

# Comment chasser un boson de Higgs ?

Yann Coadou

Centre de physique des particules de Marseille

Villa Méditerranée, Marseille

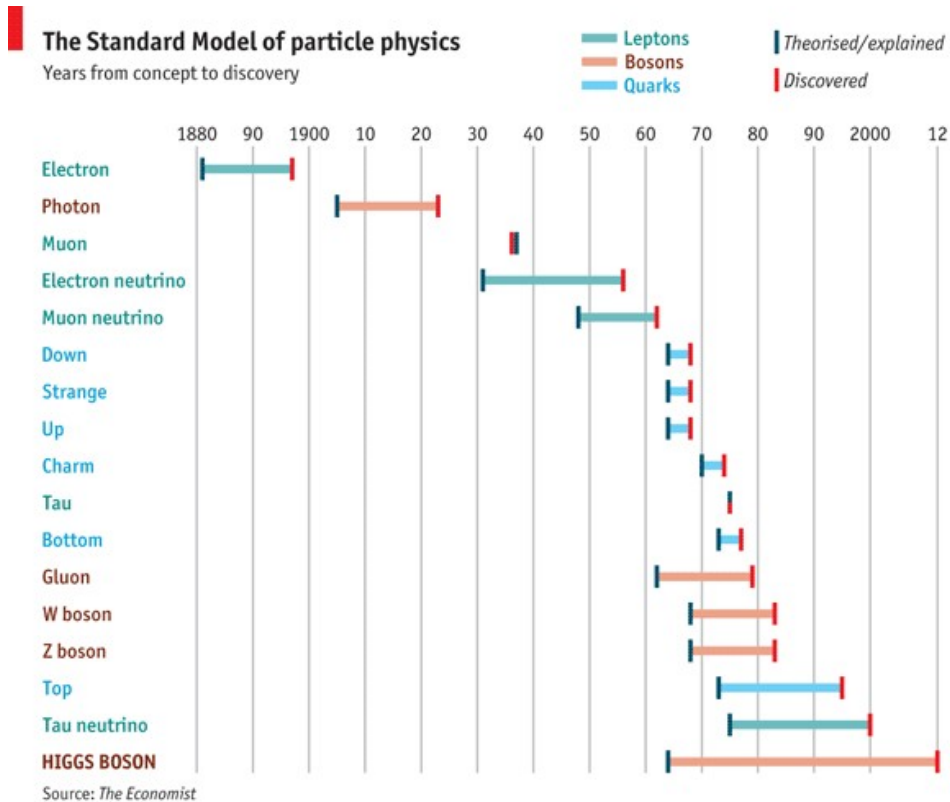
28 mai 2014



# Pourquoi ce battage médiatique le 4 juillet 2012 ?



# Une longue quête

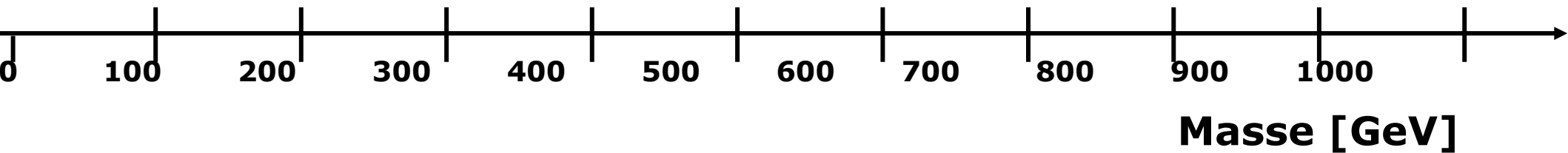


© The Economist

- 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

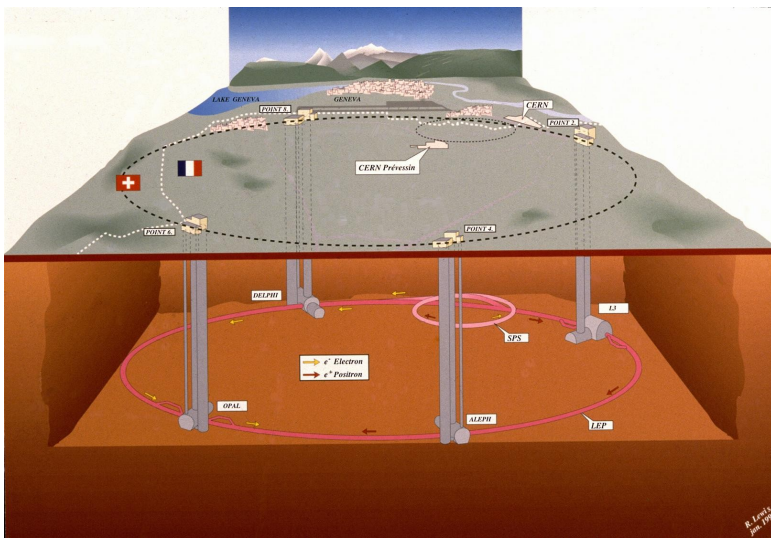
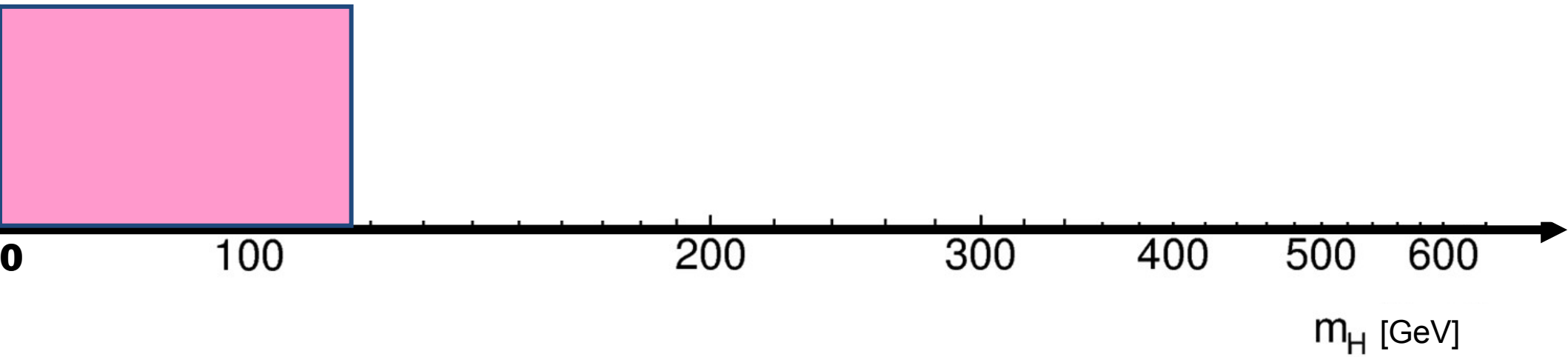
?



