

Le détecteur ATLAS et la découverte du boson de Higgs

Yann Coadou



Origines, Constituants et Evolution de l'Univers

Summer Camp

26 juin 2017

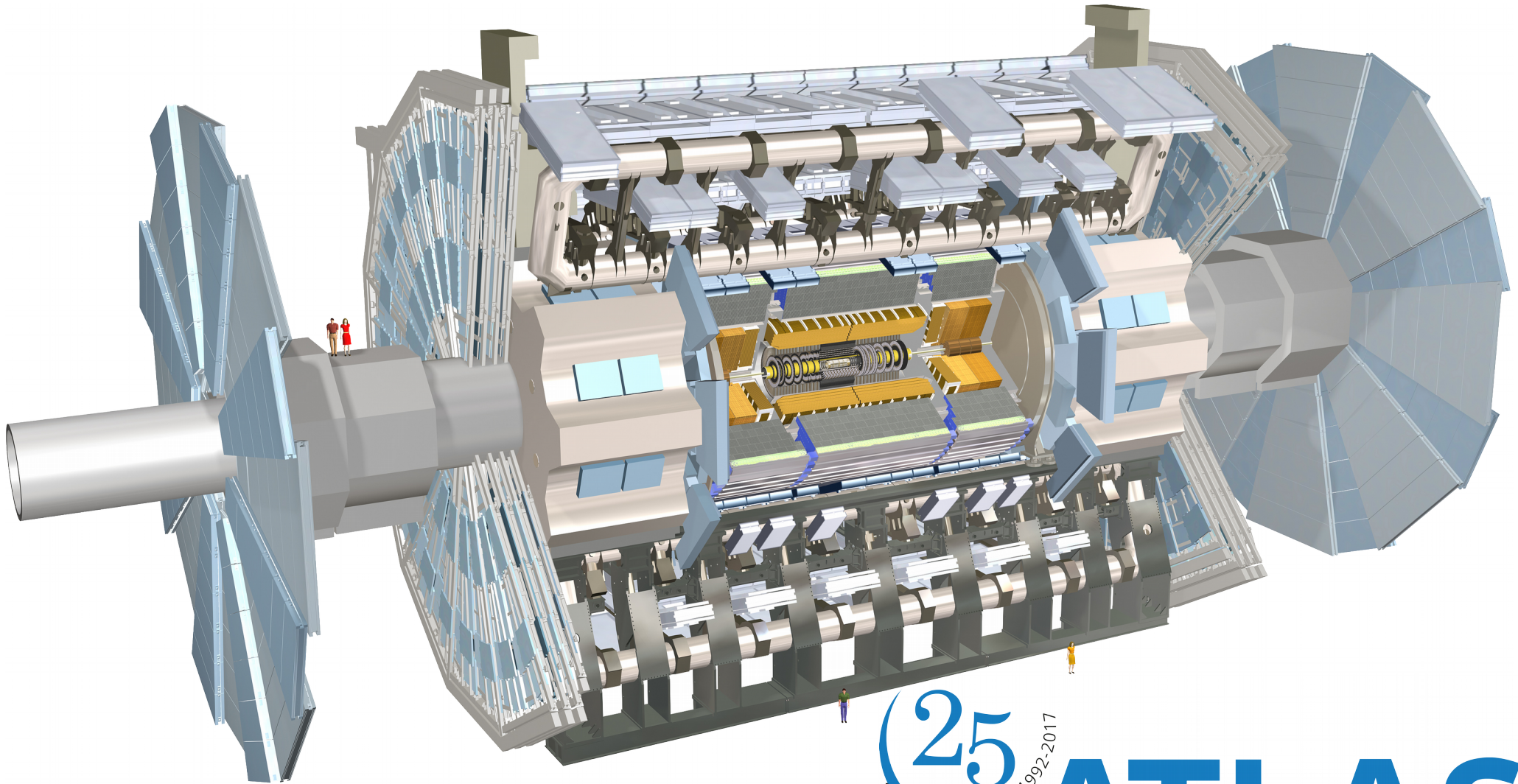
Centre de physique des particules de Marseille



IN2P3
Les deux infinis



Le détecteur ATLAS



ATLAS
EXPERIMENT

La collaboration ATLAS



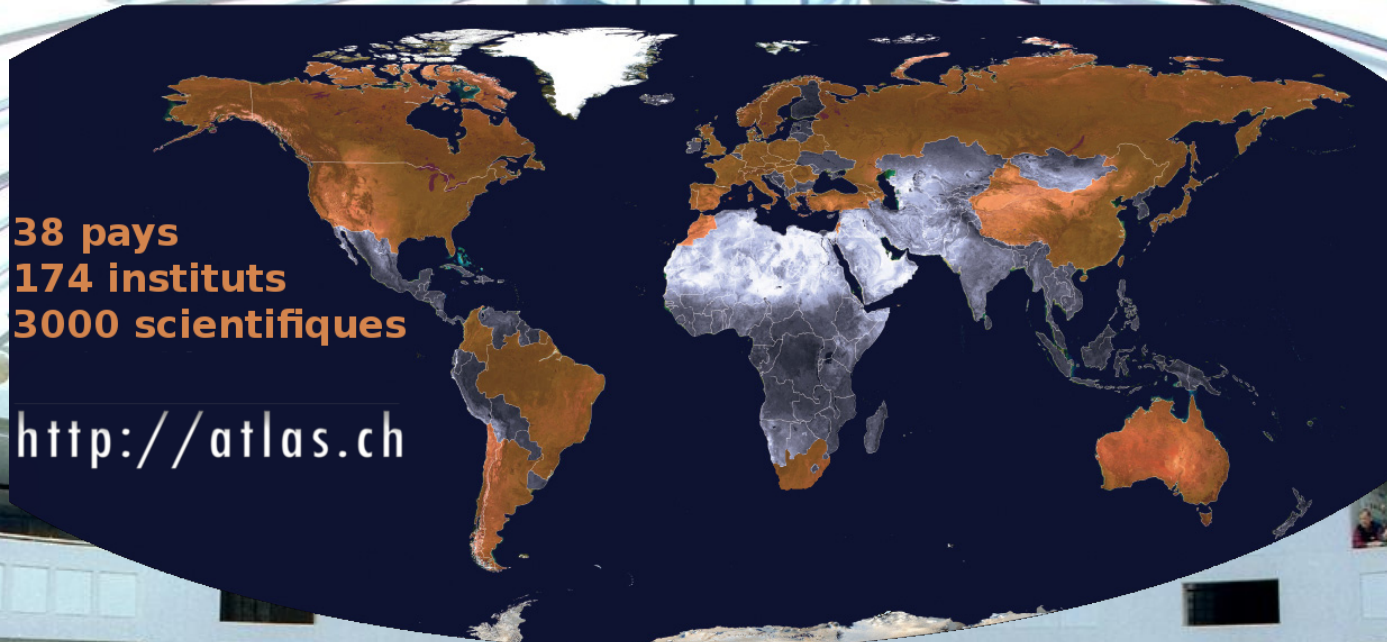
C

D

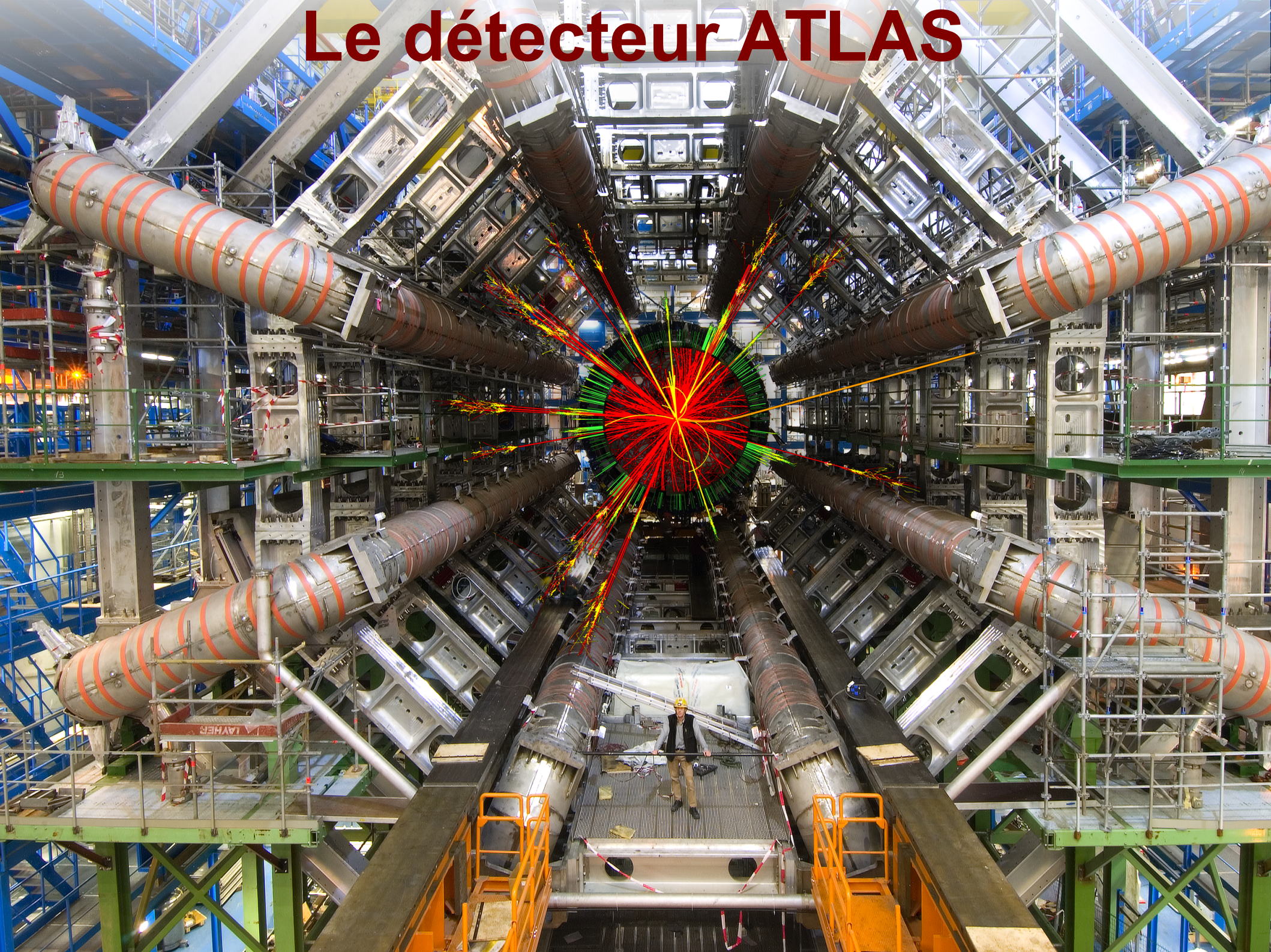
La collaboration ATLAS

38 pays
174 instituts
3000 scientifiques

<http://atlas.ch>

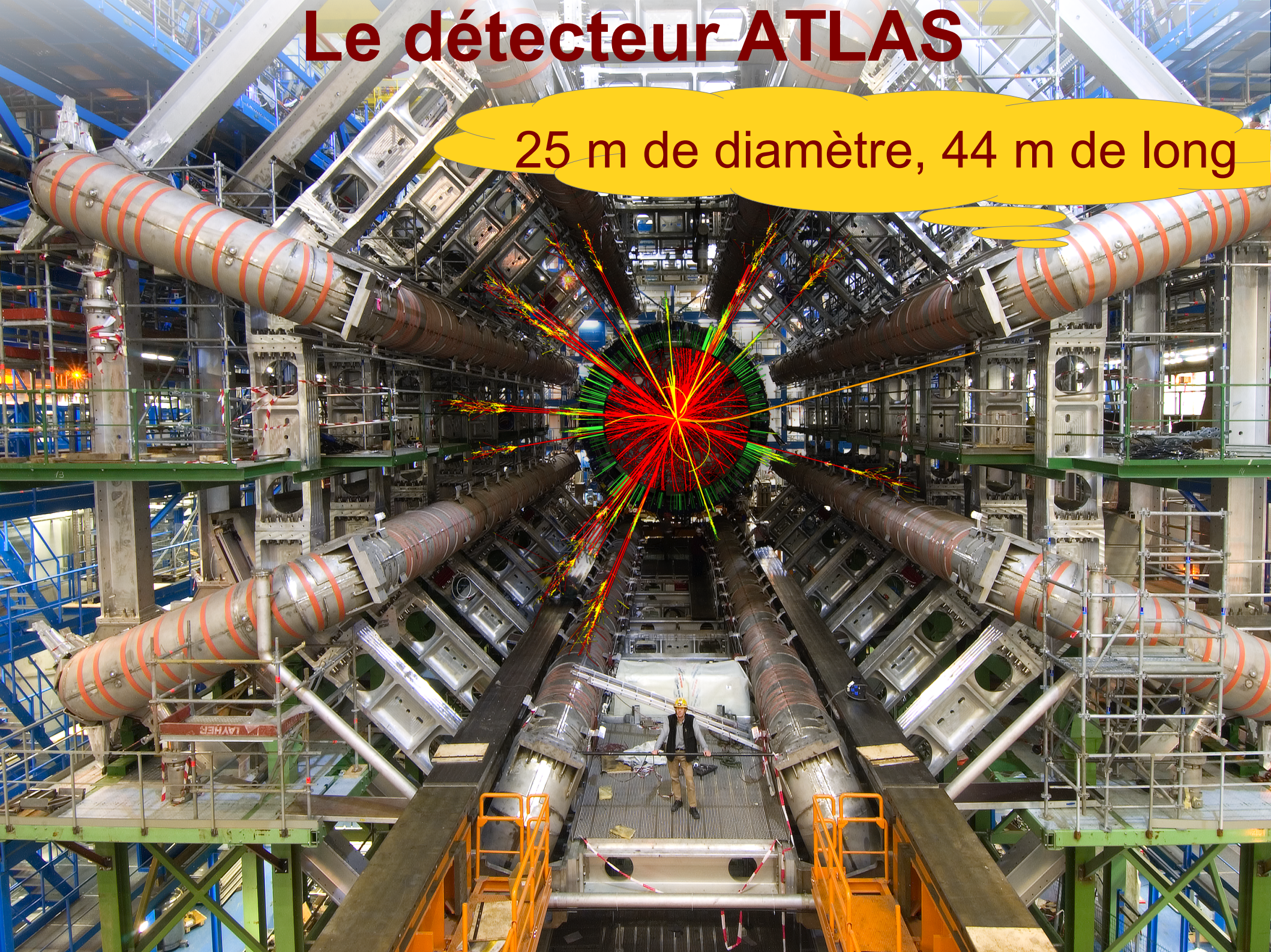


Le détecteur ATLAS



Le détecteur ATLAS

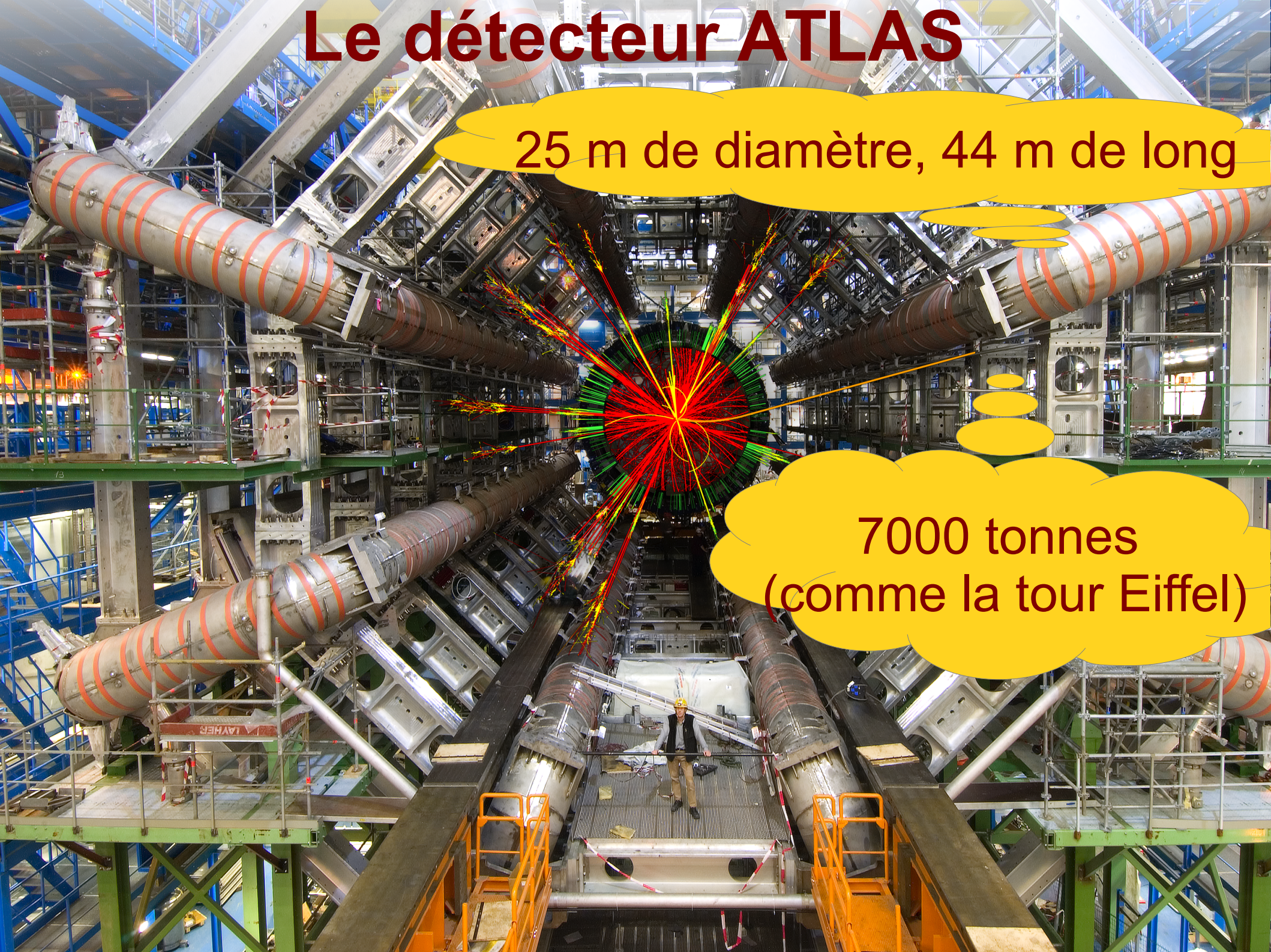
25 m de diamètre, 44 m de long



Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

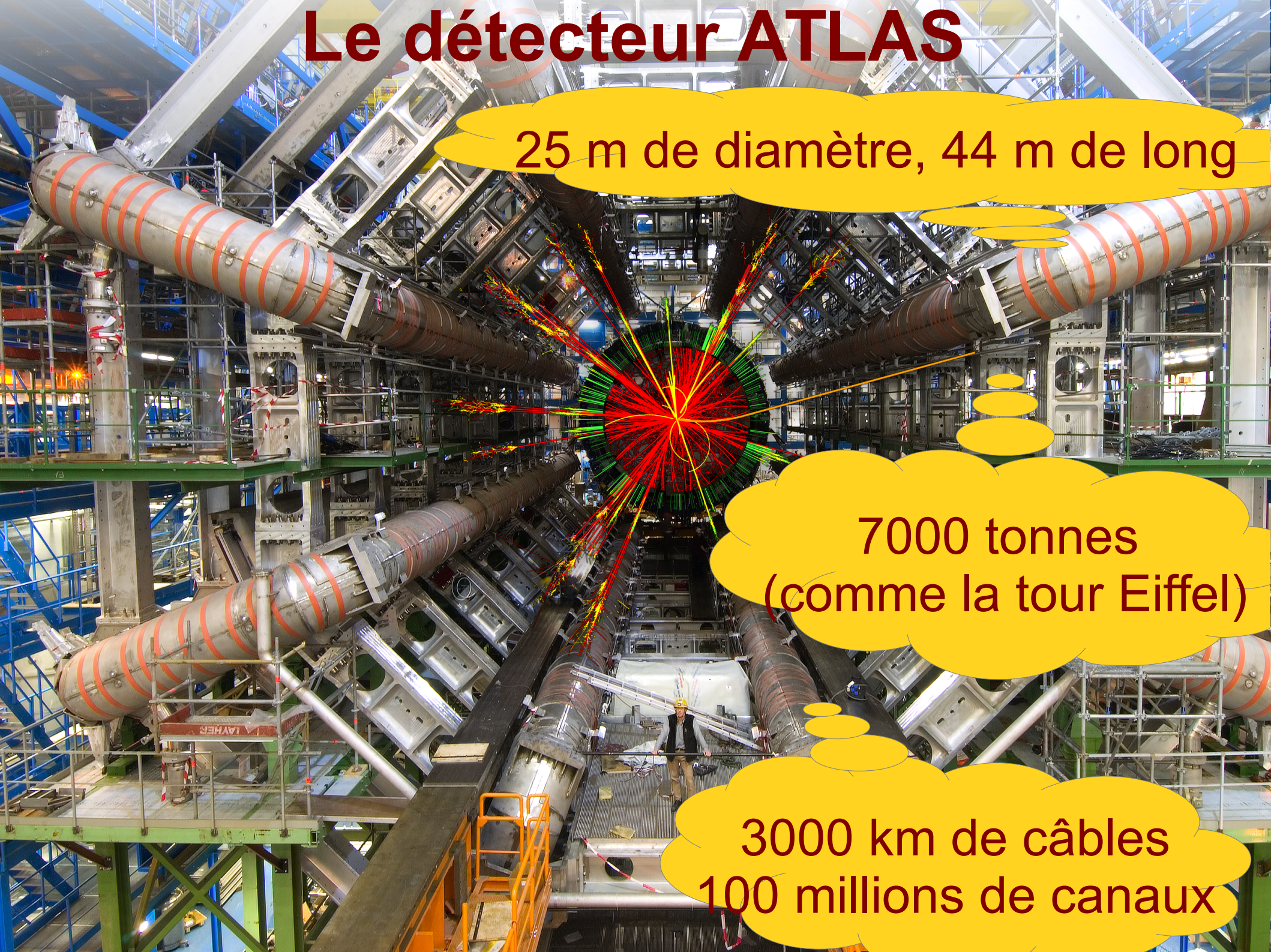


Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

3000 km de câbles
100 millions de canaux



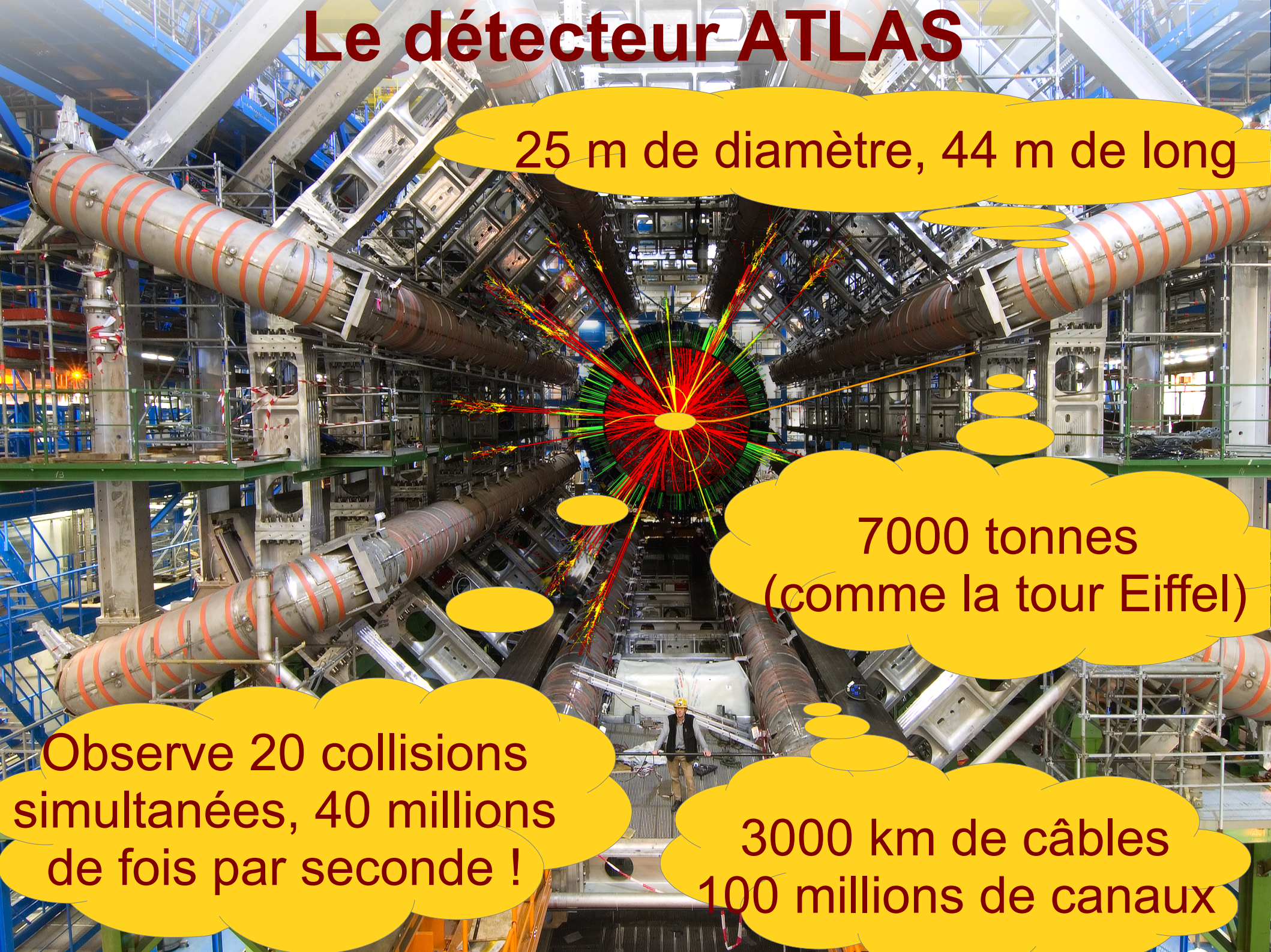
Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

Observe 20 collisions
simultanées, 40 millions
de fois par seconde !

3000 km de câbles
100 millions de canaux



Le détecteur ATLAS

The image shows the interior of the ATLAS detector tunnel. A central calorimeter is visible, surrounded by a complex network of cables and pipes. A worker in a yellow hard hat and safety vest is standing on a platform in the center of the tunnel, providing a sense of scale. The tunnel is lined with blue metal structures and various equipment.

25 m de diamètre, 44 m de long

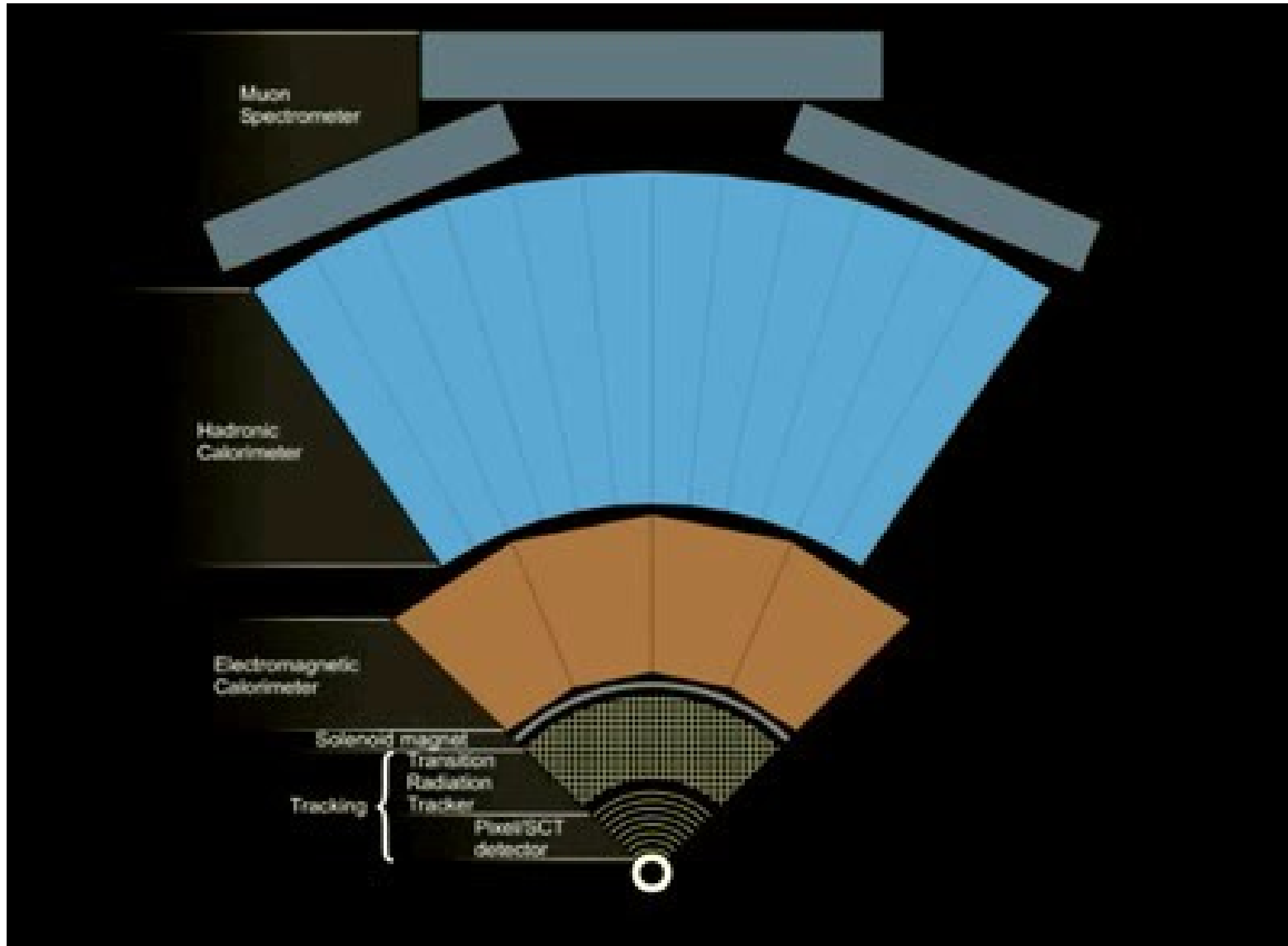
En France :
6 laboratoires CNRS,
1 CEA, 400 personnes
(physiciens, ingénieurs,
étudiants)

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

Observe 20 collisions
simultanées, 40 millions
de fois par seconde !

3000 km de câbles
100 millions de canaux

Interaction des particules avec le détecteur

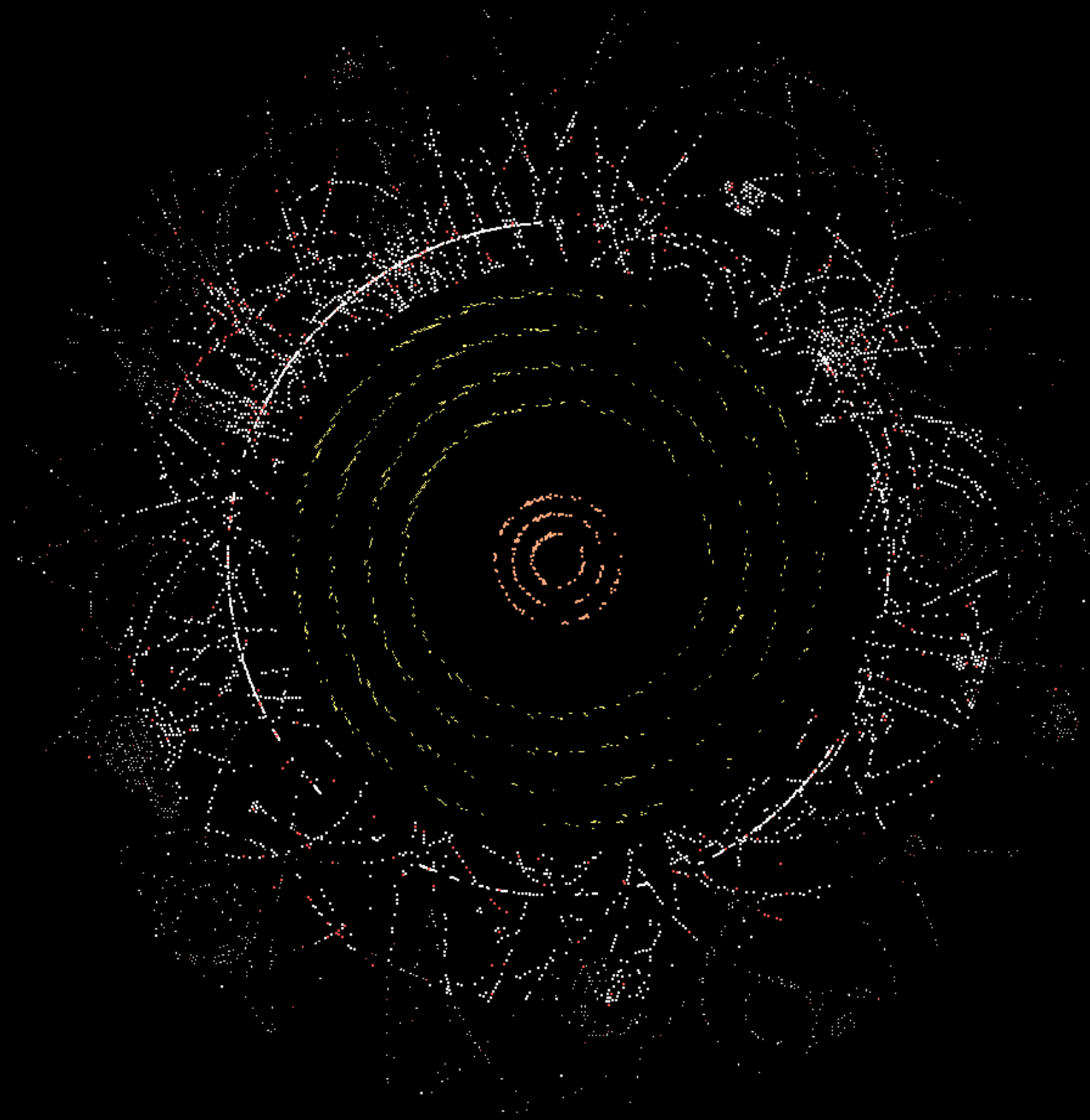


Mesurer le passage des particules dans le détecteur à pixels

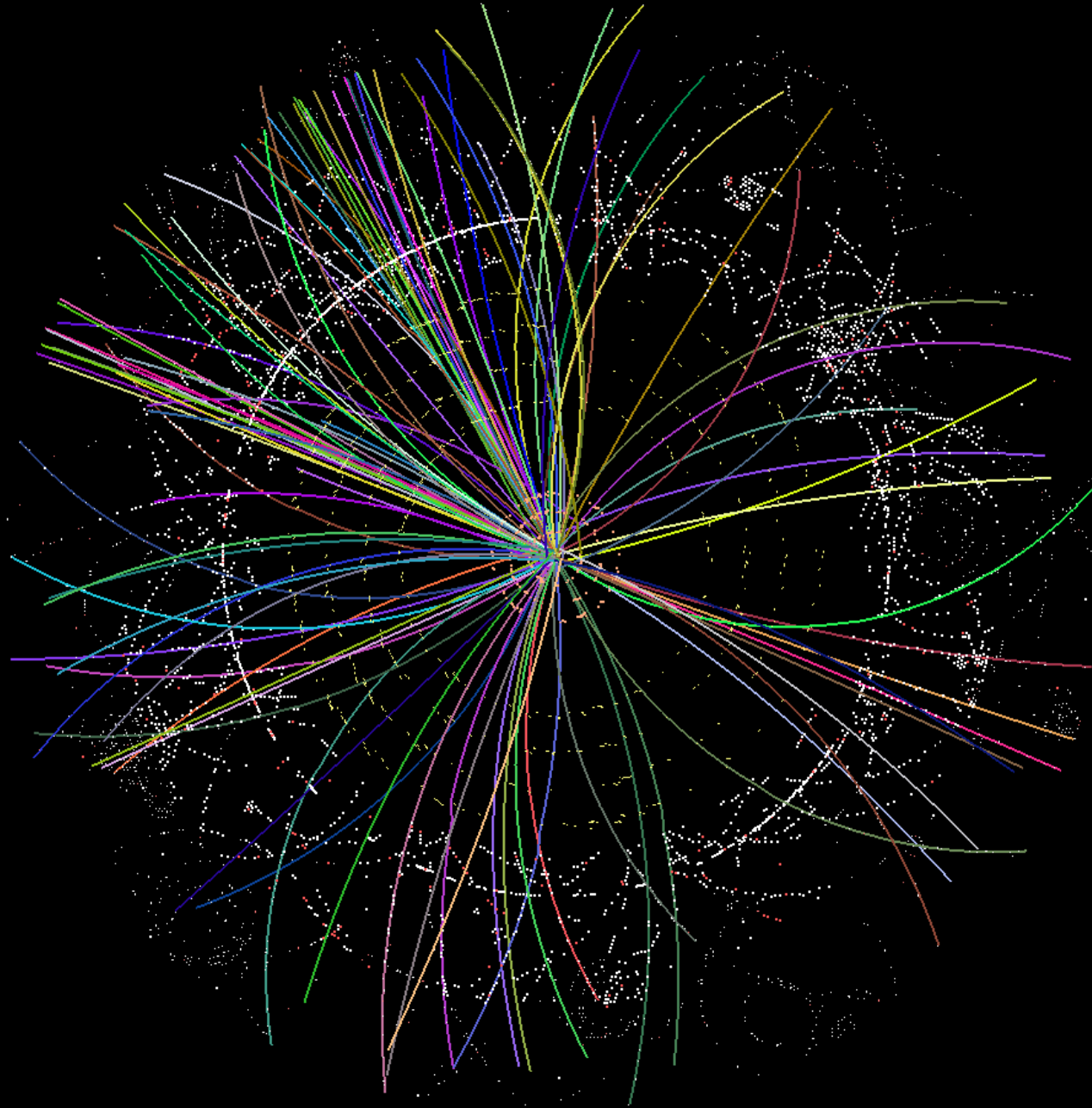


- 80 Mégapixels
- 40 millions d'images par seconde
- 1,7 m² de silicium

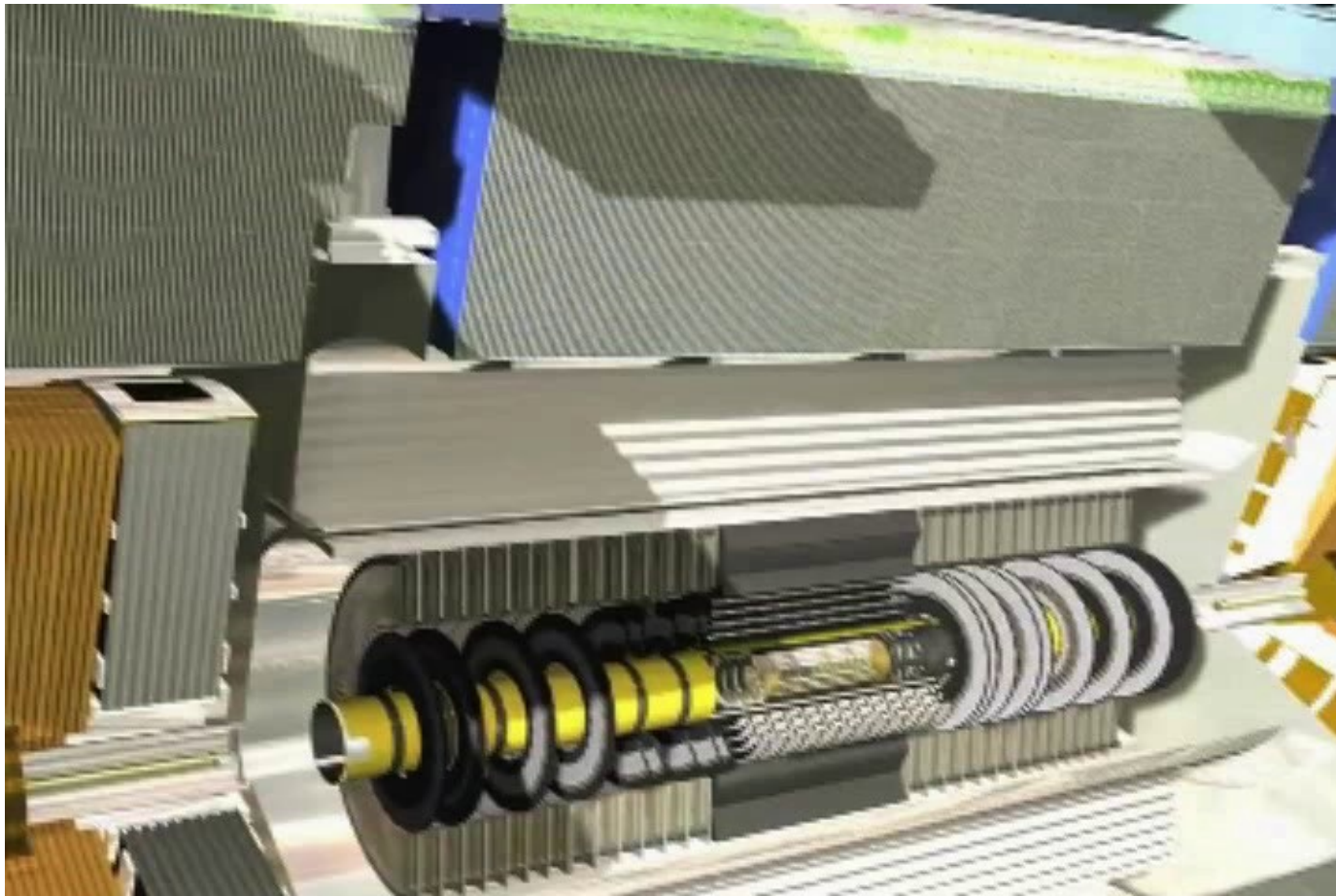
Passage des particules



Reconstruction des trajectoires



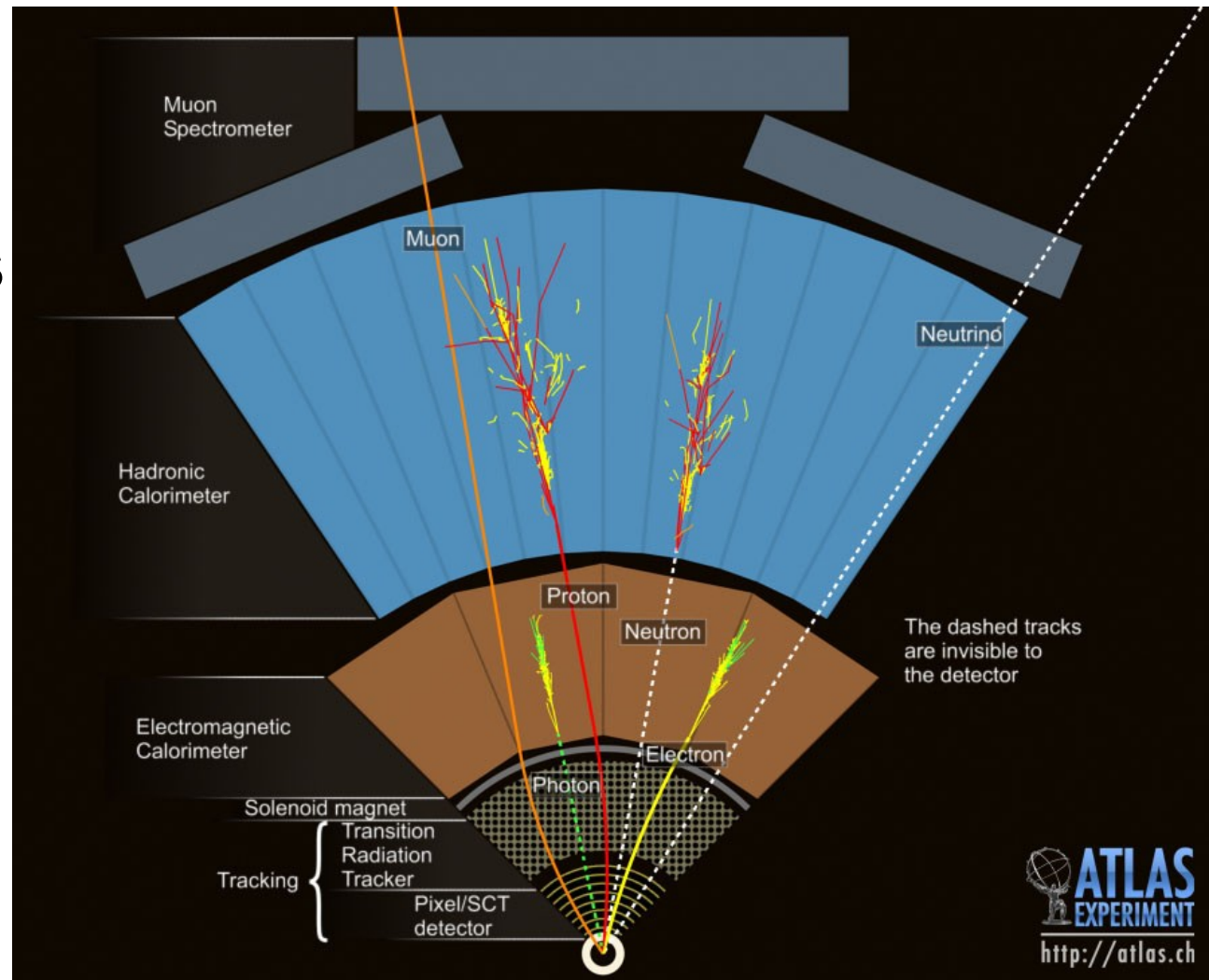
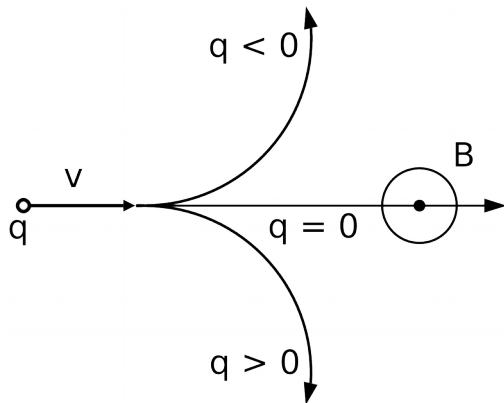
Mesurer l'énergie des particules dans le calorimètre électromagnétique



