI P2 gaps/mm | up: 8.23 | down: 6.88 |
| TED T18 position: | BEAM | TDI P8 gaps/mm | up: 9.26 | down: 7.07 |

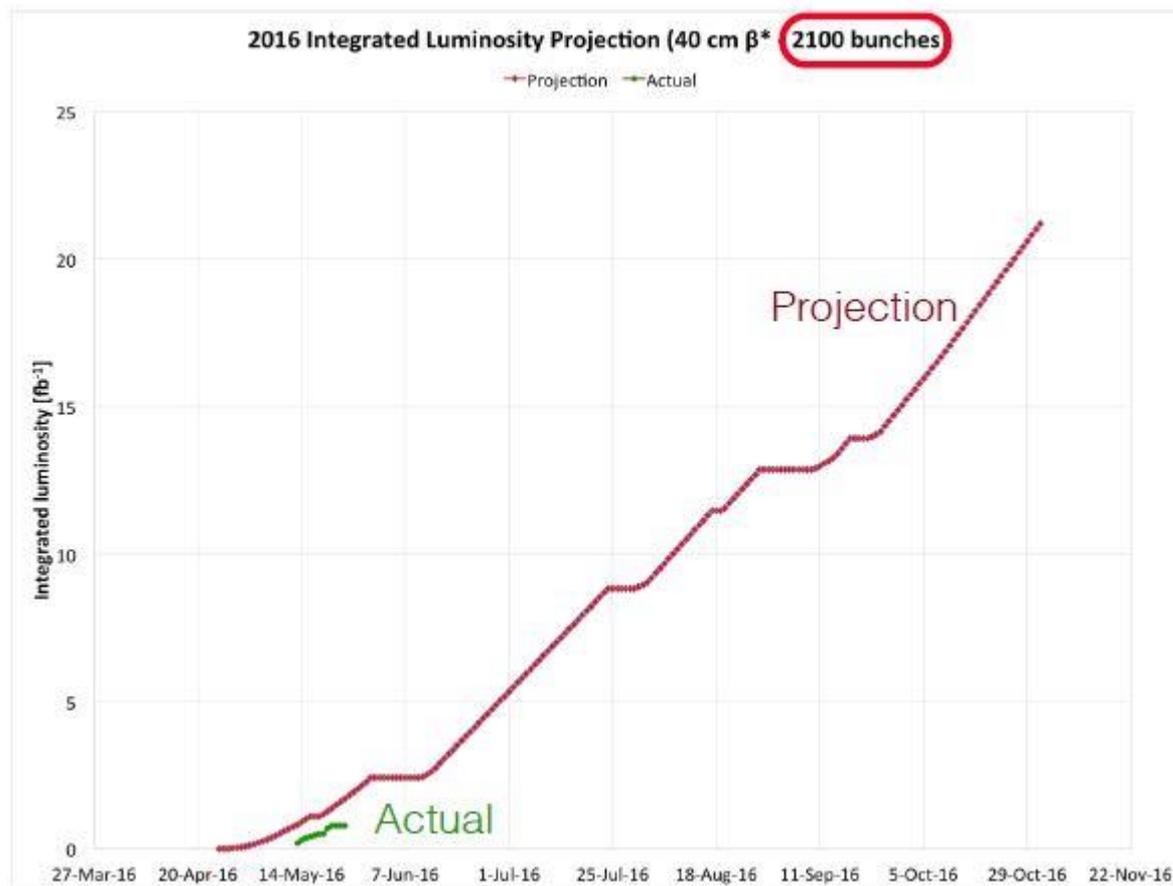
FBCT Intensity and Beam Energy Updated: 09:42:03