- Seule contrainte théorique : masse  $< 1000$  GeV

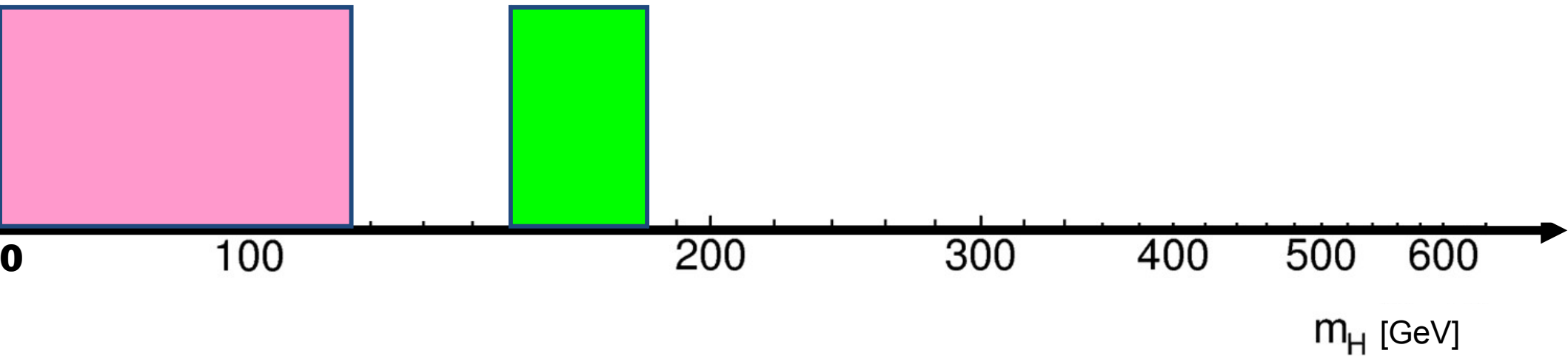
# La chasse au boson de Higgs

LEP  
1989-2000



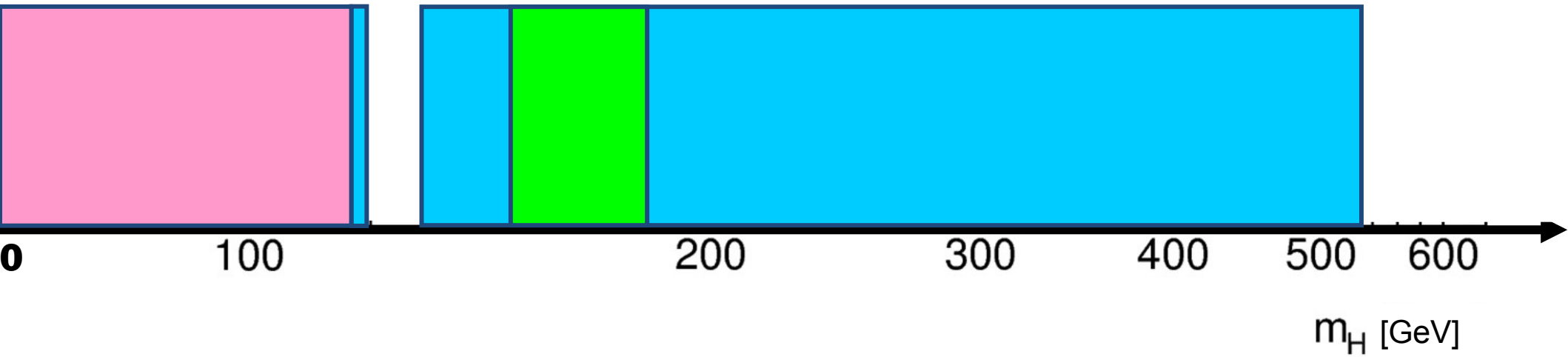
# La chasse au boson de Higgs

Tevatron  
1983-2011

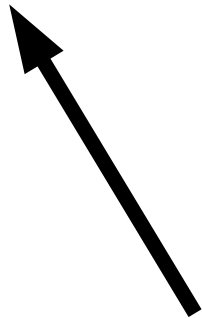
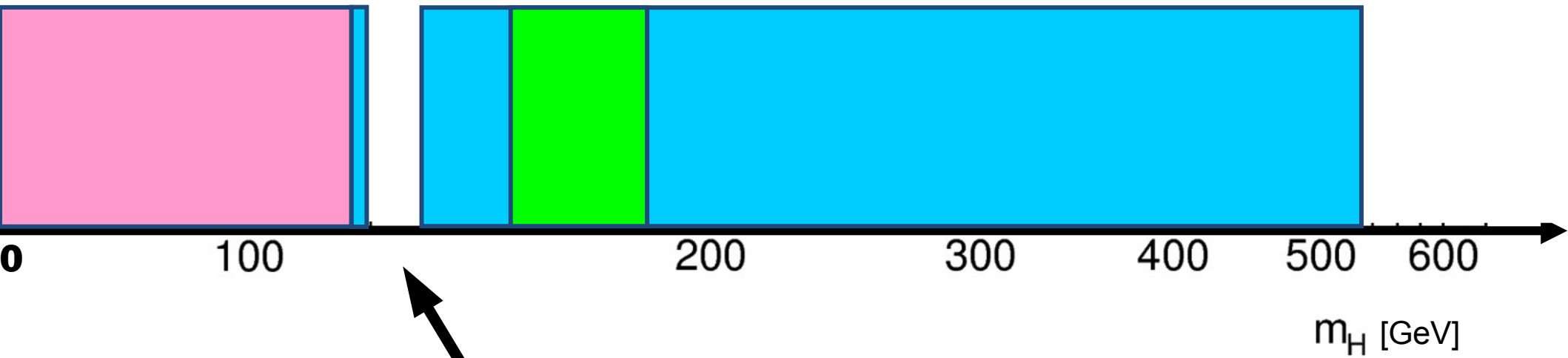


# La chasse au boson de Higgs

LHC  
2009-2011



# La chasse au boson de Higgs



?



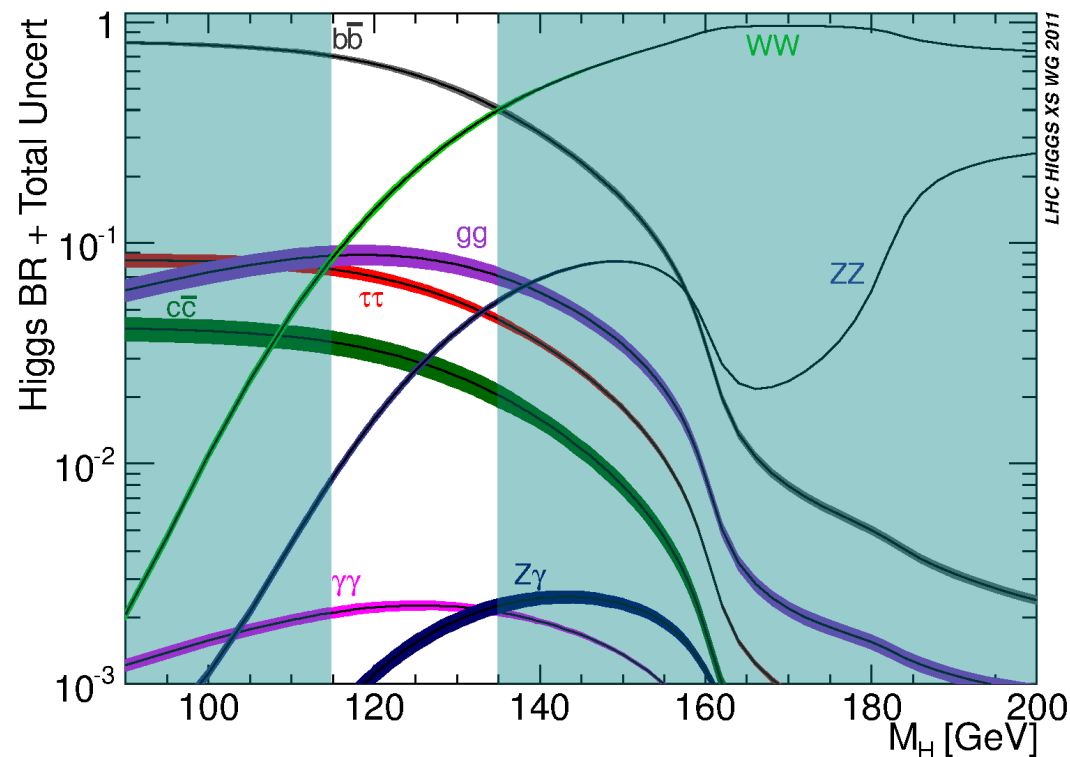


# Comment s'y prend-on ?

- 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 126 GeV :

- ▶ 56 fois sur 100 en  $b\bar{b}$
- ▶ 3 fois sur 100 en  $ZZ$
- ▶ 2 fois sur 1000 en  $\gamma\gamma$



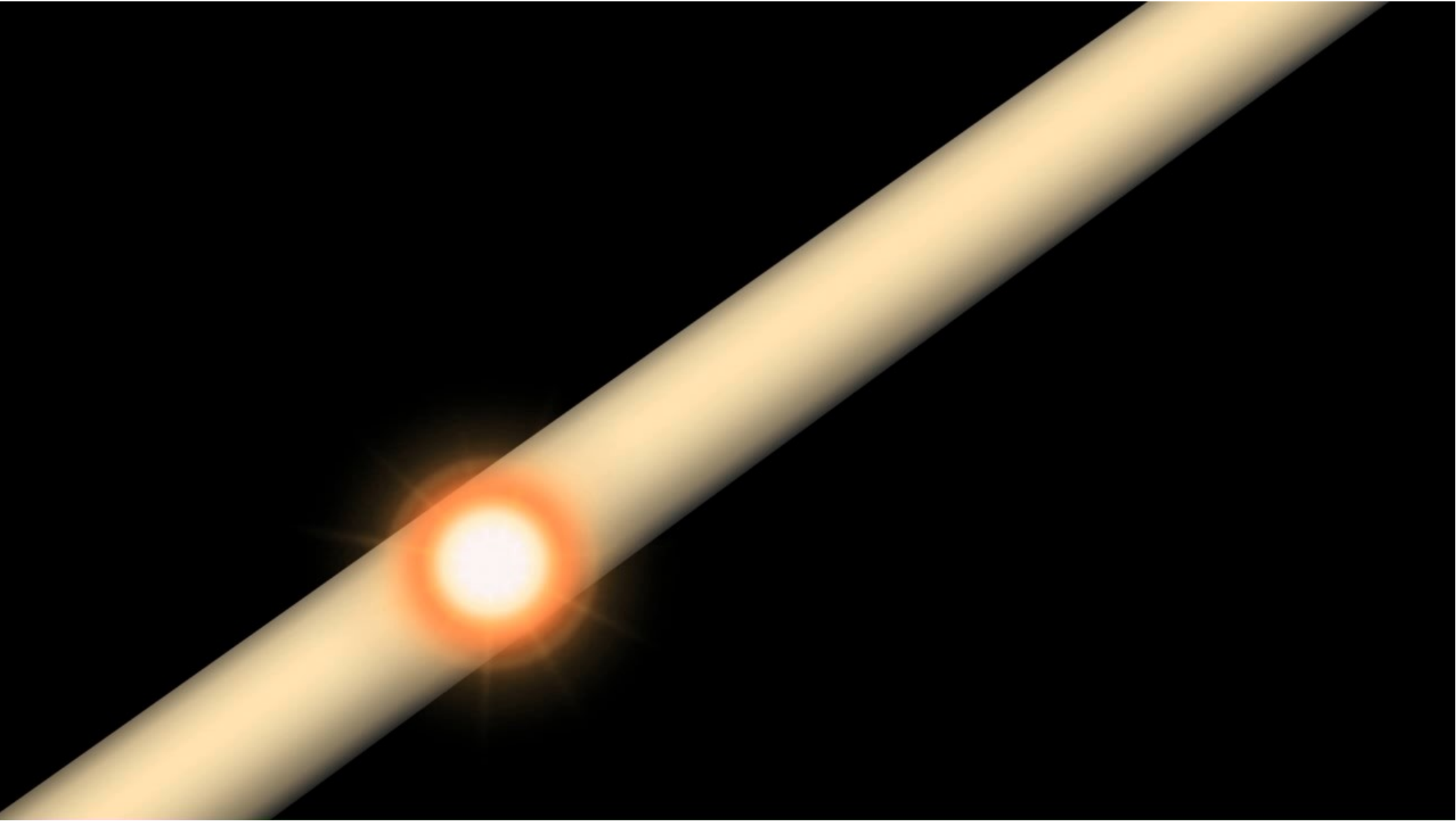
- Note : le plus fréquent n'est pas forcément le plus facile à observer