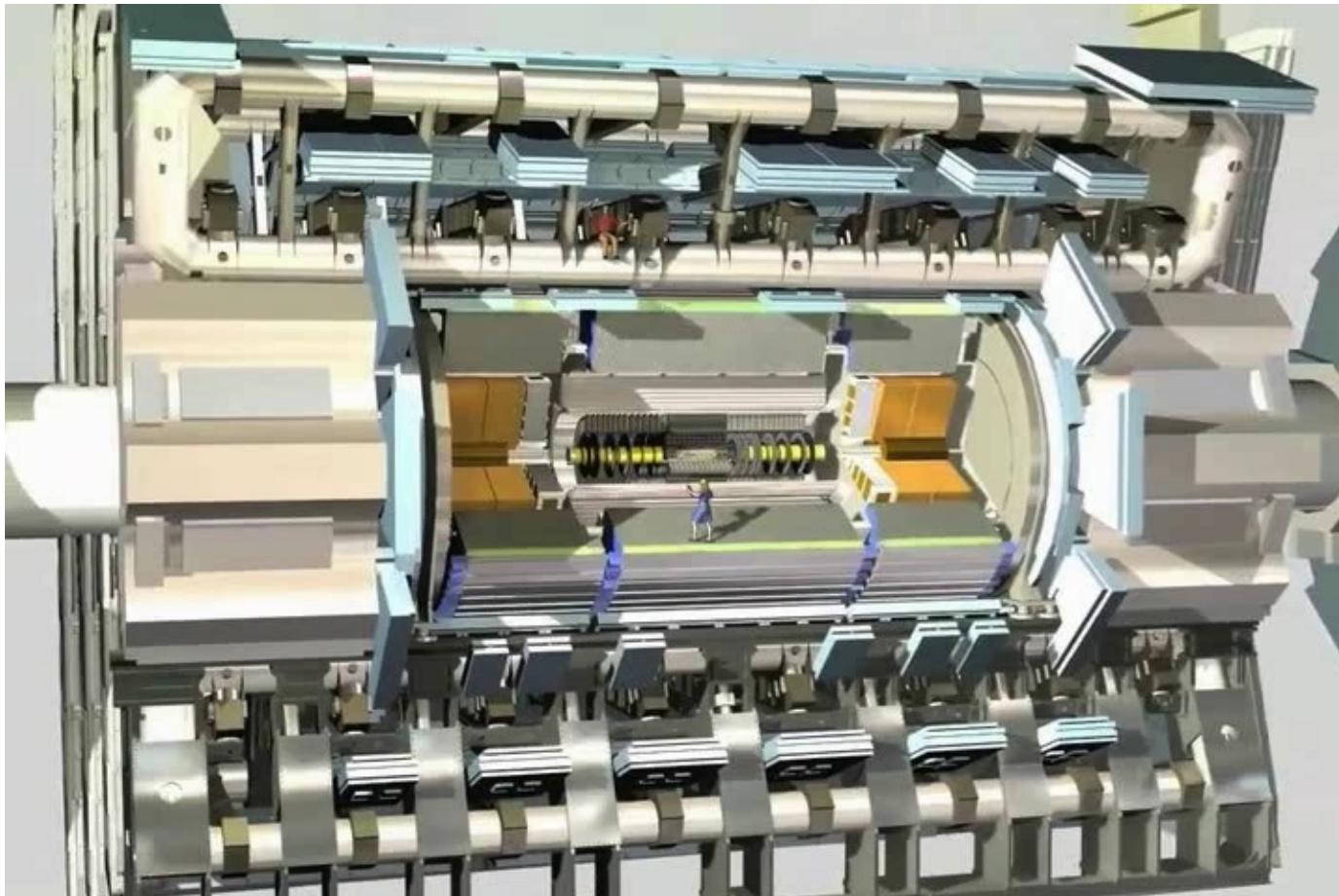
- Argon liquide à -183°C

Identifier les électrons/positrons et photons

- Gerbe dans le calorimètre EM
- e^+/e^- : particule chargée, trace dans le trajectographe
- Courbure de la trace \rightarrow signe de la charge électrique



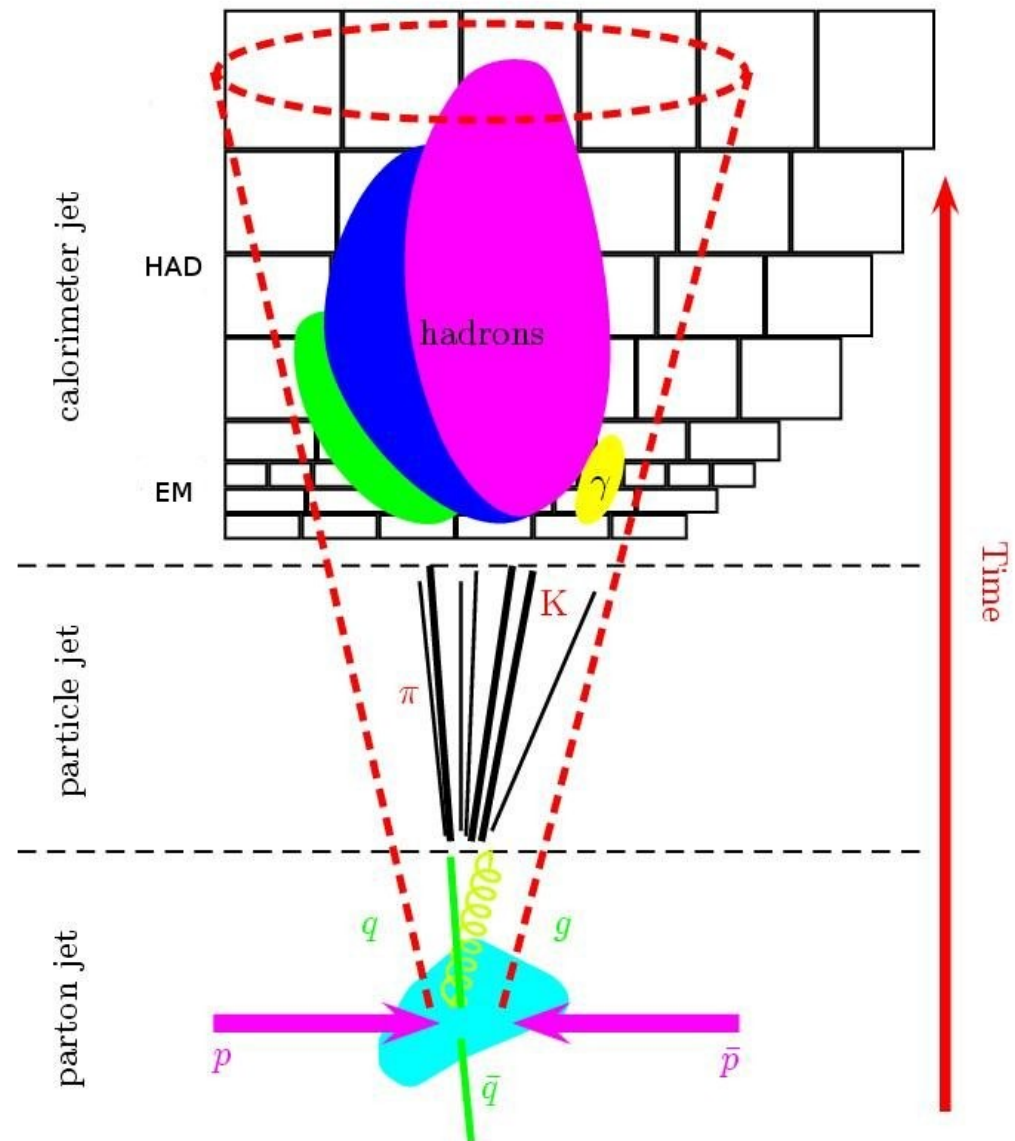
Mesurer l'énergie des particules dans le calorimètre hadronique



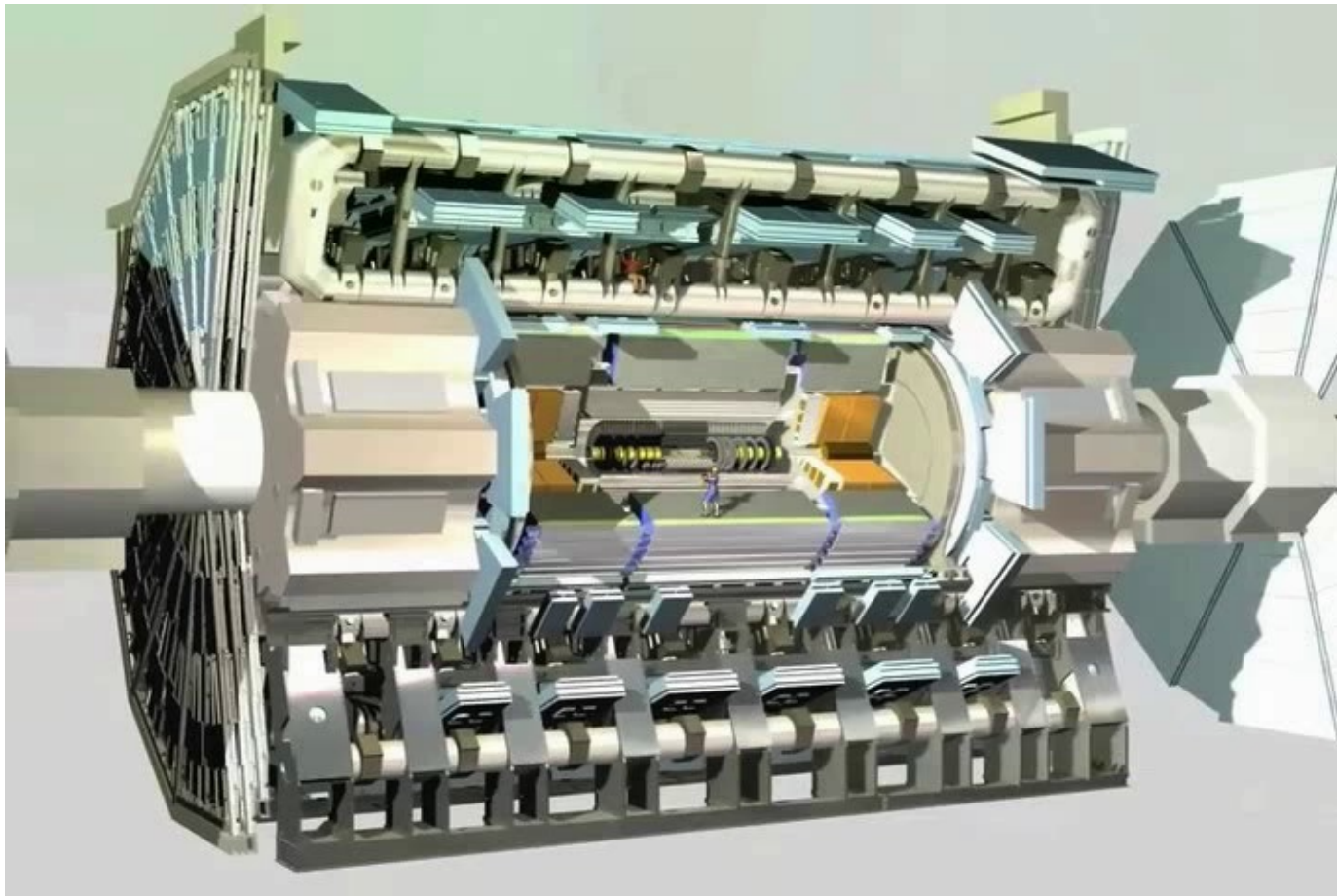
- 500 000 tuiles de plastique scintillant

Identifier les quarks/antiquarks et gluons

- Jamais seuls, forment des hadrons
- Gerbes dans le calorimètre EM et surtout hadronique
- Particules chargées, traces dans le trajectographe



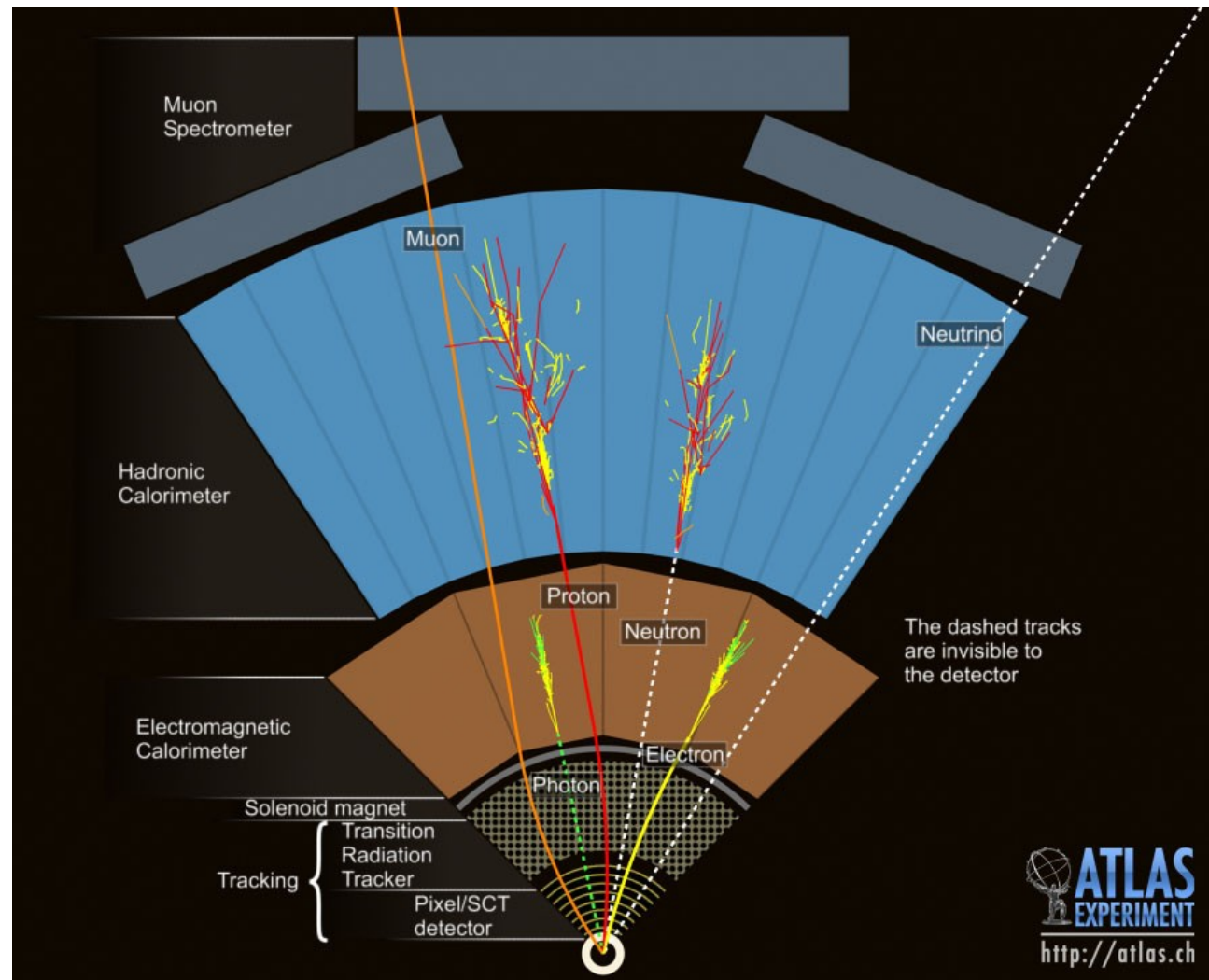
Mesurer le passage des particules dans le système à muons



- Champ électrique de 5000 V/mm
- Alignement par faisceaux laser
- Précision de l'ordre de l'épaisseur d'un cheveu sur 25 m de distance

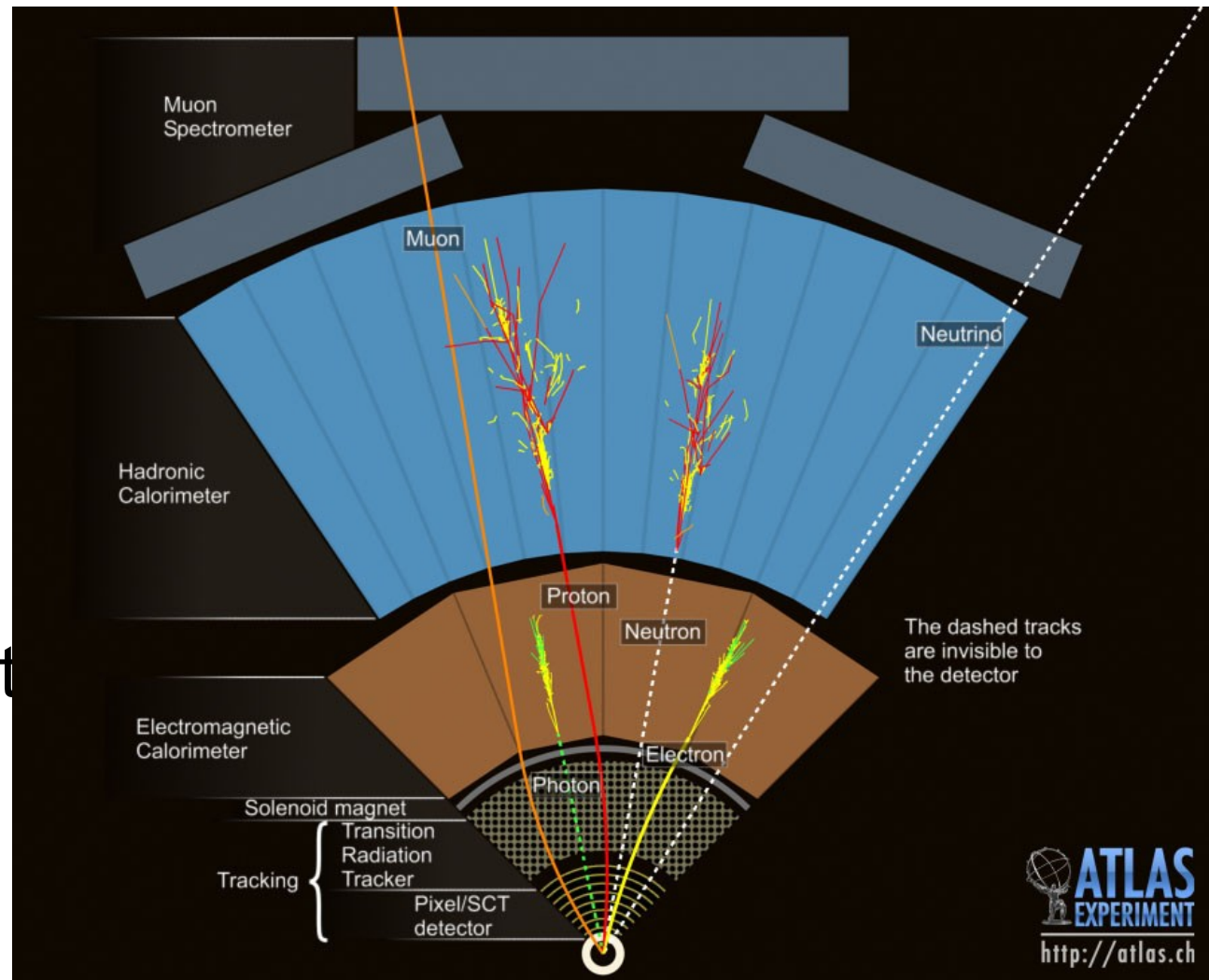
Identifier les muons et antimuons

- Particule chargée, trace dans le trajectographe
- Un peu d'énergie dans le calorimètre
- Trace dans le détecteur à muons
- Courbure de la trace → signe de la charge électrique
- Continue sa course à l'extérieur d'ATLAS



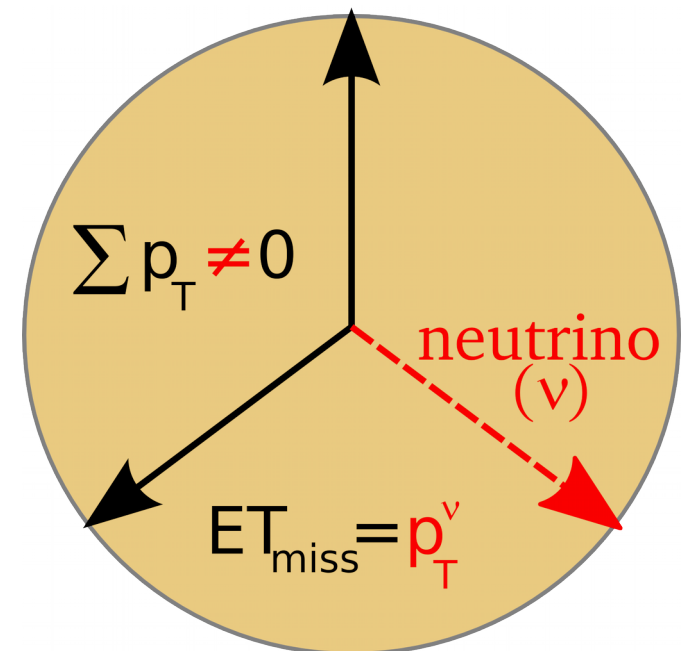
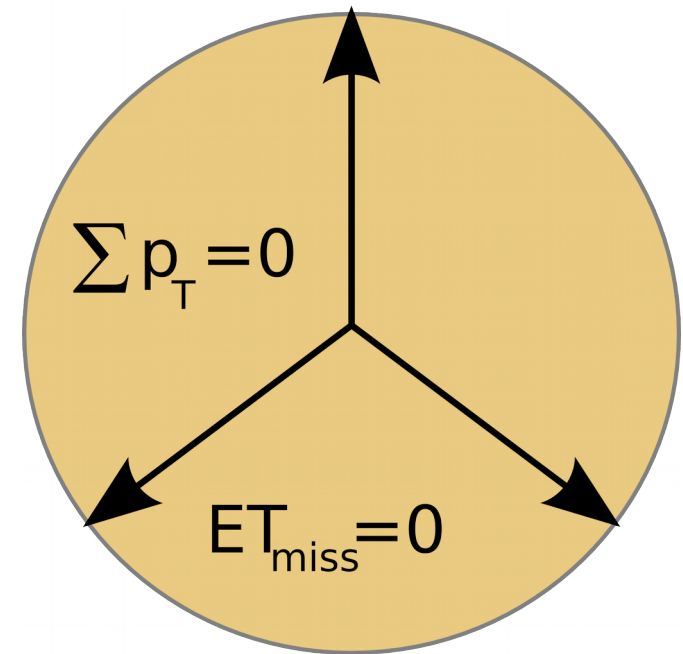
Identifier les neutrinos

- Particule neutre qui n'interagit presque pas avec la matière
- Aucune trace dans le détecteur
- Identifié par induction, en utilisant la conservation de l'impulsion



Energie transverse manquante

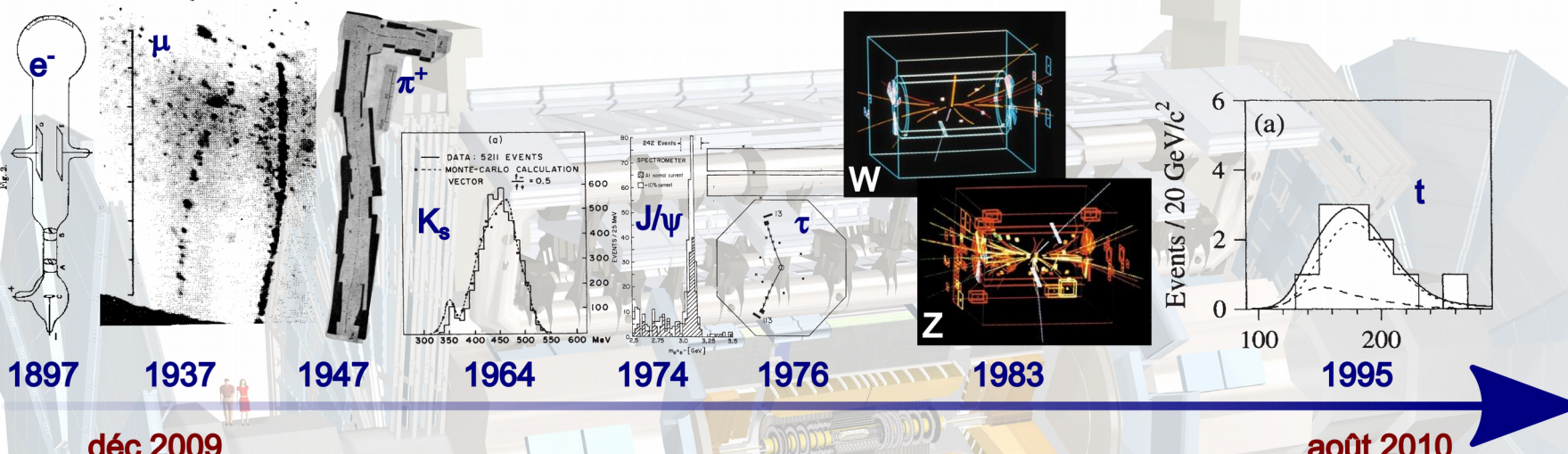
- Sans neutrino
 - ▶ 3 particules reconstruites
 - ▶ Somme des impulsions dans le plan transverse : 0
 - ▶ Donc $E_T^{\text{miss}} = 0$
- Avec un neutrino
 - ▶ On « voit » seulement une partie de l'événement
 - ▶ La somme des impulsions n'est pas nulle
 - ▶ La différence est E_T^{miss} , associée au neutrino



Le modèle standard redécouvert

LHC 2010 : un siècle en un an

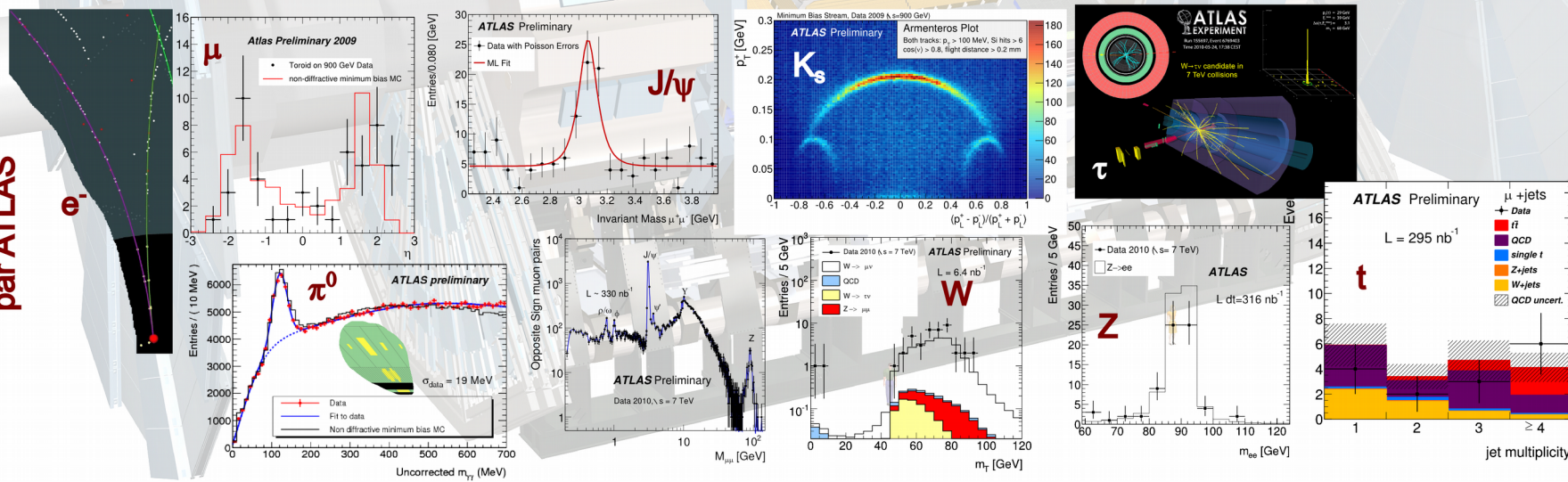
Découverte historique



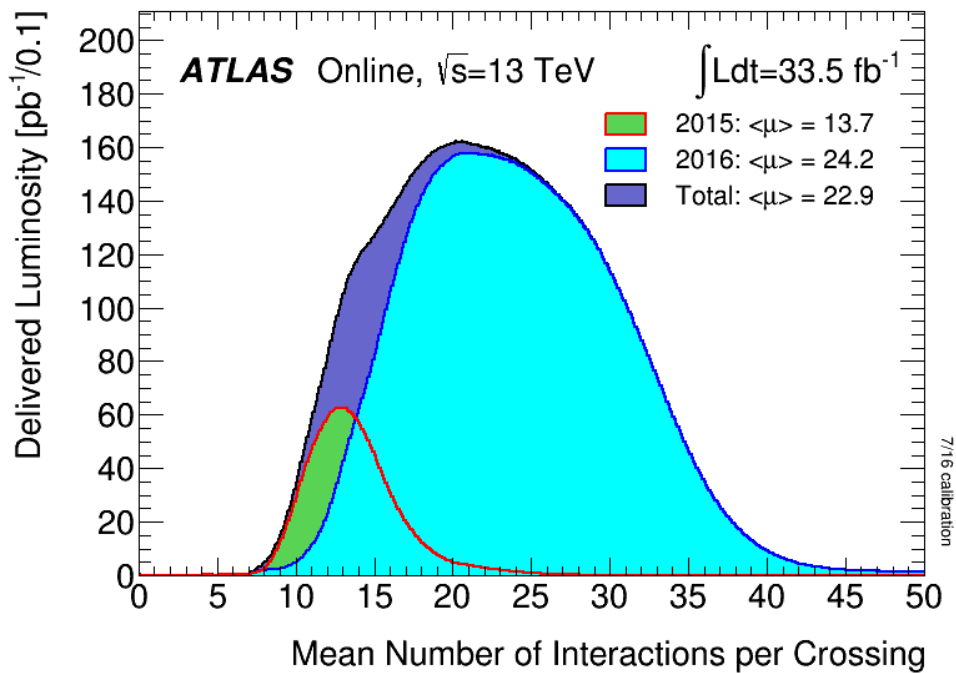
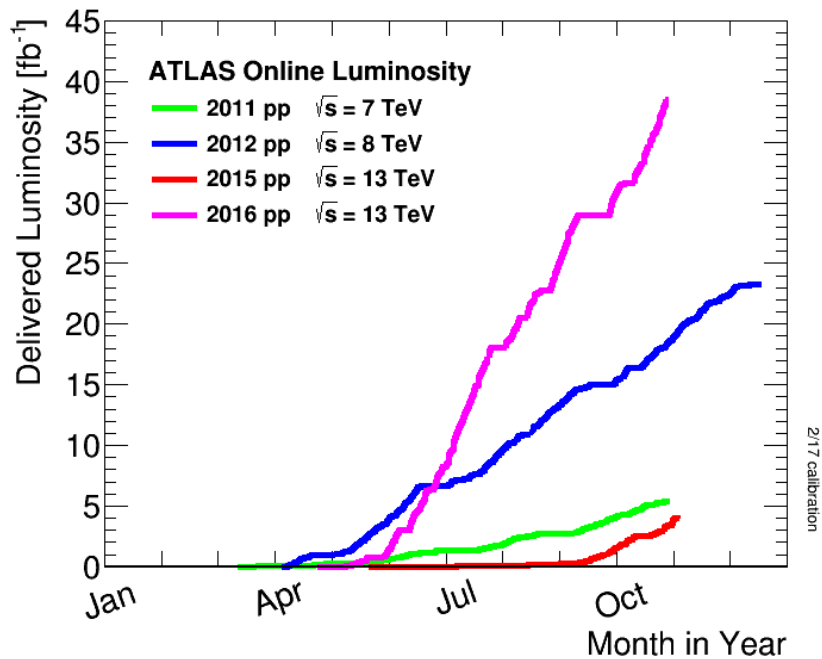
déc 2009

août 2010

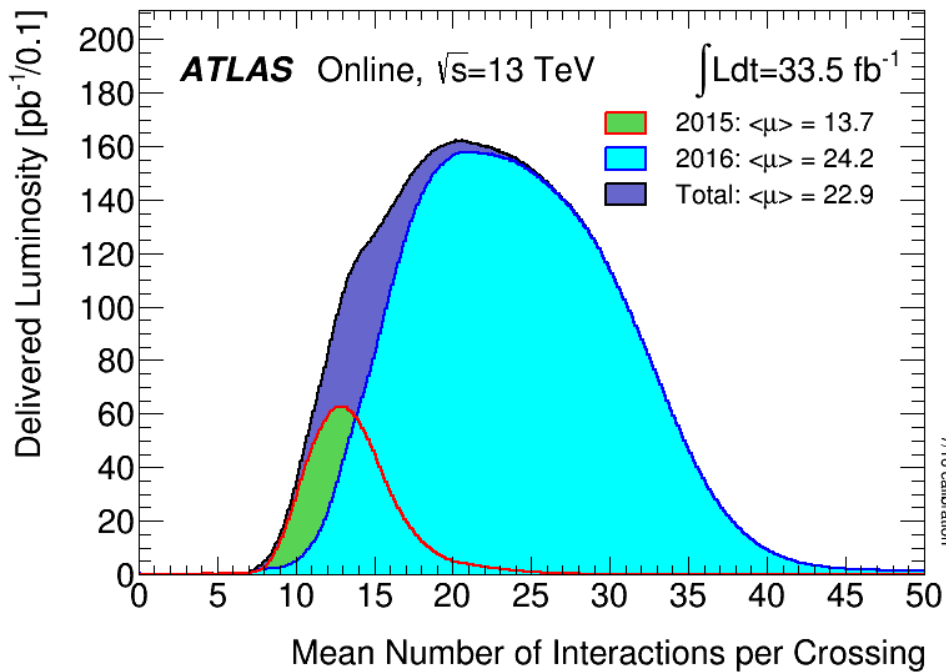
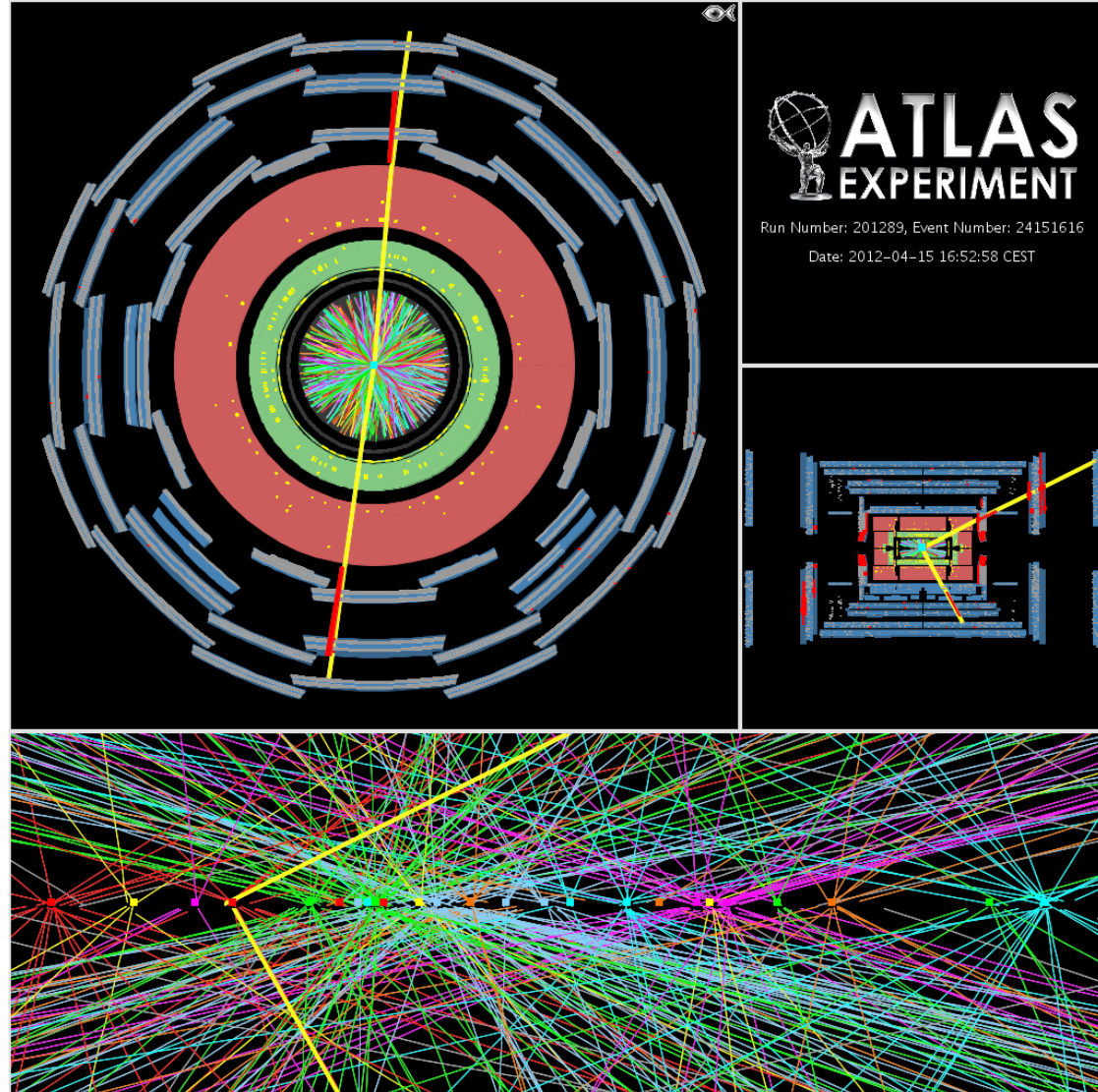
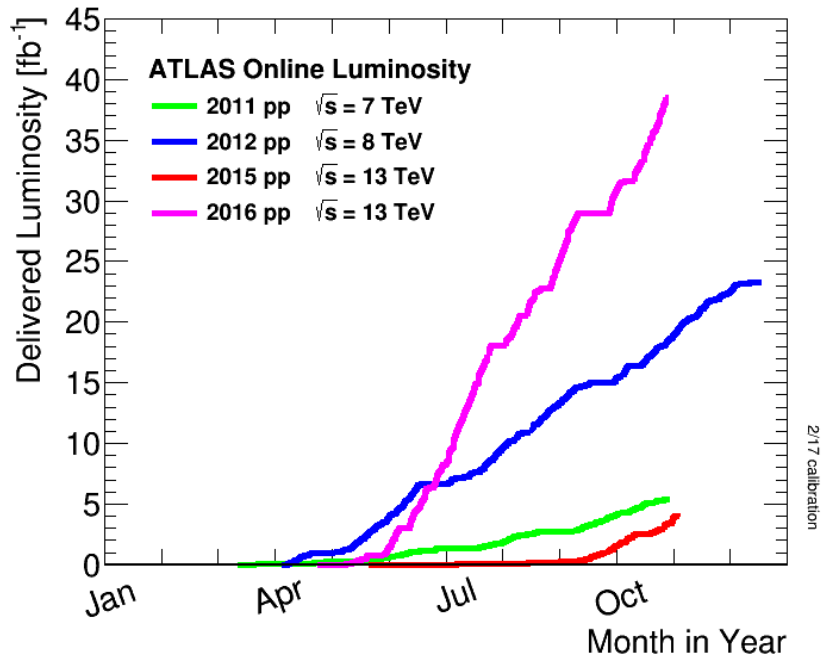
Redécouverte par ATLAS