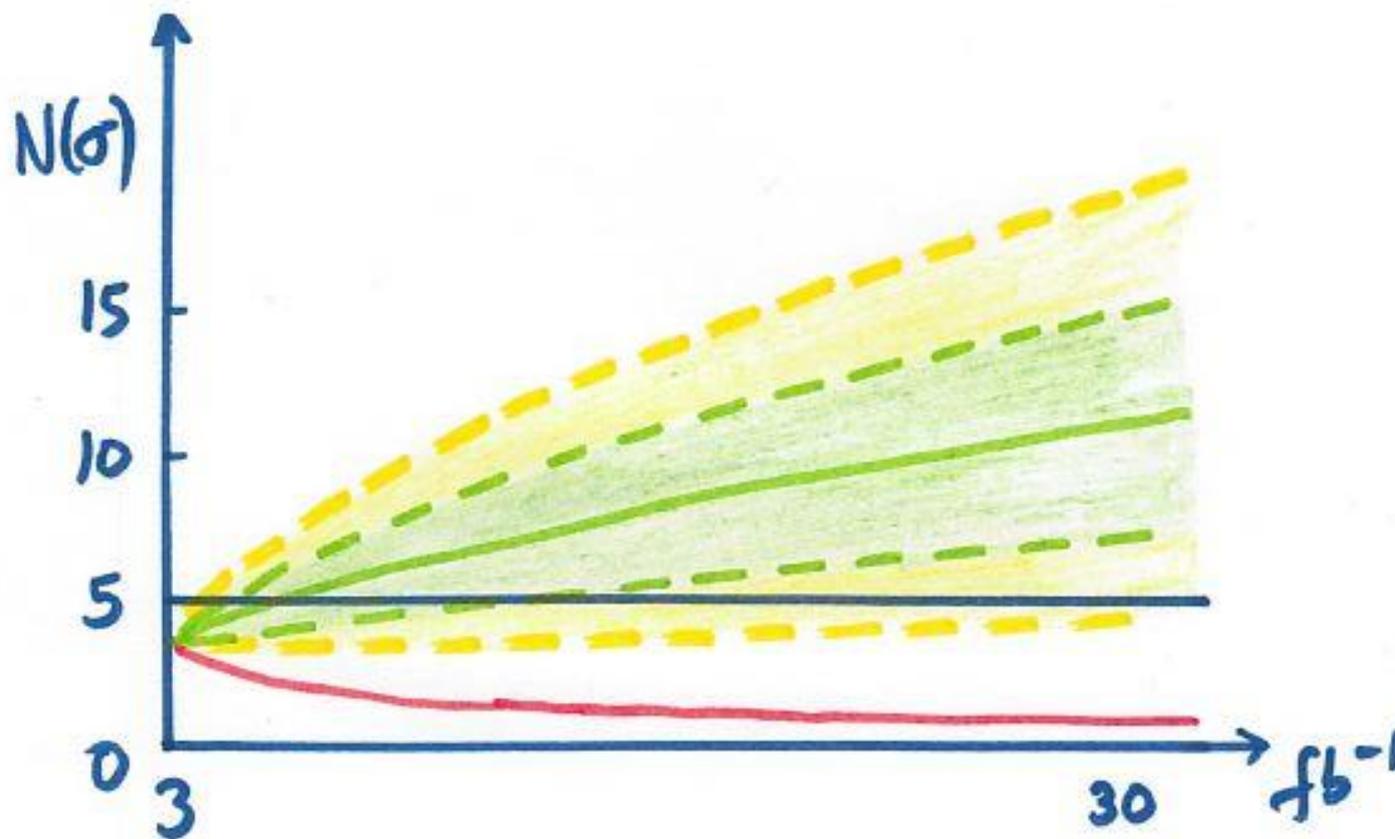
| Comments (02-Jun-2016 09:18:53) | BIS status and SMP flags | | B1 | B2 |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------|-------|
| | physics fill with 2040b/beam | Link Status of Beam Permits | false | false |
| Global Beam Permit | | true | true | |
| Setup Beam | | false | false | |
| Beam Presence | | true | true | |
| Moveable Devices Allowed In | | false | false | |
| Stable Beams | | false | false | |