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

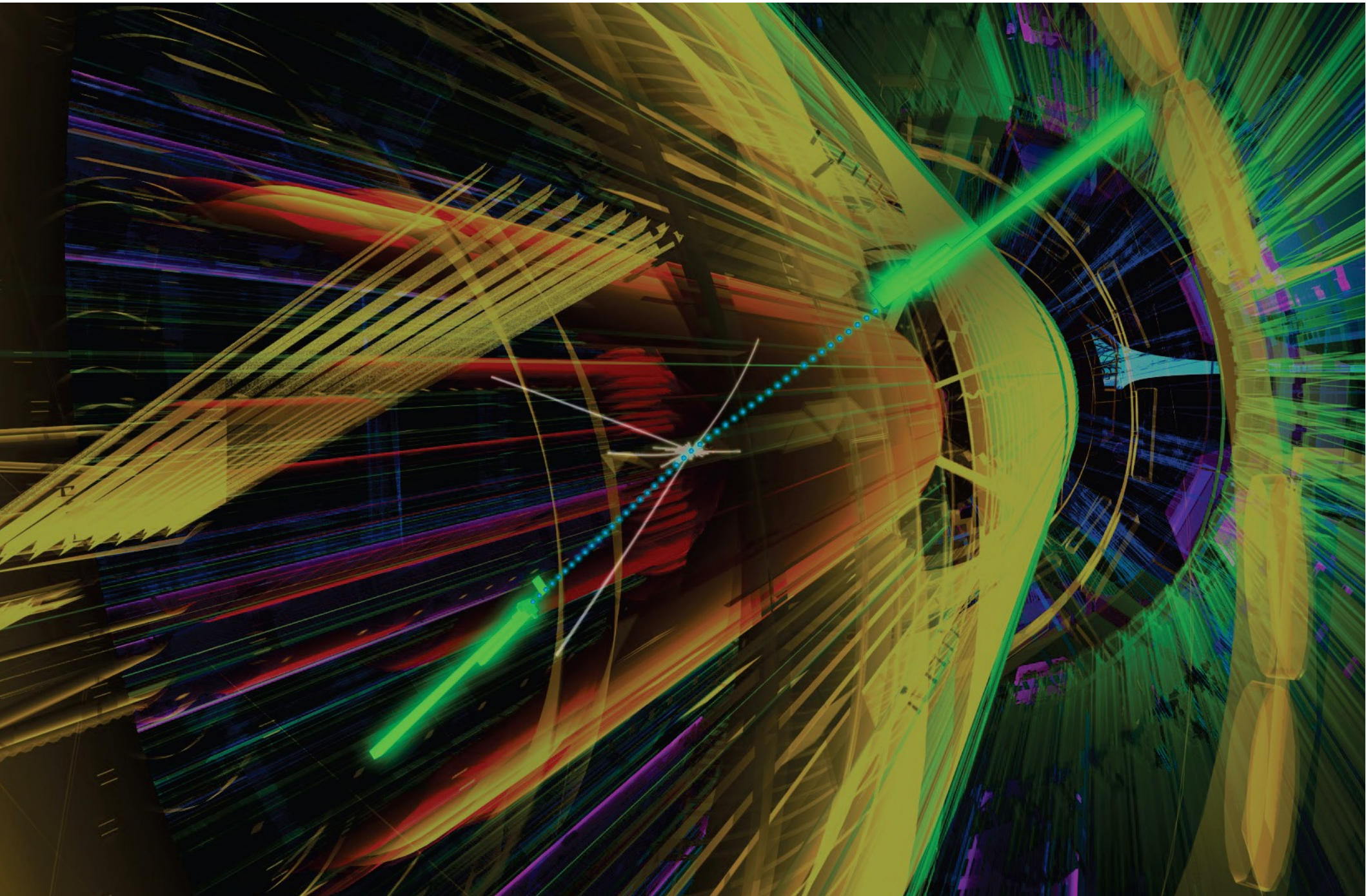
- Le boson de Higgs n'est pas produit très souvent, il faut donc analyser énormément de collisions
- La trace de sa désintégration dans le détecteur peut être imitée par d'autres processus, très difficiles à différencier de ce que l'on cherche
- Une aiguille dans une botte d'aiguilles