Accumulation des données



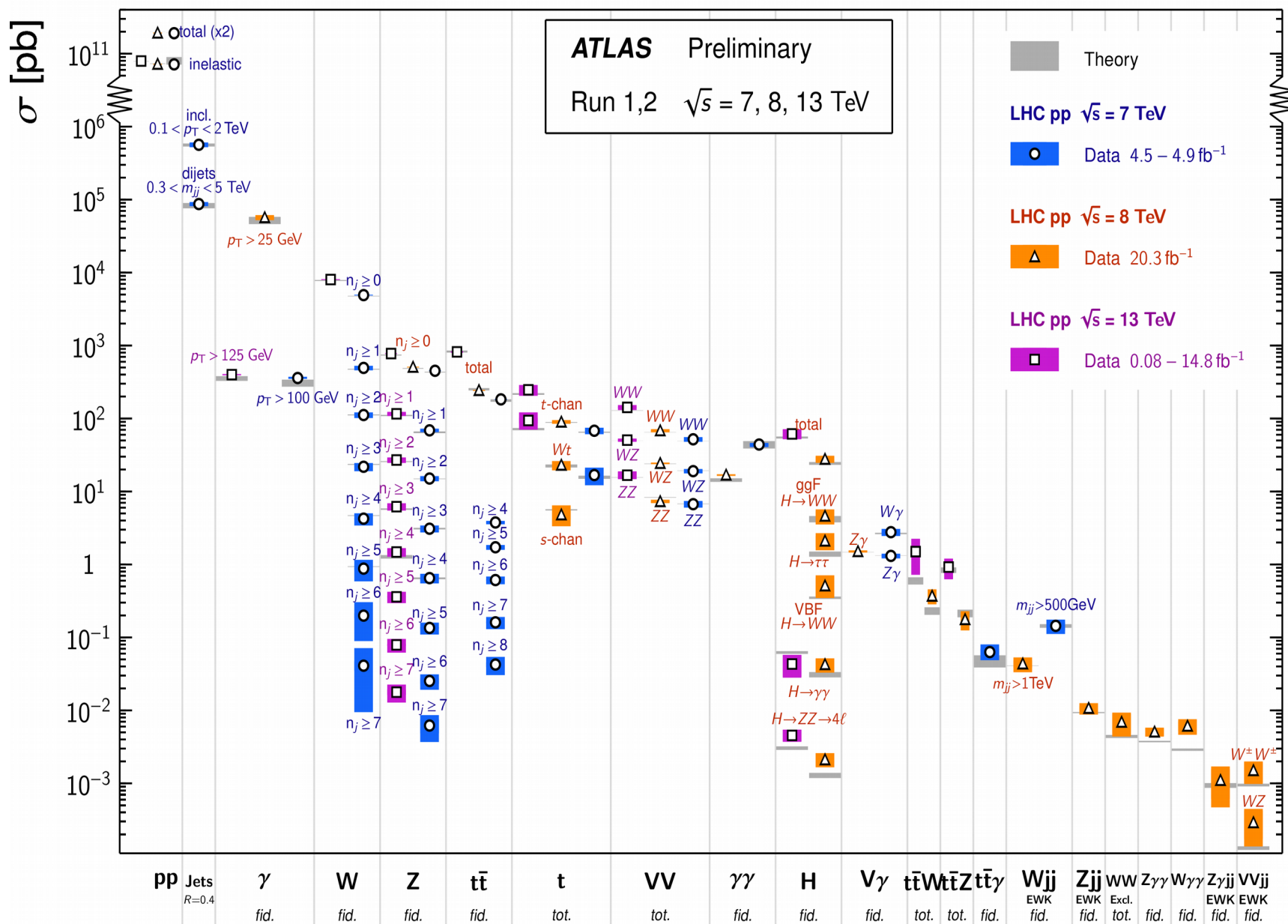
Accumulation des données



Modèle standard : état des lieux

Standard Model Production Cross Section Measurements

Status: March 2017



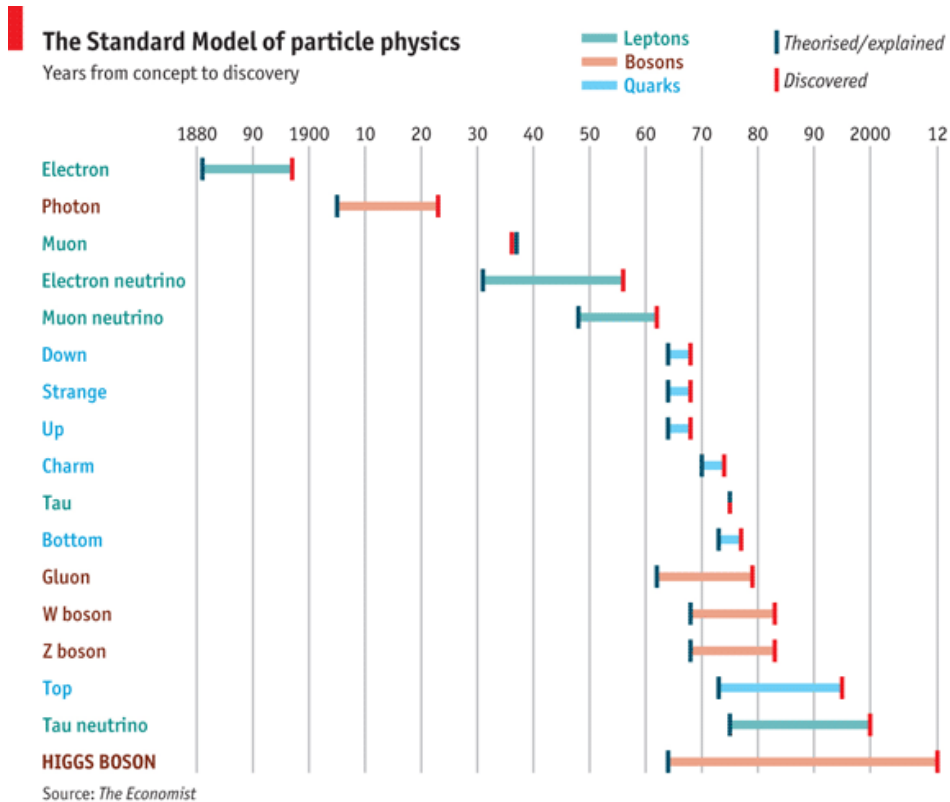
• Très bon accord avec les prédictions théoriques !

Le LHC en action



Accélérateur de science

La longue quête du boson de Higgs

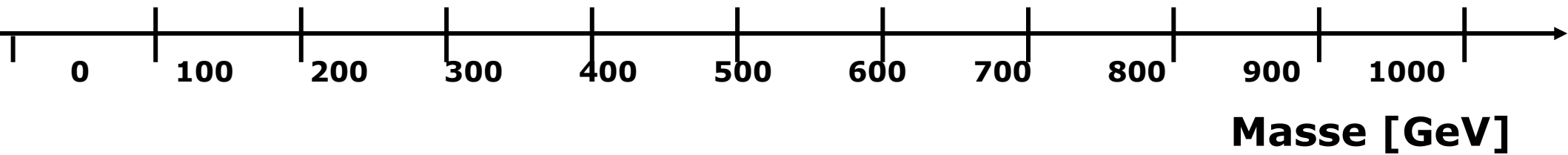


© The Economist

- Modèle standard : énorme succès, sauf que les particules n'ont pas de masse...
- Boson de Higgs : pièce essentielle pour accorder théorie et expérience
- 48 ans entre la prédiction théorique et la découverte expérimentale !
- Pourquoi ? La théorie prédit tout sur le boson de Higgs, sauf sa masse ! Il faut donc chercher partout...

La chasse au boson de Higgs

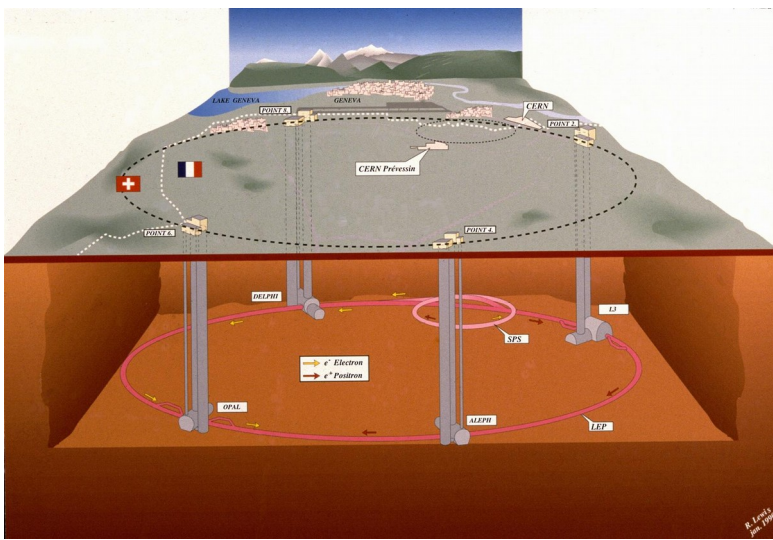
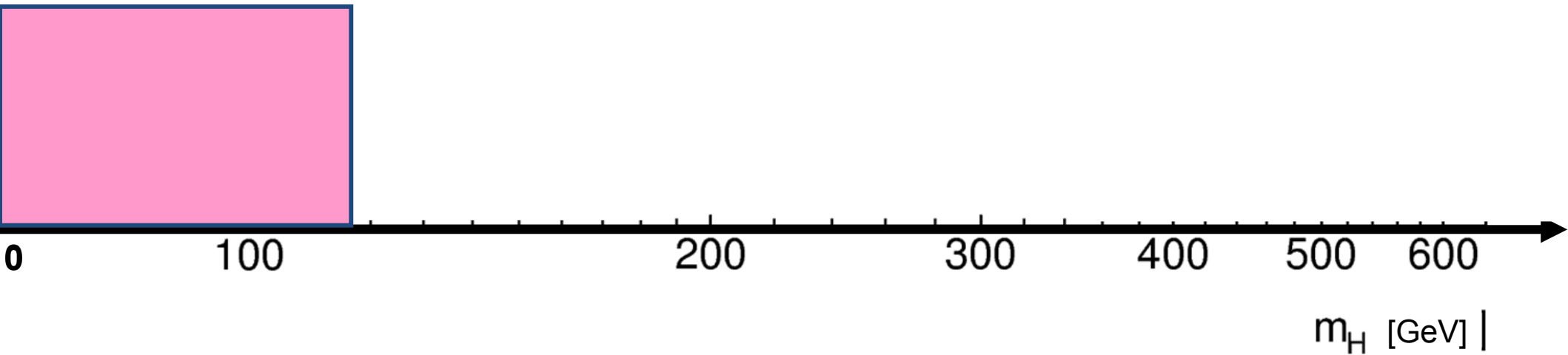
?



- Seule contrainte théorique : masse < 1000 GeV

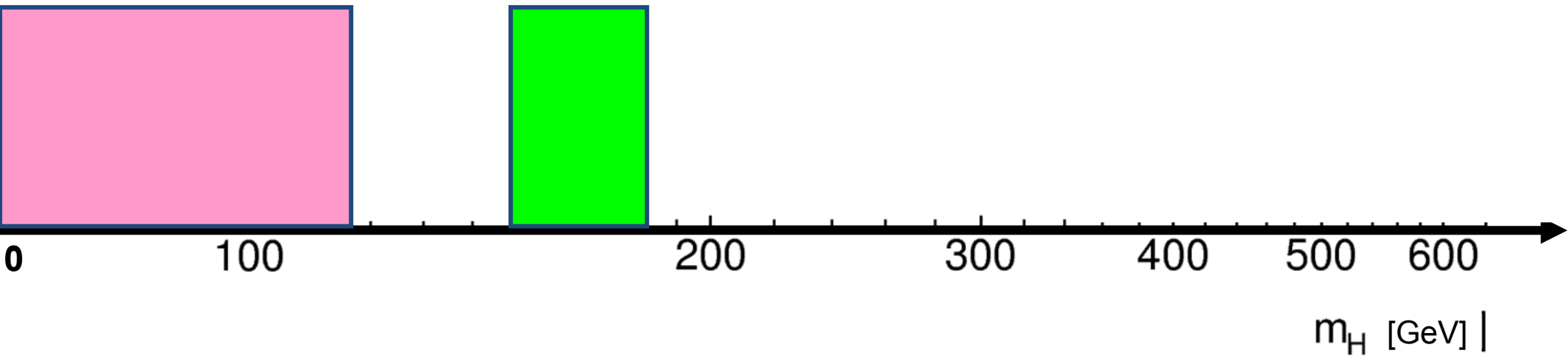
La chasse au boson de Higgs

LEP
1989-2000



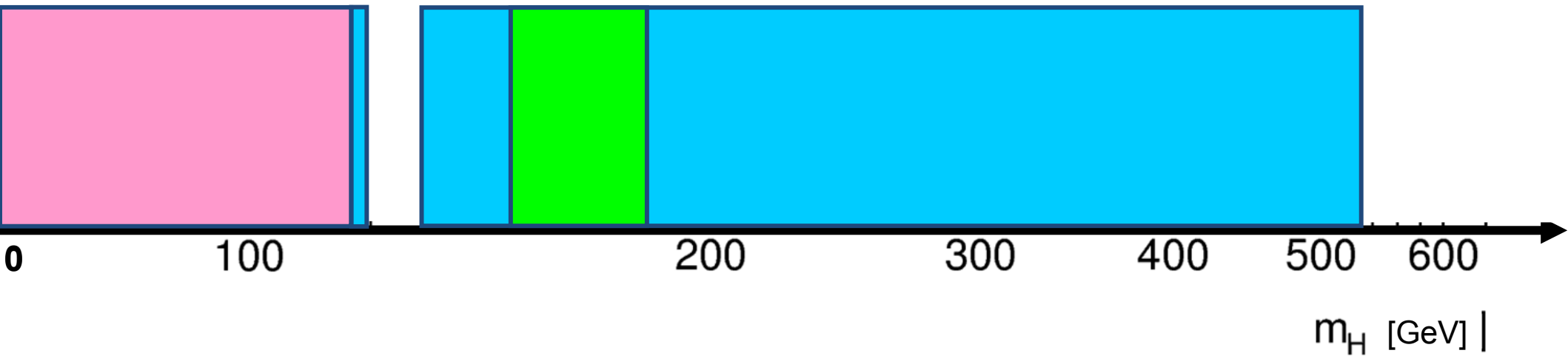
La chasse au boson de Higgs

Tevatron
1983-2011

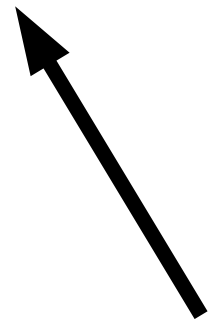
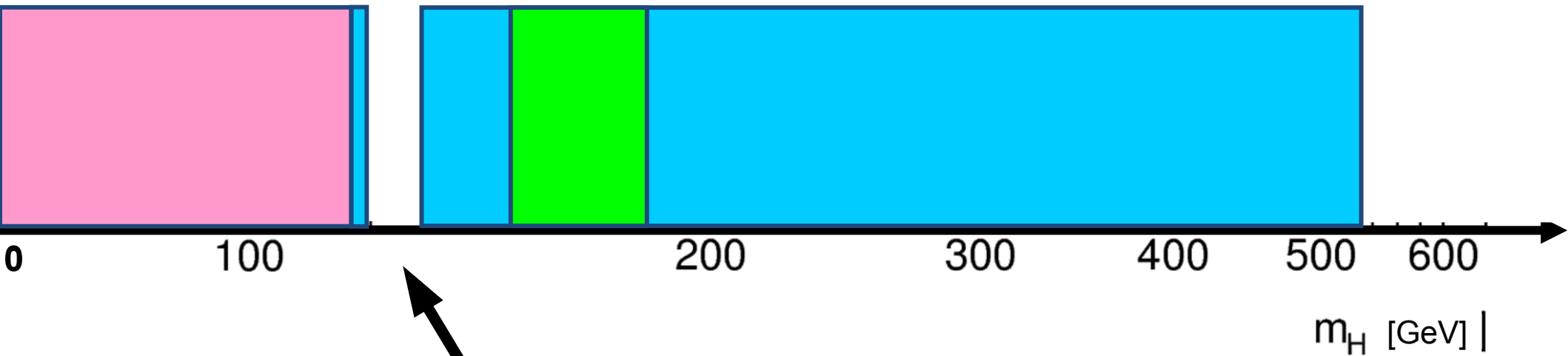


La chasse au boson de Higgs

LHC
2009-2011



La chasse au boson de Higgs

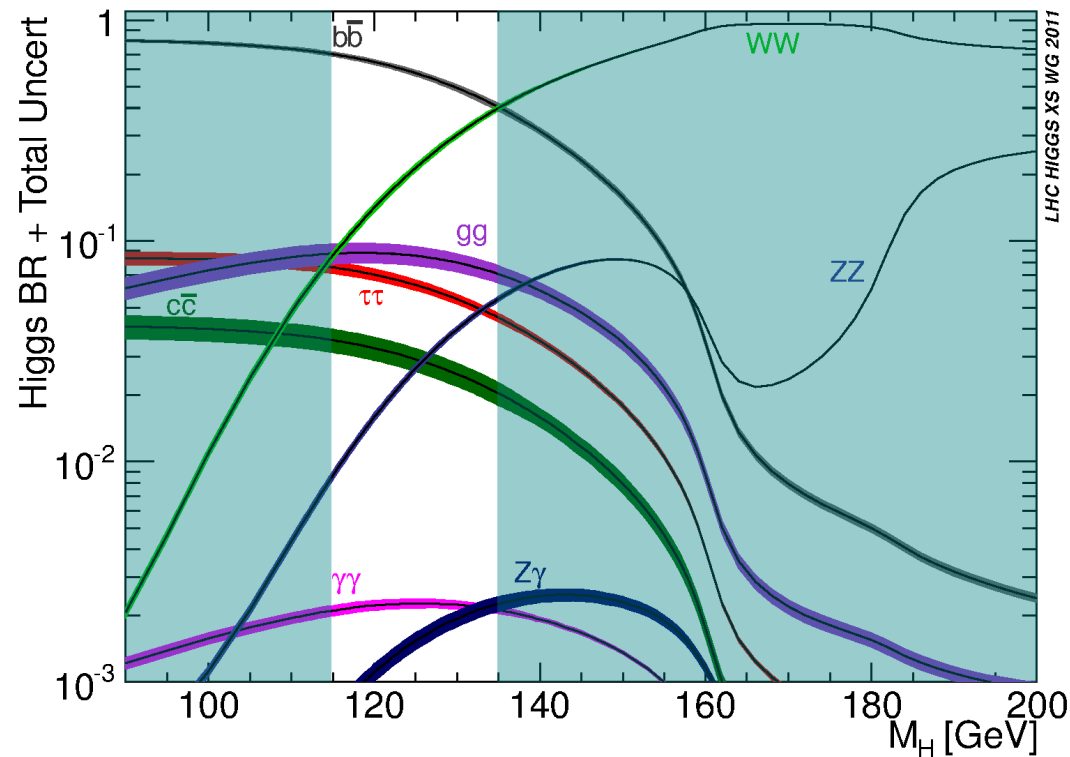


?



Comment s'y prend-on ?

- Collision de protons $\rightarrow (E = mc^2) \rightarrow$ création d'un boson de Higgs, une fois sur 10 milliards
- Ensuite il se désintègre, différemment suivant sa masse. Exemple à 125 GeV :
 - ▶ 58 fois sur 100 en $b\bar{b}$
 - ▶ 21 fois sur 100 en WW
 - ▶ 3 fois sur 100 en ZZ
 - ▶ 2 fois sur 1000 en $\gamma\gamma$
- Note : le plus fréquent n'est pas forcément le plus facile à observer

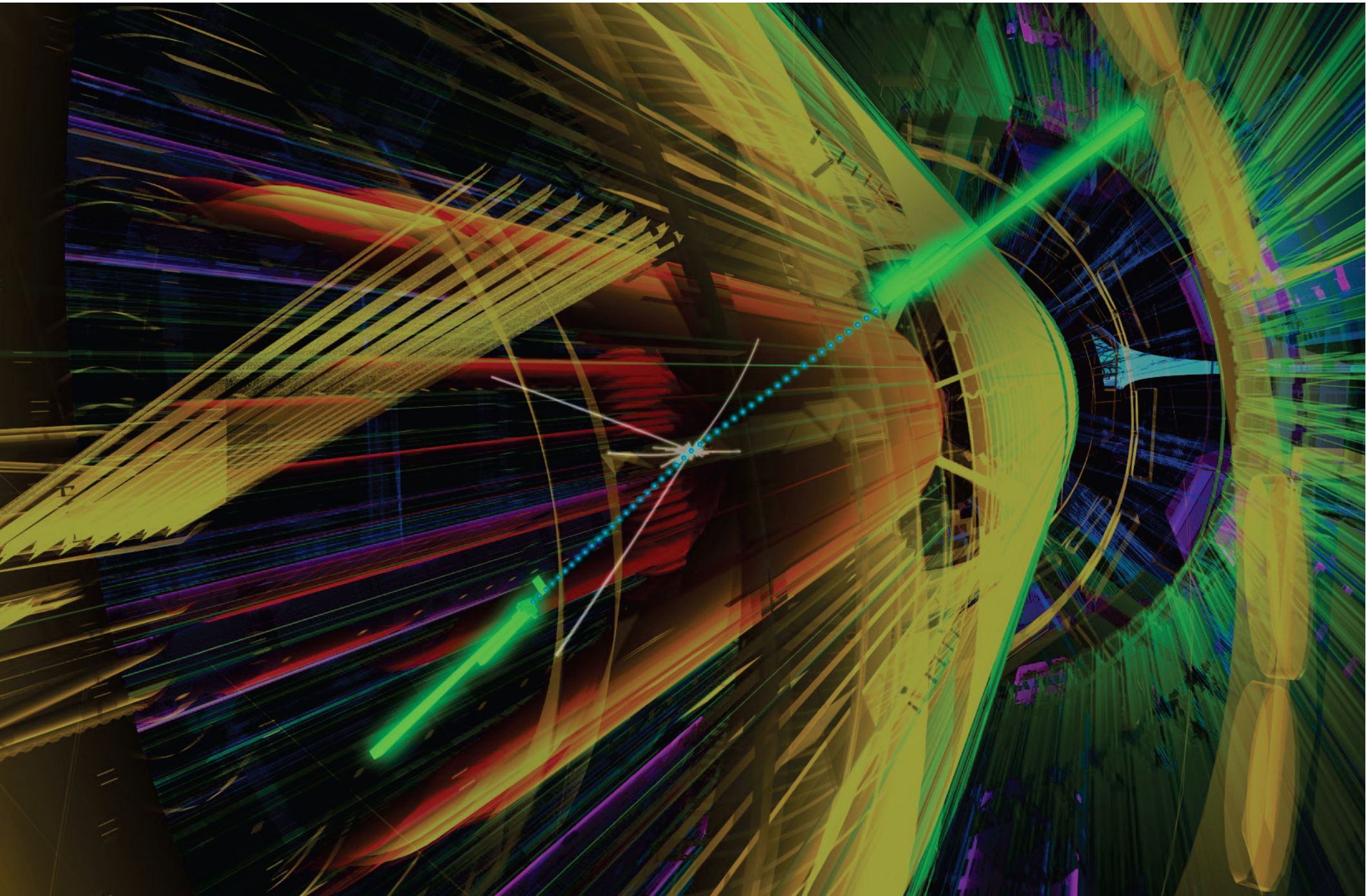


Encore plus dur qu'une aiguille dans une botte de foin

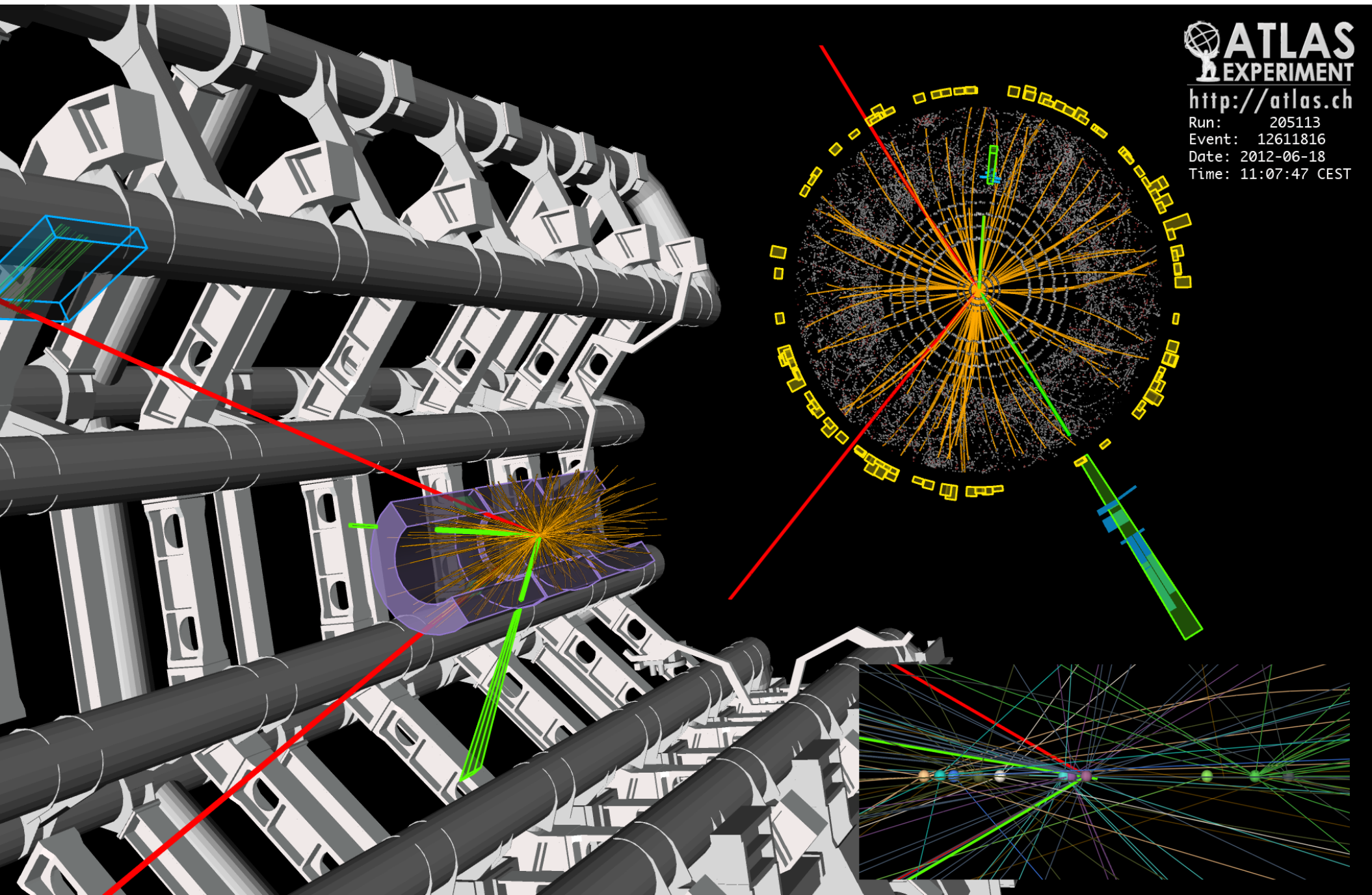
- Le boson de Higgs n'est pas produit très souvent, il faut donc analyser énormément de collisions
- La trace de sa désintégration dans le détecteur peut être imitée par d'autres processus, très difficiles à différencier de ce que l'on cherche
- Une aiguille dans une botte d'aiguilles



Candidat $H \rightarrow \gamma\gamma$



Candidat $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow e e \mu \mu$



ATLAS
EXPERIMENT

<http://atlas.ch>

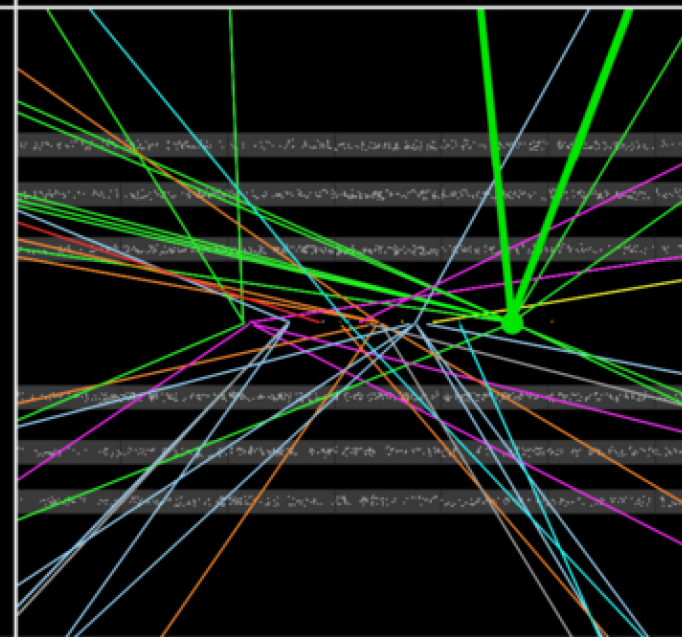
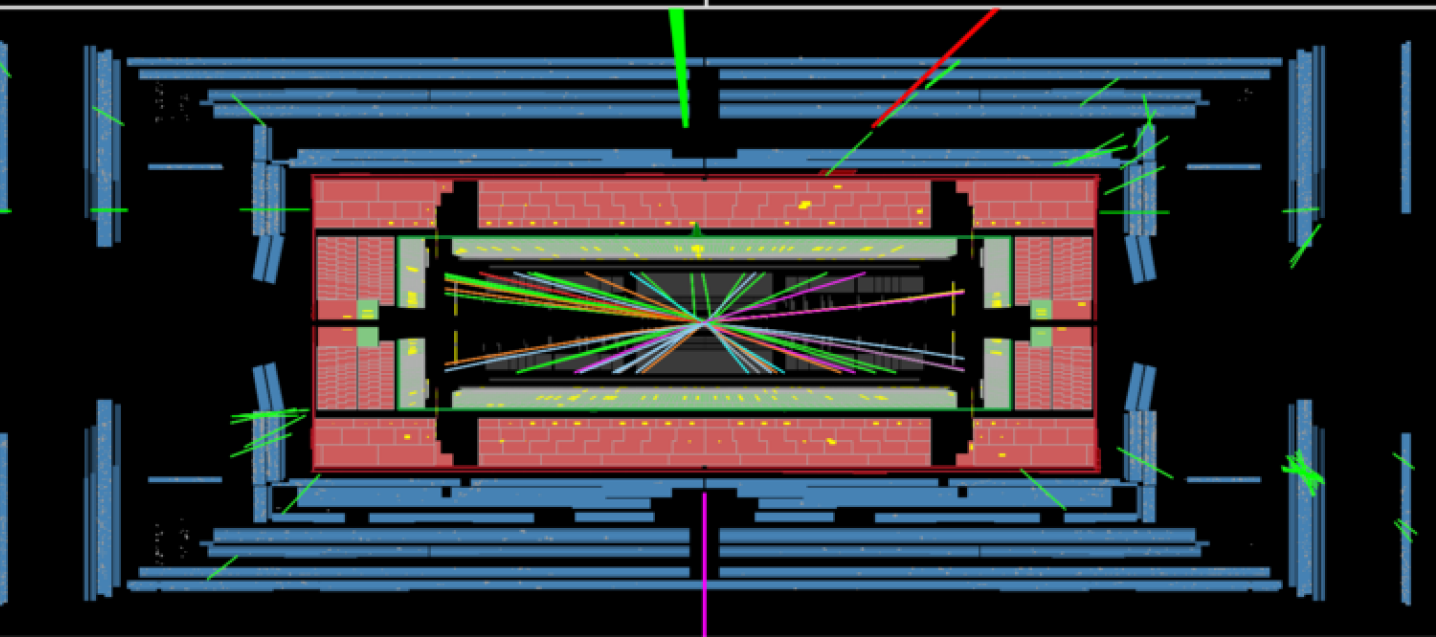
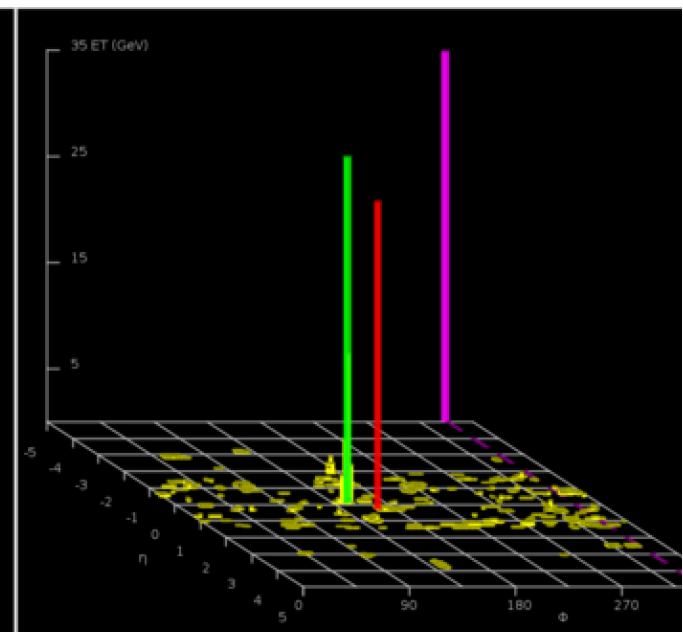
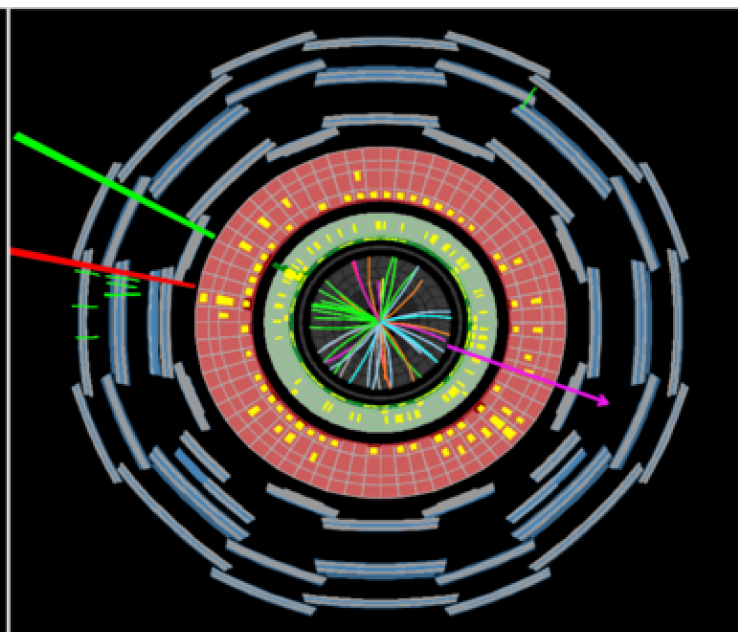
Run: 205113
Event: 12611816
Date: 2012-06-18
Time: 11:07:47 CEST

Candidat $H \rightarrow WW \rightarrow e\nu\mu\nu$



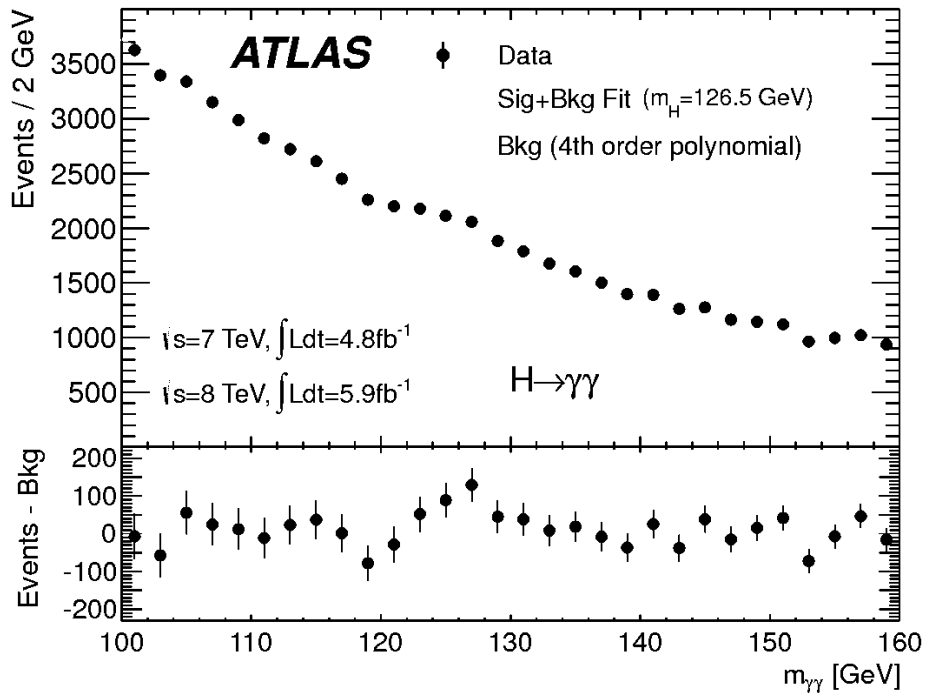
ATLAS
EXPERIMENT

Run Number: 204026, Event Number: 33133446
Date: 2012-05-28 07:23:47 CEST



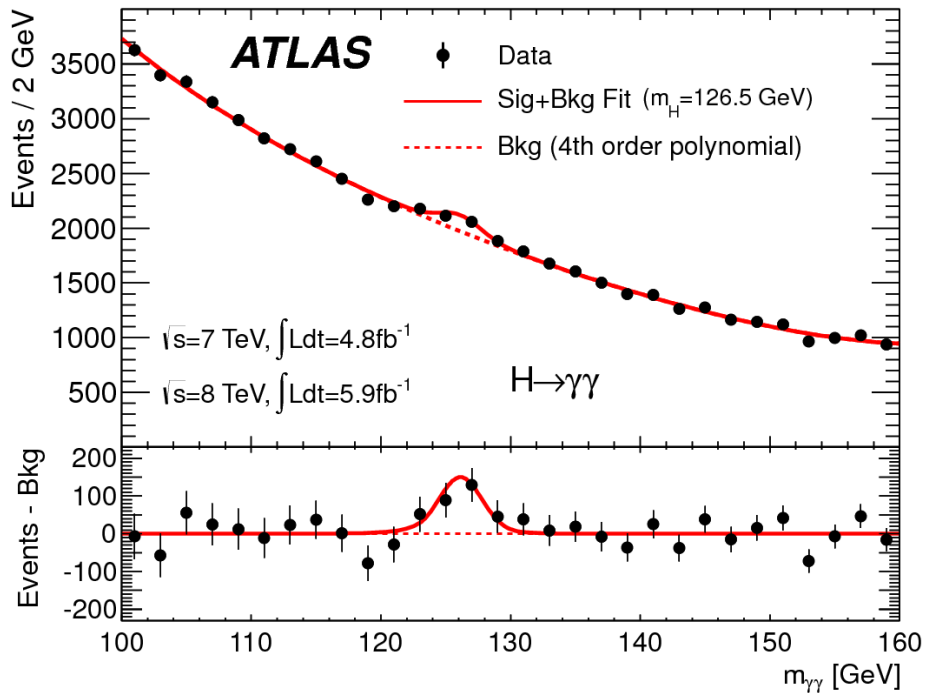
Mesure

- Higgs en 2 photons
 - ▶ Bruit de fond important
 - ▶ Petit pic avec « beaucoup » de signal