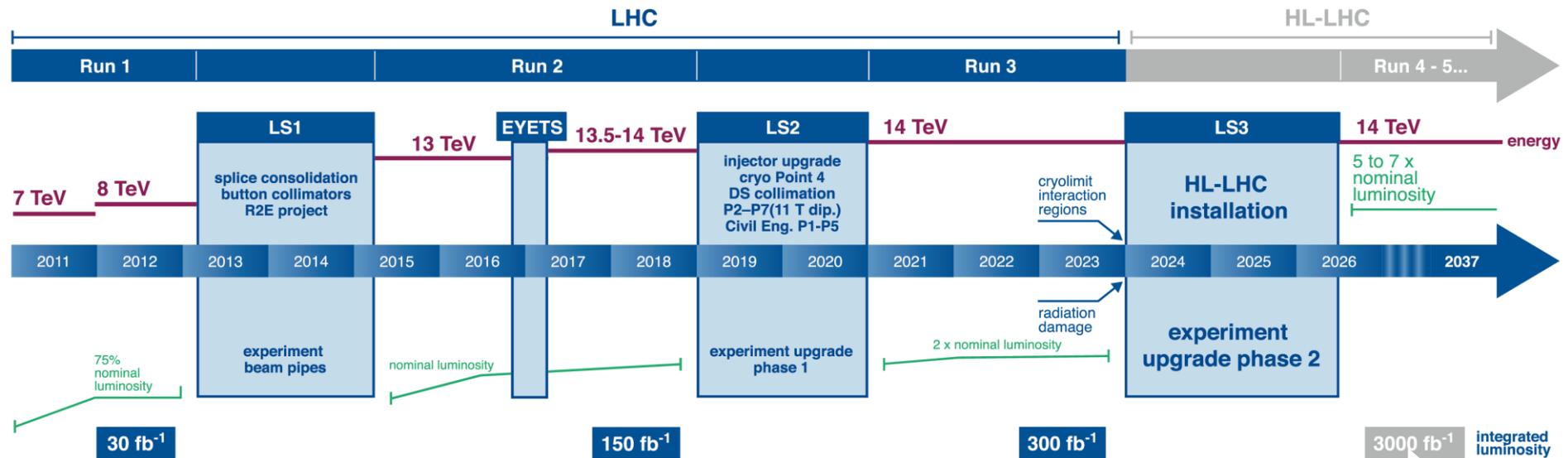
| | | | | |
|--|--------------|---------|--------------|---------|
| AFS: 25ns_2040b_2028_1697_1712_72bpi_30inj | PM Status B1 | ENABLED | PM Status B2 | ENABLED |
|--|--------------|---------|--------------|---------|

On a déjà enregistré 1.8 fb^{-1} (Atlas) donc déjà 1/2 de 2015, en juillet comme 2015. Fin d'année 10 fois 2015.



Merci Sandrine !





HL-LHC

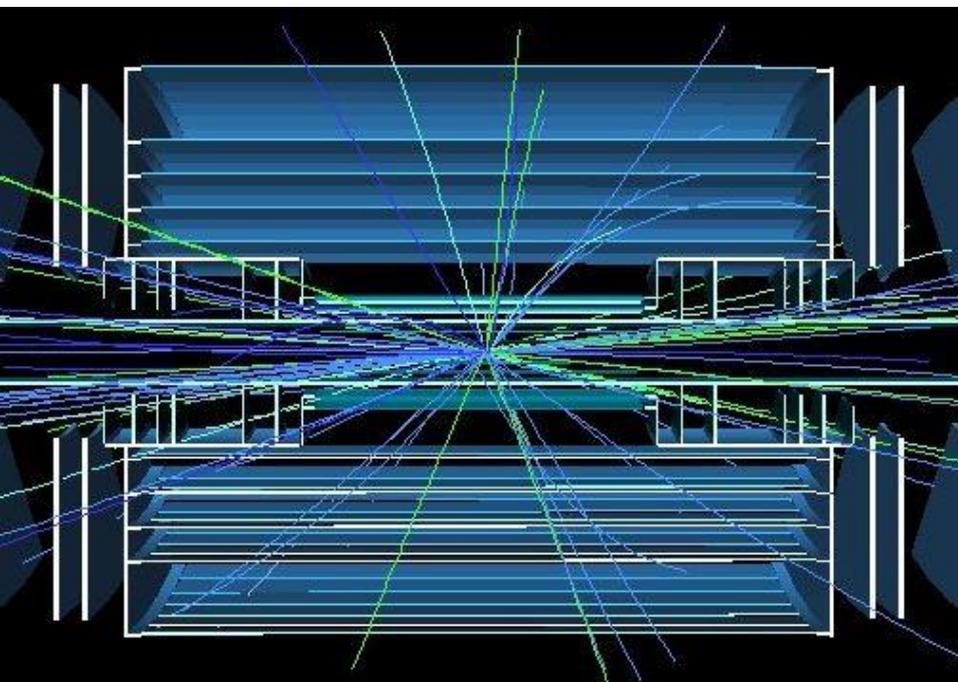
Très haute luminosité à partir de 2026 pour collecter 3000 fb⁻¹ à énergie nominale (250 à 300 fb⁻¹ par an)