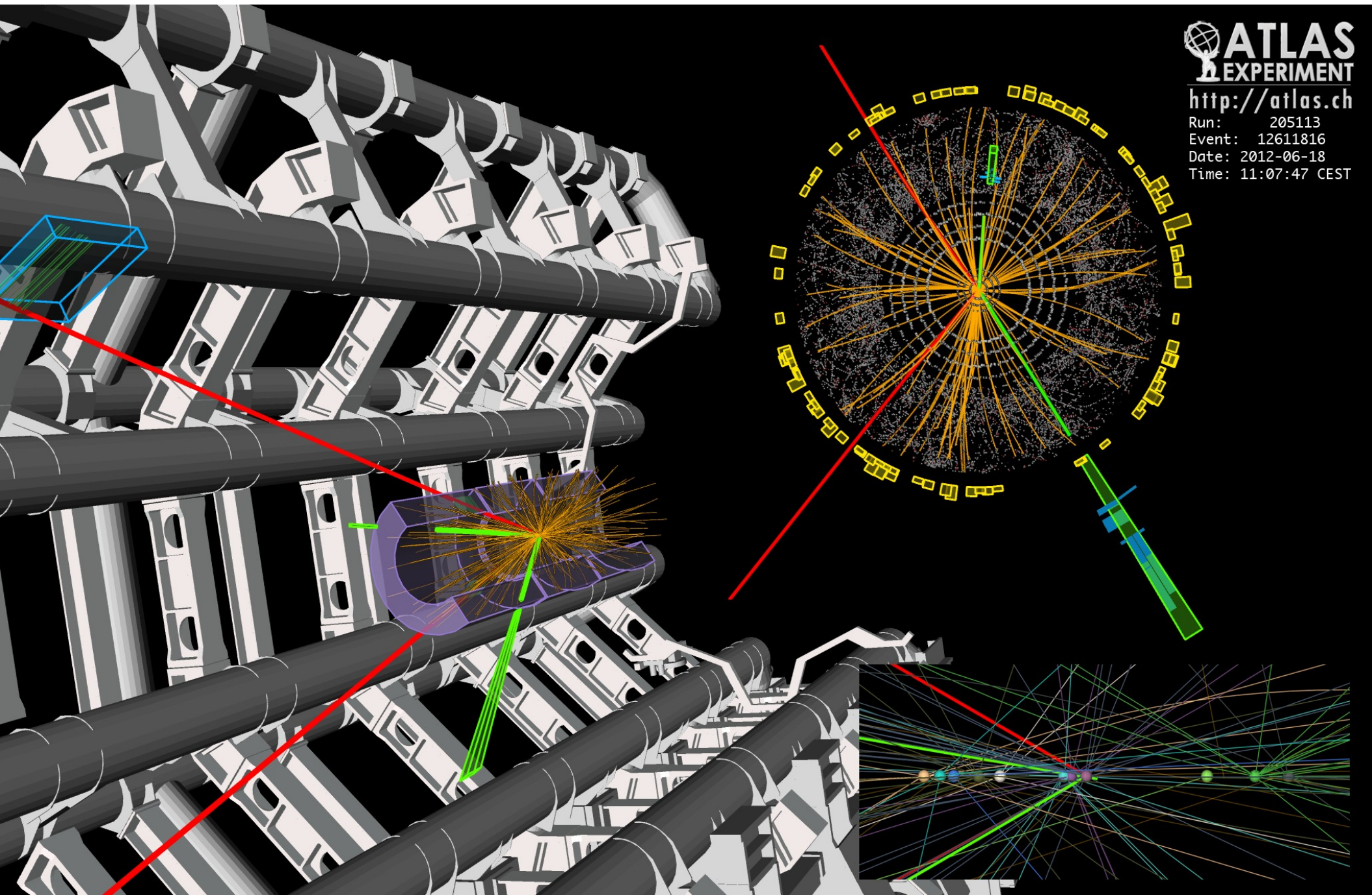
# Boson de Higgs dans ATLAS



# Candidat $H \rightarrow \gamma\gamma$



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



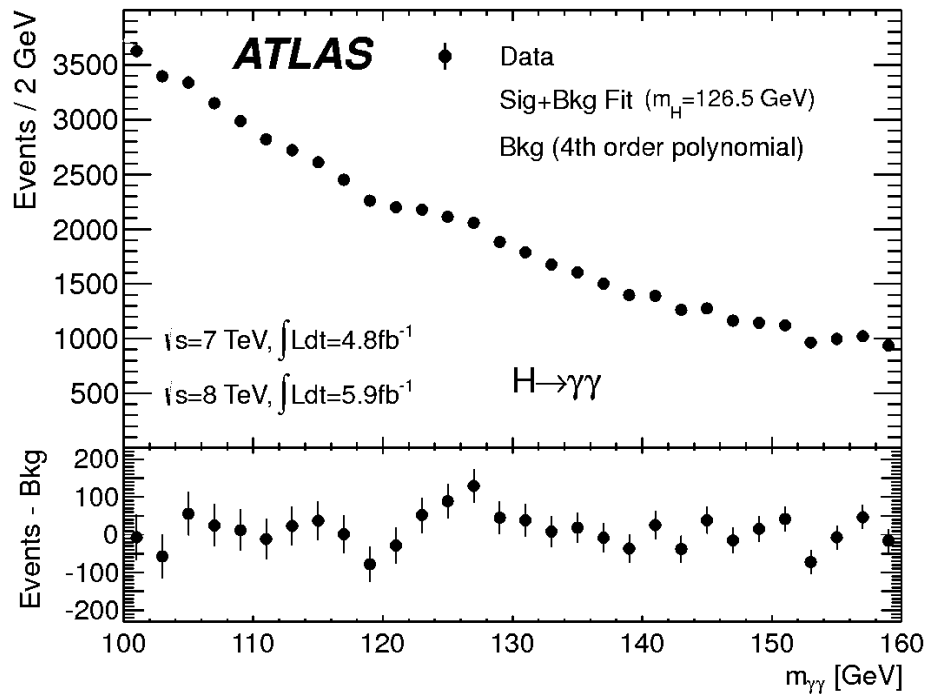
**ATLAS**  
EXPERIMENT

<http://atlas.ch>

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

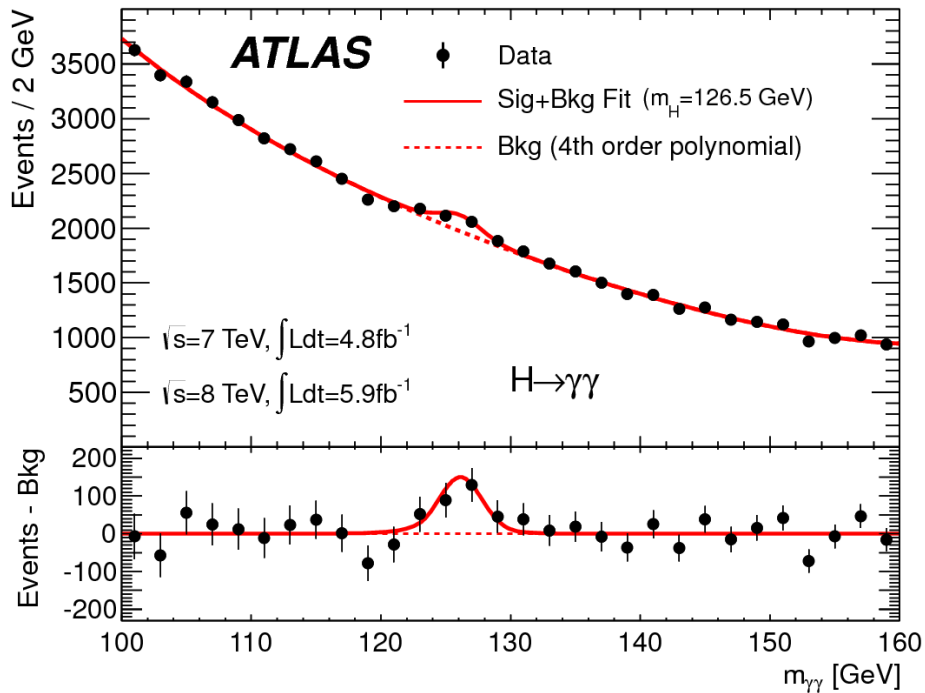
# Mesure

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



# Mesure

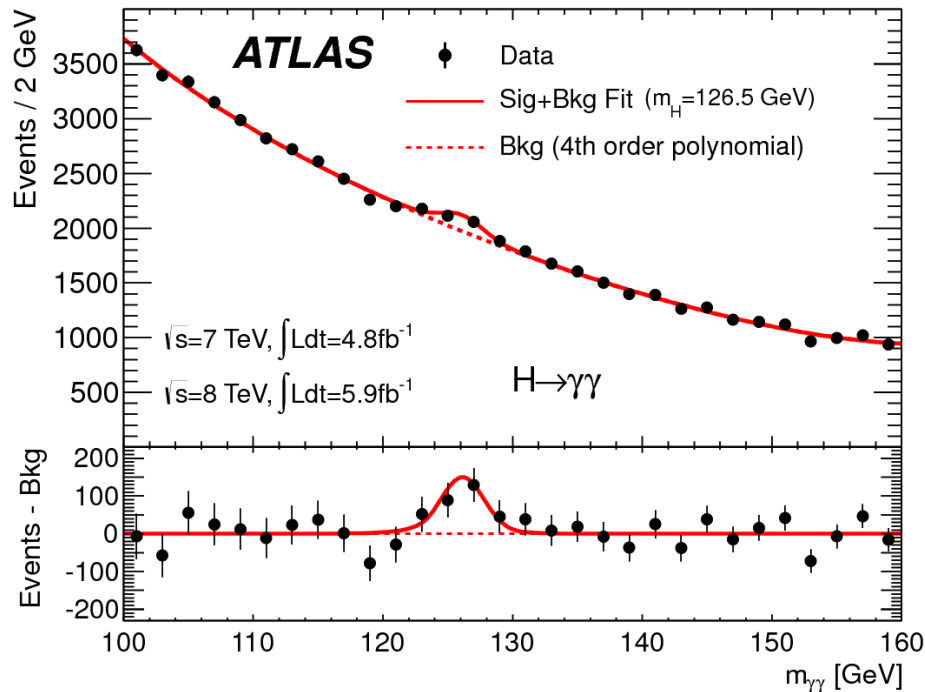
- Higgs en 2 photons
  - ▶ Bruit de fond important
  - ▶ Petit pic avec « beaucoup » de signal



# Mesure

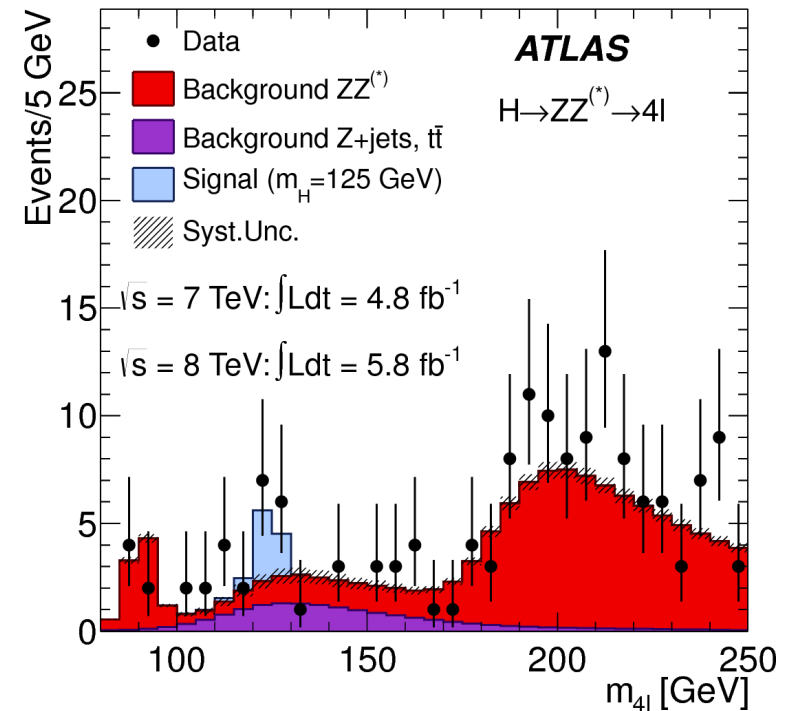
- Higgs en 2 photons

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



- Higgs en ZZ

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





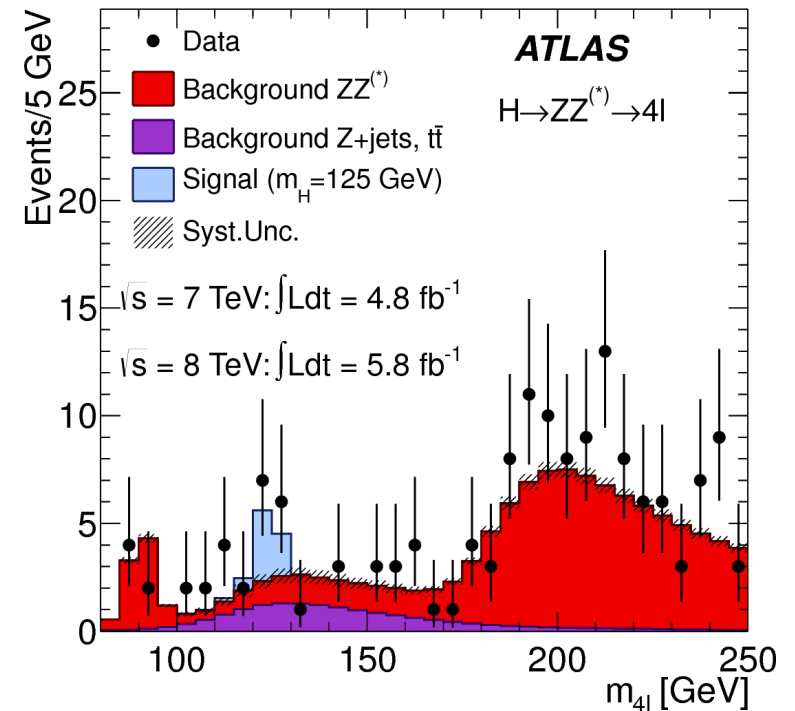
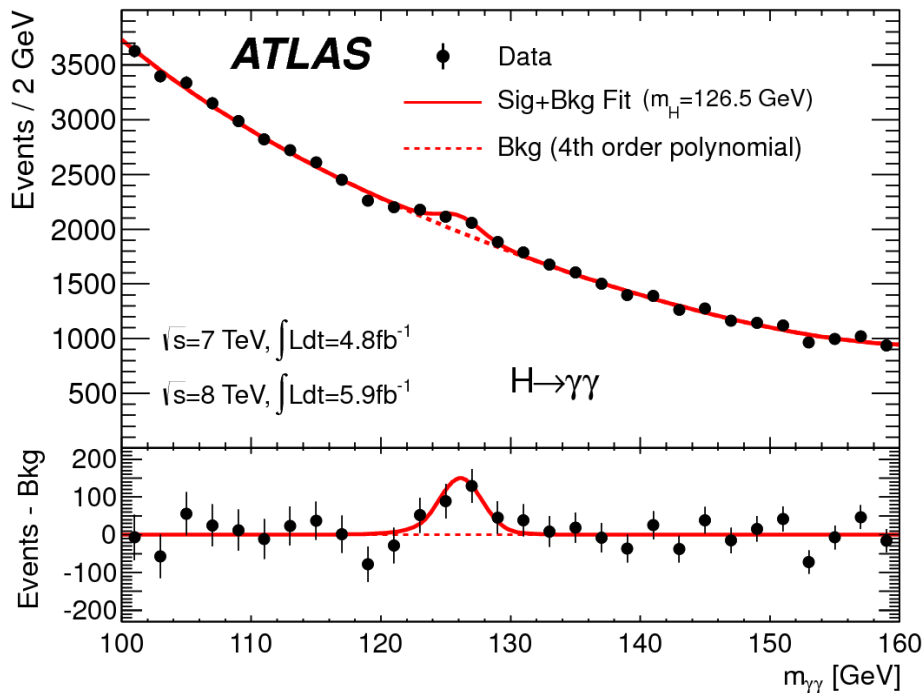
# Mesure