Mesure

- Higgs en 2 photons
 - ▶ Bruit de fond important
 - ▶ Petit pic avec « beaucoup » de signal



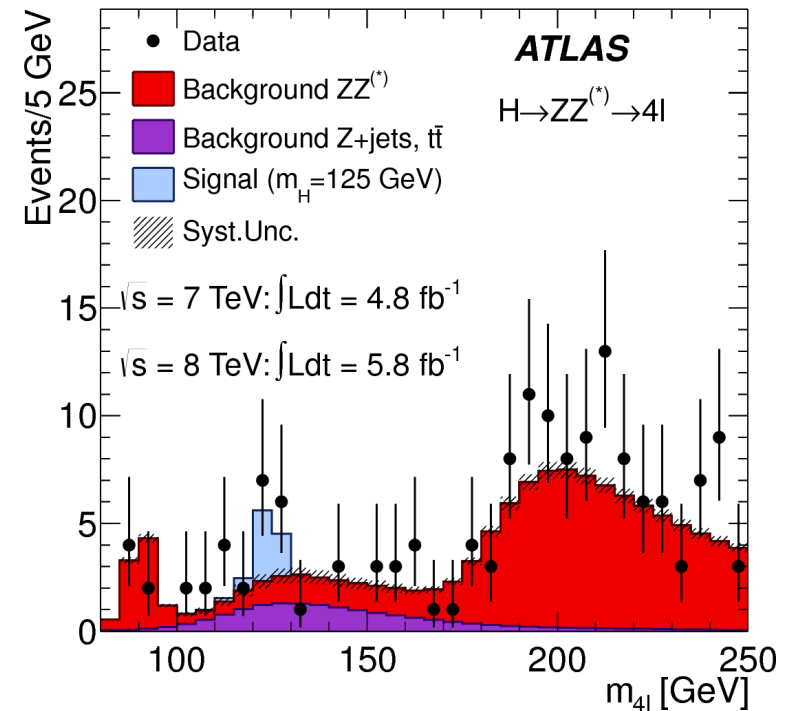
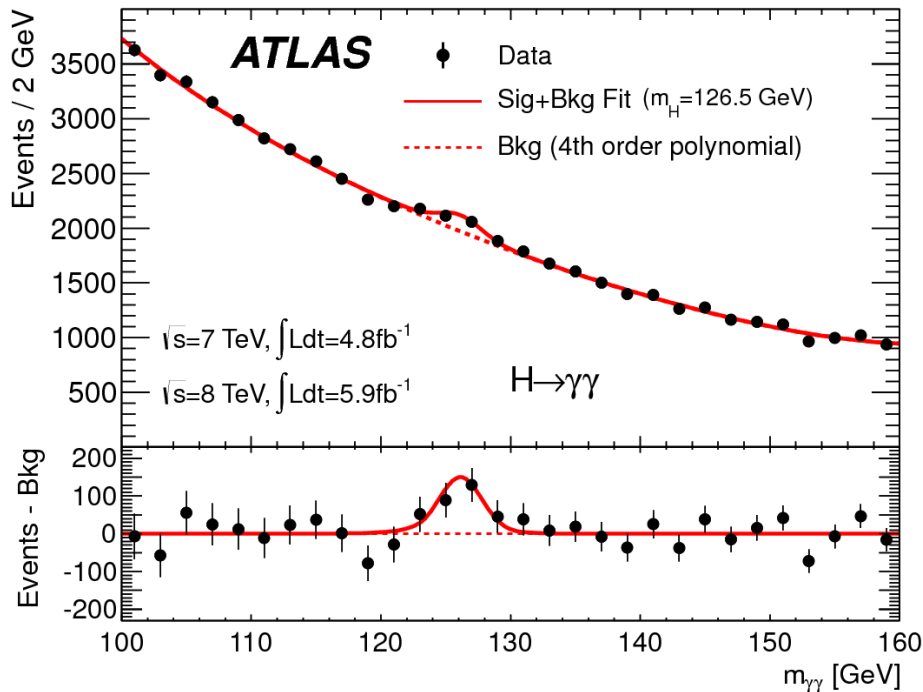
Mesure

- Higgs en 2 photons

- ▶ Bruit de fond important
- ▶ Petit pic avec « beaucoup » de signal

- Higgs en ZZ

- ▶ Très peu de bruit de fond
- ▶ Très peu d'événements



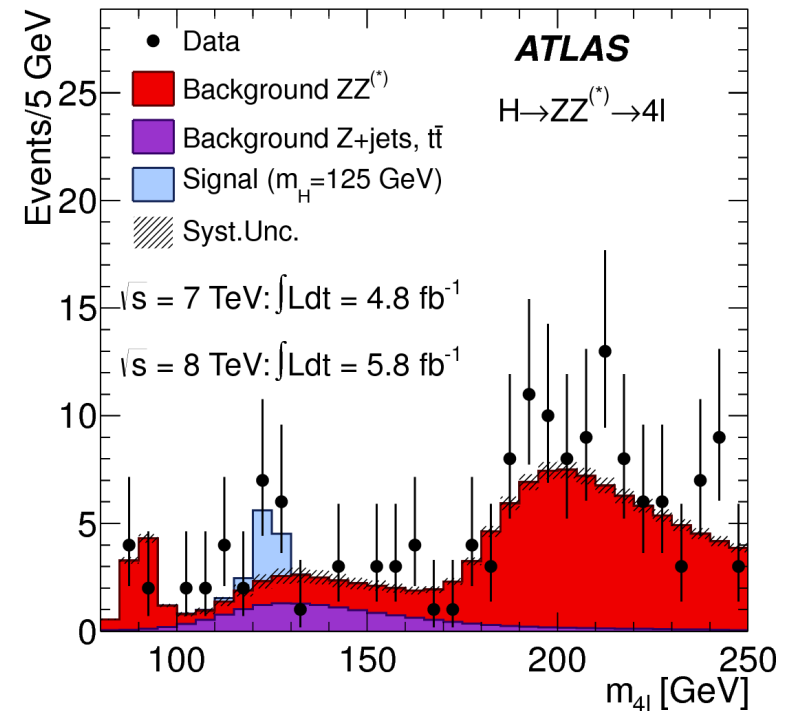
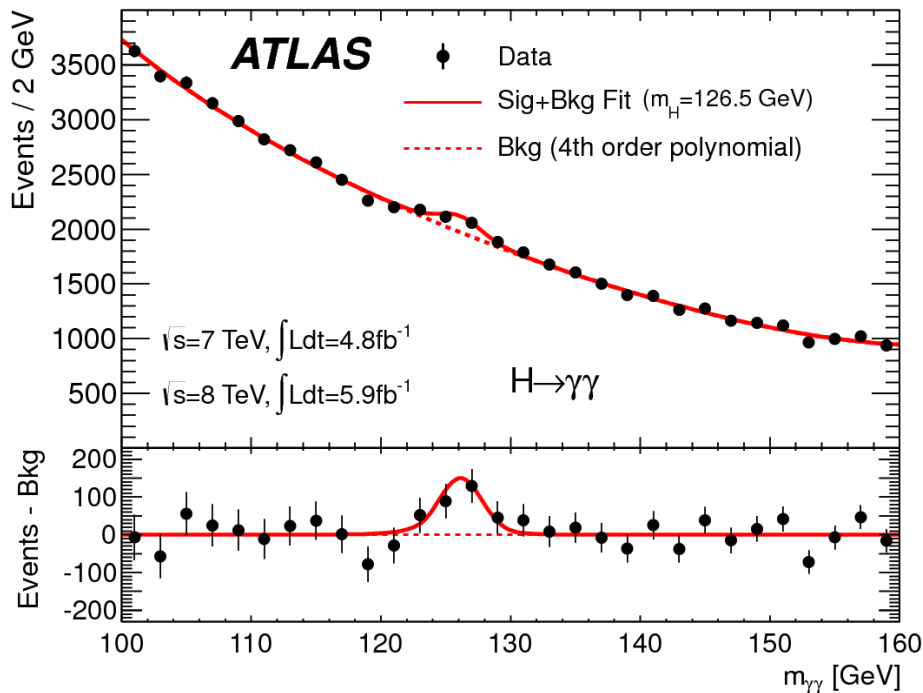
Mesure

- Higgs en 2 photons

- ▶ Bruit de fond important
- ▶ Petit pic avec « beaucoup » de signal

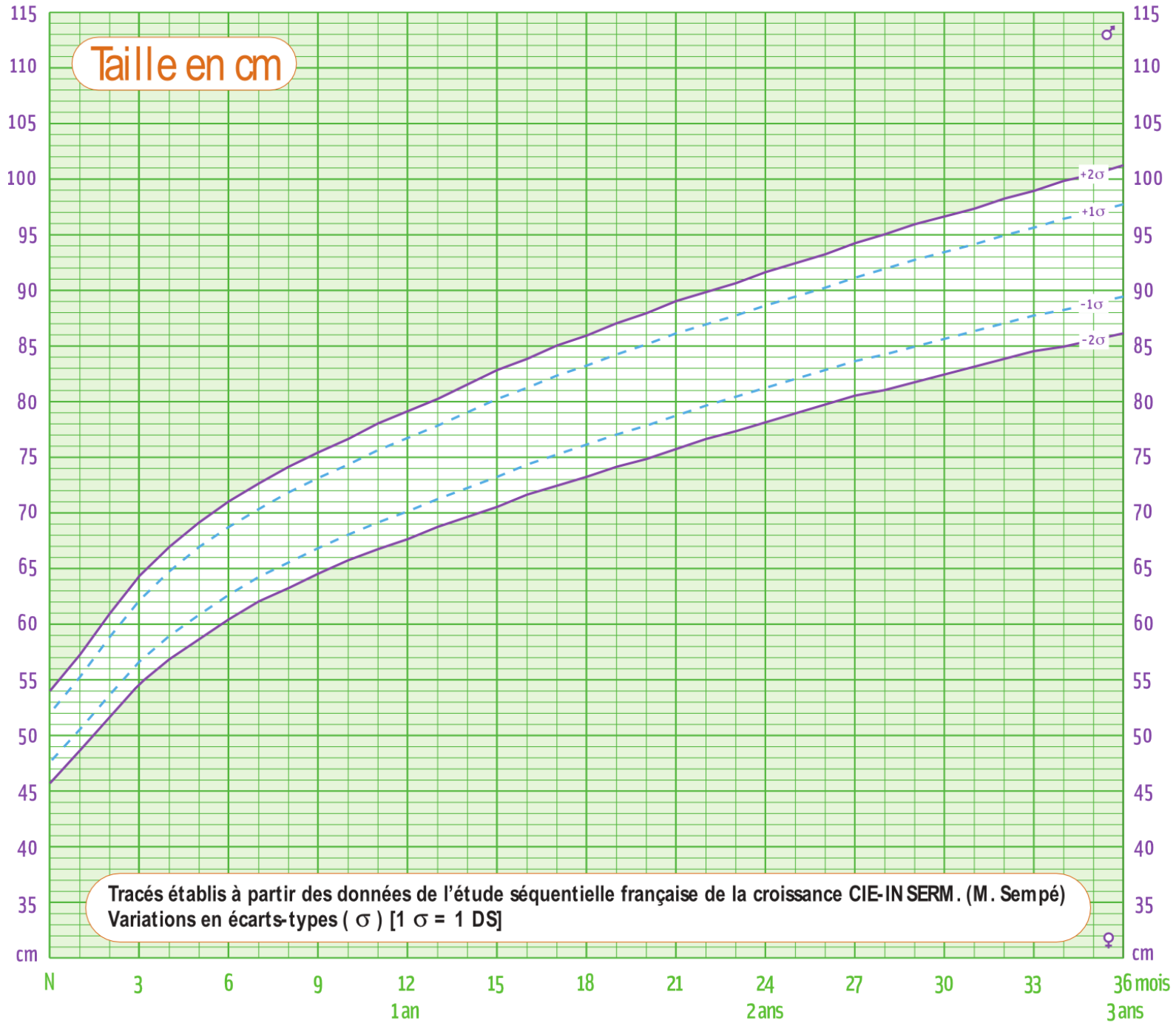
- Higgs en ZZ

- ▶ Très peu de bruit de fond
- ▶ Très peu d'événements

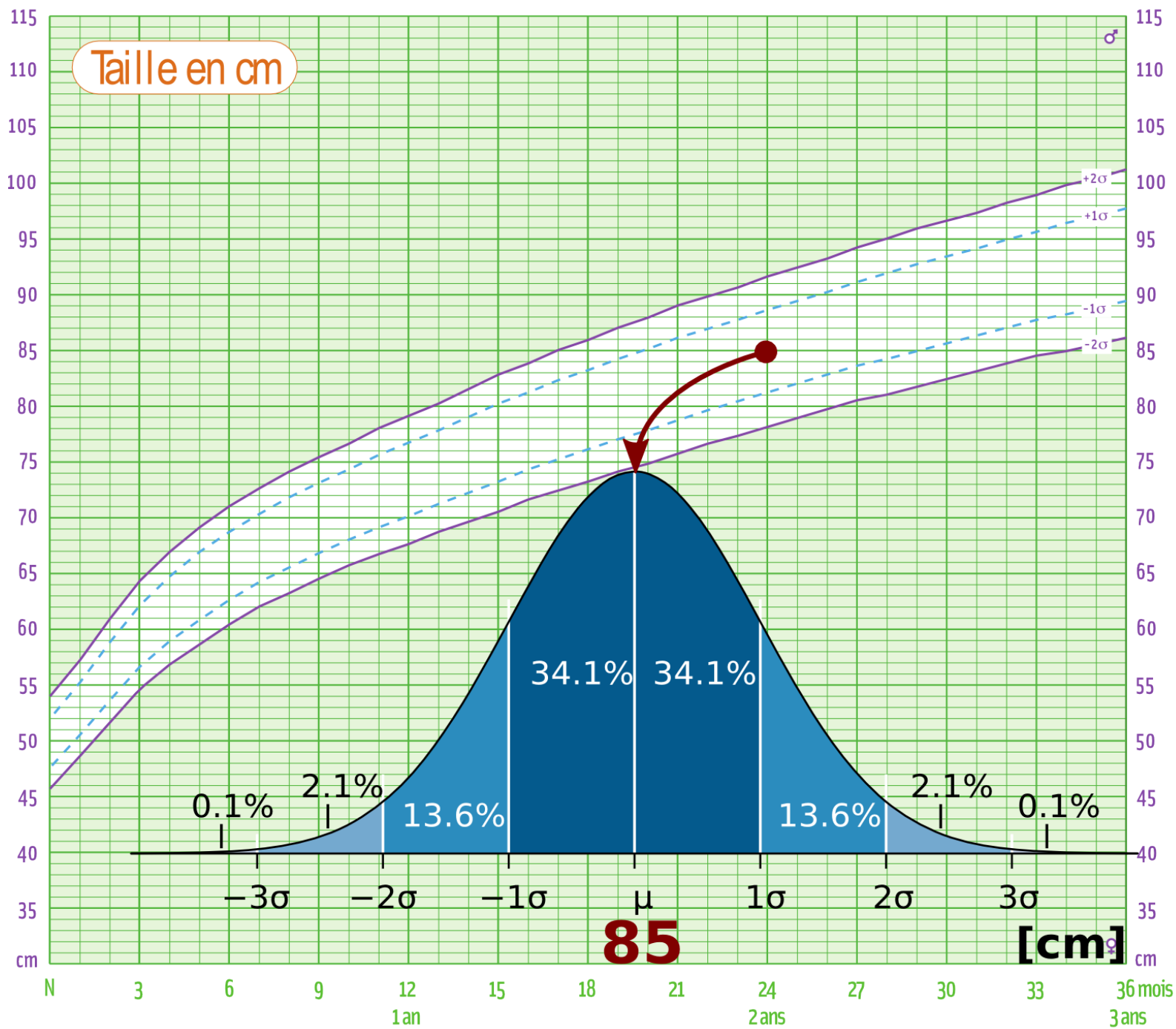


Est-ce que cela est significatif ?
Outils statistiques pour répondre

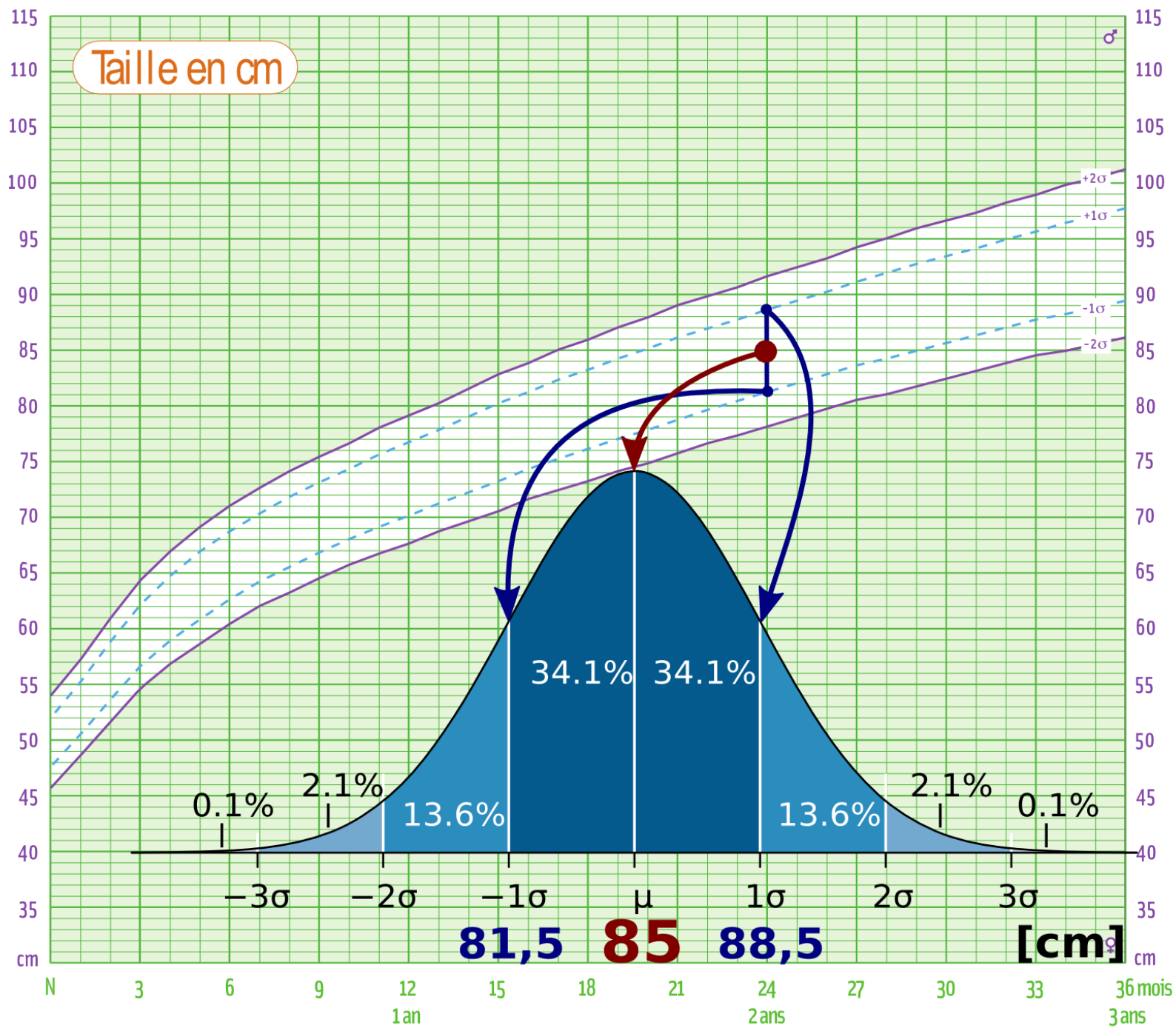
La Gaussienne



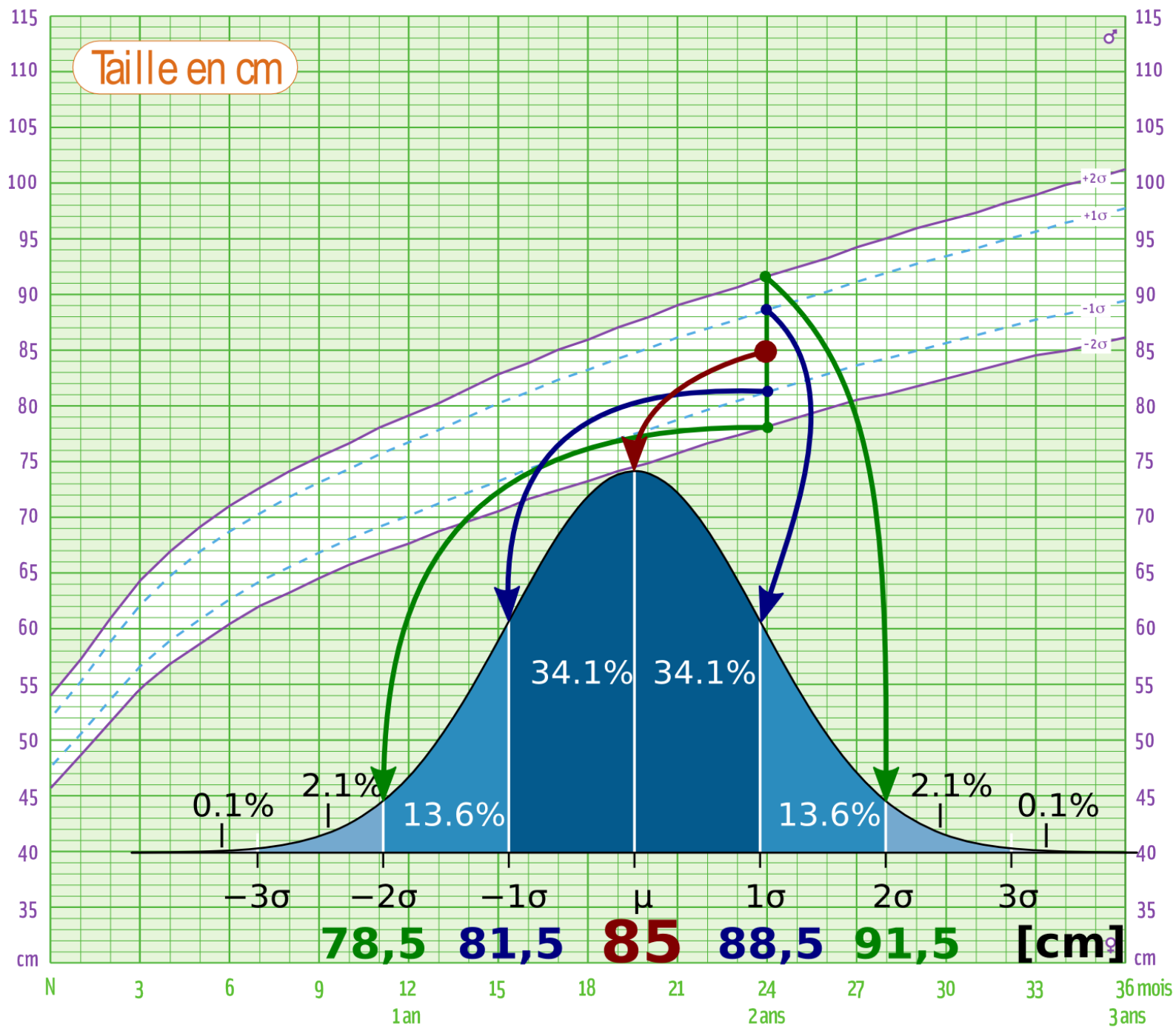
La Gaussienne



La Gaussienne



La Gaussienne

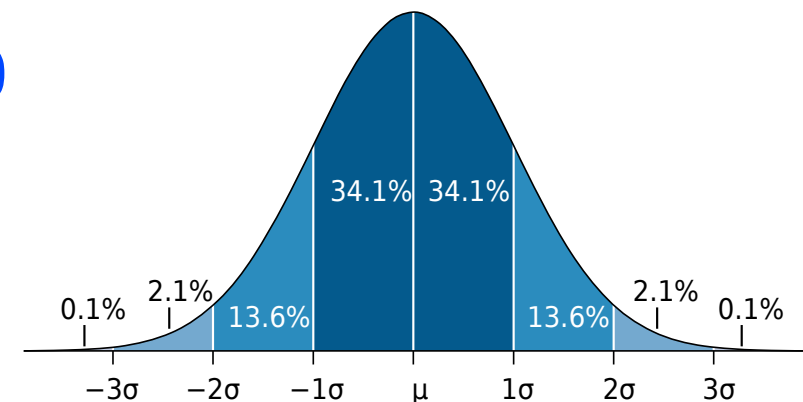
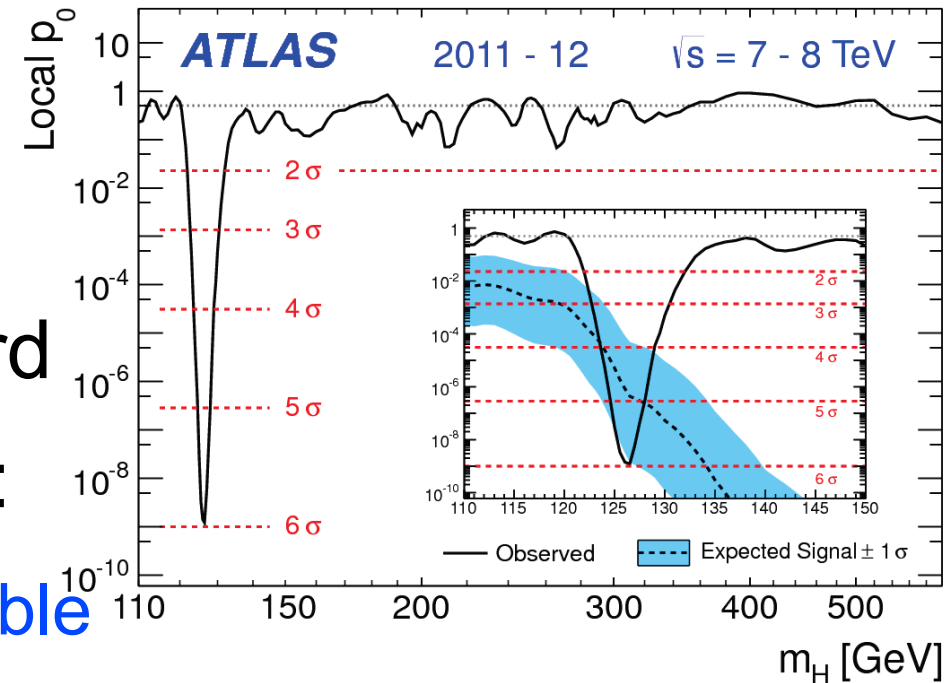


Résultat sur le Higgs : est-ce significatif statistiquement ?

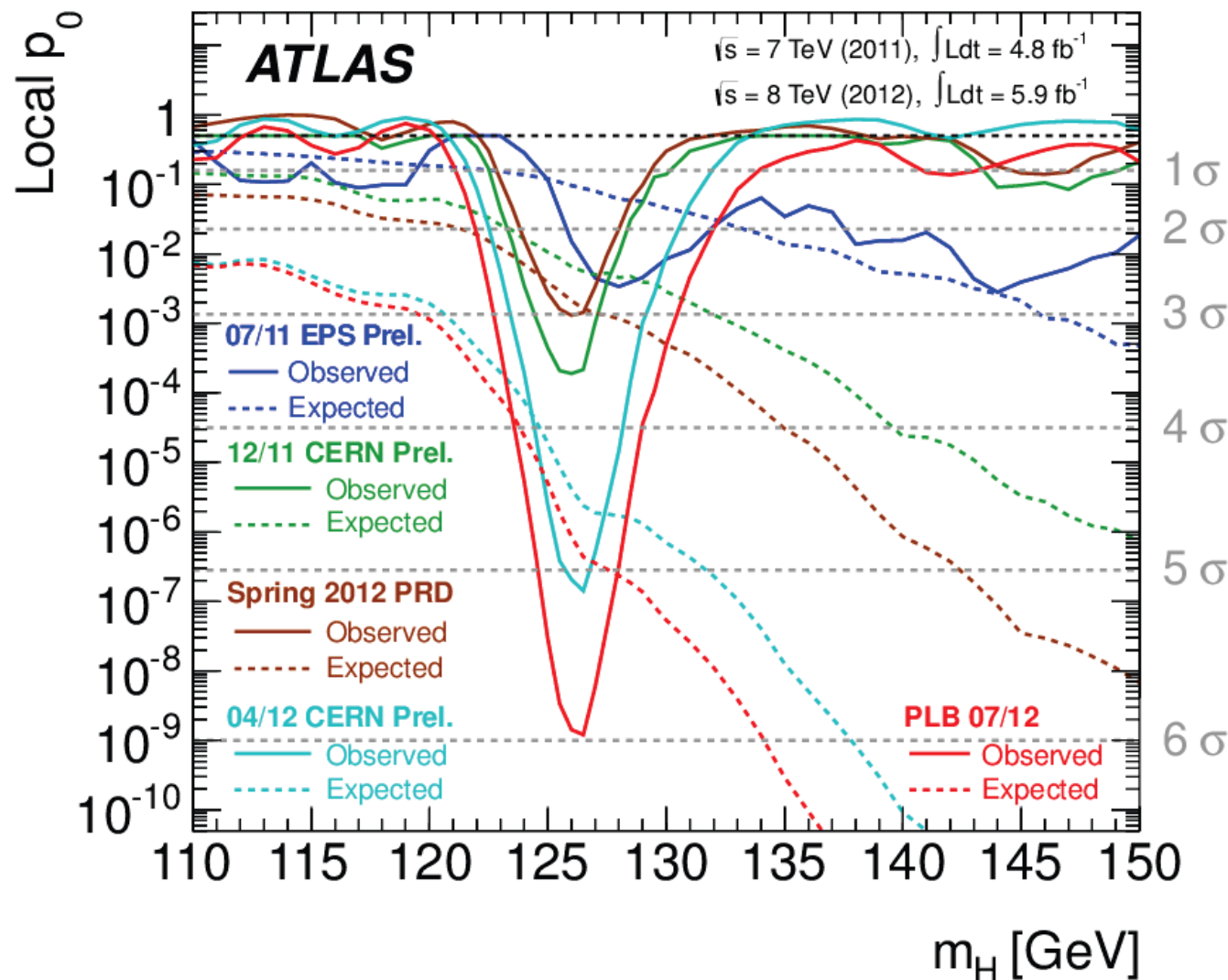
- p-value p_0 : mesure la probabilité que des événements du bruit de fond produisent quelque chose qui ressemble autant au signal recherché par hasard
- Quantifié en nombre de « σ » :

- ▶ 1σ : 1 chance sur 3 (trop probable pour conclure quoi que ce soit)
- ▶ 3σ (évidence) : 3 chances sur 1000
- ▶ 5σ (observation) : 1 chance sur 2 millions
- ▶ $5,9\sigma$: 3 chances sur 1 milliard

- Donc nous sommes sûrs d'avoir trouvé quelque chose

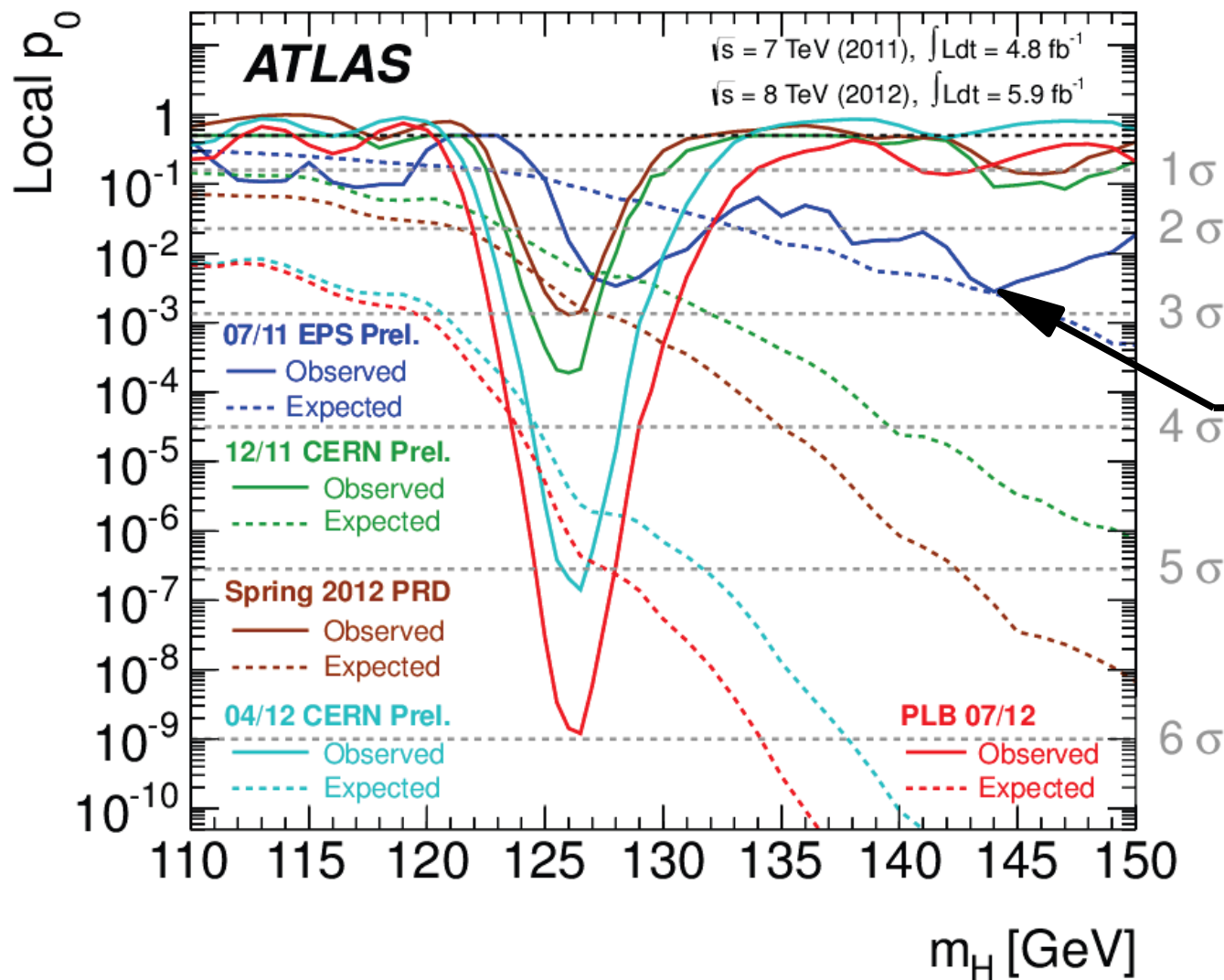


Évolution dans le temps (jusqu'à la découverte)



- D'abord des fluctuations statistiques un peu partout
- Puis les mesures se stabilisent

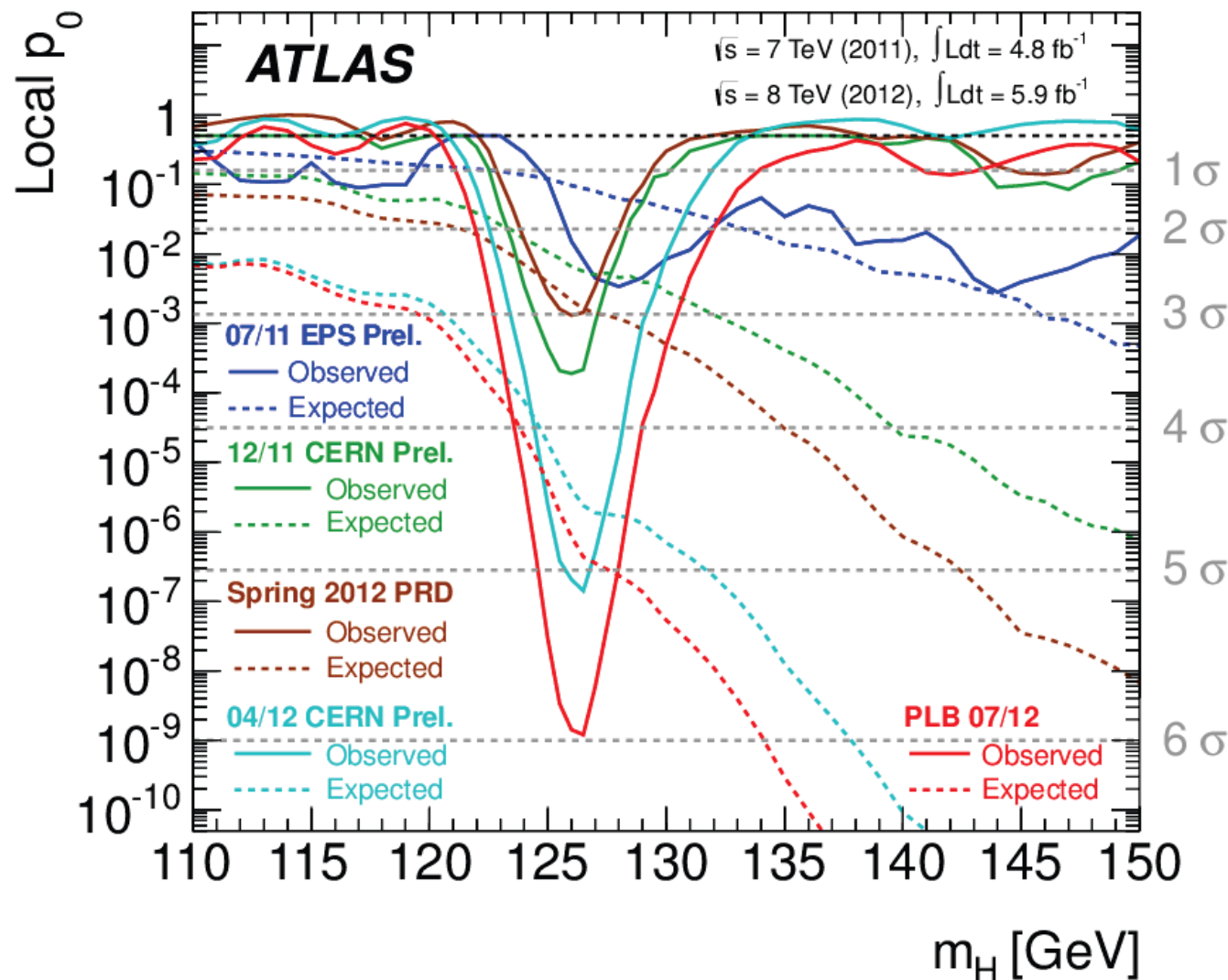
Évolution dans le temps (jusqu'à la découverte)



Généra beaucoup d'excitation chez les théoriciens !