10 fois plus de collisions par croisement de faisceaux

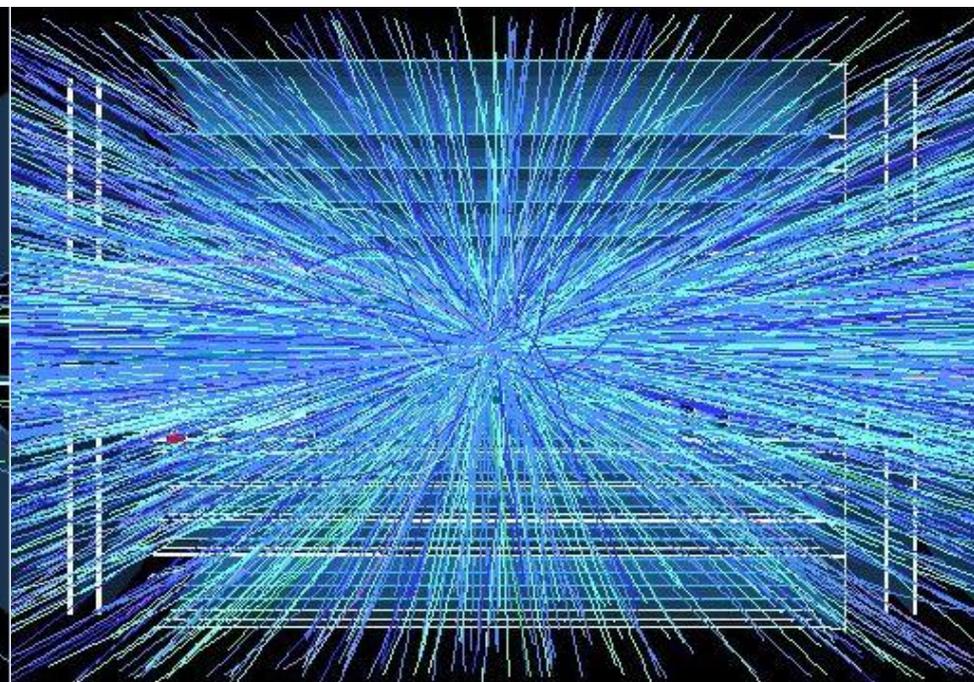
et **les mêmes performances** demandées aux détecteurs avec un haut taux d'événements et une dose intégrée énorme.