- Higgs en 2 photons

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

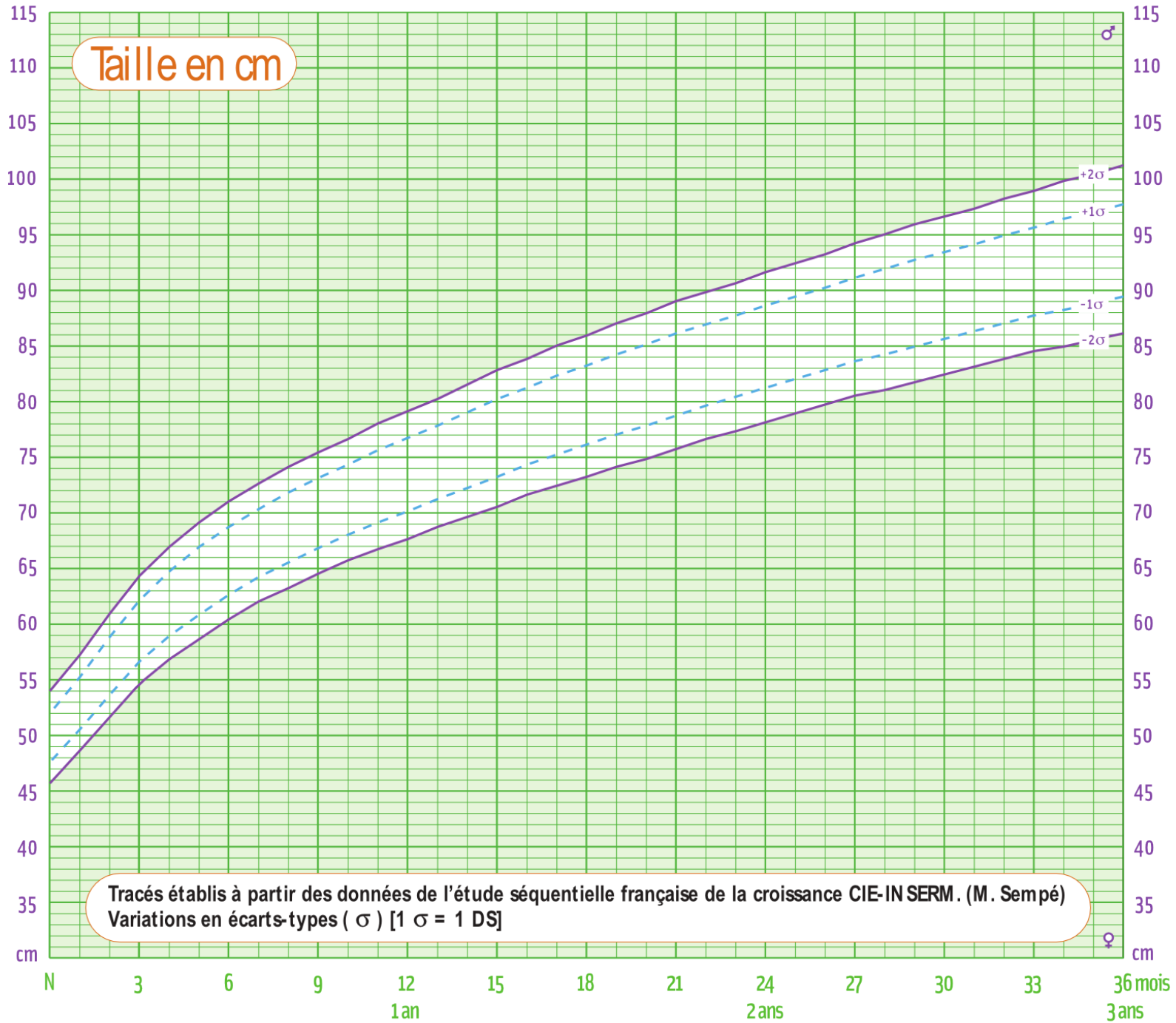
- Higgs en ZZ

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

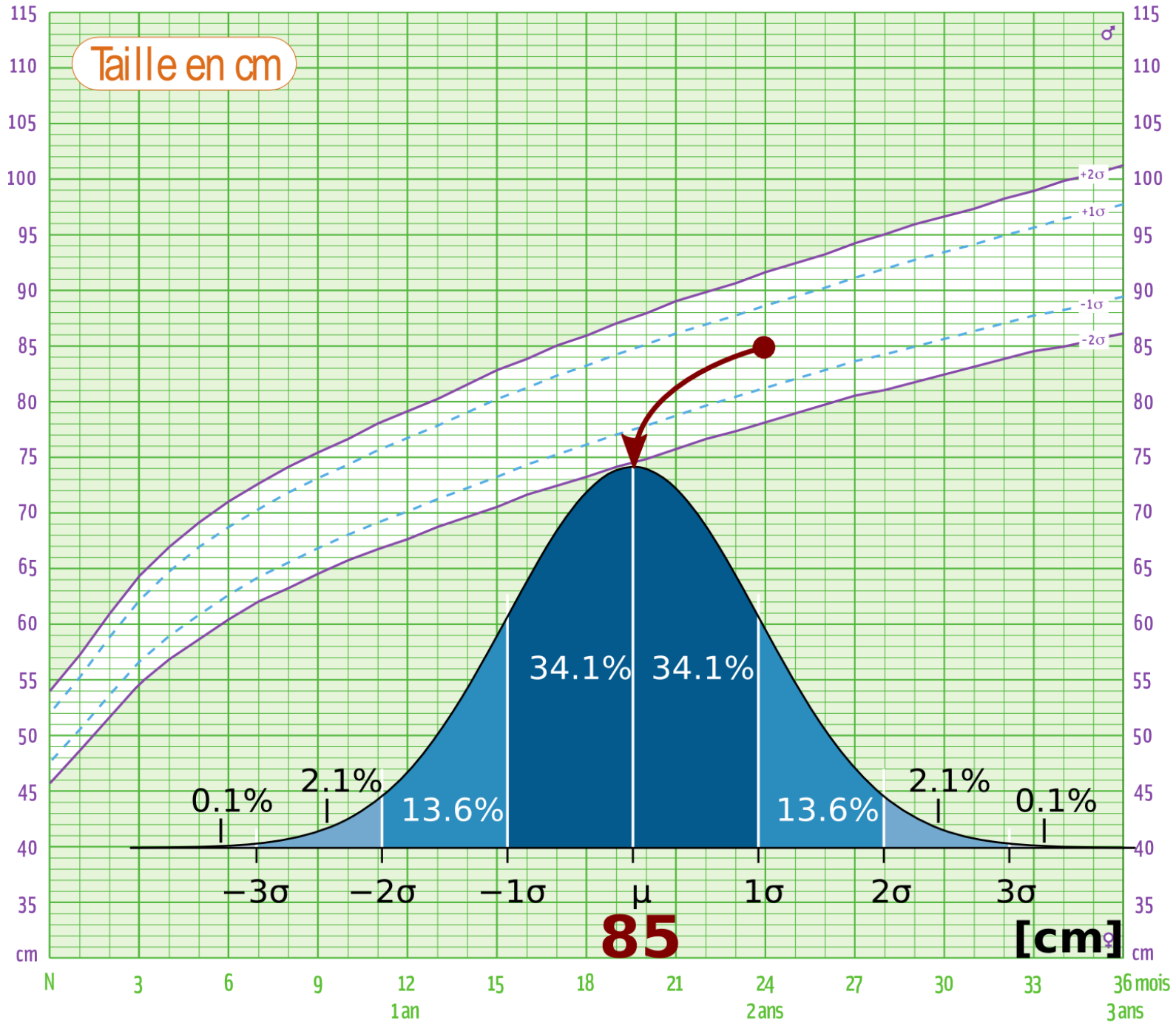


Est-ce que cela est significatif ?  
Outils statistiques pour répondre

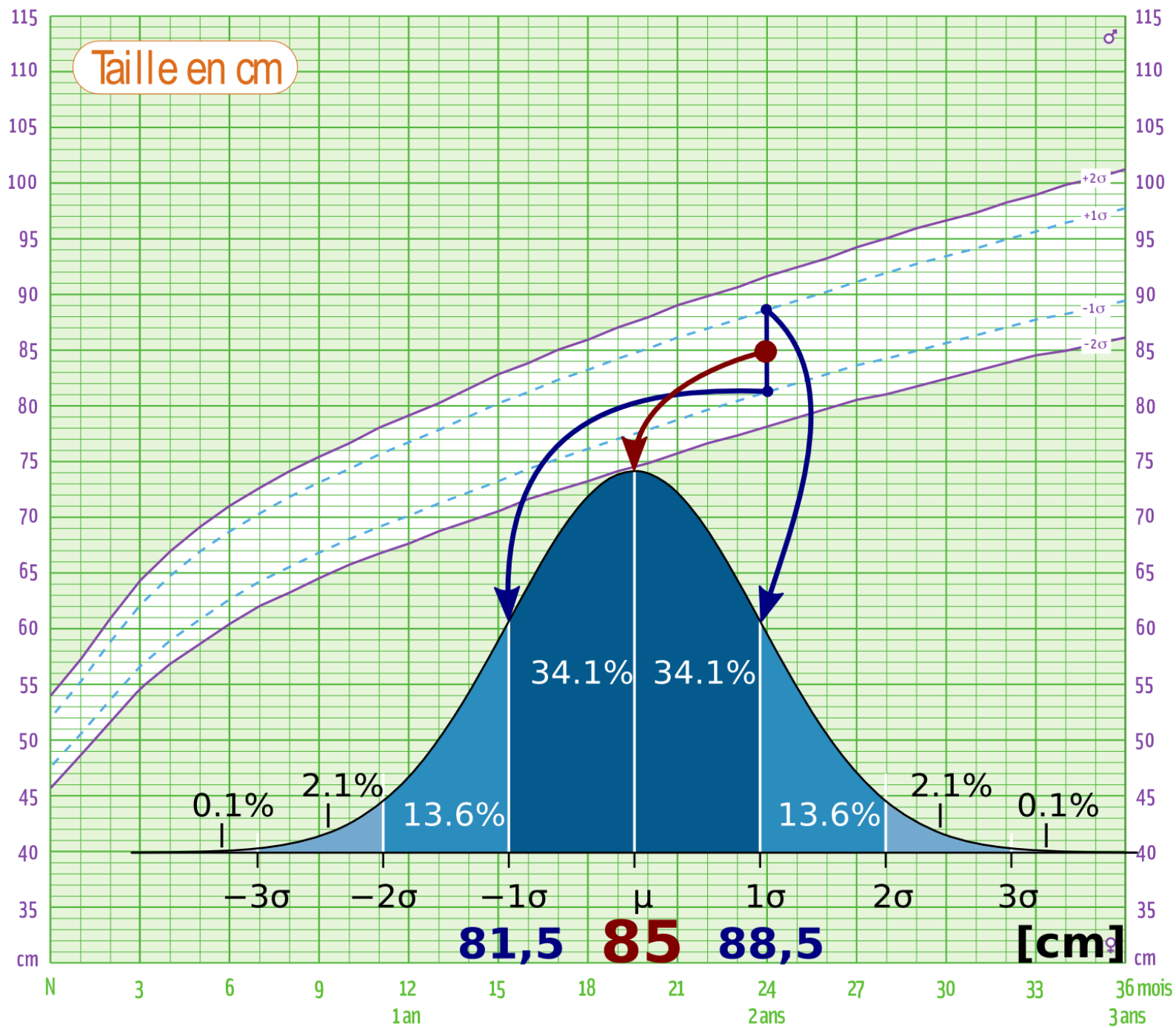
# La Gaussienne



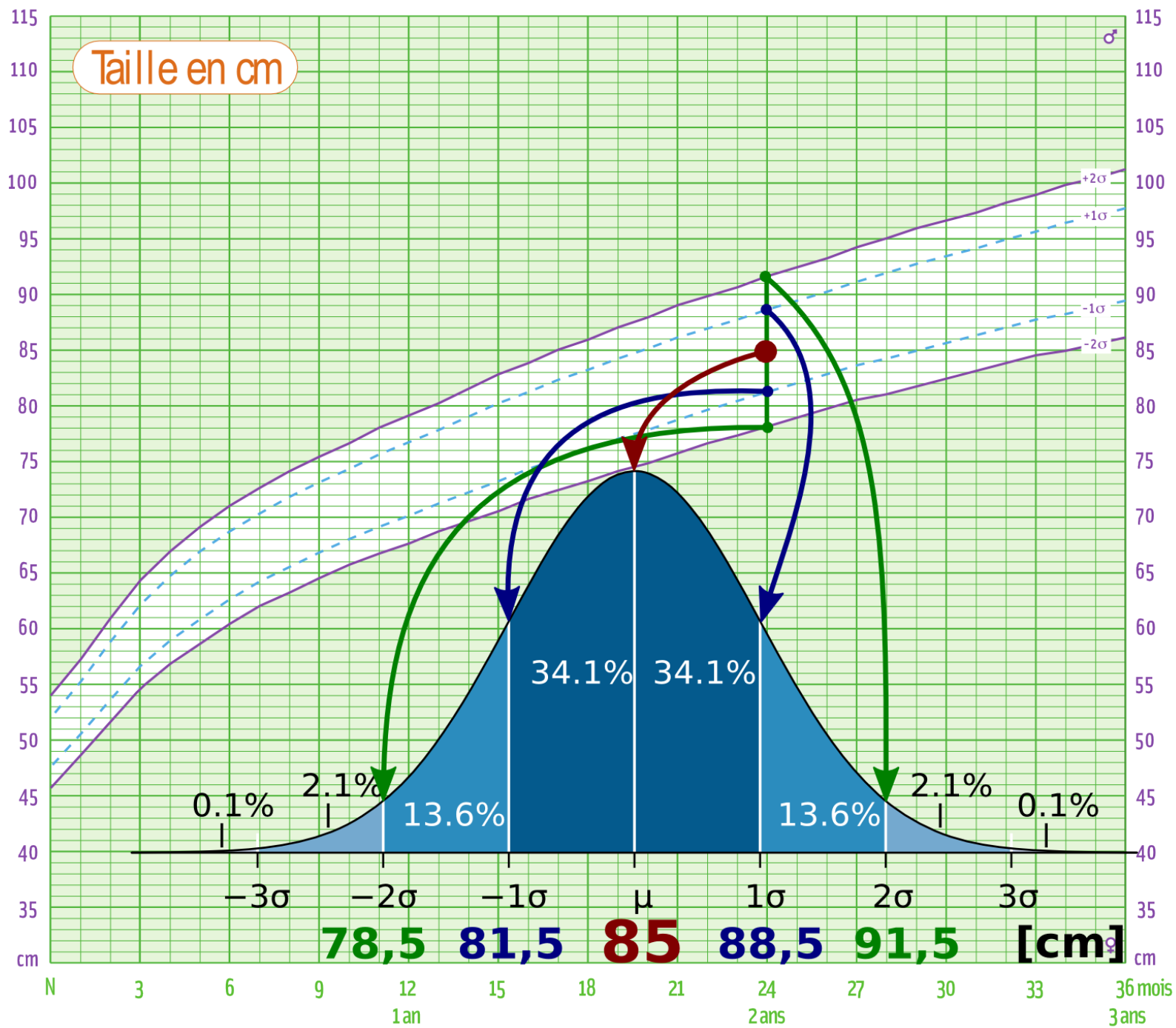
# La Gaussienne



# La Gaussienne



# La Gaussienne

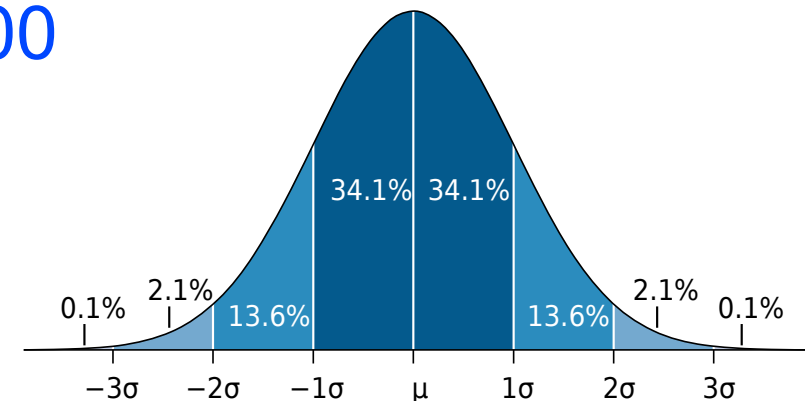
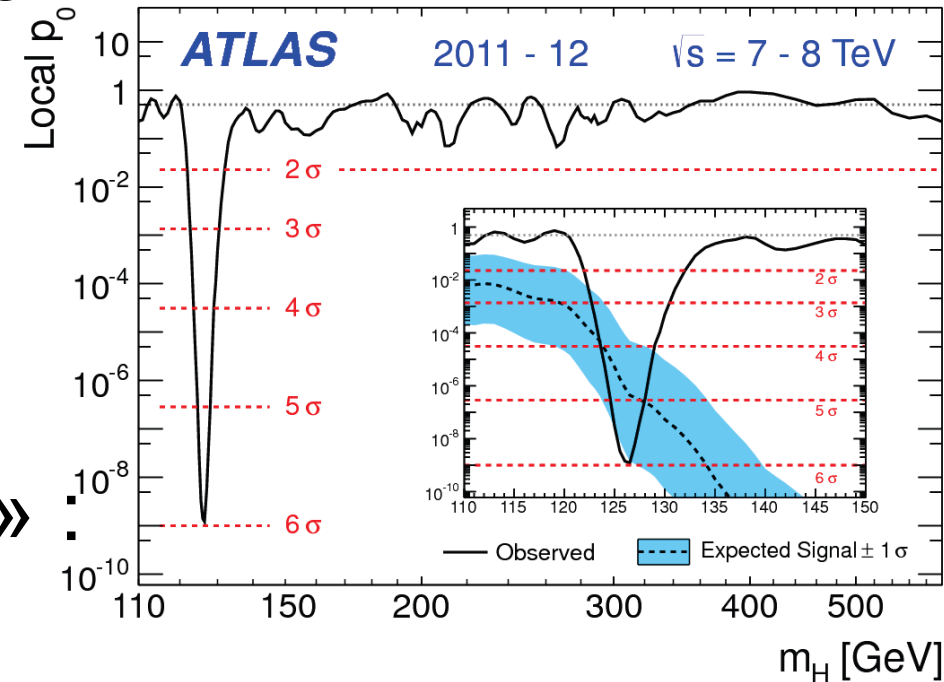