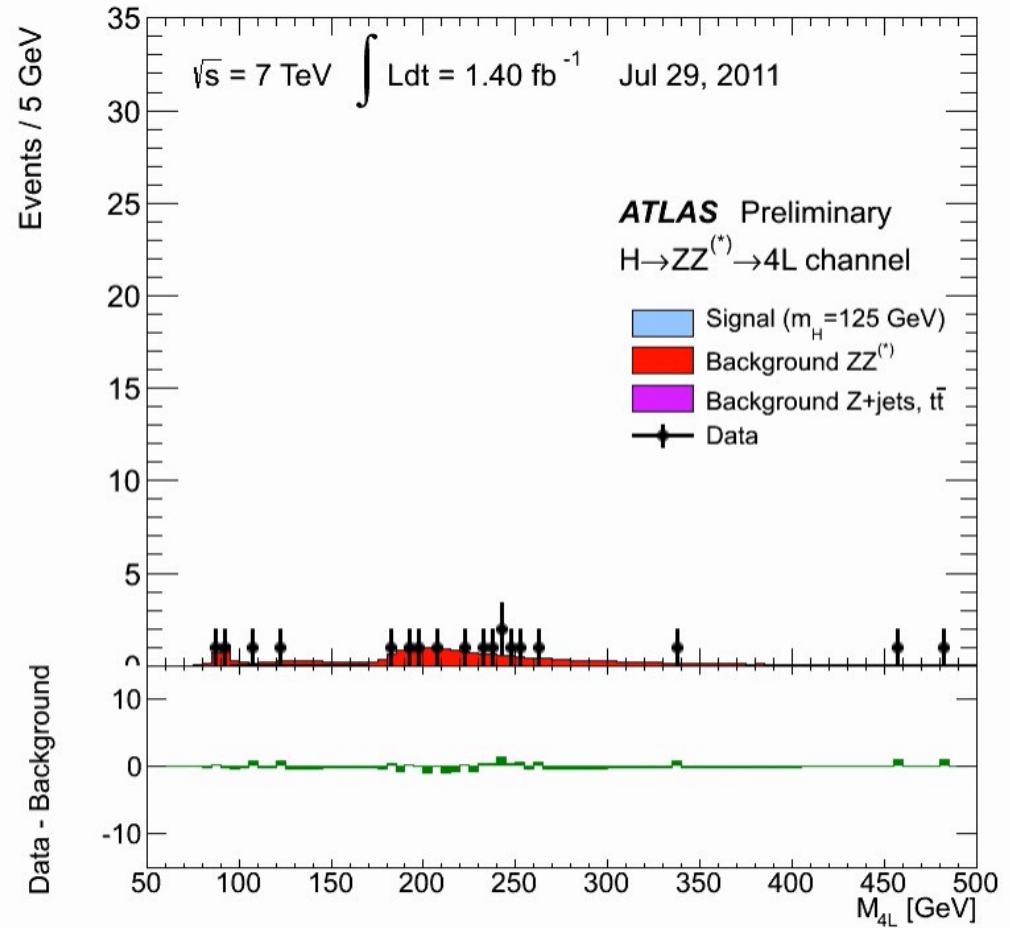
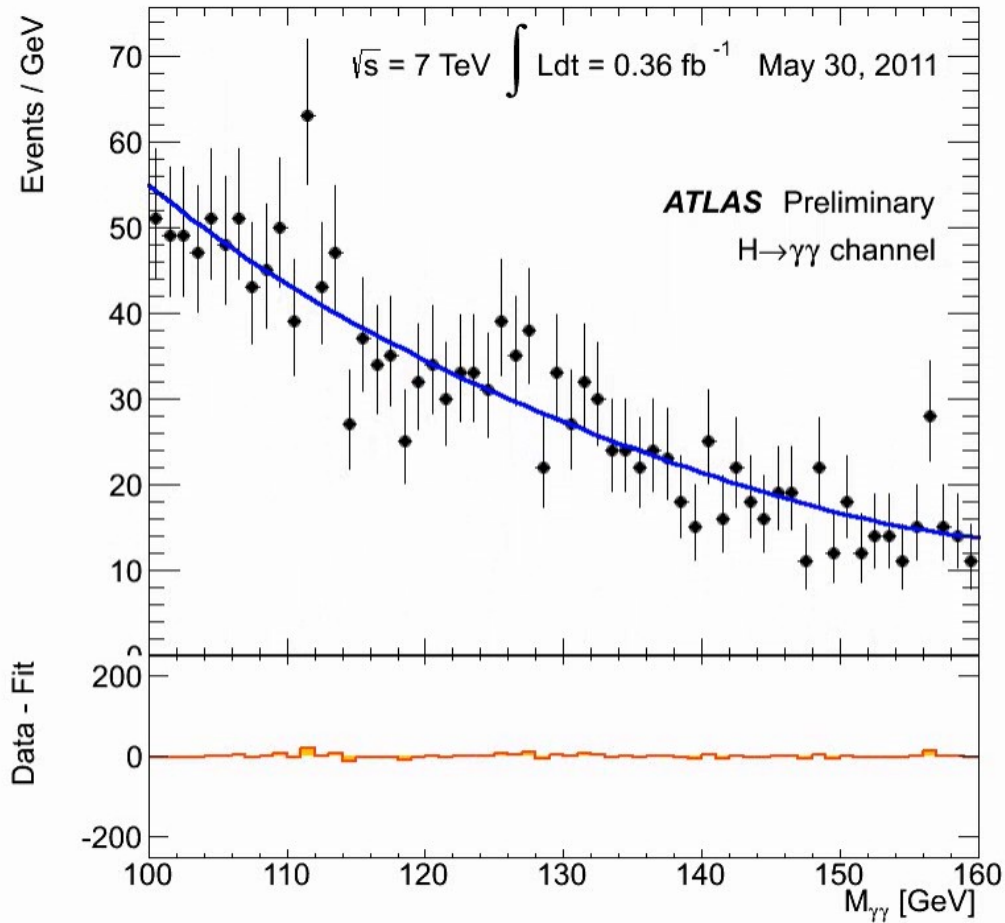
- D'abord des fluctuations statistiques un peu partout
- Puis les mesures se stabilisent

Évolution dans le temps (jusqu'à la découverte)



- D'abord des fluctuations statistiques un peu partout
- Puis les mesures se stabilisent

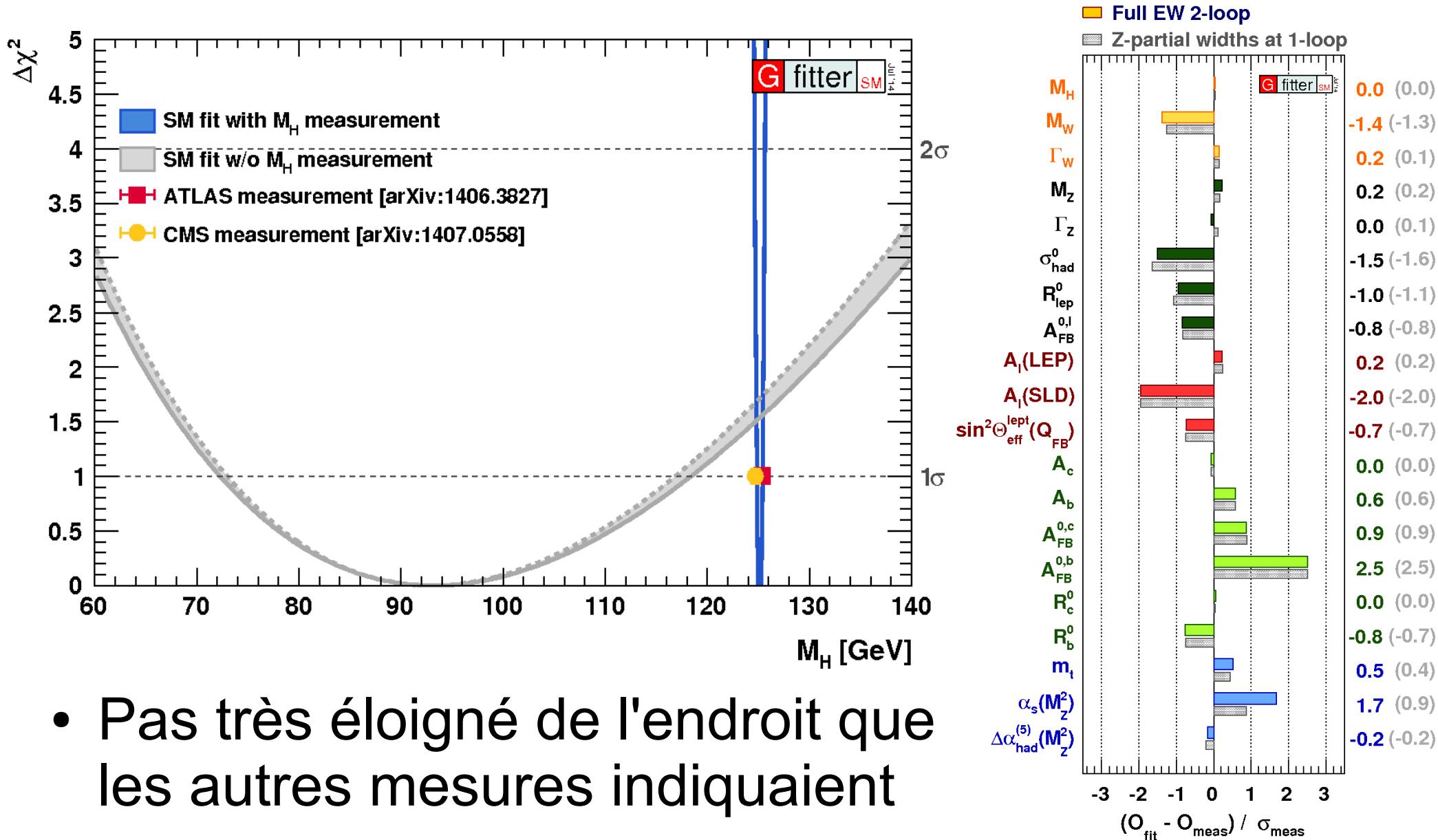
Évolution dans le temps (jusqu'à fin 2012)



$H \rightarrow \gamma\gamma$

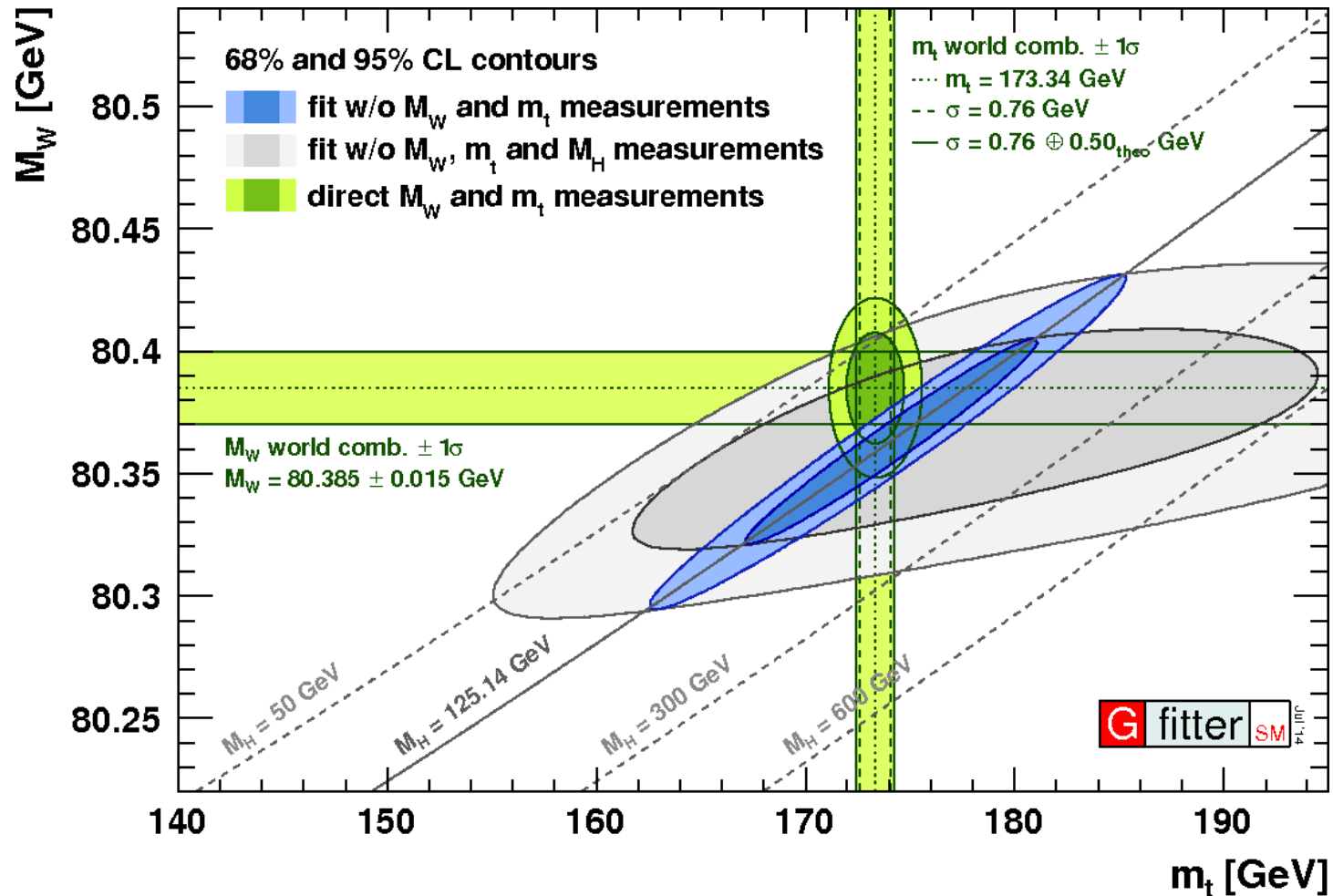
$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$

Consistent avec les autres mesures du modèle standard ?



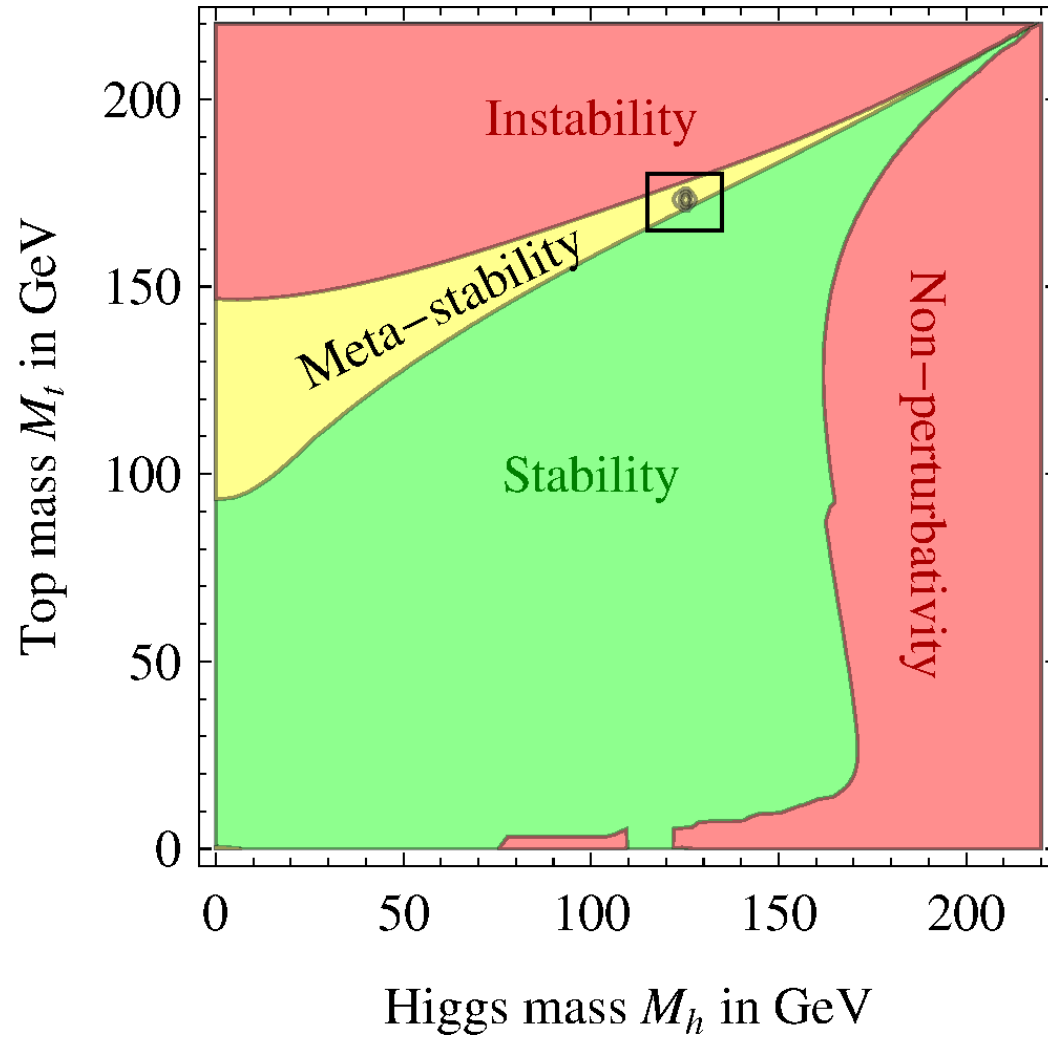
- Pas très éloigné de l'endroit que les autres mesures indiquaient
- Pas de « tension » avec le modèle standard

Consistent avec les autres mesures du modèle standard ?

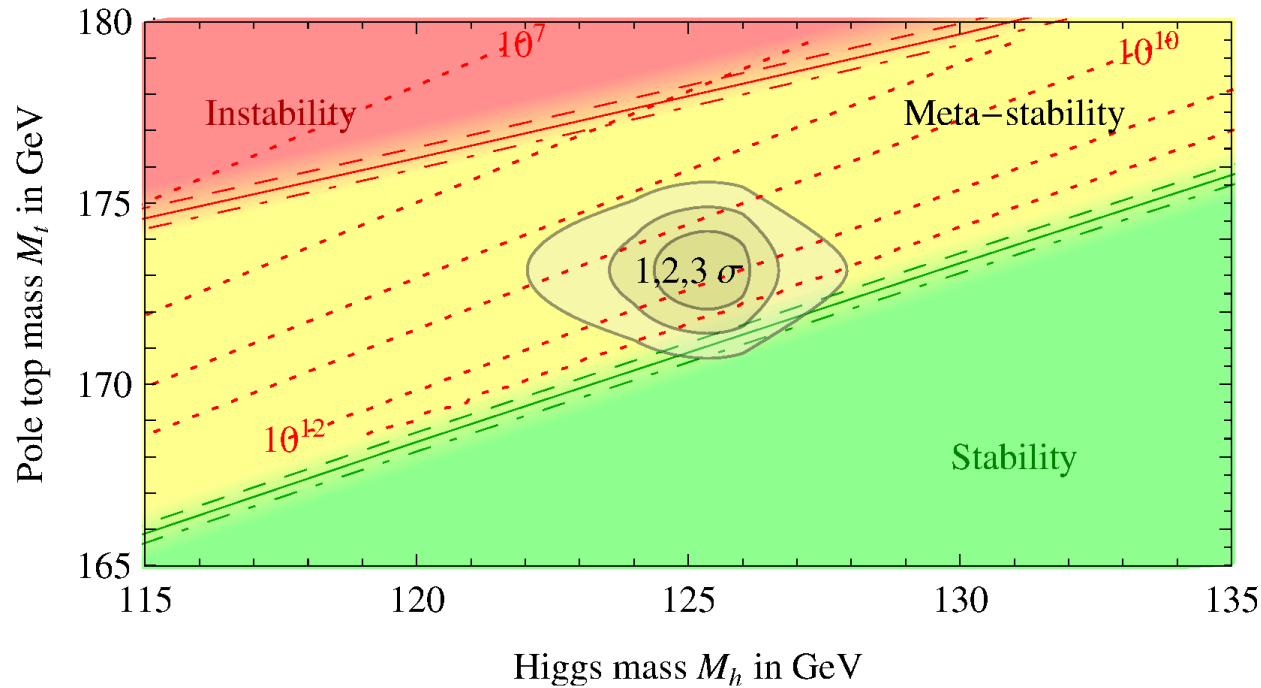


- Pas très éloigné de l'endroit que les autres mesures indiquaient
- Pas de « tension » avec le modèle standard

Un univers instable ?



Un univers instable ?

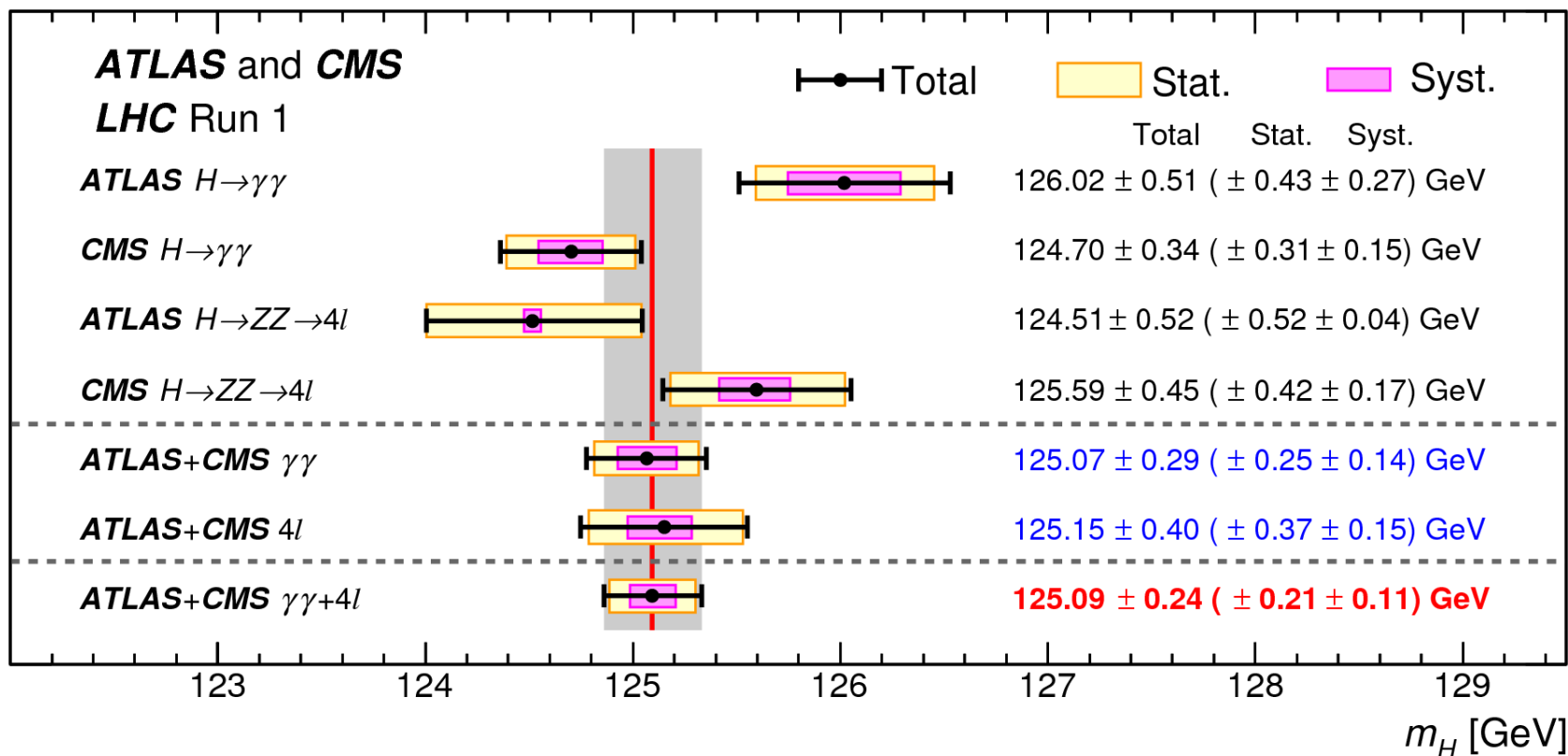


- Plutôt méta-stable, stable à l'échelle de l'âge de l'Univers.
Ouf !
- Besoin d'améliorer la précision de m_t pour en savoir plus

Est-ce le Higgs du modèle standard ?

- Masse compatible avec les autres mesures du modèle standard :

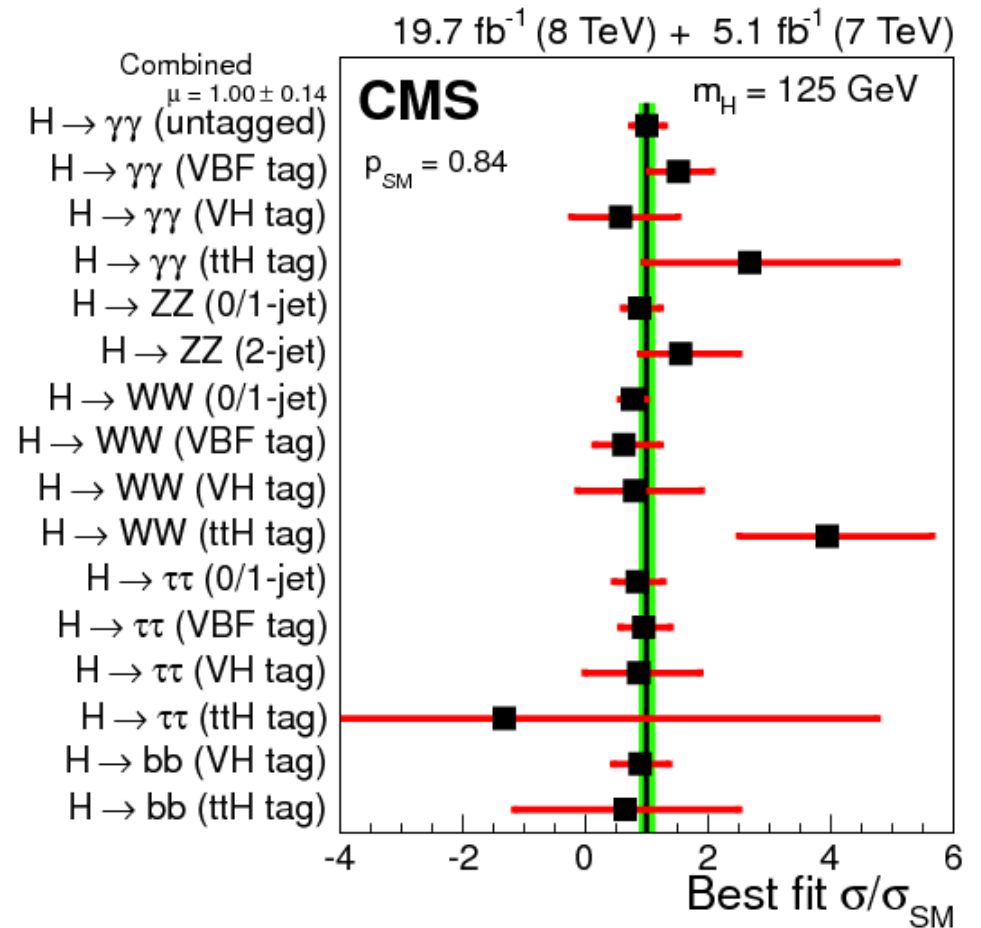
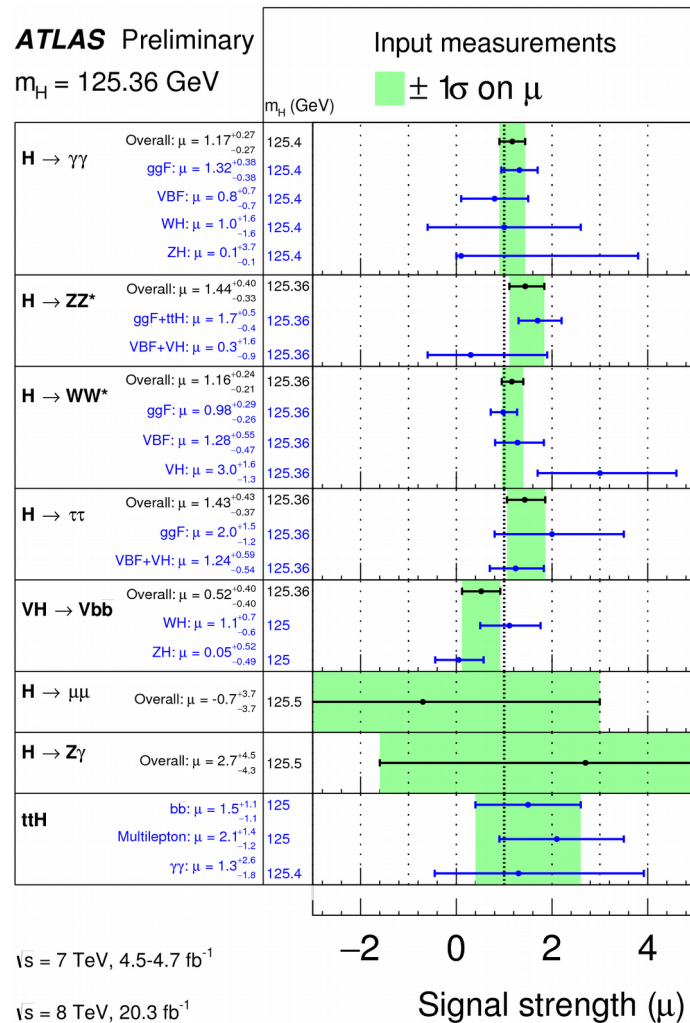
- ▶ $m_H = 125.09 \pm 0.24$ (0.21 stat. \pm 0.11 syst.) GeV
 [ATLAS+CMS, mars 2015, données 2011-2012]
 (134 fois la masse du proton)



Est-ce le Higgs du modèle standard ?

- Masse compatible avec les autres mesures du modèle standard :
 - ▶ $m_H = 125.09 \pm 0.24$ (0.21 stat. \pm 0.11 syst.) GeV
[ATLAS+CMS, mars 2015, données 2011-2012]
(134 fois la masse du proton)
- La signification statistique a continué d'augmenter
- Mesures dans d'autres canaux de désintégration
- Nouveaux résultats d'ATLAS et CMS toujours consistants
- Mesure des propriétés :
 - ▶ Canaux divers, modes de production, couplages, spin...
 - ▶ Confirmation du modèle standard...

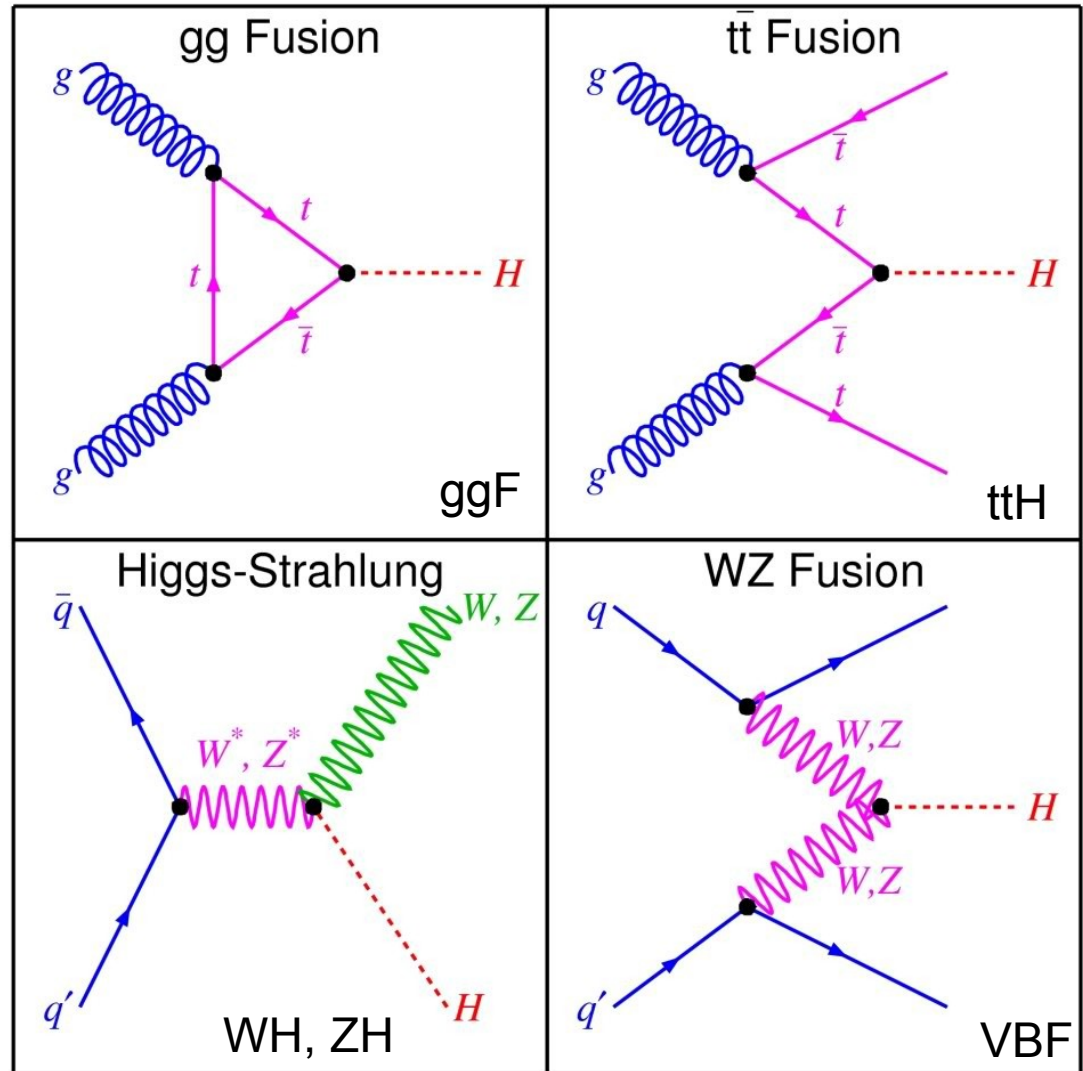
Mesures dans plusieurs canaux



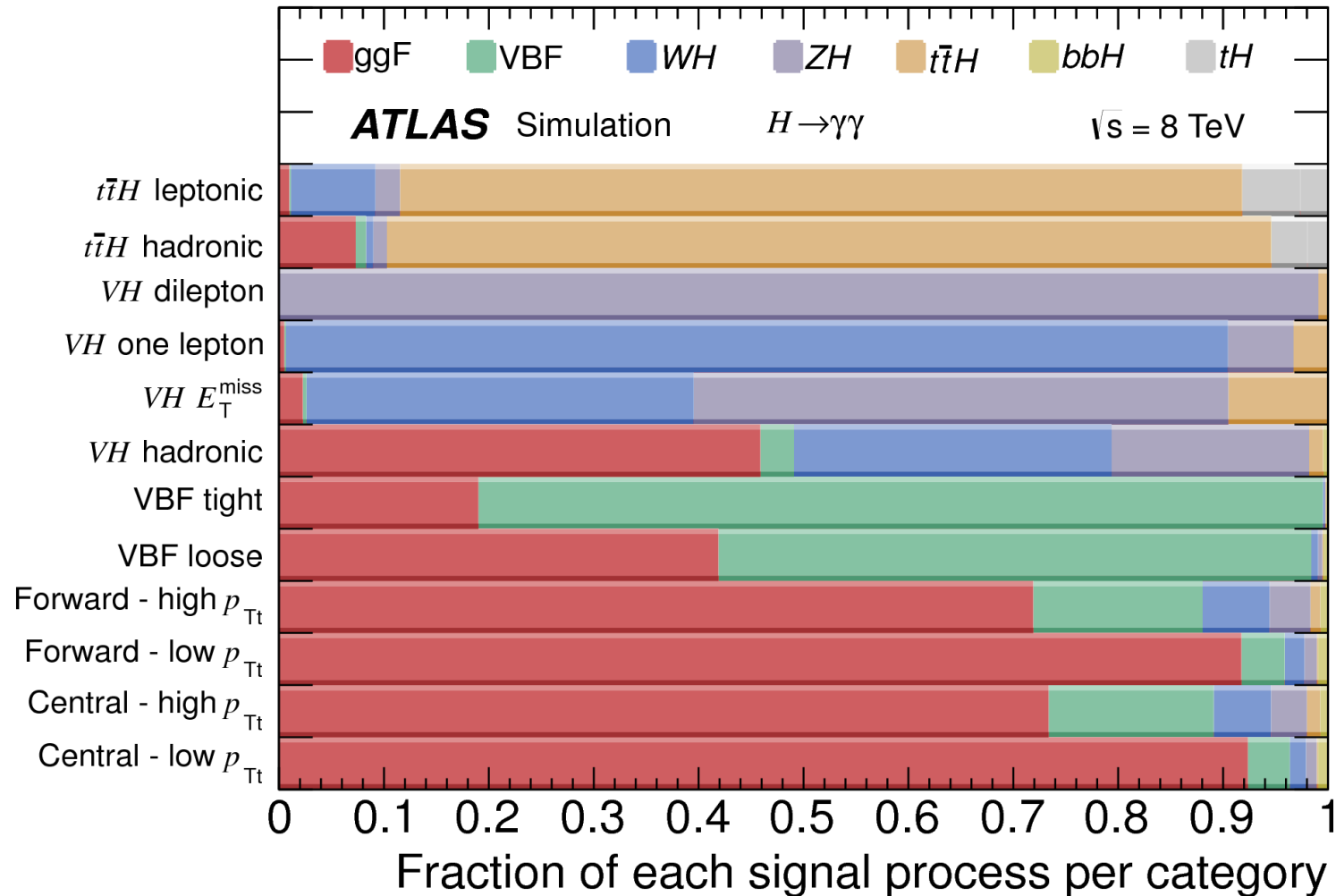
- $\mu = \sigma/\sigma_{SM} = 1$ si la particule est comme le boson de Higgs du modèle standard
- Pour le moment très proche des prédictions

Production du boson de Higgs

- Différents modes de production
- Si c'est le Higgs du modèle standard, on connaît les différentes proportions
- Il ne reste plus qu'à les séparer expérimentalement
- Plus facile à dire qu'à faire...

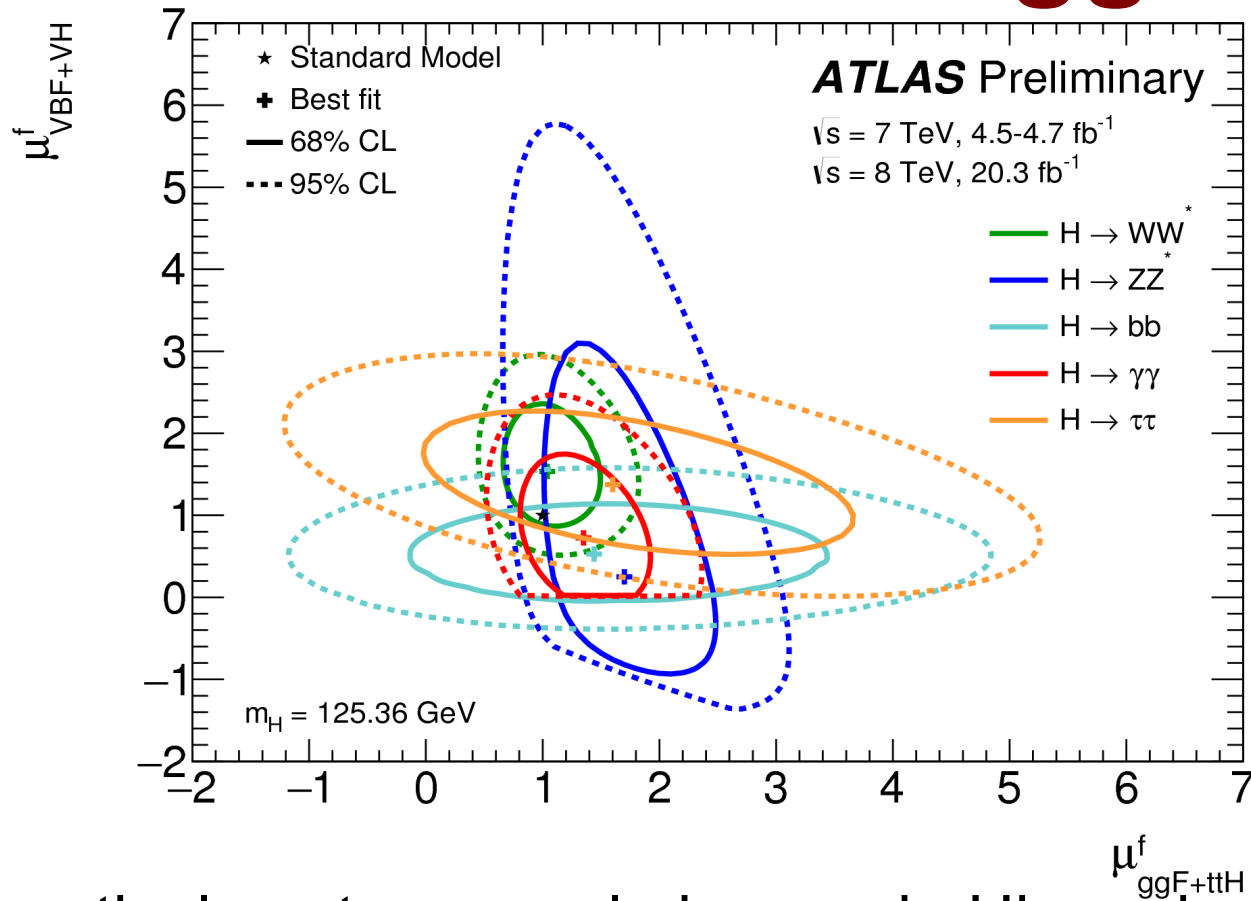


Séparation des canaux de production



- En optimisant les analyses, on peut cibler un mode de production
- Jamais 100 % pur, mais permet de faire des mesures intéressantes

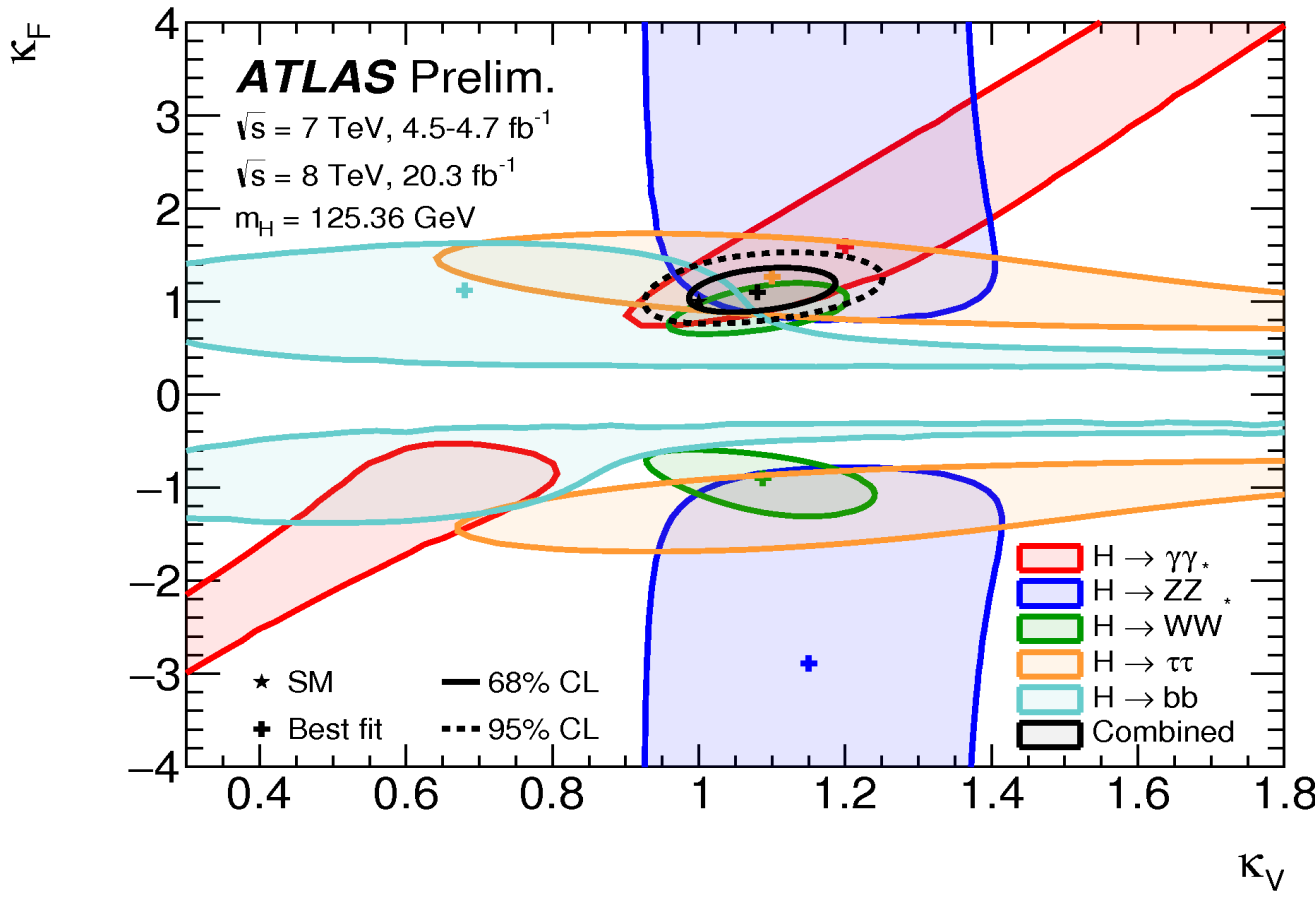
Plutôt « VBF » ou « ggF » ?