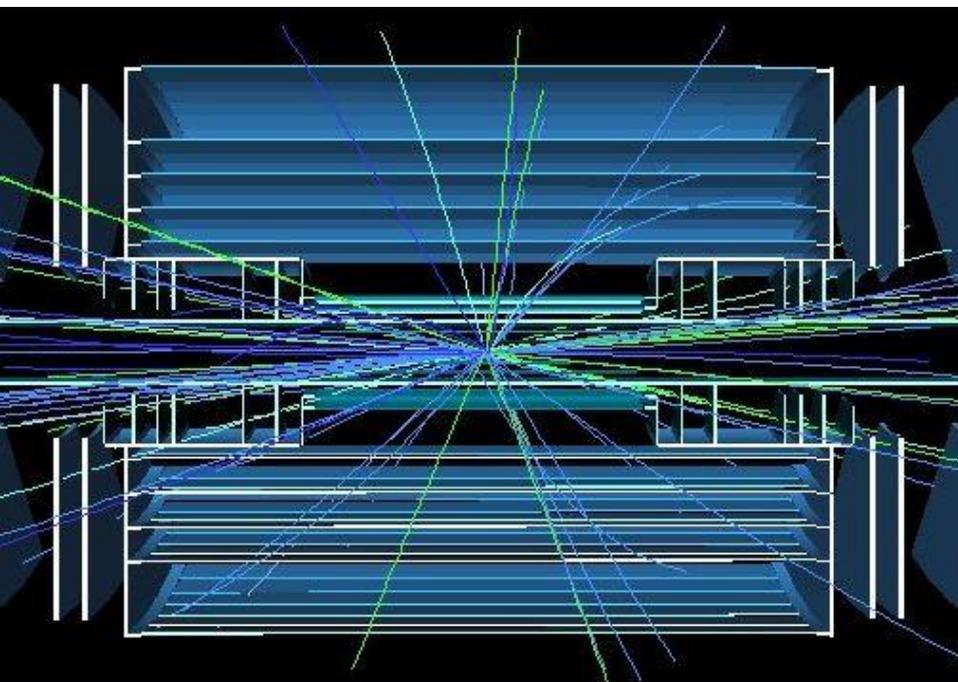
5 collisions simultanées



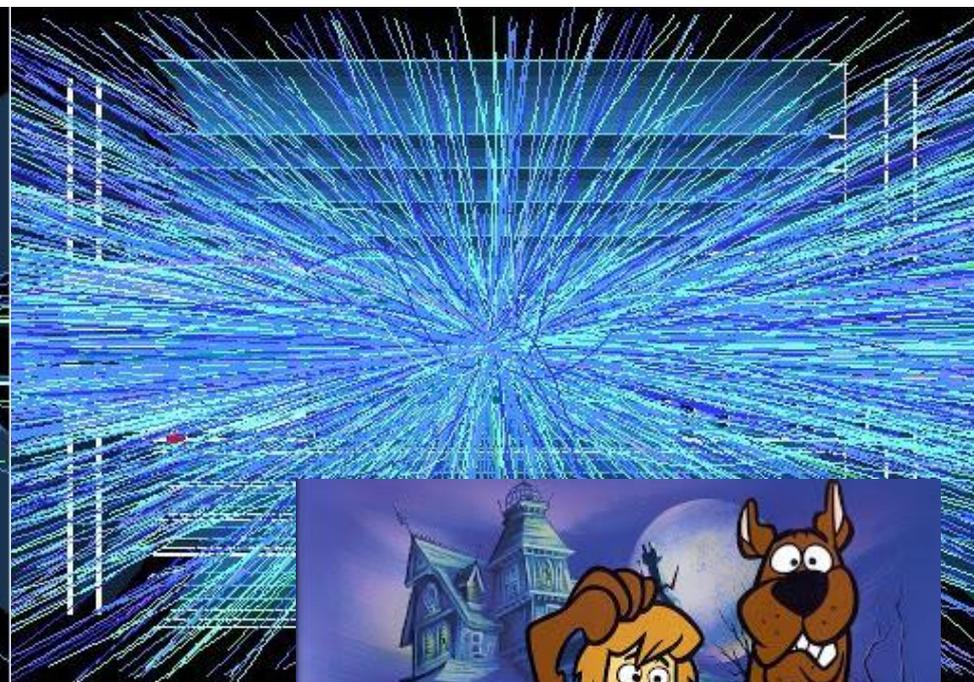
400 collisions simultanées



5 collisions simultanées



400 collisions simultanées



Atlas

- New Small Wheels (1200 m² de MicroMégas)
- Système de déclenchement EM (nouvelle carte d'électronique)
- Tracker central, amélioration de la rapidité et de la tenue aux radiations



CMS

- ECAL barrel, amélioration du monitoring laser et remplacement de l'électronique
- HGCal, trigger, timing et électronique de lecture

Je vous remercie de votre attention

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Etablissement public à caractère industriel et commercial | R.C.S Paris B 775 685 019

Tel : +33 1 69 08 82 74



Direction de la Recherche Fondamentale
Institut de recherche
sur les lois fondamentales de l'Univers
SPP