# Résultat sur le Higgs : est-ce significatif statistiquement ?

- $p_0$  : mesure la probabilité que des événements du bruit de fond produisent quelque chose qui ressemble autant au signal recherché
- Quantifié en nombre de «  $\sigma$  »

- ▶  $1\sigma$  : 1 chance sur 3
- ▶  $3\sigma$  (évidence) : 3 chances sur 1000
- ▶  $5\sigma$  (observation) : 1 chance sur 2 millions
- ▶  $5,9\sigma$  : 3 chances sur 1 milliard

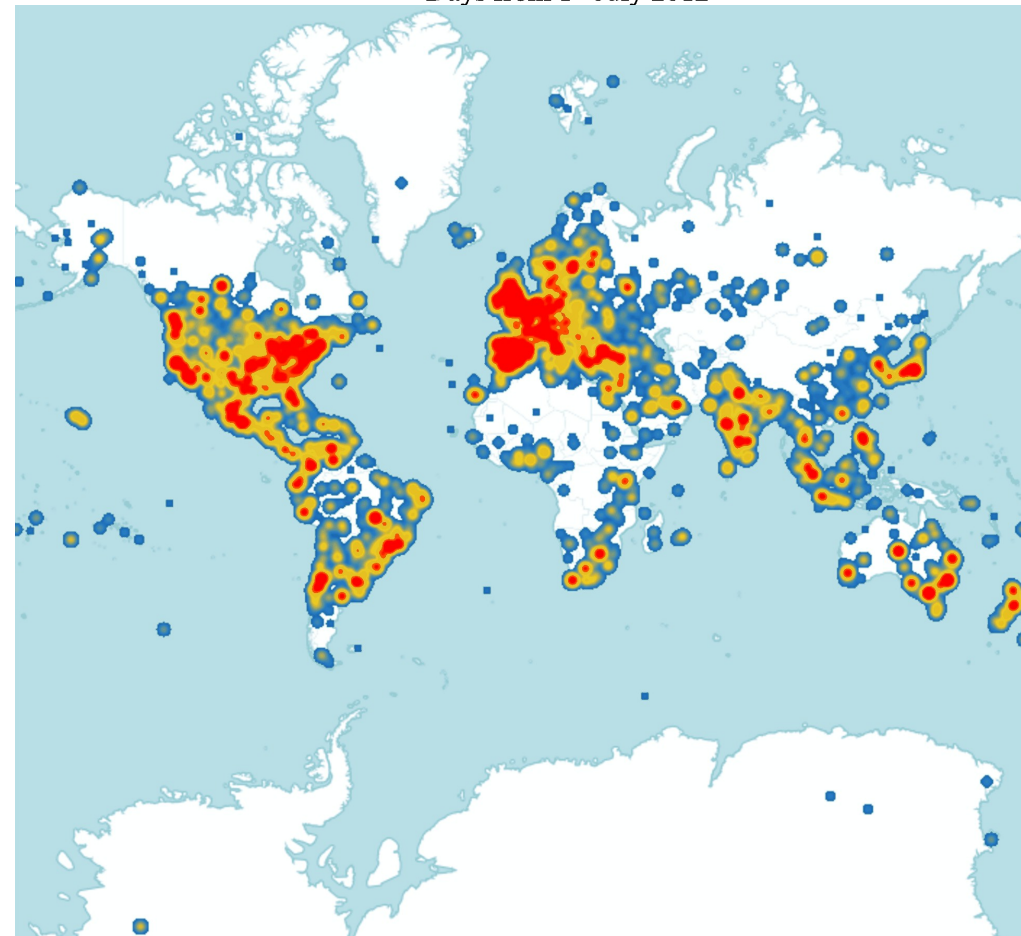
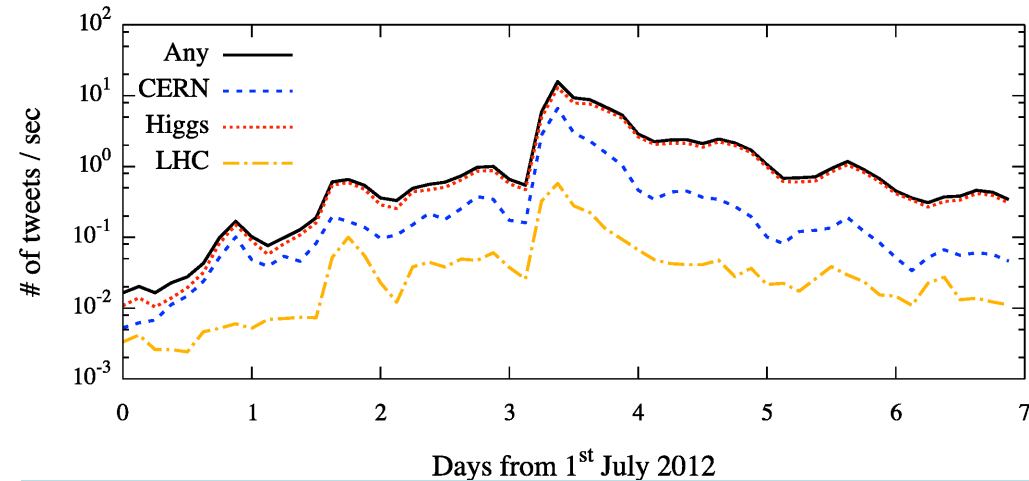
- Donc nous sommes sûrs d'avoir trouvé quelque chose