- $\mu = 1$ si la particule est comme le boson de Higgs du modèle standard
- Tous les canaux sont compatibles entre eux et avec le modèle standard
- Évidence pour $\text{VBF} \neq 0 \rightarrow$ ce boson joue un rôle dans la brisure de symétrie électrofaible

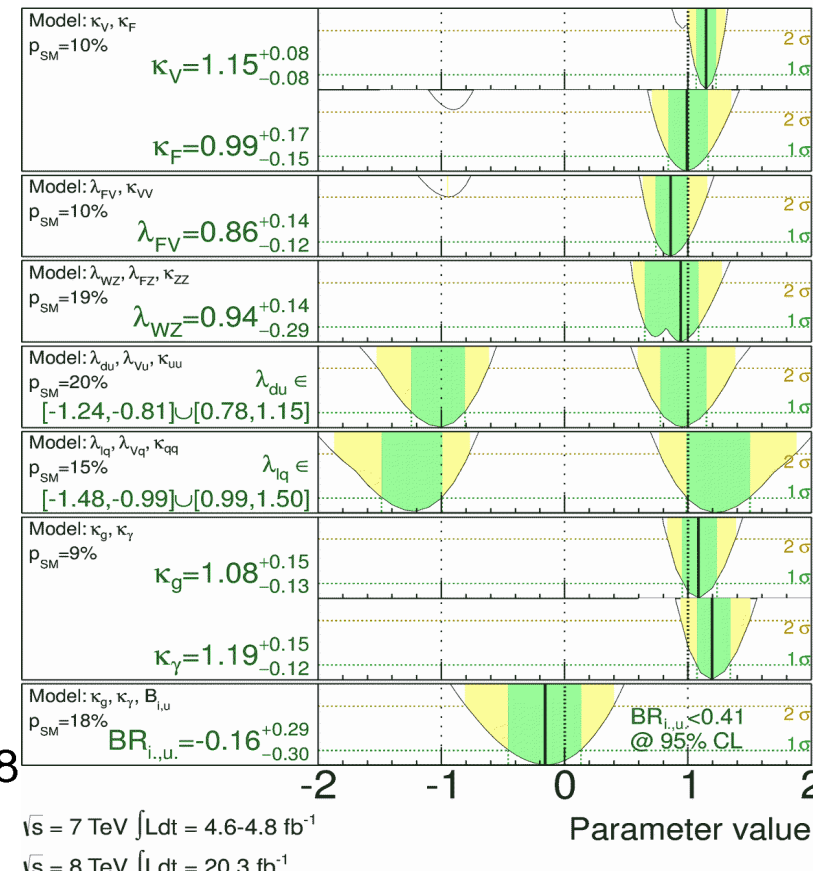
Couplage aux fermions et bosons

- Trop de paramètres à mesurer simultanément
 - Regrouper et mesurer le rapport à la prédiction du MS, κ
- Si $\kappa = 1$ la particule est comme le boson de Higgs du modèle standard



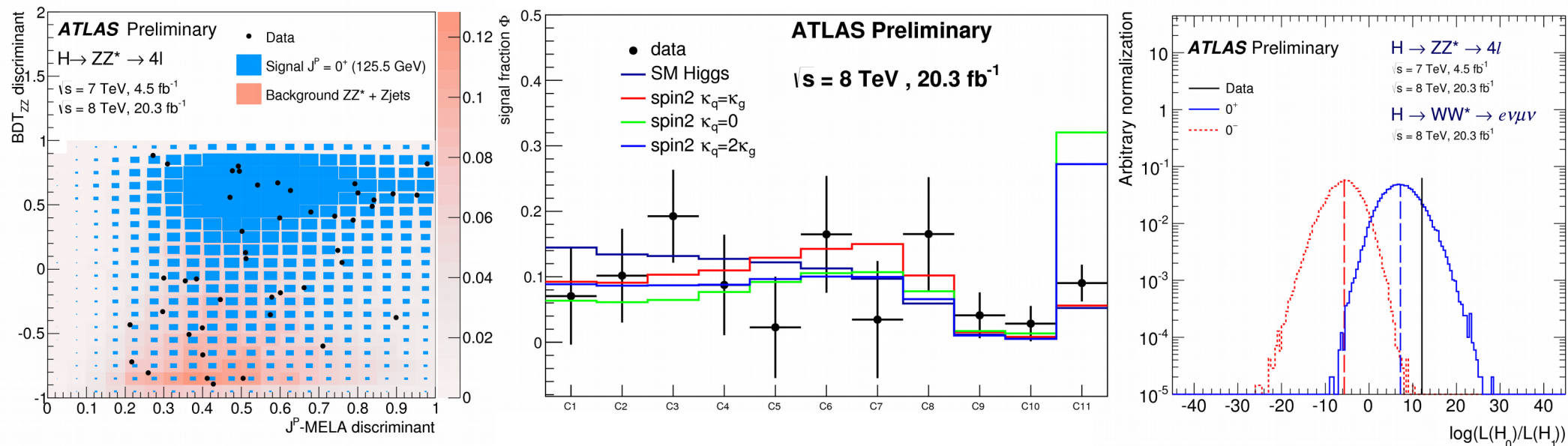
ATLAS Preliminary
 $m_H = 125.5 \text{ GeV}$

Total uncertainty
■ $\pm 1\sigma$ ■ $\pm 2\sigma$

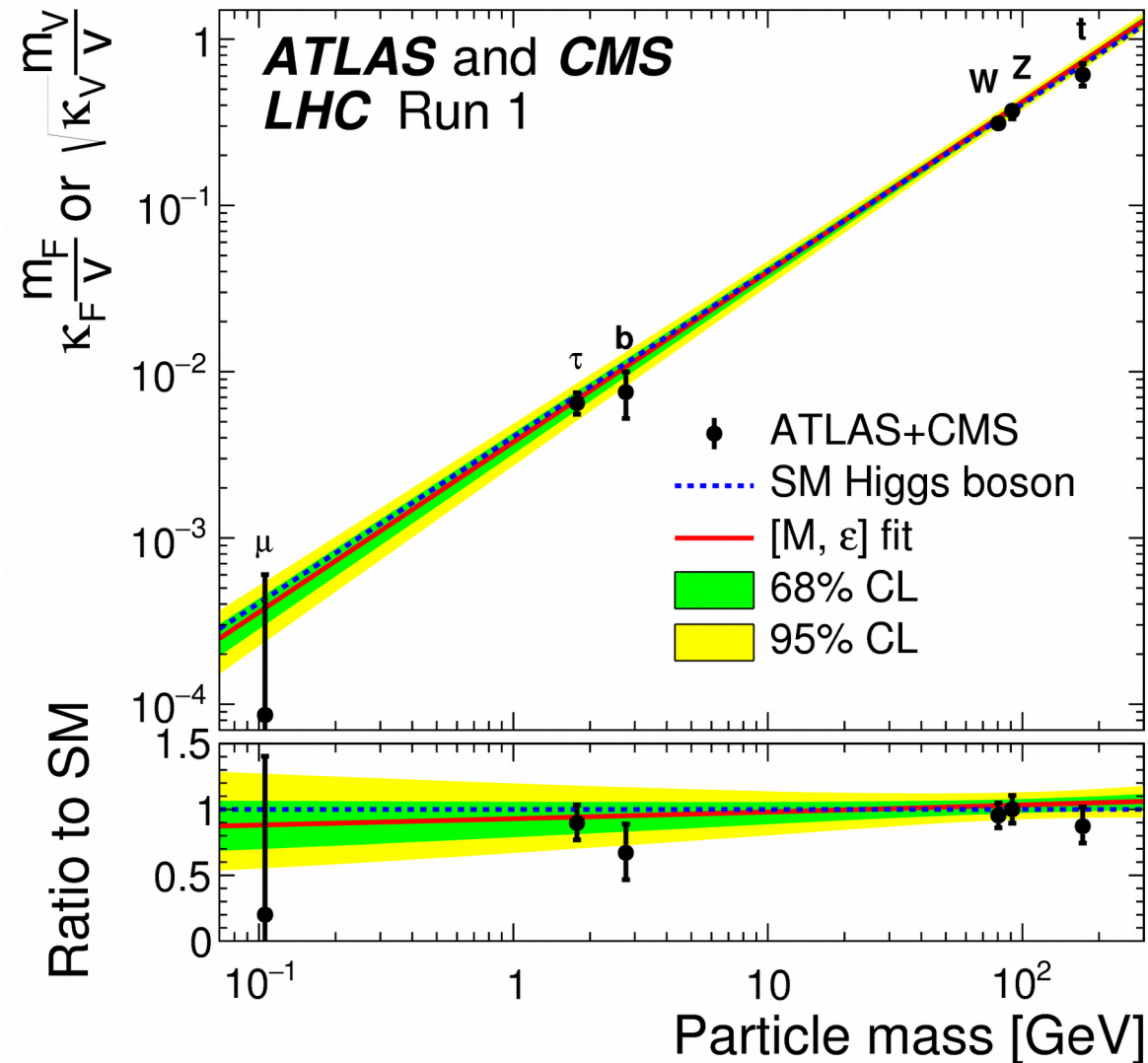


Spin et parité

- Observation de $H \rightarrow \gamma\gamma$ indique un spin entier, pas 1
- Exclusion de spin 1^+ , 1^- , 0^- , 2^+ de plus en plus claire (à plus de 99 % de confiance)
- A chaque fois consistant avec 0^+ : comme le boson de Higgs du modèle standard



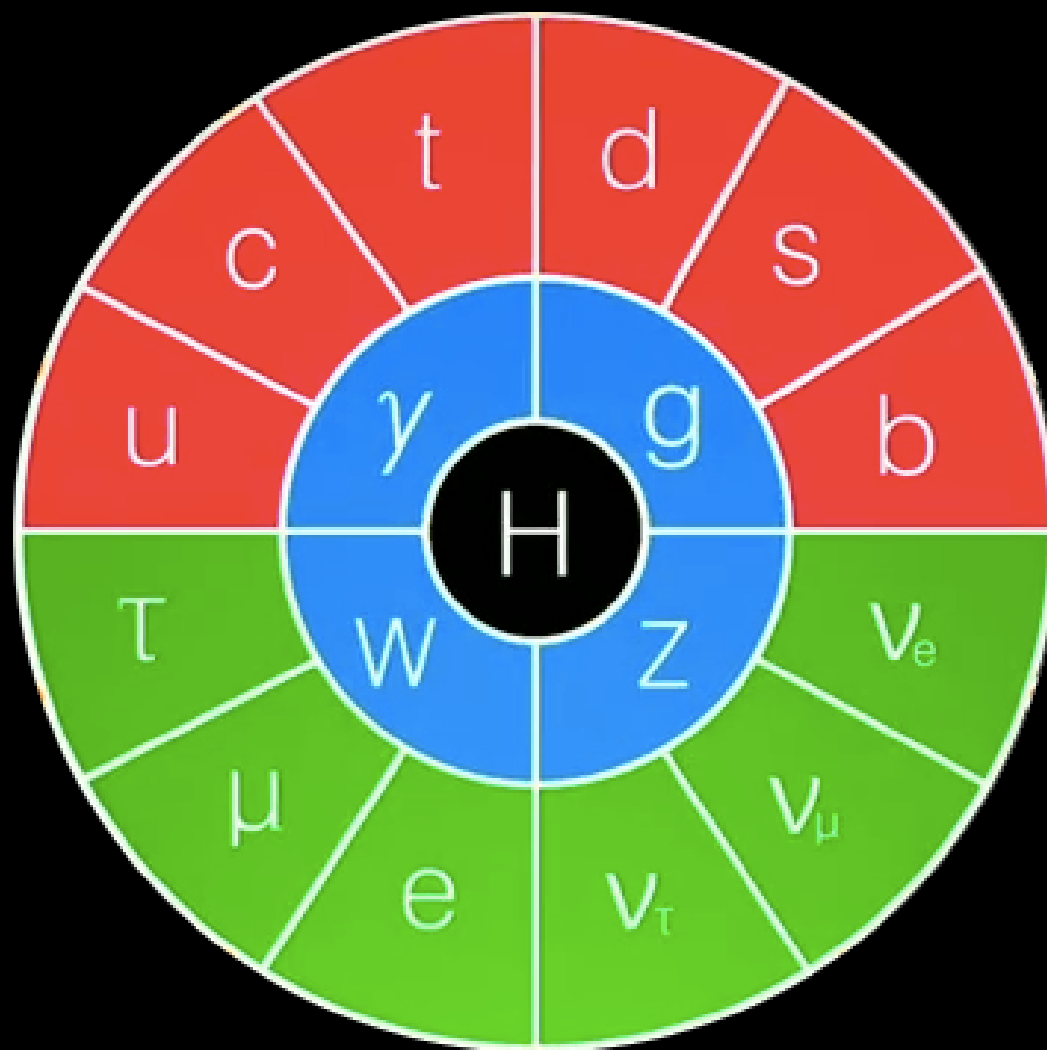
Masse des particules et couplage au boson de Higgs

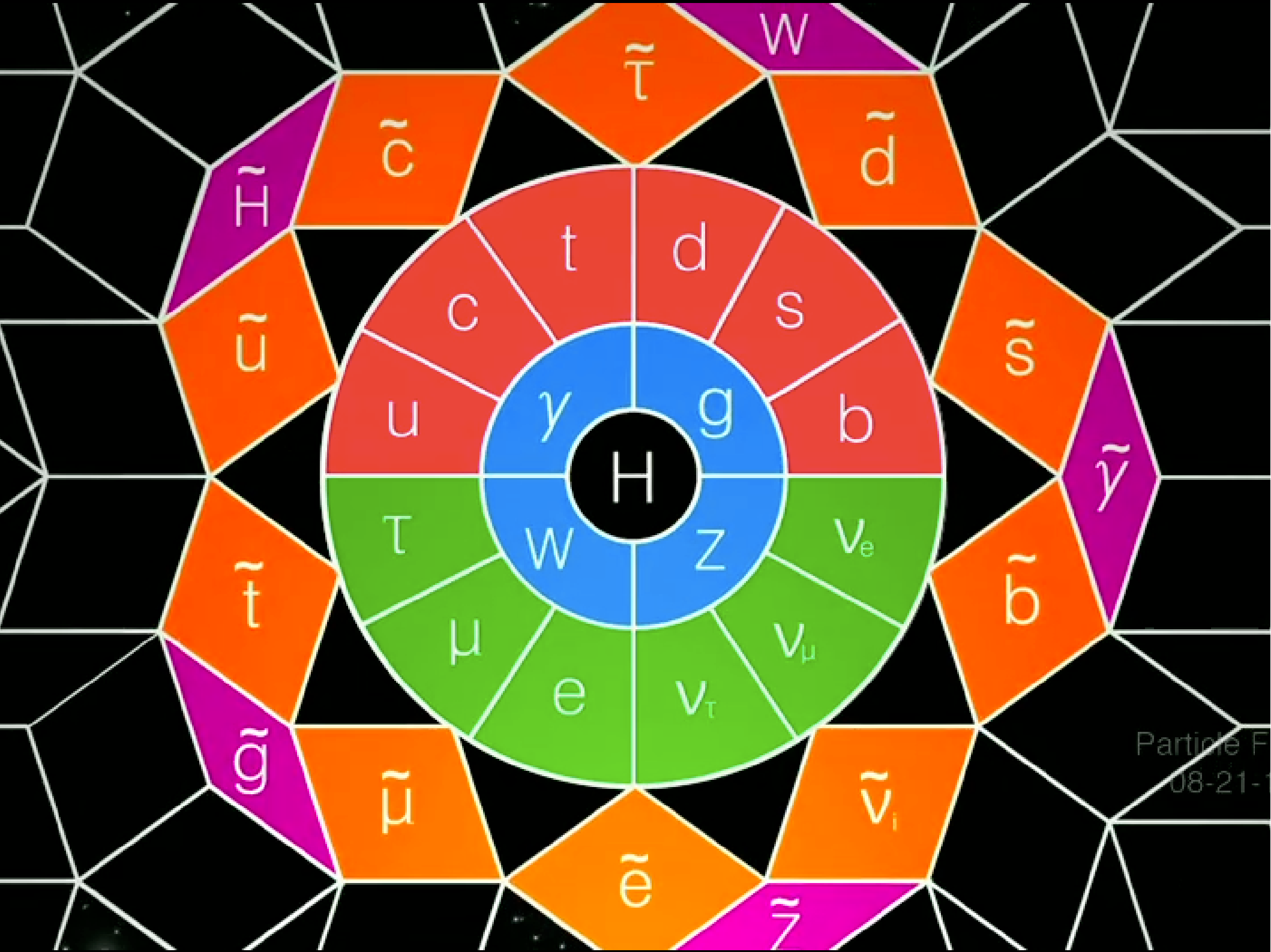


- Relation comme prévue par le modèle standard

Autres théories

- Le modèle standard n'explique pas tout :
 - ▶ Pourquoi trois familles ?
 - ▶ Pourquoi les particules élémentaires ont des masses si différentes ?
 - ▶ Que sont la matière noire et l'énergie noire ?
 - ▶ Pourquoi l'antimatière a presque disparu ?
- Les théoriciens ne manquent pas d'idées pour le compléter
- Beaucoup de modèles font des prédictions que l'on peut tester au LHC
- Supersymétrie, modèles exotiques, dimensions supplémentaires d'espace, ...
 - ▶ Prédiction de nouvelles particules, ou d'effets sur les phénomènes déjà connus
- Besoin de mesures expérimentales pour orienter les théoriciens





H

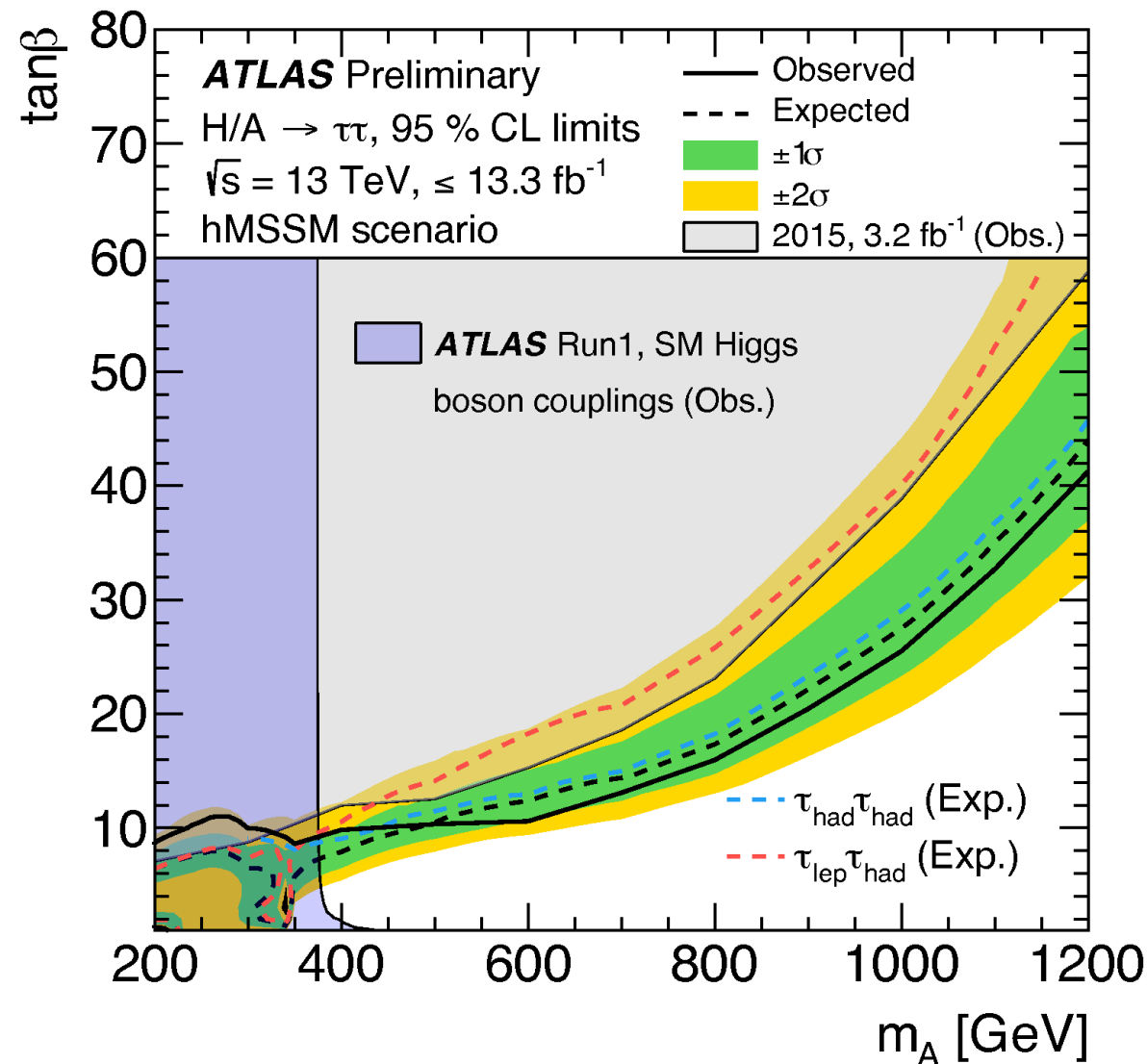
γ g W Z

u c t d s b
 τ μ e ν_τ ν_μ ν_e

t̄ c̄ ū d̄ s̄ b̄
 τ̄ μ̄ ē ν̄_τ ν̄_μ ν̄_e

D'autres bosons de Higgs ?

- Extensions du modèle standard avec 5 bosons de Higgs au lieu d'un
- Apparaît par exemple en supersymétrie
- Nouveaux paramètres



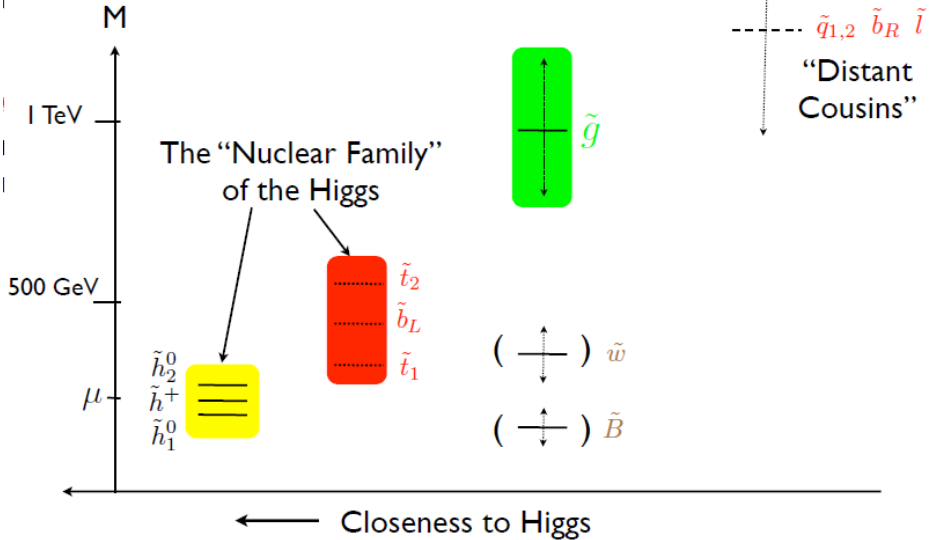
- Jusqu'à maintenant on exclut leur existence
- De moins en moins de recoins encore disponibles

Supersymétrie

- Double le nombre de particules existantes
- Augmente encore plus le nombre de paramètres

A Natural Spectrum

General "bottom-up" viewpoint

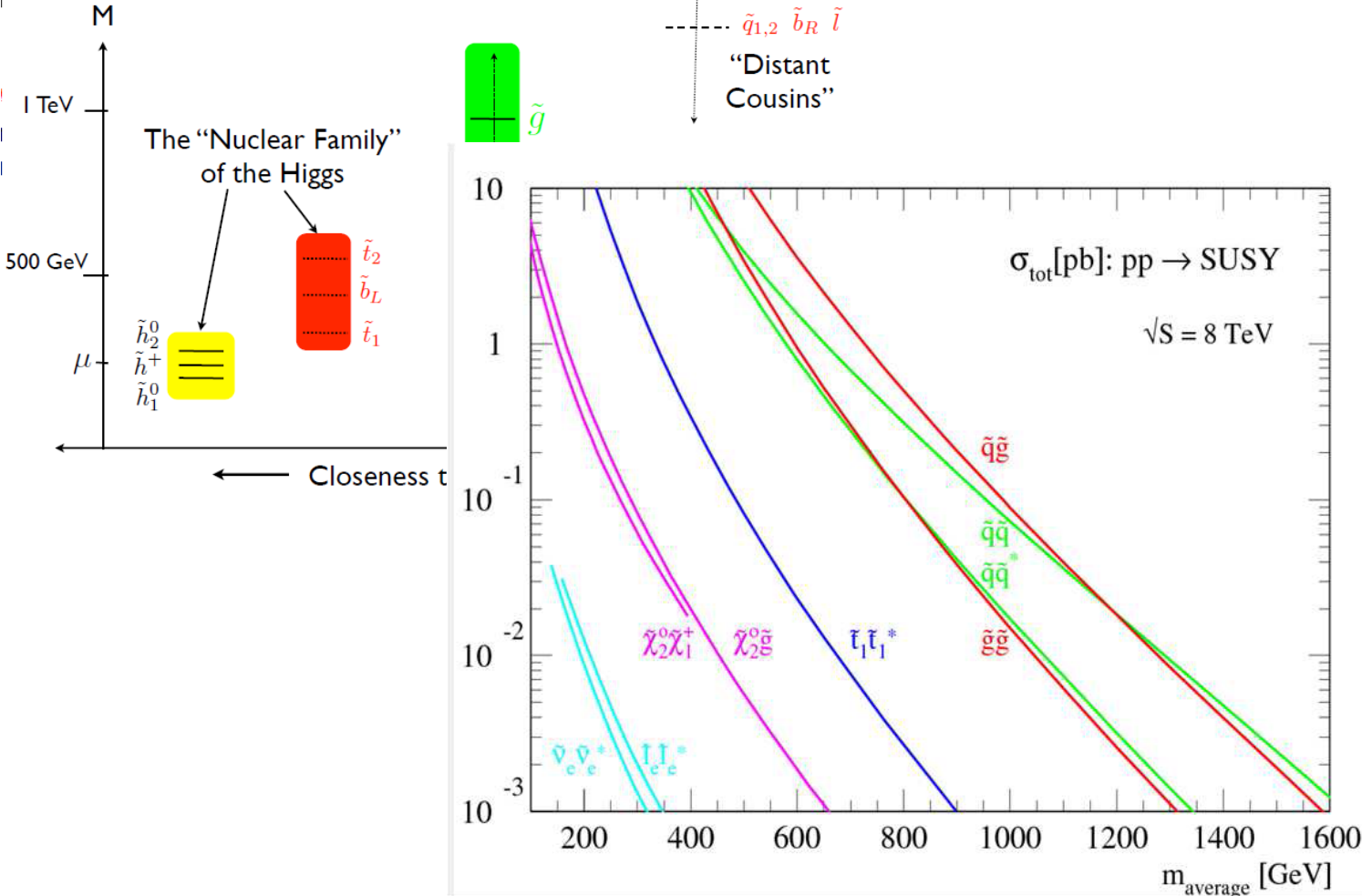


Supersymétrie

- Double le nombre de particules existantes
- Augmente encore plus le nombre de paramètres

A Natural Spectrum

General "bottom-up" viewpoint

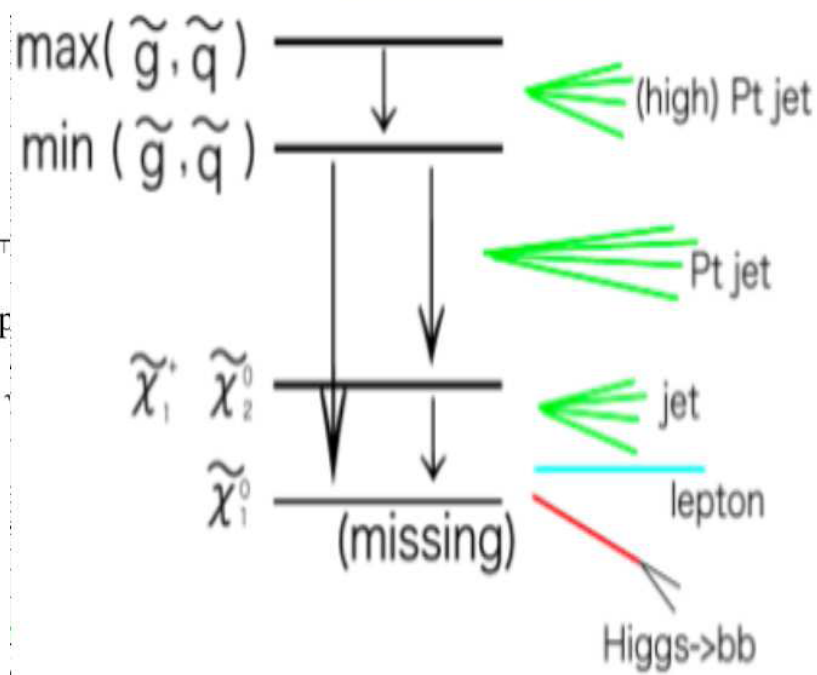
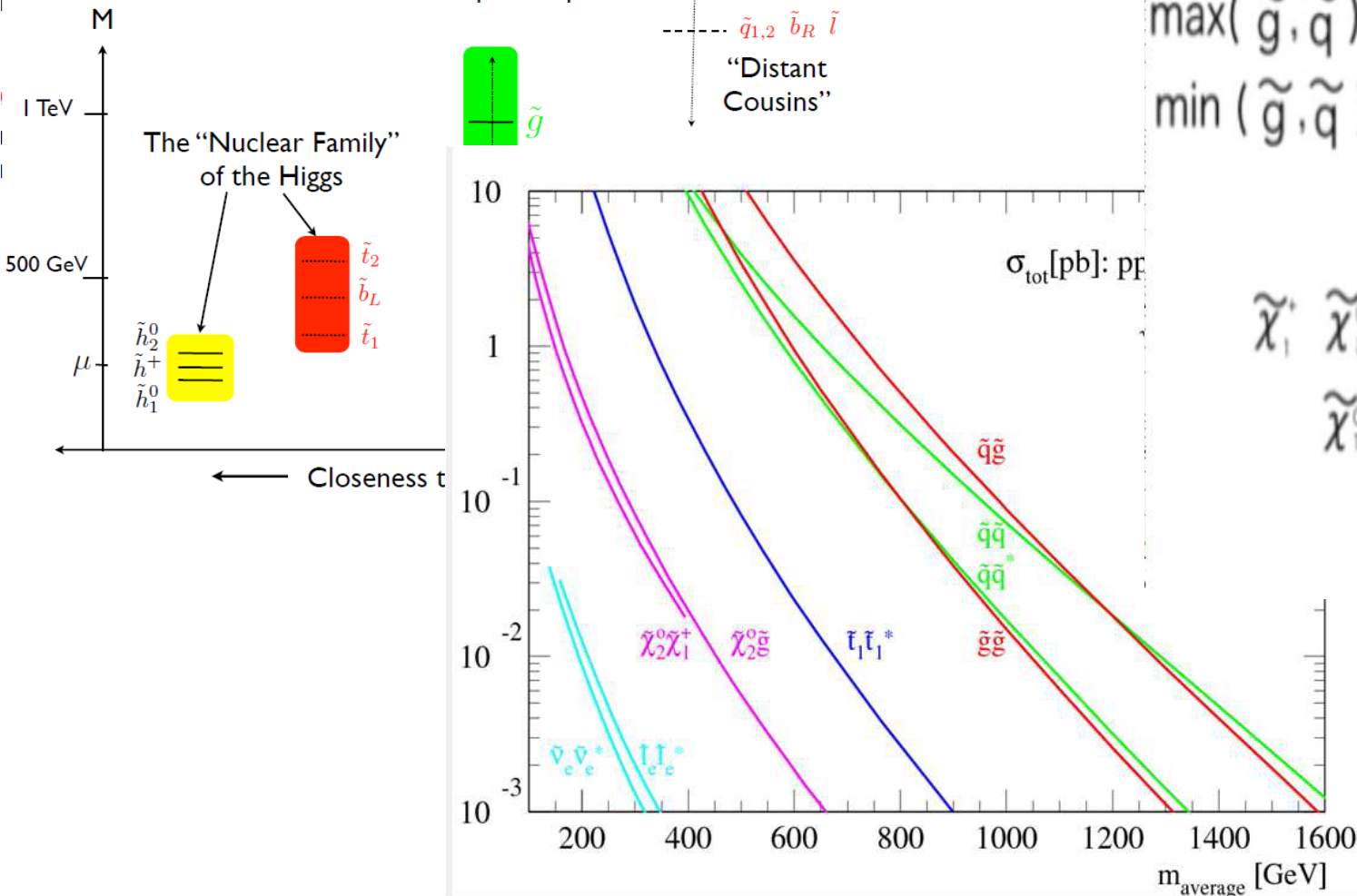


Supersymétrie

- Double le nombre de particules existantes
- Augmente encore plus le nombre de paramètres

A Natural Spectrum

General "bottom-up" viewpoint

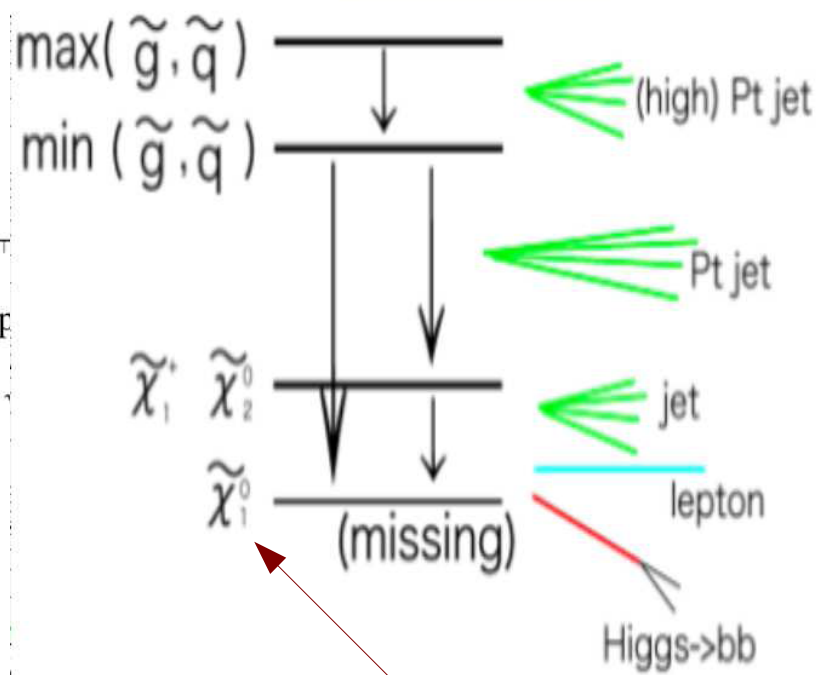
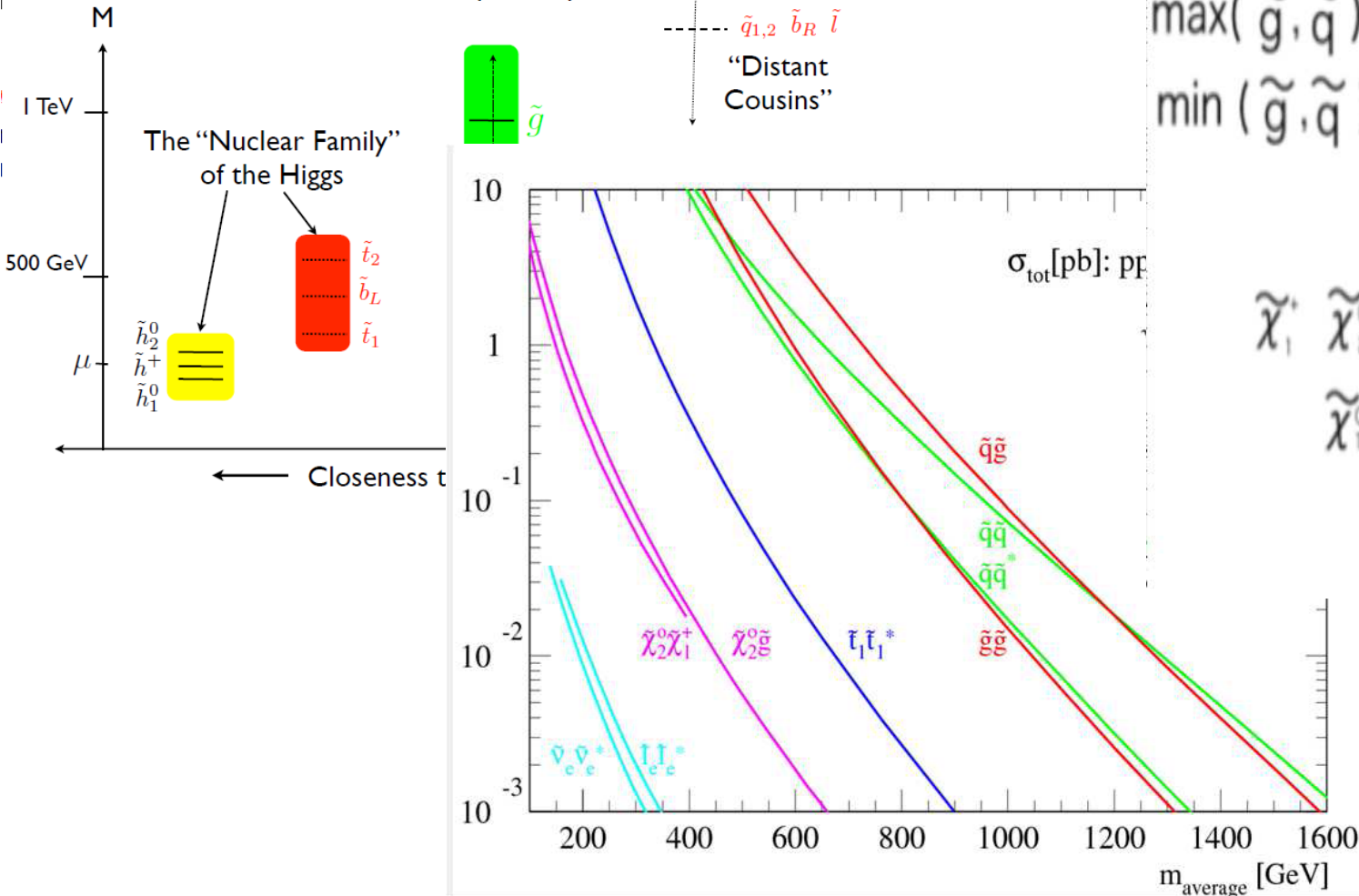


Supersymétrie

- Double le nombre de particules existantes
- Augmente encore plus le nombre de paramètres

A Natural Spectrum

General "bottom-up" viewpoint

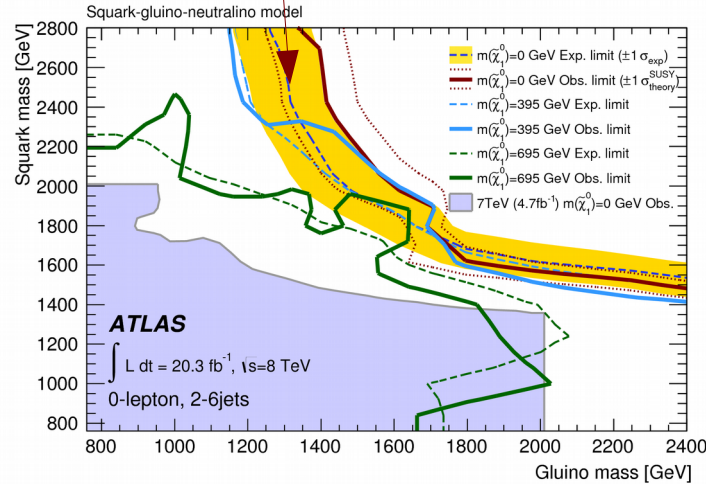
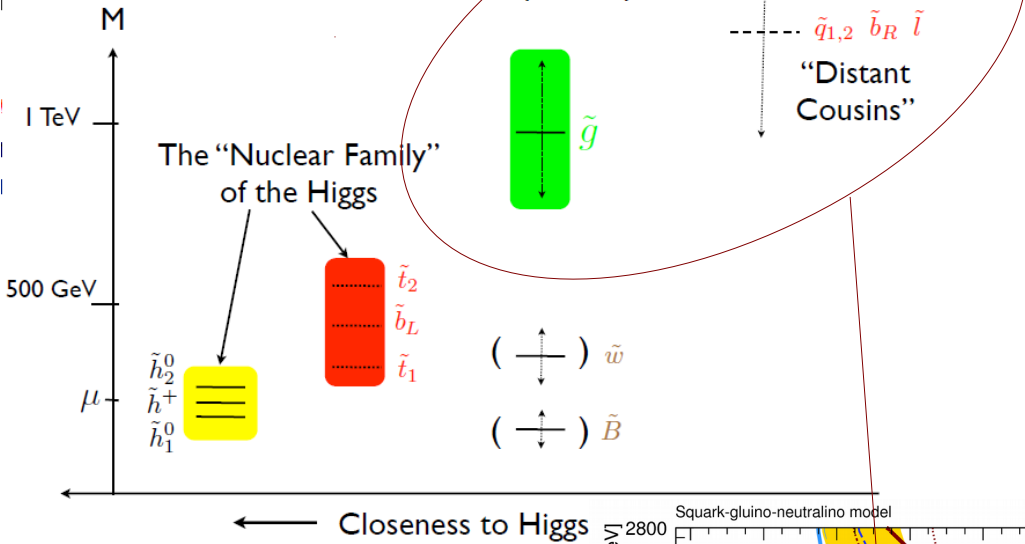


Candidat matière noire !

SUSY : 1^{ère} et 2^{ème} générations

A Natural Spectrum

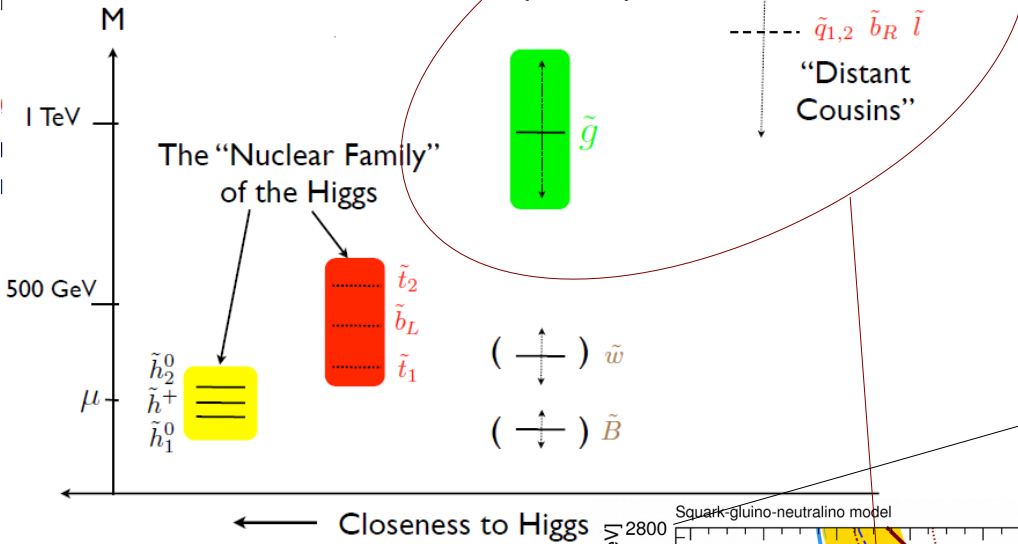
General "bottom-up" viewpoint



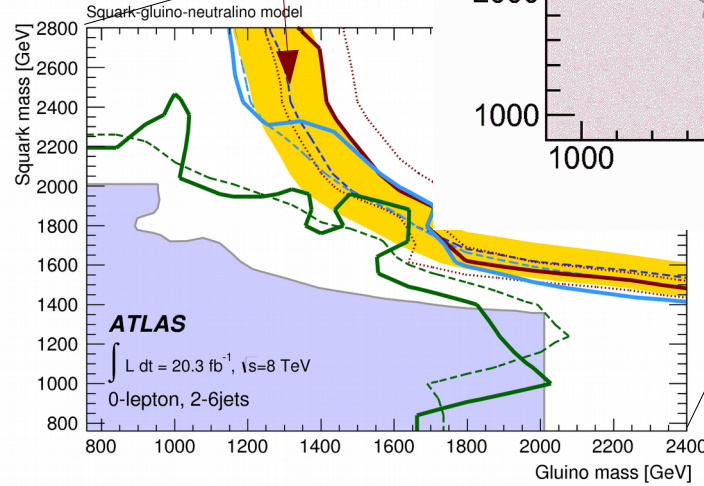
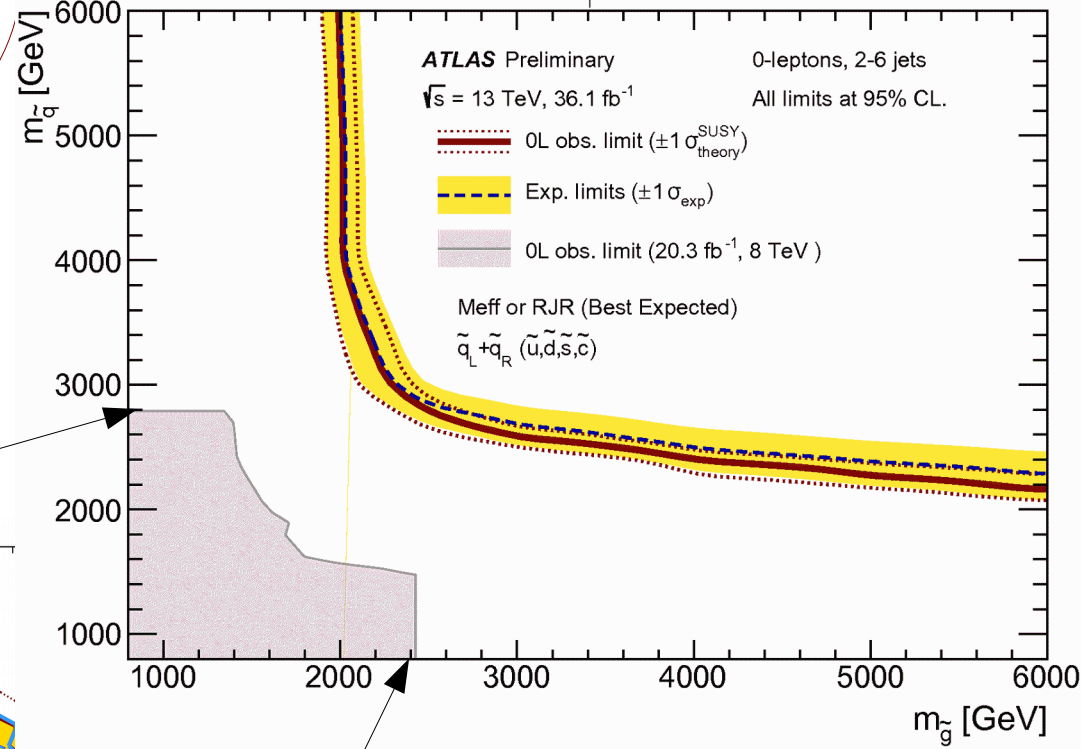
SUSY : 1^{ère} et 2^{ème} générations

A Natural Spectrum

General "bottom-up" viewpoint



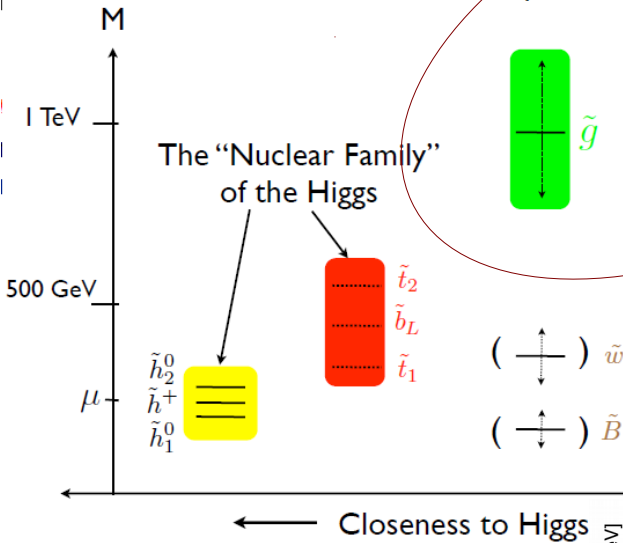
Squark-gluino-neutralino model, $m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ GeV



SUSY : 1^{ère} et 2^{ème} générations

A Natural Spectrum

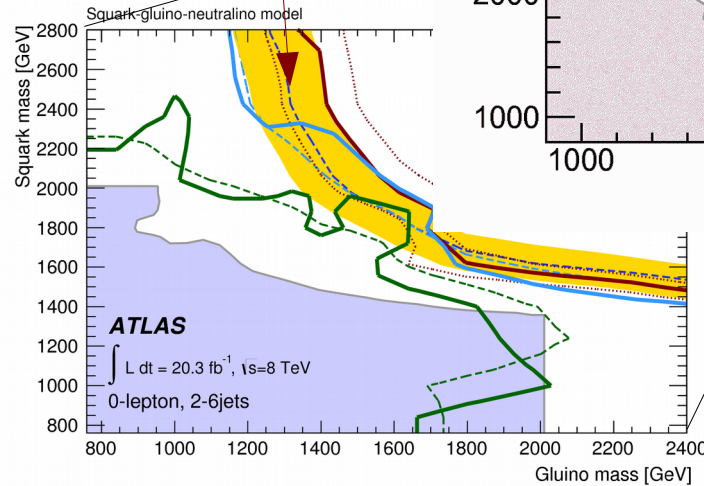
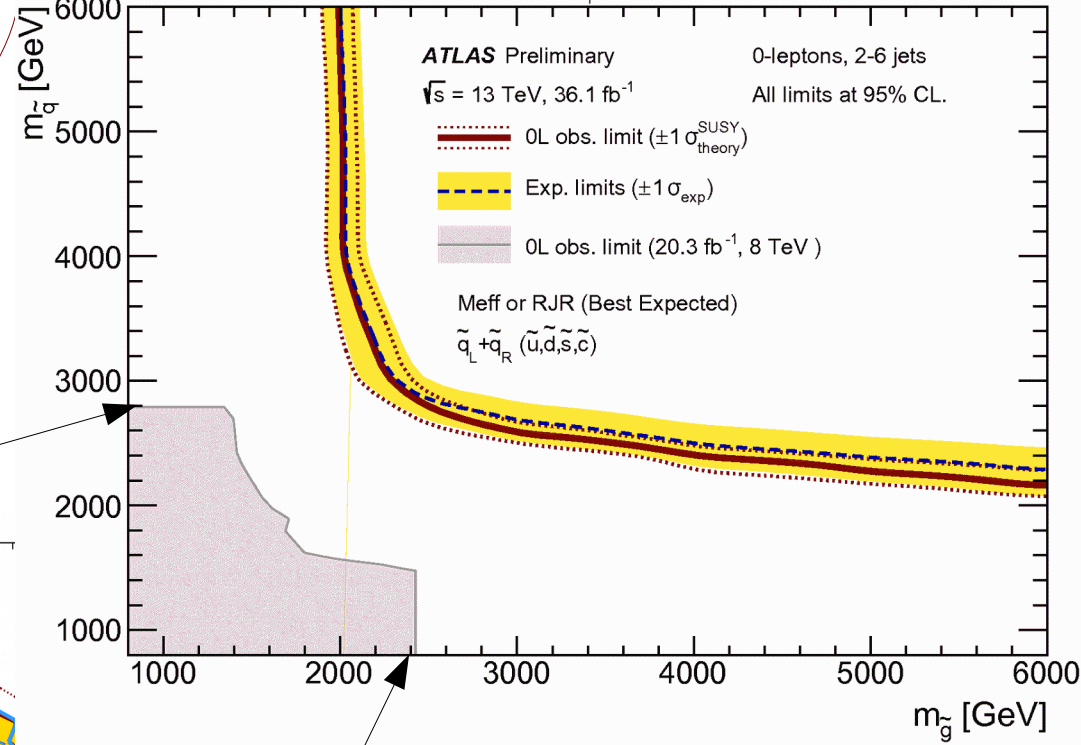
General "bottom-up" viewpoint



"Distant Cousins"
 $\tilde{q}_{1,2} \tilde{b}_R \tilde{l}$

$(\leftrightarrow) \tilde{w}$
 $(\leftrightarrow) \tilde{B}$

Squark-gluino-neutralino model, $m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ GeV

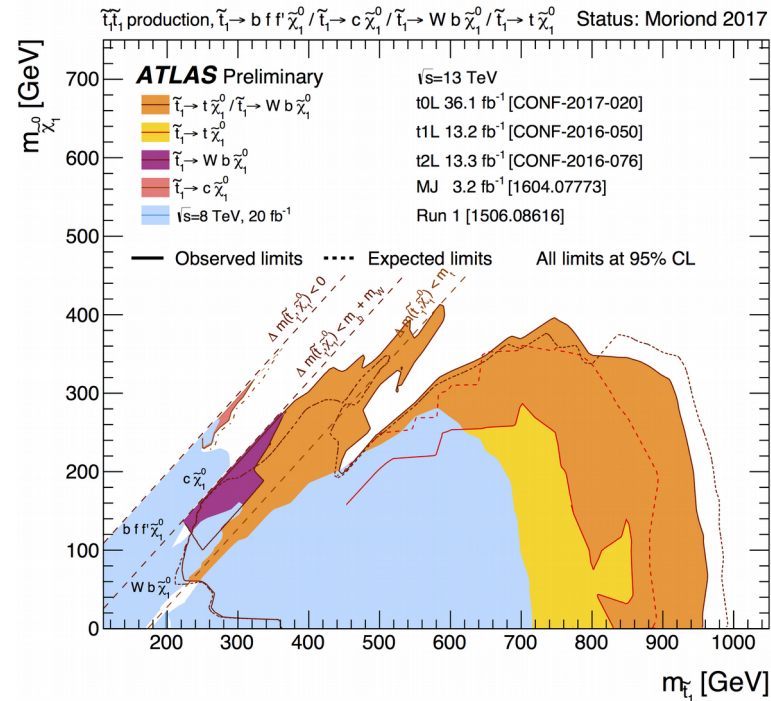
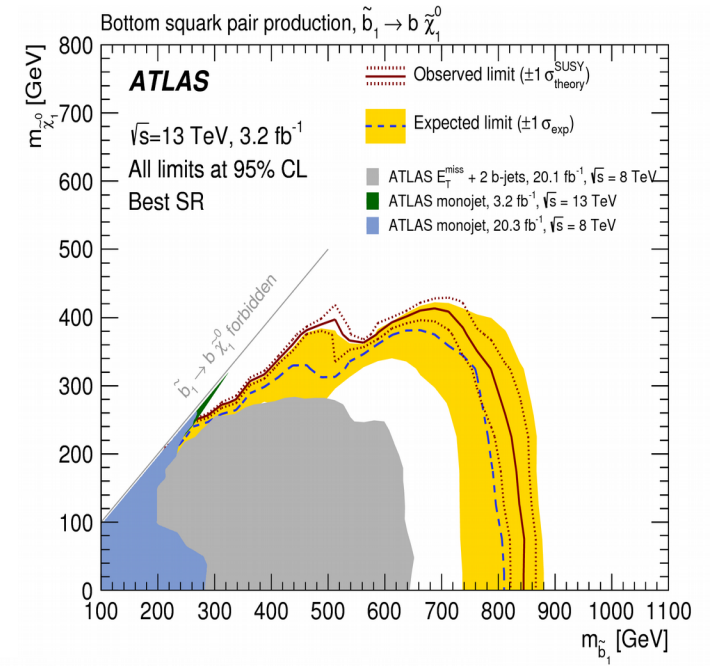
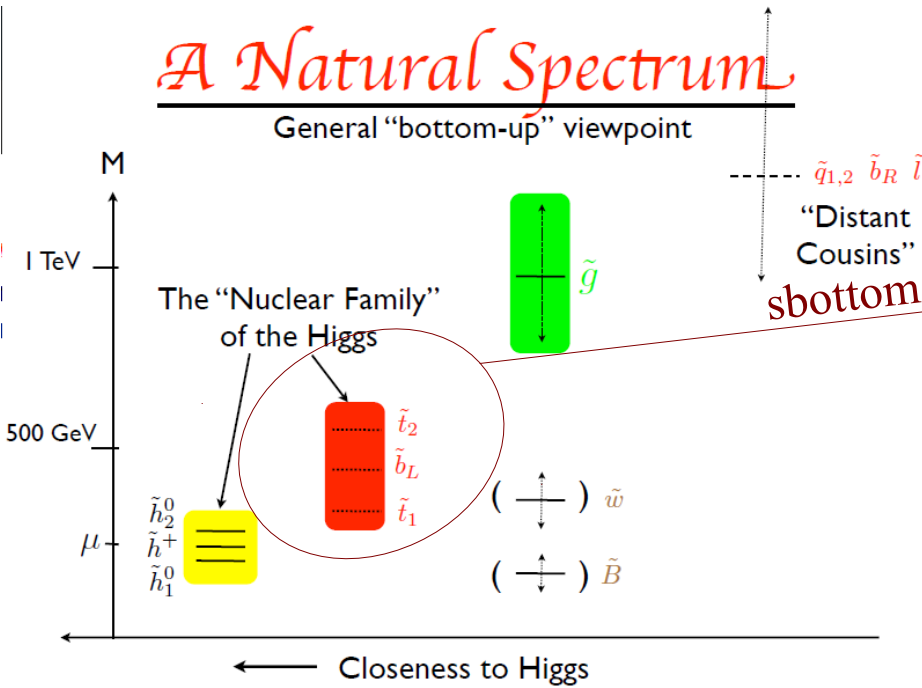


- Dans des modèles simplifiés, aucune trace...
- Masse des gluinos > 2 TeV, masse des squarks $> 2,2$ TeV

SUSY : 3^{ème} génération

A Natural Spectrum

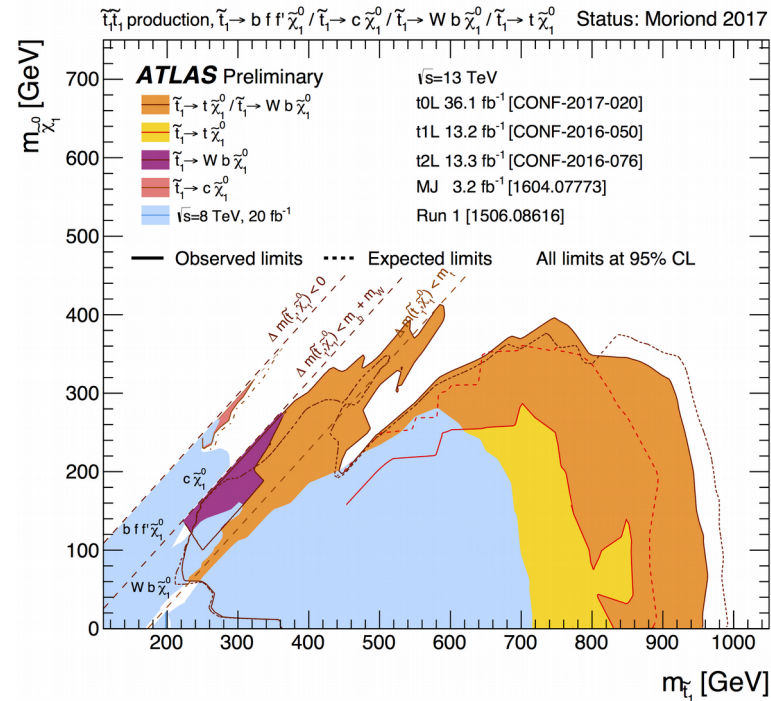
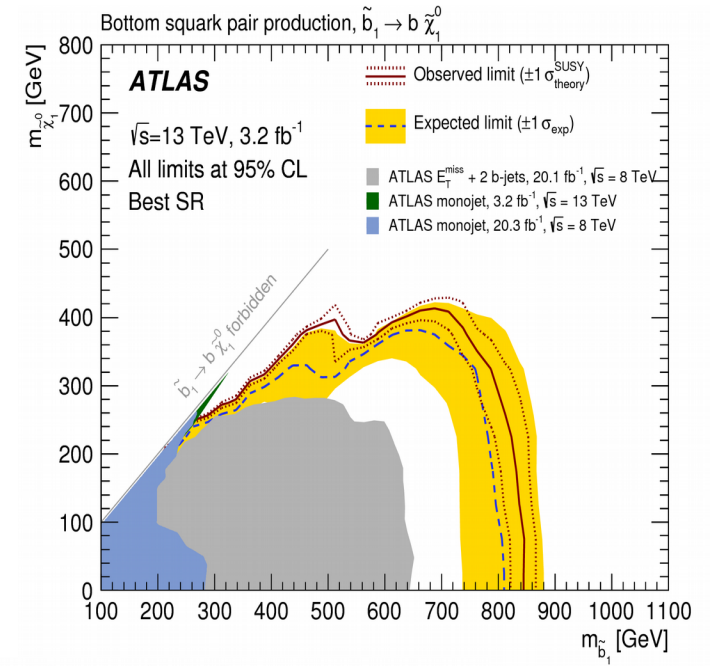
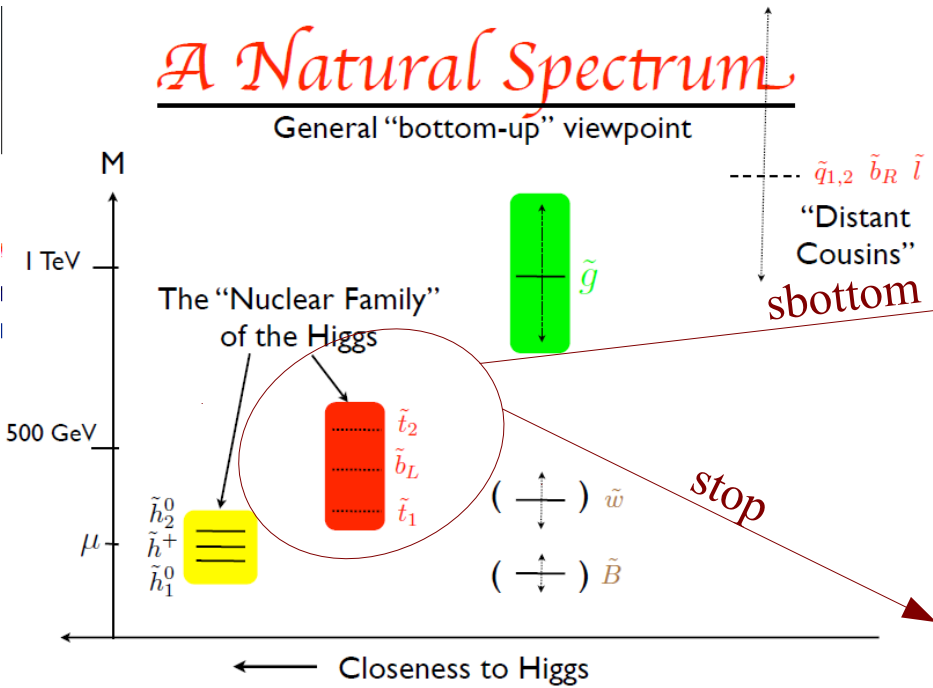
General "bottom-up" viewpoint



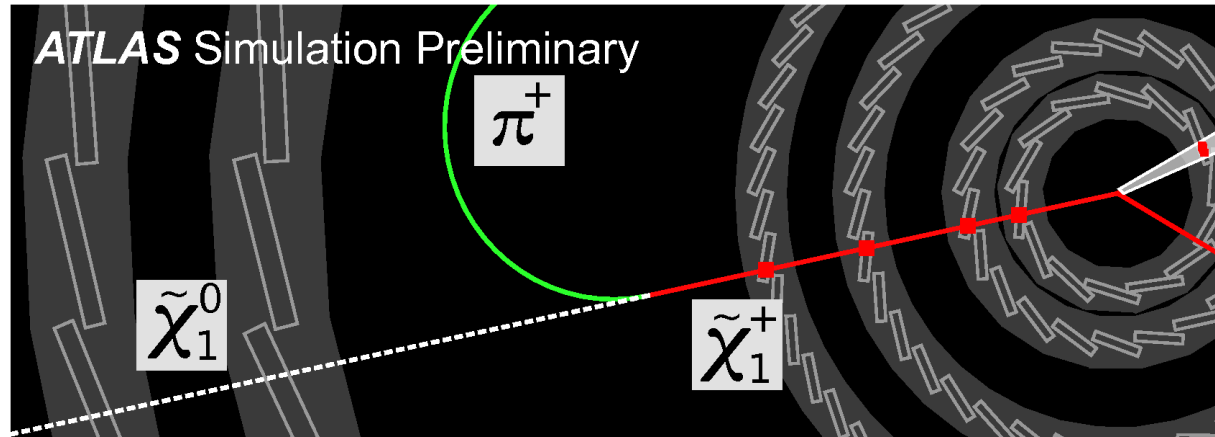
SUSY : 3^{ème} génération

A Natural Spectrum

General "bottom-up" viewpoint



« Disappearing tracks » / « displaced vertex »



- Nouvelle particule chargée
- Voyage suffisamment longtemps pour laisser une trace dans le détecteur à pixels
- Puis se désintègre : la trace s'arrête
- On a aussi cherché le contraire : une particule neutre qui traverse les premières couches, et des traces qui apparaissent plus loin
- Rien trouvé d'anormal...

SUSY : état des lieux

ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits

Status: March 2017

ATLAS Preliminary

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

Model	e, μ, τ, γ	Jets	E_T^{miss}	$\int \mathcal{L} dt (\text{fb}^{-1})$	Mass limit	$\sqrt{s} = 7, 8$ TeV	$\sqrt{s} = 13$ TeV	Reference	
Inclusive Searches	MSUGRA/CMSSM	0-3 e, μ /1-2 τ	2-10 jets/3 b	Yes	20.3	\tilde{q}, \tilde{g}	1.85 TeV	$m(\tilde{g})=m(\tilde{q})$	1507.05525
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{q}	1.57 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 200$ GeV, $m(1^{\text{st}} \text{ gen. } \tilde{q})=m(2^{\text{nd}} \text{ gen. } \tilde{q})$	ATLAS-CONF-2017-022
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$ (compressed)	mono-jet	1-3 jets	Yes	3.2	\tilde{q}	608 GeV	$m(\tilde{q})-m(\tilde{\chi}_1^0) < 5$ GeV	1604.07773
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{g}	2.02 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 200$ GeV	ATLAS-CONF-2017-022
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{g}	2.01 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 200$ GeV, $m(\tilde{\chi}^{\pm})=0.5(m(\tilde{\chi}_1^0)+m(\tilde{g}))$	ATLAS-CONF-2017-022
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	3 e, μ	4 jets	-	13.2	\tilde{g}	1.7 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 400$ GeV	ATLAS-CONF-2016-037
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	2 e, μ (SS)	0-3 jets	Yes	13.2	\tilde{g}	1.6 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 500$ GeV	ATLAS-CONF-2016-037
	GMSB ($\tilde{\ell}$ NLSP)	1-2 $\tau + 0-1 \ell$	0-2 jets	Yes	3.2	\tilde{g}	2.0 TeV	$\text{ct}(\text{NLSP}) < 0.1$ mm	1607.05979
	GGM (bino NLSP)	2 γ	-	Yes	3.2	\tilde{g}	1.65 TeV	$\text{ct}(\text{NLSP}) < 0.1$ mm, $\mu < 0$	1606.09150
	GGM (higgsino-bino NLSP)	γ	1 b	Yes	20.3	\tilde{g}	1.37 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 950$ GeV, $\text{ct}(\text{NLSP}) < 0.1$ mm, $\mu < 0$	1507.05493
	GGM (higgsino-bino NLSP)	γ	2 jets	Yes	13.3	\tilde{g}	1.8 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) > 680$ GeV, $\text{ct}(\text{NLSP}) < 0.1$ mm, $\mu > 0$	ATLAS-CONF-2016-066
	GGM (higgsino NLSP)	2 e, μ (Z)	2 jets	Yes	20.3	\tilde{g}	900 GeV	$m(\text{NLSP}) < 430$ GeV	1503.03290
Gravitino LSP	0	mono-jet	Yes	20.3	\tilde{g}	865 GeV	$m(\tilde{G}) > 1.8 \times 10^{-4}$ eV, $m(\tilde{g})=m(\tilde{q})=1.5$ TeV	1502.01518	
3 rd gen. \tilde{g} med.	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	0	3 b	Yes	36.1	\tilde{g}	1.92 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 600$ GeV	ATLAS-CONF-2017-021
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	0-1 e, μ	3 b	Yes	36.1	\tilde{g}	1.97 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 200$ GeV	ATLAS-CONF-2017-021
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	0-1 e, μ	3 b	Yes	20.1	\tilde{g}	1.37 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 300$ 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	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 100$ GeV	1606.08772
	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	2 e, μ (SS)	1 b	Yes	13.2	\tilde{b}_1	325-685 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 150$ GeV, $m(\tilde{\chi}_1^{\pm}) = m(\tilde{\chi}_1^0) + 100$ GeV	ATLAS-CONF-2016-037
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	0-2 e, μ	1-2 b	Yes	4.7/13.3	\tilde{t}_1	117-170 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) = 2m(\tilde{\chi}_1^{\pm}), m(\tilde{\chi}_1^{\pm})=55$ GeV	1209.2102, ATLAS-CONF-2016-077
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\chi}_1^0$ or $t\tilde{\chi}_1^0$	0-2 e, μ	0-2 jets/1-2 b	Yes	20.3	\tilde{t}_1	90-198 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=1$ GeV	1506.08616, ATLAS-CONF-2017-020
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow c\tilde{\chi}_1^0$	0	mono-jet	Yes	3.2	\tilde{t}_1	90-323 GeV	$m(\tilde{t}_1)-m(\tilde{\chi}_1^0)=5$ GeV	1604.07773
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (natural GMSB)	2 e, μ (Z)	1 b	Yes	20.3	\tilde{t}_1	150-600 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) > 150$ GeV	1403.5222
	$\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + Z$	3 e, μ (Z)	1 b	Yes	36.1	\tilde{t}_2	290-790 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ GeV	ATLAS-CONF-2017-019
	$\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + h$	1-2 e, μ	4 b	Yes	36.1	\tilde{t}_2	320-880 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ GeV	ATLAS-CONF-2017-019
EW direct	$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi} \rightarrow \tilde{\chi}_1^0$	2 e, μ	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}$	90-335 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ GeV	1403.5294
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 + \tau$	2 e, μ	0	Yes	13.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	640 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ GeV, $m(\tilde{\chi}_1^{\pm})=0.5(m(\tilde{\chi}_1^0)+m(\tilde{\chi}_1^{\pm}))$	ATLAS-CONF-2016-096
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow \tau + \tau(\nu)$	2 τ	-	Yes	14.8	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	580 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ GeV, $m(\tilde{\chi}_1^{\pm})=0.5(m(\tilde{\chi}_1^0)+m(\tilde{\chi}_1^{\pm}))$	ATLAS-CONF-2016-093
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow \tau + \tau(\nu)$	3 e, μ	0	Yes	13.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	1.0 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=m(\tilde{\chi}_2^0), m(\tilde{\chi}_1^{\pm})=0, m(\tilde{\chi}_1^{\pm})=0.5(m(\tilde{\chi}_1^0)+m(\tilde{\chi}_1^{\pm}))$	ATLAS-CONF-2016-096
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow \tau + \tau(\nu)$	2-3 e, μ	0-2 jets	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	425 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=m(\tilde{\chi}_2^0), m(\tilde{\chi}_1^{\pm})=0, \tilde{\ell}$ decoupled	1403.5294, 1402.7029
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 + \tilde{\chi}_1^0$	e, μ, γ	0-2 b	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	270 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=m(\tilde{\chi}_2^0), m(\tilde{\chi}_1^{\pm})=0, \tilde{\ell}$ decoupled	1501.07110
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 + \tilde{\chi}_1^0$	4 e, μ	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_{2,3}^0$	635 GeV	$m(\tilde{\chi}_2^0)=m(\tilde{\chi}_3^0), m(\tilde{\chi}_1^0)=0, m(\tilde{\chi}_1^{\pm})=0.5(m(\tilde{\chi}_2^0)+m(\tilde{\chi}_1^0))$	1405.5086
	GGM (wino NLSP) weak prod.	1 $e, \mu + \gamma$	-	Yes	20.3	\tilde{W}	115-370 GeV	$\text{ct} < 1$ mm	1507.05493
	GGM (bino NLSP) weak prod.	2 γ	-	Yes	20.3	\tilde{W}	590 GeV	$\text{ct} < 1$ mm	1507.05493
	Long-lived particles	Direct $\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^{\pm}$	Disapp. trk	1 jet	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	430 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)-m(\tilde{\chi}_1^{\pm}) \sim 160$ MeV, $\tau(\tilde{\chi}_1^{\pm})=0.2$ ns
Direct $\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^{\pm}$		dE/dx trk	-	Yes	18.4	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	495 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)-m(\tilde{\chi}_1^{\pm}) \sim 160$ MeV, $\tau(\tilde{\chi}_1^{\pm}) < 15$ ns	1506.05332
Stable, stopped \tilde{g} R-hadron		0	1-5 jets	Yes	27.9	\tilde{g}	850 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=100$ GeV, $10 \mu\text{s} < \tau(\tilde{g}) < 1000$ s	1310.6584
Stable \tilde{g} R-hadron		trk	-	-	3.2	\tilde{g}	1.58 TeV	-	1606.05129
Metastable \tilde{g} R-hadron		dE/dx trk	-	-	3.2	\tilde{g}	1.57 TeV	-	1604.04520
GMSB, stable $\tilde{\tau}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\tau}(\tilde{b}, \tilde{d}) + \tau(e, \mu)$		1-2 μ	-	-	19.1	$\tilde{\chi}_1^0$	537 GeV	$10 < \tau(\tilde{\chi}_1^0) < 50$	1411.6795
GMSB, $\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma G$, long-lived $\tilde{\chi}_1^0$		2 γ	-	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^0$	440 GeV	$1 < \tau(\tilde{\chi}_1^0) < 3$ ns, SPS8 model	1409.5542
$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow e\tilde{\nu} + e\tilde{\nu} + \mu\tilde{\nu}$		displ. $e\tilde{\nu}/\mu\tilde{\nu}$	-	-	20.3	$\tilde{\chi}_1^0$	1.0 TeV	$7 < \text{ct}(\tilde{\chi}_1^0) < 740$ mm, $m(\tilde{g})=1.3$ TeV	1504.05162
GGM $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow ZG$	displ. vtx + jets	-	-	20.3	$\tilde{\chi}_1^0$	1.0 TeV	$6 < \text{ct}(\tilde{\chi}_1^0) < 480$ mm, $m(\tilde{g})=1.1$ TeV	1504.05162	
RPV	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e\mu/\tau\mu$	$e\mu, e\tau, \mu\tau$	-	-	3.2	$\tilde{\nu}_\tau$	1.9 TeV	$\lambda'_{311}=0.11, \lambda'_{132}/\lambda'_{133}=0.07$	1607.08079
	Bilinear RPV CMSSM	2 e, μ (SS)	0-3 b	Yes	20.3	\tilde{q}, \tilde{g}	1.45 TeV	$m(\tilde{q})=m(\tilde{g}), \text{ct}_{\text{LSP}} < 1$ mm	1404.2500
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 + \tilde{\chi}_1^0$	4 e, μ	-	Yes	13.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	1.14 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) > 400$ GeV, $A_{12k} \neq 0$ ($k=1, 2$)	ATLAS-CONF-2016-075
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 + \tilde{\chi}_1^0$	3 $e, \mu + \tau$	-	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$	450 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) > 0.2 \times m(\tilde{\chi}_1^{\pm}), A_{133} \neq 0$	1405.5086
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}$	0	4-5 large-R jets	-	14.8	\tilde{g}	1.08 TeV	$\text{BR}(\tilde{g})-\text{BR}(b)=\text{BR}(c)=0\%$	ATLAS-CONF-2016-057
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}$	0	4-5 large-R jets	-	14.8	\tilde{g}	1.55 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=800$ GeV	ATLAS-CONF-2016-057
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q\tilde{q}$	1 e, μ	8-10 jets/0-4 b	-	36.1	\tilde{g}	2.1 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=1$ TeV, $A_{112} \neq 0$	ATLAS-CONF-2017-013
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q\tilde{q}$	1 e, μ	8-10 jets/0-4 b	-	36.1	\tilde{g}	1.65 TeV	$m(\tilde{t}_1)=1$ TeV, $\lambda_{323} \neq 0$	ATLAS-CONF-2017-013
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{s}$	0	2 jets + 2 b	-	15.4	\tilde{t}_1	410 GeV	-	ATLAS-CONF-2016-022, ATLAS-CONF-2016-084
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\ell}$	2 e, μ	2 b	-	20.3	\tilde{t}_1	0.4-1.0 TeV	$\text{BR}(\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\ell}/\mu) > 20\%$	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	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 200$ GeV	1501.01325

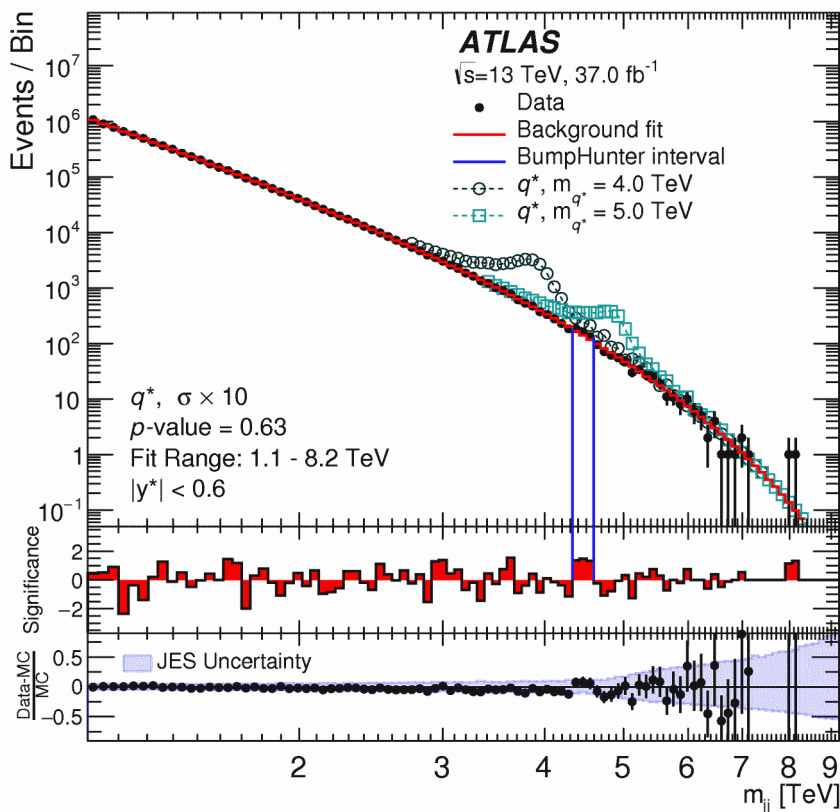
*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. Many of the limits are based on simplified models, c.f. refs. for the assumptions made.

10⁻¹ 1 Mass scale [TeV]

• On n'a rien trouvé, et pourtant on cherche !