# Résultats

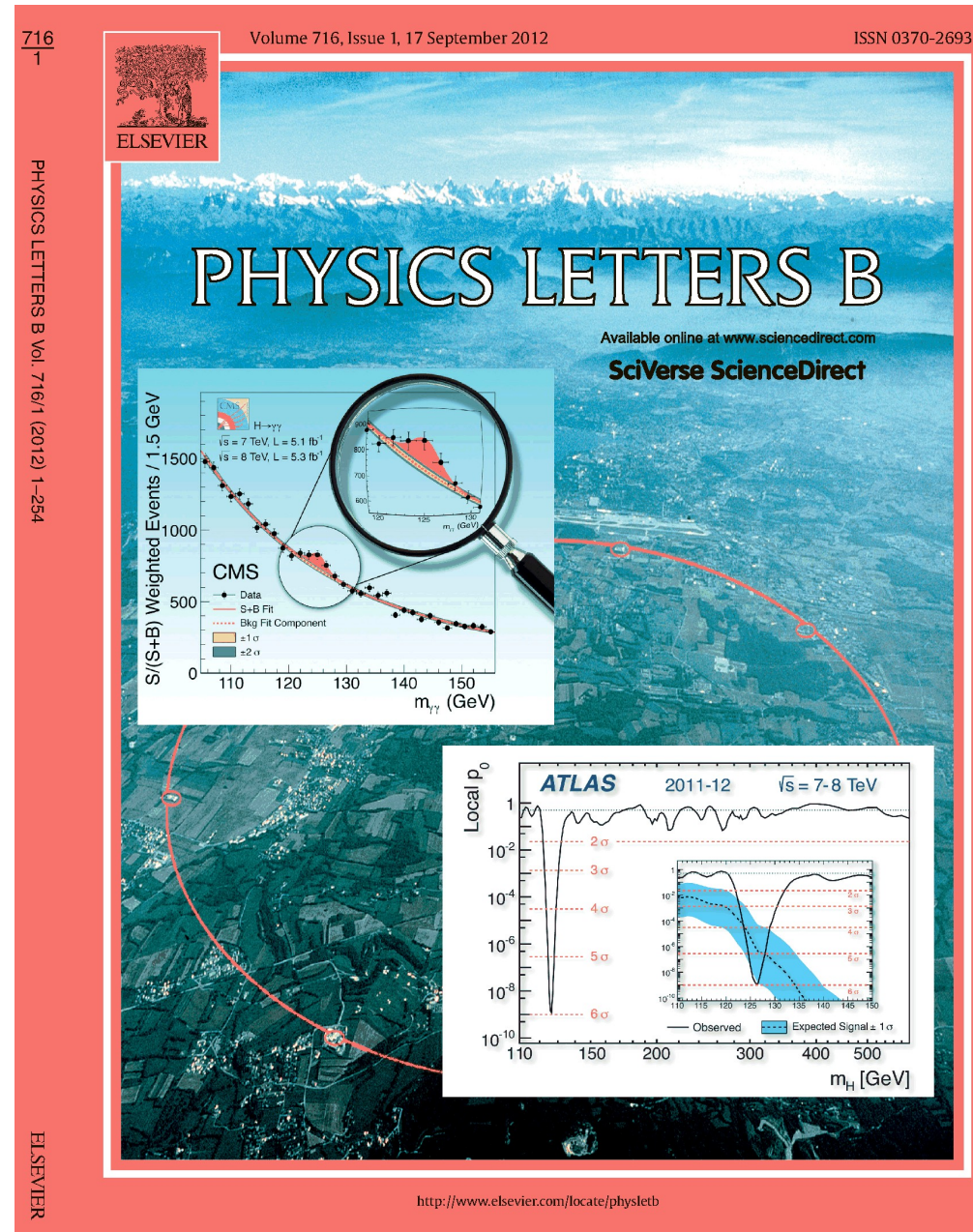
- Annoncés le 4 juillet 2012 lors d'un séminaire au CERN

- ▶ 55 médias sur place
- ▶ 500 000 connexions webcast
- ▶ Vu sur >1000 chaînes de télévision
- ▶ Plus d'un million de tweets (gazouillis)



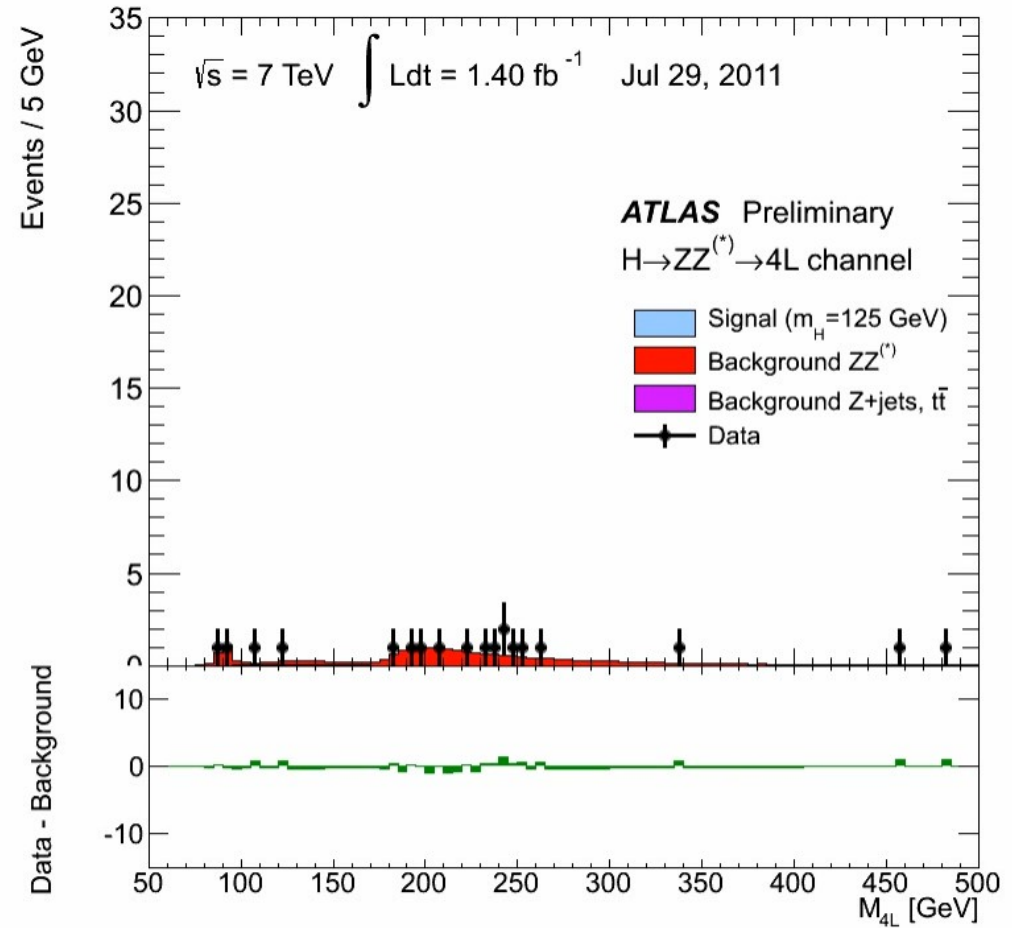
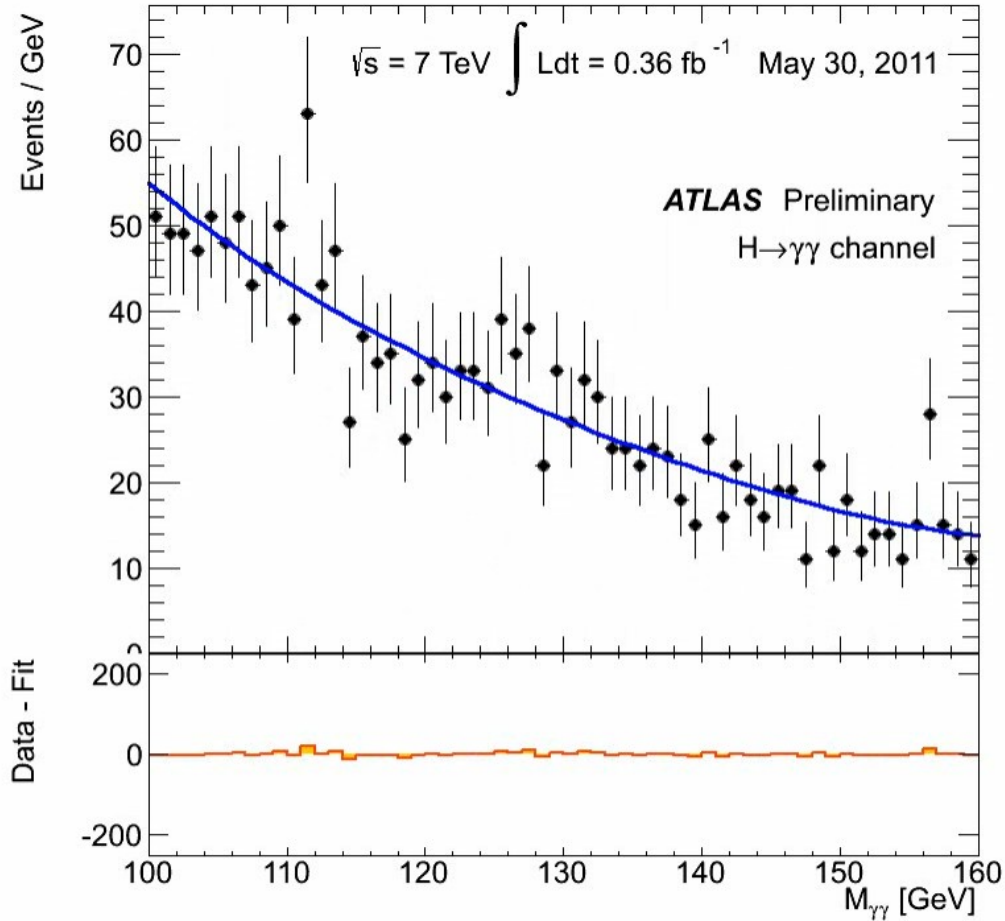
# Résultats

- Annoncés le 4 juillet 2012 lors d'un séminaire au CERN
  - ▶ 55 médias sur place
  - ▶ 500 000 connexions webcast
  - ▶ Vu sur >1000 chaînes de télévision
  - ▶ Plus d'un million de tweets (gazouillis)
- Publiés fin juillet
- Et depuis ?