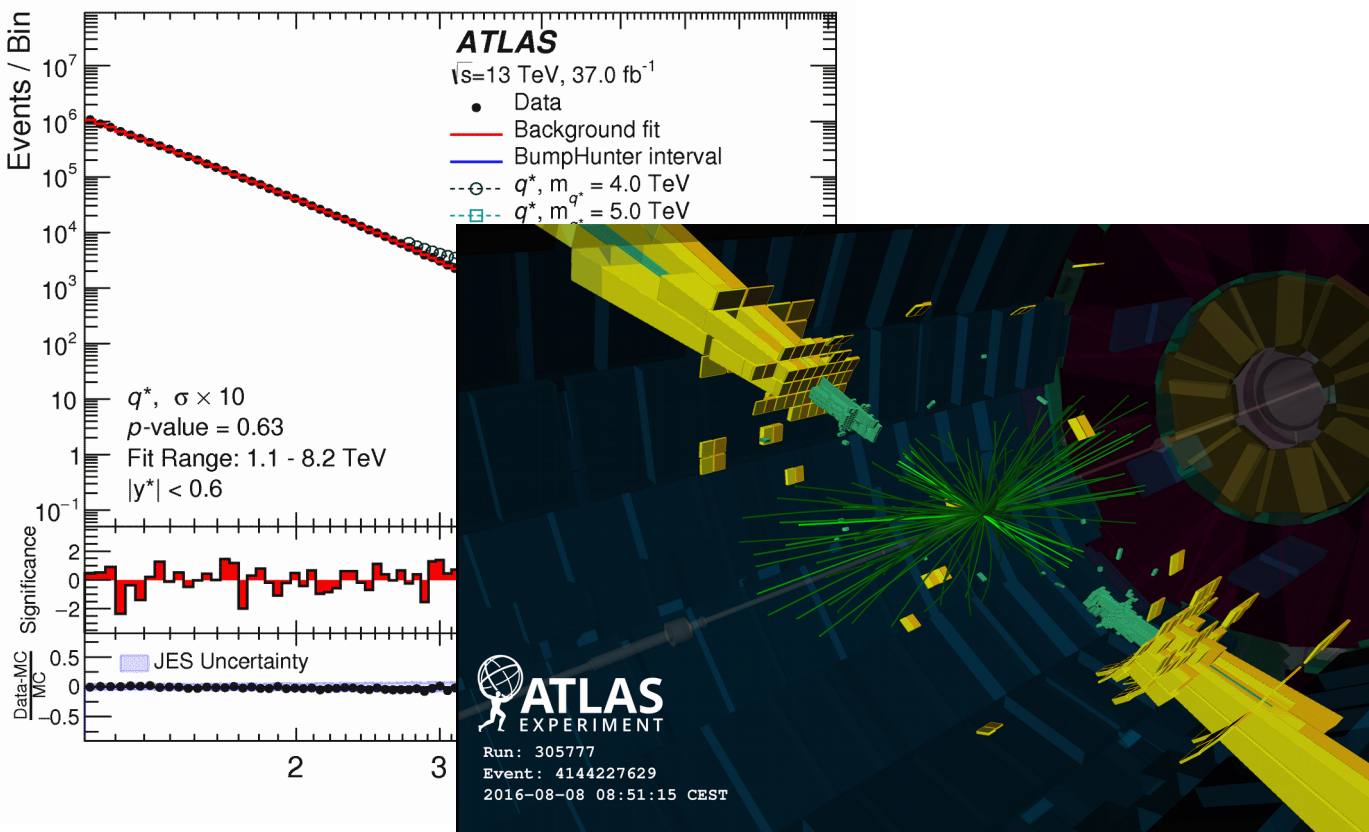
Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



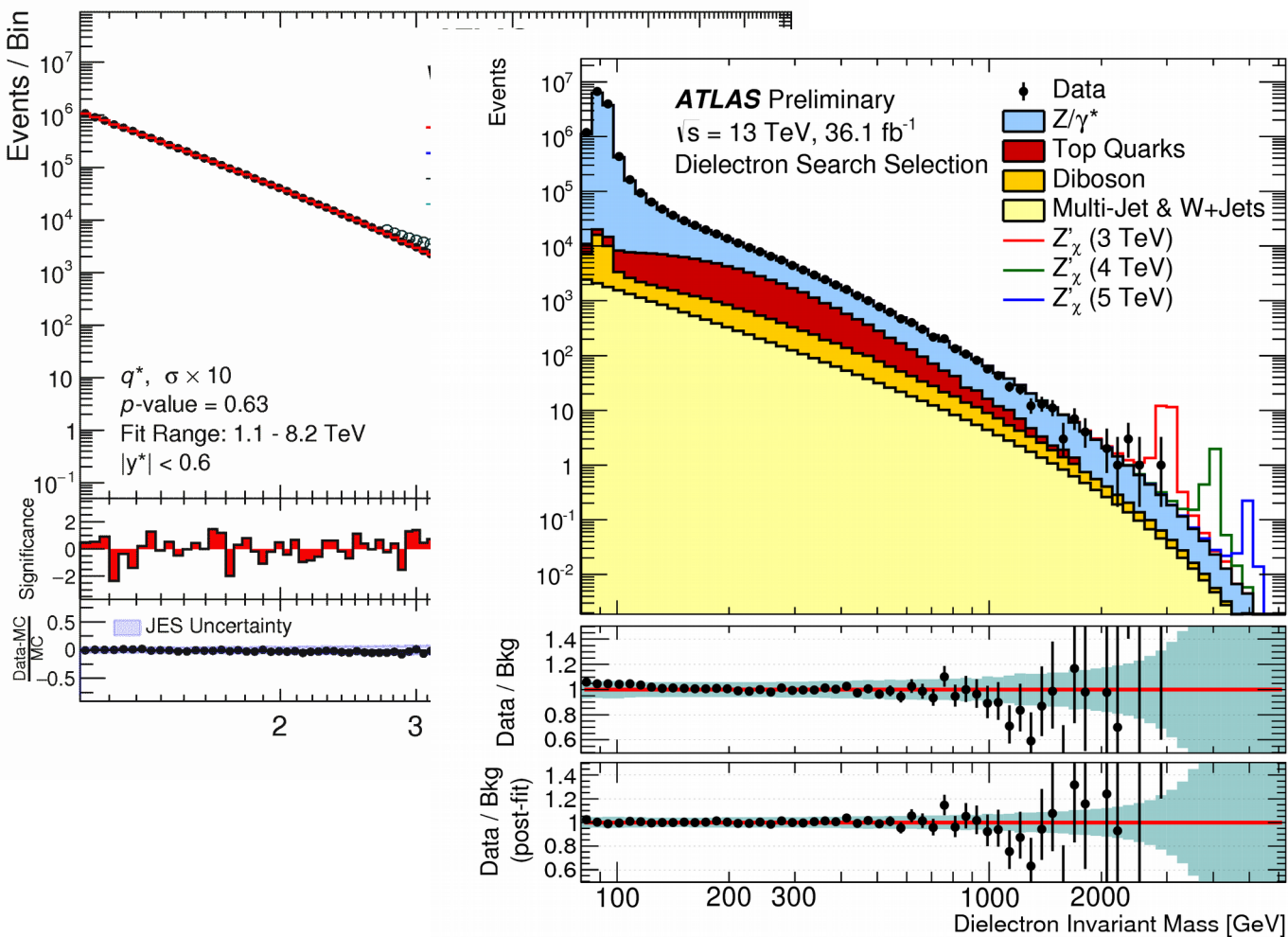
Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



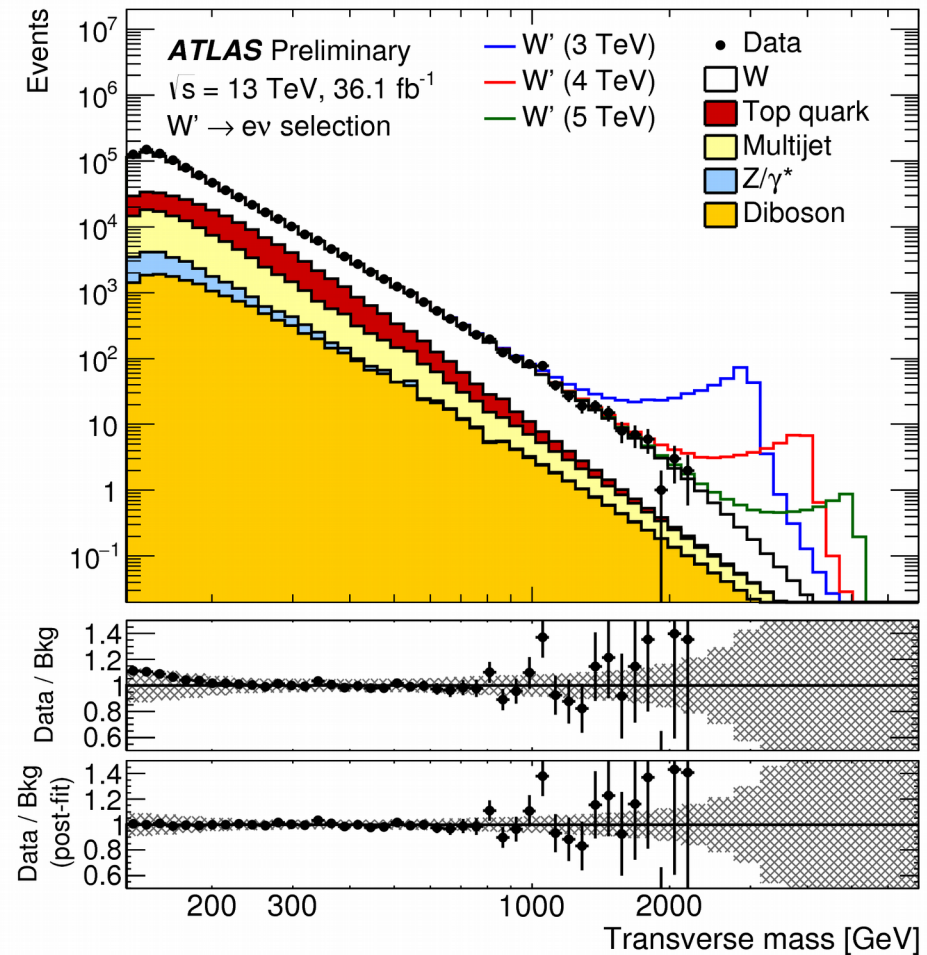
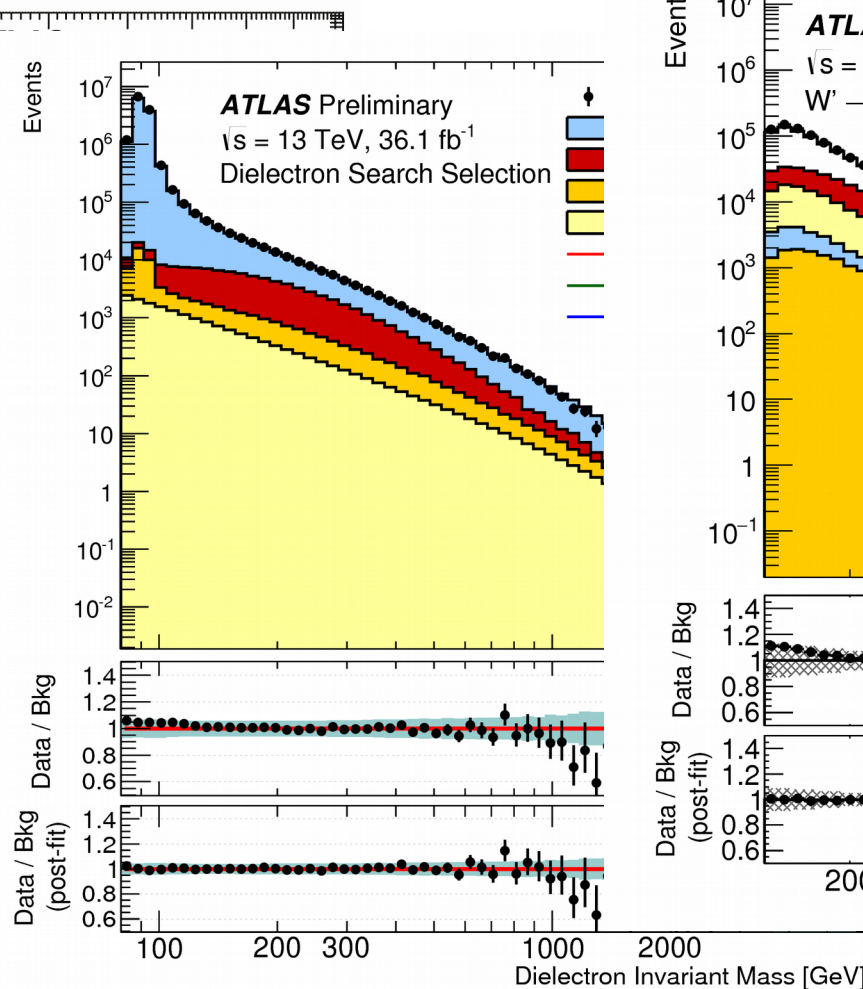
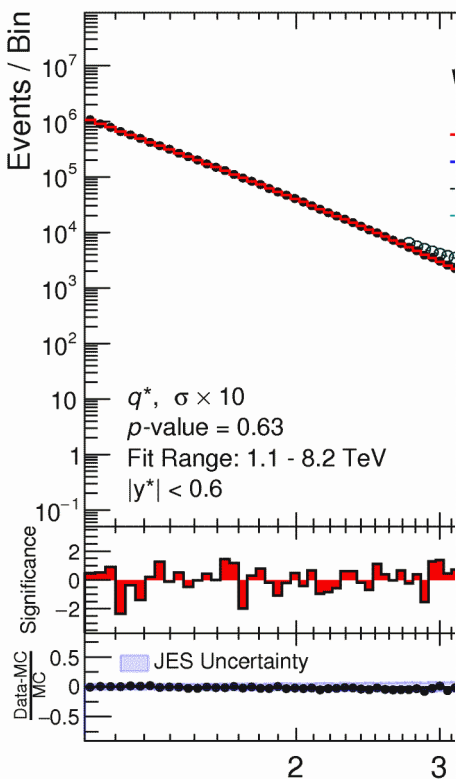
Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



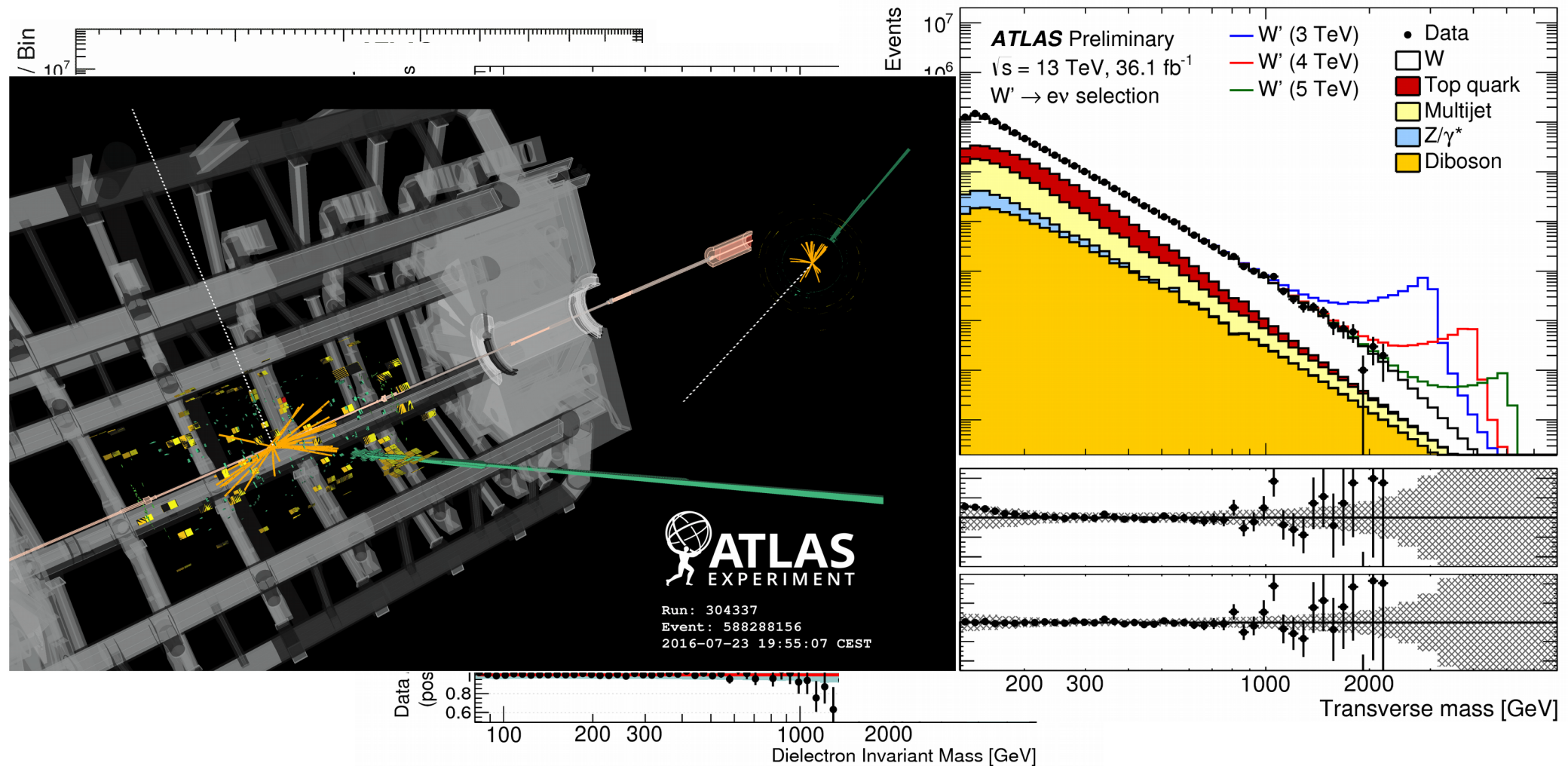
Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



Exotiques : état des lieux

ATLAS Exotics Searches* - 95% CL Exclusion

Status: August 2016

ATLAS Preliminary

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

$\int \mathcal{L} dt = (3.2 - 20.3) \text{ fb}^{-1}$

Model	ℓ, γ	Jets [†]	$E_{\text{T}}^{\text{miss}}$	$\int \mathcal{L} dt [\text{fb}^{-1}]$	Limit	Reference	
Extra dimensions	ADD $G_{KK} + g/q$	-	$\geq 1j$	Yes	3.2	M_D 6.58 TeV	$n = 2$ 1604.07773
	ADD non-resonant $\ell\ell$	$2 e, \mu$	-	-	20.3	M_S 4.7 TeV	$n = 3 \text{ HLZ}$ 1407.2410
	ADD QBH $\rightarrow \ell q$	$1 e, \mu$	$1j$	-	20.3	M_{th} 5.2 TeV	$n = 6$ 1311.2006
	ADD QBH	-	$2j$	-	15.7	M_{th} 8.7 TeV	$n = 6$ ATLAS-CONF-2016-069
	ADD BH high $\sum p_T$	$\geq 1 e, \mu$	$\geq 2j$	-	3.2	M_{th} 8.2 TeV	$n = 6, M_D = 3 \text{ TeV, rot BH}$ 1606.02265
	ADD BH multijet	-	$\geq 3j$	-	3.6	M_{th} 9.55 TeV	$n = 6, M_D = 3 \text{ TeV, rot BH}$ 1512.02586
	RS1 $G_{KK} \rightarrow \ell\ell$	$2 e, \mu$	-	-	20.3	$G_{KK} \text{ mass}$ 2.68 TeV	$k/\overline{M}_{Pl} = 0.1$ 1405.4123
	RS1 $G_{KK} \rightarrow \gamma\gamma$	2γ	-	-	3.2	$G_{KK} \text{ mass}$ 3.2 TeV	$k/\overline{M}_{Pl} = 0.1$ 1606.03833
	Bulk RS $G_{KK} \rightarrow WW \rightarrow qq\ell\nu$	$1 e, \mu$	$1J$	Yes	13.2	$G_{KK} \text{ mass}$ 1.24 TeV	$k/\overline{M}_{Pl} = 1.0$ ATLAS-CONF-2016-062
	Bulk RS $G_{KK} \rightarrow HH \rightarrow bbbb$	-	$4b$	-	13.3	$G_{KK} \text{ mass}$ 360-860 GeV	$k/\overline{M}_{Pl} = 1.0$ ATLAS-CONF-2016-049
	Bulk RS $g_{KK} \rightarrow tt$	$1 e, \mu$	$\geq 1b, \geq 1J/2j$	Yes	20.3	$g_{KK} \text{ mass}$ 2.2 TeV	$BR = 0.925$ 1505.07018
	2UED / RPP	$1 e, \mu$	$\geq 2b, \geq 4j$	Yes	3.2	$KK \text{ mass}$ 1.46 TeV	Tier (1,1), $BR(A^{(1,1)} \rightarrow tt) = 1$ ATLAS-CONF-2016-013
Gauge bosons	SSM $Z' \rightarrow \ell\ell$	$2 e, \mu$	-	-	13.3	$Z' \text{ mass}$ 4.05 TeV	ATLAS-CONF-2016-045
	SSM $Z' \rightarrow \tau\tau$	2τ	-	-	19.5	$Z' \text{ mass}$ 2.02 TeV	1502.07177
	Leptophobic $Z' \rightarrow bb$	-	$2b$	-	3.2	$Z' \text{ mass}$ 1.5 TeV	1603.08791
	SSM $W' \rightarrow \ell\nu$	$1 e, \mu$	-	Yes	13.3	$W' \text{ mass}$ 4.74 TeV	ATLAS-CONF-2016-061
	HVT $W' \rightarrow WZ \rightarrow qq\nu\nu$ model A	$0 e, \mu$	$1J$	Yes	13.2	$W' \text{ mass}$ 2.4 TeV	ATLAS-CONF-2016-082
	HVT $W' \rightarrow WZ \rightarrow qqqq$ model B	-	$2J$	-	15.5	$W' \text{ mass}$ 3.0 TeV	ATLAS-CONF-2016-055
	HVT $V' \rightarrow WH/ZH$ model B	multi-channel	-	-	3.2	$V' \text{ mass}$ 2.31 TeV	$g_V = 1$ $g_V = 3$ $g_V = 3$ 1607.05621
LRSM $W'_R \rightarrow tb$	$1 e, \mu$	$2b, 0-1j$	Yes	20.3	$W' \text{ mass}$ 1.92 TeV	1410.4103	
LRSM $W'_R \rightarrow tb$	$0 e, \mu$	$\geq 1b, 1J$	-	20.3	$W' \text{ mass}$ 1.76 TeV	1408.0886	
CI	CI $qqqq$	-	$2j$	-	15.7	Λ 19.9 TeV $\eta_{LL} = -1$	ATLAS-CONF-2016-069
	CI $\ell\ell qq$	$2 e, \mu$	-	-	3.2	Λ 25.2 TeV $\eta_{LL} = -1$	1607.03669
	CI $uutt$	$2(SS) \geq 3 e, \mu$	$\geq 1b, \geq 1j$	Yes	20.3	Λ 4.9 TeV	$ C_{RR} = 1$ 1504.04605
DM	Axial-vector mediator (Dirac DM)	$0 e, \mu$	$\geq 1j$	Yes	3.2	m_A 1.0 TeV	$g_q = 0.25, g_\tau = 1.0, m(\chi) < 250 \text{ GeV}$ 1604.07773
	Axial-vector mediator (Dirac DM)	$0 e, \mu, 1 \gamma$	$1j$	Yes	3.2	m_A 710 GeV	$g_q = 0.25, g_\tau = 1.0, m(\chi) < 150 \text{ GeV}$ 1604.01306
	$ZZ\chi\chi$ EFT (Dirac DM)	$0 e, \mu$	$1J, \leq 1j$	Yes	3.2	M_χ 550 GeV	$m(\chi) < 150 \text{ GeV}$ ATLAS-CONF-2015-080
LQ	Scalar LQ 1 st gen	$2e$	$\geq 2j$	-	3.2	LQ mass 1.1 TeV	$\beta = 1$ 1605.06035
	Scalar LQ 2 nd gen	2μ	$\geq 2j$	-	3.2	LQ mass 1.05 TeV	$\beta = 1$ 1605.06035
	Scalar LQ 3 rd gen	$1 e, \mu$	$\geq 1b, \geq 3j$	Yes	20.3	LQ mass 640 GeV	$\beta = 0$ 1508.04735
Heavy quarks	VLQ $TT \rightarrow Ht + X$	$1 e, \mu$	$\geq 2b, \geq 3j$	Yes	20.3	T mass 855 GeV	T in (T,B) doublet 1505.04306
	VLQ $YY \rightarrow Wb + X$	$1 e, \mu$	$\geq 1b, \geq 3j$	Yes	20.3	Y mass 770 GeV	Y in (B,Y) doublet 1505.04306
	VLQ $BB \rightarrow Hb + X$	$1 e, \mu$	$\geq 2b, \geq 3j$	Yes	20.3	B mass 735 GeV	isospin singlet 1505.04306
	VLQ $BB \rightarrow Zb + X$	$2/\geq 3 e, \mu$	$\geq 2/\geq 1b$	-	20.3	B mass 755 GeV	B in (B,Y) doublet 1409.5500
	VLQ $QQ \rightarrow WqWq$	$1 e, \mu$	$\geq 4j$	Yes	20.3	Q mass 690 GeV	1509.04261
	VLQ $T_{5/3} T_{5/3} \rightarrow WtWt$	$2(SS) \geq 3 e, \mu$	$\geq 1b, \geq 1j$	Yes	3.2	$T_{5/3} \text{ mass}$ 990 GeV	ATLAS-CONF-2016-032
	Excited fermions	Excited quark $q^* \rightarrow q\gamma$	1γ	$1j$	-	3.2	$q^* \text{ mass}$ 4.4 TeV
Excited quark $q^* \rightarrow qg$		-	$2j$	-	15.7	$q^* \text{ mass}$ 5.6 TeV	only u^* and d^* , $\Lambda = m(q^*)$ ATLAS-CONF-2016-069
Excited quark $b^* \rightarrow bg$		-	$1b, 1j$	-	8.8	$b^* \text{ mass}$ 2.3 TeV	ATLAS-CONF-2016-060
Excited quark $b^* \rightarrow Wt$		$1 \text{ or } 2 e, \mu$	$1b, 2-0j$	Yes	20.3	$b^* \text{ mass}$ 1.5 TeV	$f_g = f_t = f_R = 1$ 1510.02664
Excited lepton ℓ^*		$3 e, \mu$	-	-	20.3	$\ell^* \text{ mass}$ 3.0 TeV	$\Lambda = 3.0 \text{ TeV}$ 1411.2921
Excited lepton ν^*		$3 e, \mu, \tau$	-	-	20.3	$\nu^* \text{ mass}$ 1.6 TeV	$\Lambda = 1.6 \text{ TeV}$ 1411.2921
Other		LSTC $a_T \rightarrow W\gamma$	$1 e, \mu, 1 \gamma$	-	Yes	20.3	$a_T \text{ mass}$ 960 GeV
	LRSM Majorana ν	$2 e, \mu$	$2j$	-	20.3	$N^0 \text{ mass}$ 2.0 TeV	$m(W_R) = 2.4 \text{ TeV, no mixing}$ 1506.06020
	Higgs triplet $H^{\pm\pm} \rightarrow ee$	$2e$ (SS)	-	-	13.9	$H^{\pm\pm} \text{ mass}$ 570 GeV	DY production, $BR(H^{\pm\pm} \rightarrow ee)=1$ ATLAS-CONF-2016-051
	Higgs triplet $H^{\pm\pm} \rightarrow \ell\tau$	$3 e, \mu, \tau$	-	-	20.3	$H^{\pm\pm} \text{ mass}$ 400 GeV	DY production, $BR(H^{\pm\pm} \rightarrow \ell\tau)=1$ 1411.2921
	Monotop (non-res prod)	$1 e, \mu$	$1b$	Yes	20.3	spin-1 invisible particle mass 657 GeV	$a_{\text{non-res}} = 0.2$ 1410.5404
	Multi-charged particles	-	-	-	20.3	multi-charged particle mass 785 GeV	DY production, $ q = 5e$ 1504.04188
	Magnetic monopoles	-	-	-	7.0	monopole mass 1.34 TeV	DY production, $ g = 1g_D, \text{spin } 1/2$ 1509.08059

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

*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. Lower bounds are specified only when explicitly not excluded.

†Small-radius (large-radius) jets are denoted by the letter j (J).

• On n'a rien trouvé non plus, mais on continue de chercher !

C'est tout ?

Nous et l'Univers visible

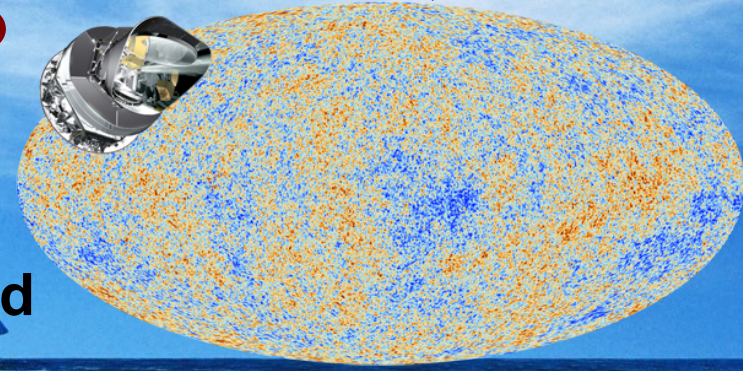


Modèle standard



Planck, mars 2013

C'est tout ?



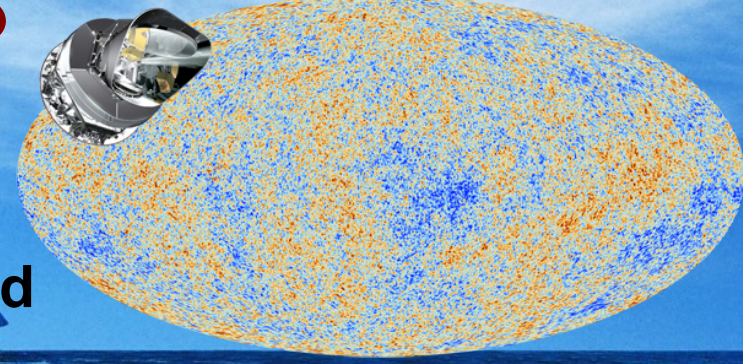
Nous et l'Univers visible



5% Modèle standard



C'est tout ?



Nous et l'Univers visible

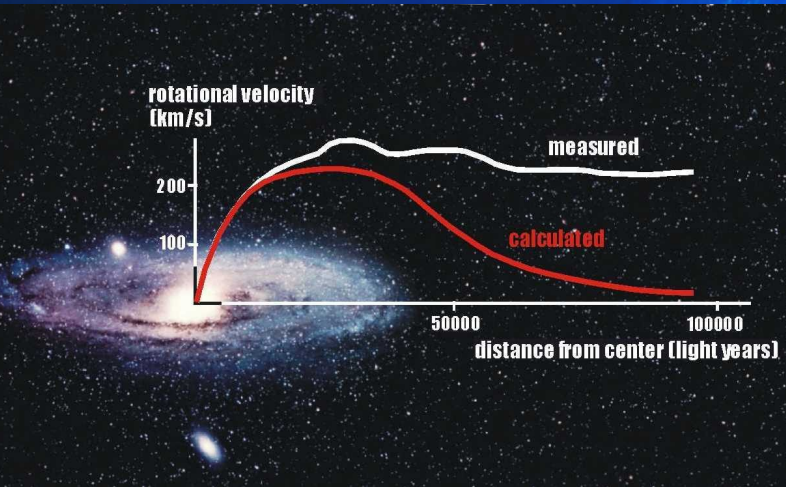


5% Modèle standard

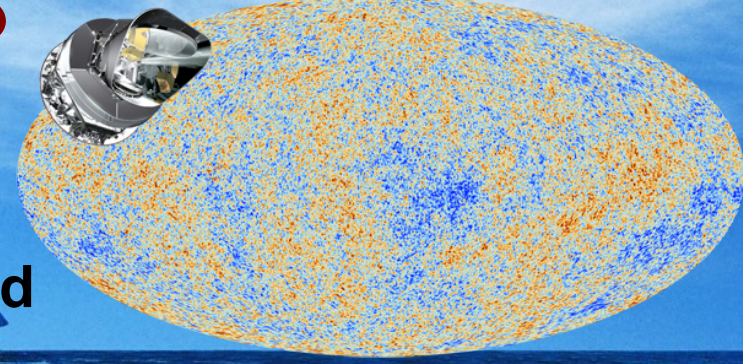
27% Matière noire



- On ne sait pas ce que c'est mais on croit savoir que c'est là
- Candidats observables au LHC (supersymétrie, ...) ?



C'est tout ?



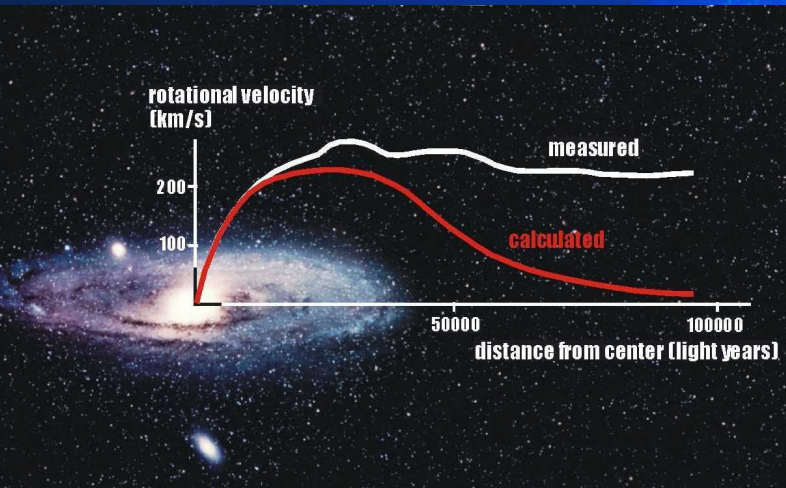
Nous et l'Univers visible



5% **Modèle standard**

27% **Matière noire**

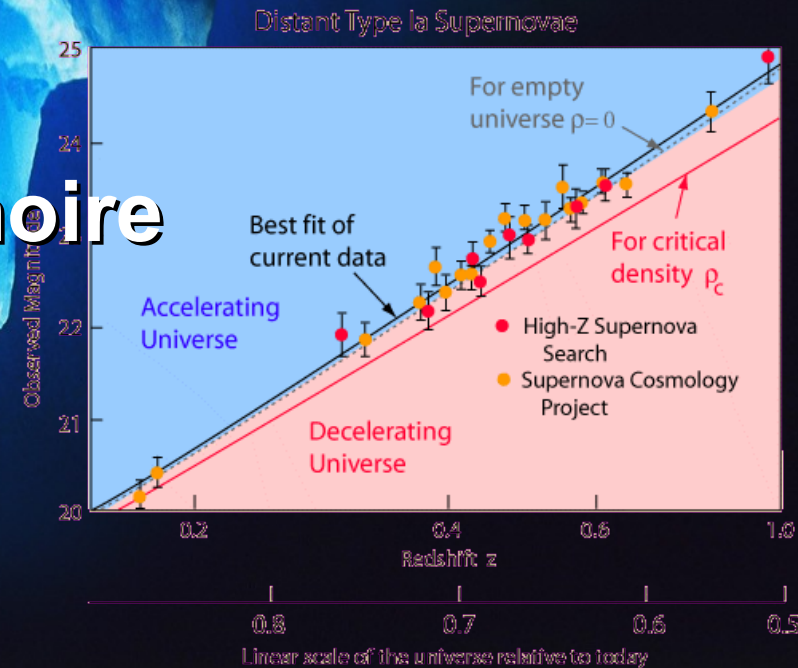
- On ne sait pas ce que c'est mais on croit savoir que c'est là
- Candidats observables au LHC (supersymétrie, ...) ?



68% **Énergie noire**



Pas la moindre idée de son origine !



Lien entre l'infiniment grand et l'infiniment petit

- Lien entre le boson de Higgs et l'inflation ?
- Lien avec la masse des neutrinos ?



Lien entre l'infiniment grand et l'infiniment petit

- Lien entre le boson de Higgs et l'inflation ?
- Lien avec la masse des neutrinos ?

LHC Saison 2 :

- Étude des propriétés du boson observé
 - ▶ Déviations du modèle standard ?
- Recherche d'autres bosons de Higgs
 - ▶ Signe de nouvelle physique ?

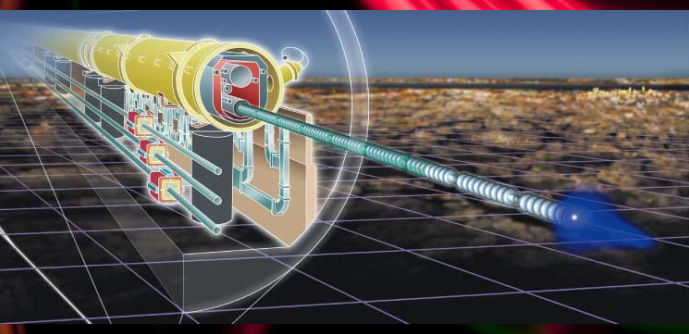
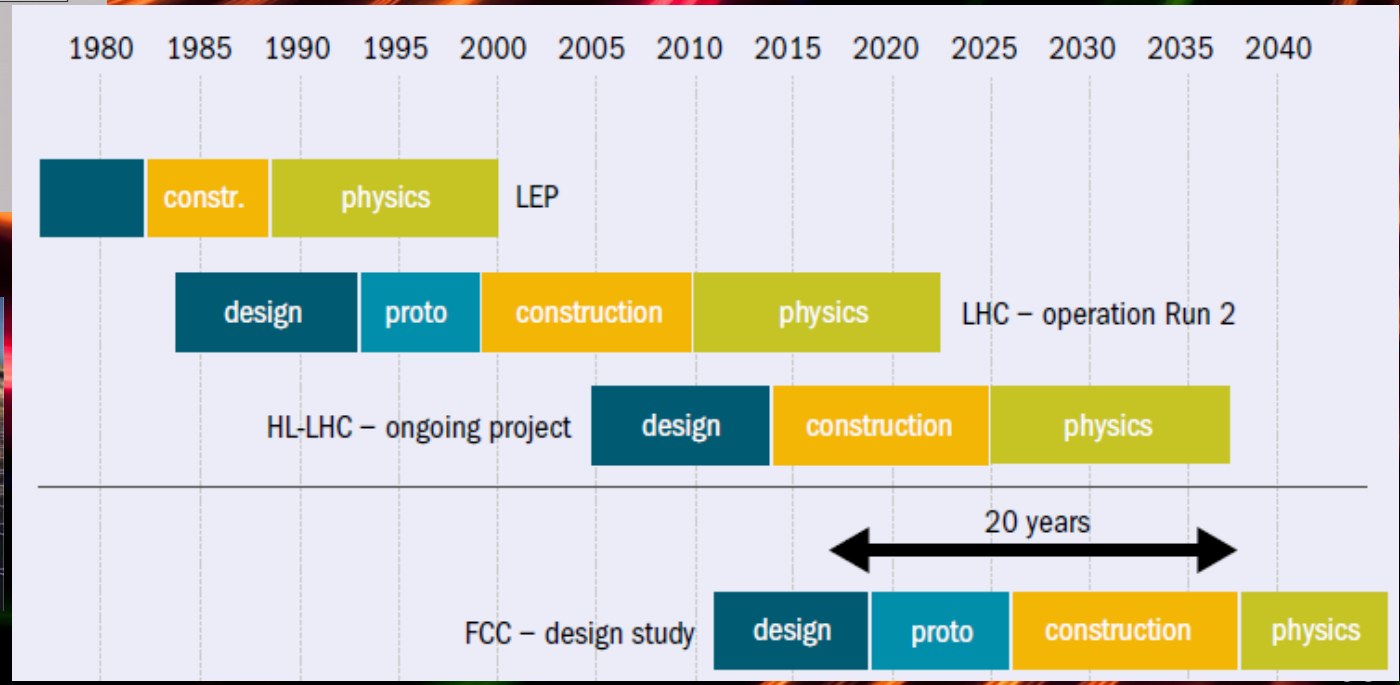
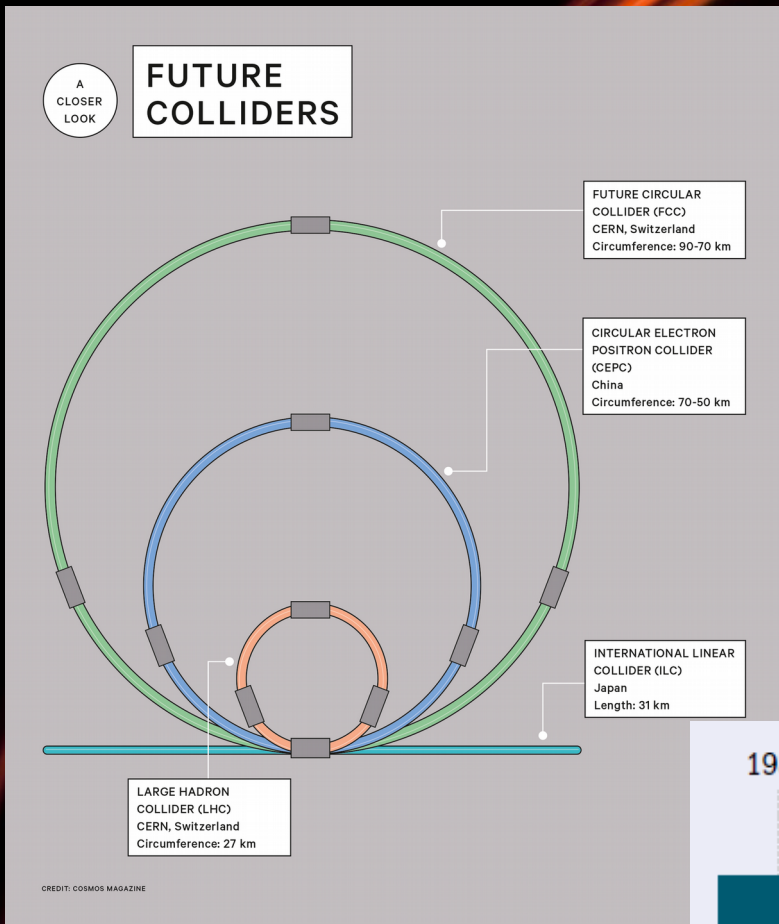
Lien entre l'infiniment grand et l'infiniment petit

- Lien entre le boson de Higgs et l'inflation ?
- Lien avec la masse des neutrinos ?

LHC Saison 2 :

- Étude des propriétés du boson observé
 - ▶ Déviations du modèle standard ?
- Recherche d'autres bosons de Higgs
 - ▶ Signe de nouvelle physique ?
- Recherche de candidats pour expliquer la matière noire
- Asymétrie matière-antimatière
- On espère des surprises !

Et après ?



Liens

ATLAS@home



atlasathome.cern.ch

ATLAS grand public



atlas.ch

ATLAS en direct

atlas-live.cern.ch

ATLAS sur



twitter.com/ATLASexperiment

ATLAS sur



www.facebook.com/ATLASexperiment

ATLAS sur



www.google.com/+ATLASexperiment

ATLAS sur



www.youtube.com/theATLASExperiment

Site français du



www.lhc-france.fr

Le CPPM



www.cppm.in2p3.fr

Le CERN



cern.ch

Le CERN sur



twitter.com/cern

Nouvelle affiche du SM

www.particuleselementaires.fr

Films utilisés

- Chaîne d'accélération du LHC
<http://cds.cern.ch/record/2020780>
- Détection des particules dans ATLAS
<http://www.atlas.ch/multimedia/how-atlas-detects-particles.html>
- ATLAS : un nouvel espoir (épisode I)
<https://cds.cern.ch/record/1458001>
- Le détecteur à pixels
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Visits/resources/smartboard/fr/inner/index.html>
- Le calorimètre électromagnétique
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Visits/resources/smartboard/fr/ecal/index.html>
- Le calorimètre hadronique
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Visits/resources/smartboard/fr/hcal/index.html>
- Le détecteur de muons
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Visits/resources/smartboard/fr/muons/index.html>
- Désintégration d'un boson de Higgs en deux photons dans ATLAS
<http://www.atlas.ch/multimedia/2-photon-event.html>
- Evolution dans le temps du spectre de masse $H \rightarrow \gamma\gamma$
<http://twiki.cern.ch/twiki/pub/AtlasPublic/HiggsPublicResults/Hgg-FloatingScale-Short2.gif>
- Evolution dans le temps du spectre de masse $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow \ell\ell\ell\ell$
<http://twiki.cern.ch/twiki/pub/AtlasPublic/HiggsPublicResults/4l-FixedScale-NoMuProf2.gif>