# Évolution dans le temps



film

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

$$H \rightarrow \text{ZZ}^* \rightarrow 4\text{L}$$

film

# Est-ce le Higgs du modèle standard ?

- Masse compatible avec les autres mesures du modèle standard,  $\sim 126 \text{ GeV}$  (134 fois la masse du proton)
- La signification statistique continue d'augmenter
- Mesures dans d'autres canaux de désintégration
- Mesure de propriétés comme le spin ou le couplage entre le Higgs et les autres particules
- Nouveaux résultats d'ATLAS et CMS toujours consistants
- Pas de signe d'autres phénomènes au-delà du modèle standard (Higgs composite, autres bosons de Higgs, autres particules, etc.)

# Est-ce le Higgs du modèle standard ?

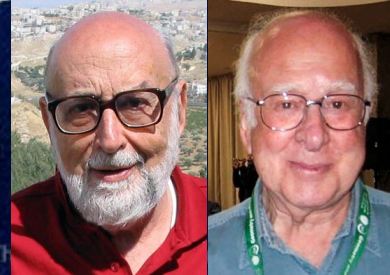
**Pour le moment, cette particule ressemble beaucoup au boson de Higgs du modèle standard.**

**Les nouvelles données à partir de 2015 devraient permettre de tout mesurer avec une bien meilleure précision, modèle standard ou au-delà**

# Prix Nobel de physique 2013

2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert  
Peter W. Higgs



« pour la découverte théorique d'un mécanisme qui nous aide à comprendre l'origine de la masse des particules subatomiques, et qui a été récemment confirmé par la découverte de la particule fondamentale prédite, par les expériences ATLAS et CMS du grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN »

# Prix Nobel de physique 2013

2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert

Peter W. Higgs



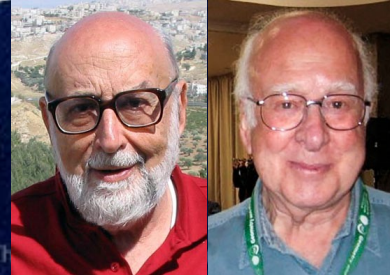
# Félicitations !

« pour la découverte théorique d'un mécanisme qui nous aide à comprendre l'origine de la masse des particules subatomiques, et qui a été récemment confirmé par la découverte de la particule fondamentale prédite, par les expériences ATLAS et CMS du grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN »

# Prix Nobel de physique 2013

2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert  
Peter W. Higgs

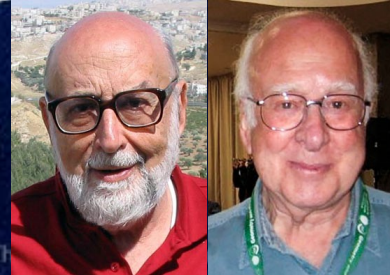


« pour la découverte théorique d'un mécanisme qui nous aide à comprendre l'origine de la masse des particules subatomiques, et qui a été récemment confirmé par la découverte de la particule fondamentale prédite, par les expériences ATLAS et CMS du grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN »

# Prix Nobel de physique 2013

2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert  
Peter W. Higgs

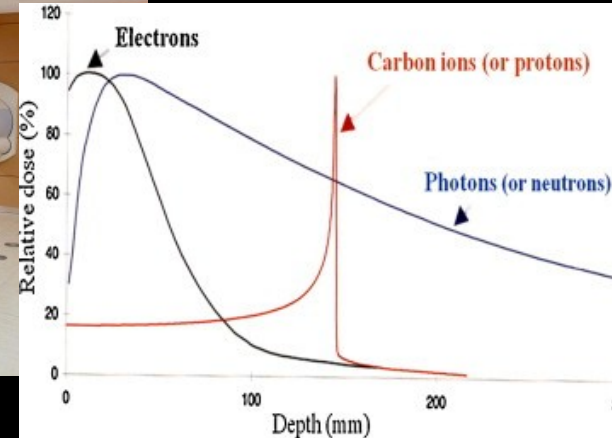
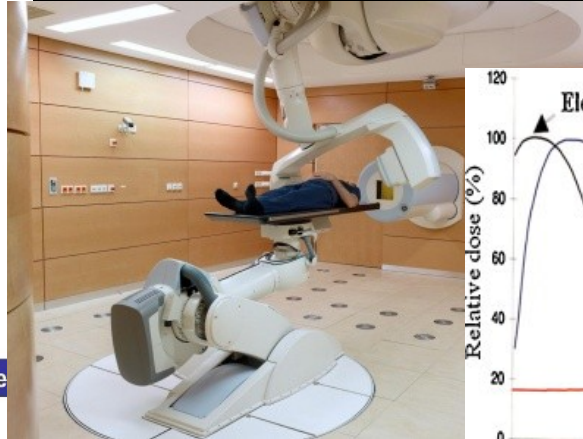
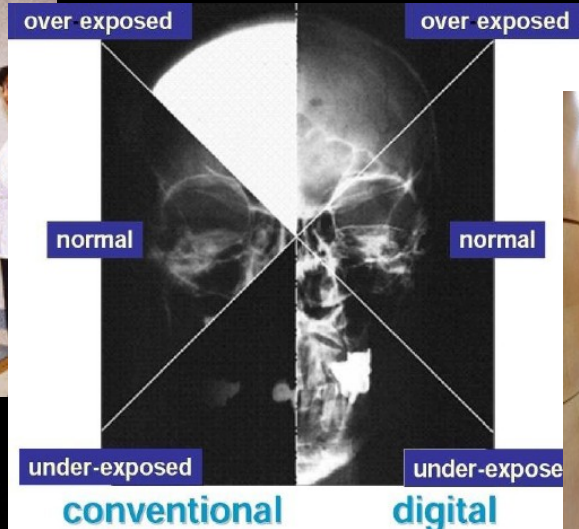


« pour la découverte théorique d'un mécanisme qui nous aide à comprendre l'origine de la masse des particules subatomiques, et qui a été récemment confirmé par la découverte de la particule fondamentale prédite, par les expériences ATLAS et CMS du grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN »



**Le CERN et les expériences ATLAS & CMS**

# A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?



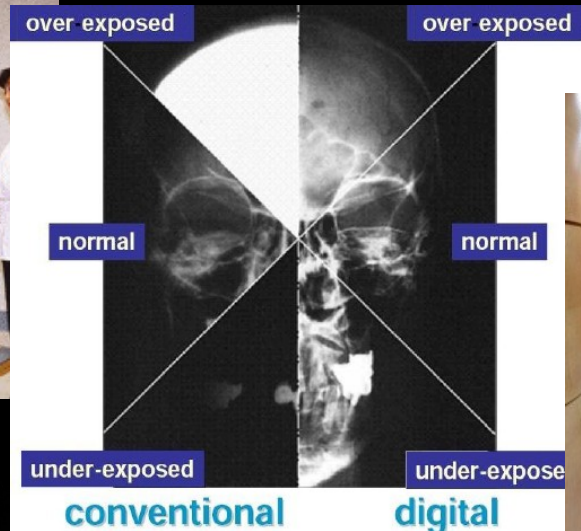
Running jobs: 246791  
Transfer rate: 13.98 GiB/sec



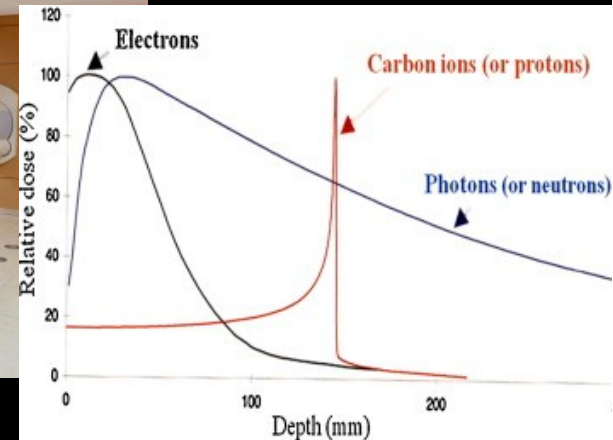
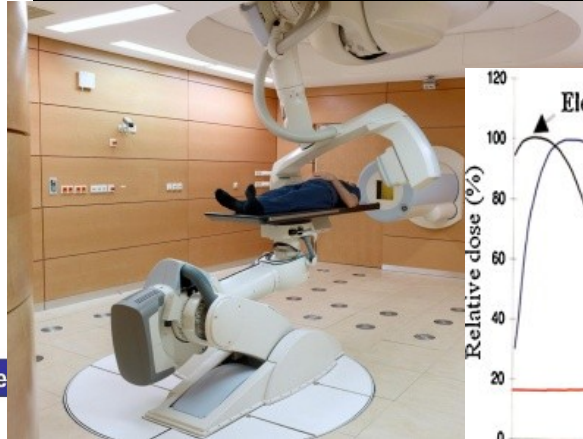
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
© 2012 Google  
US Dept of State Geographer  
© 2009 GeoBasis-DE/BKG



# A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?



Running jobs: 246791  
Transfer rate: 13.98 GiB/sec



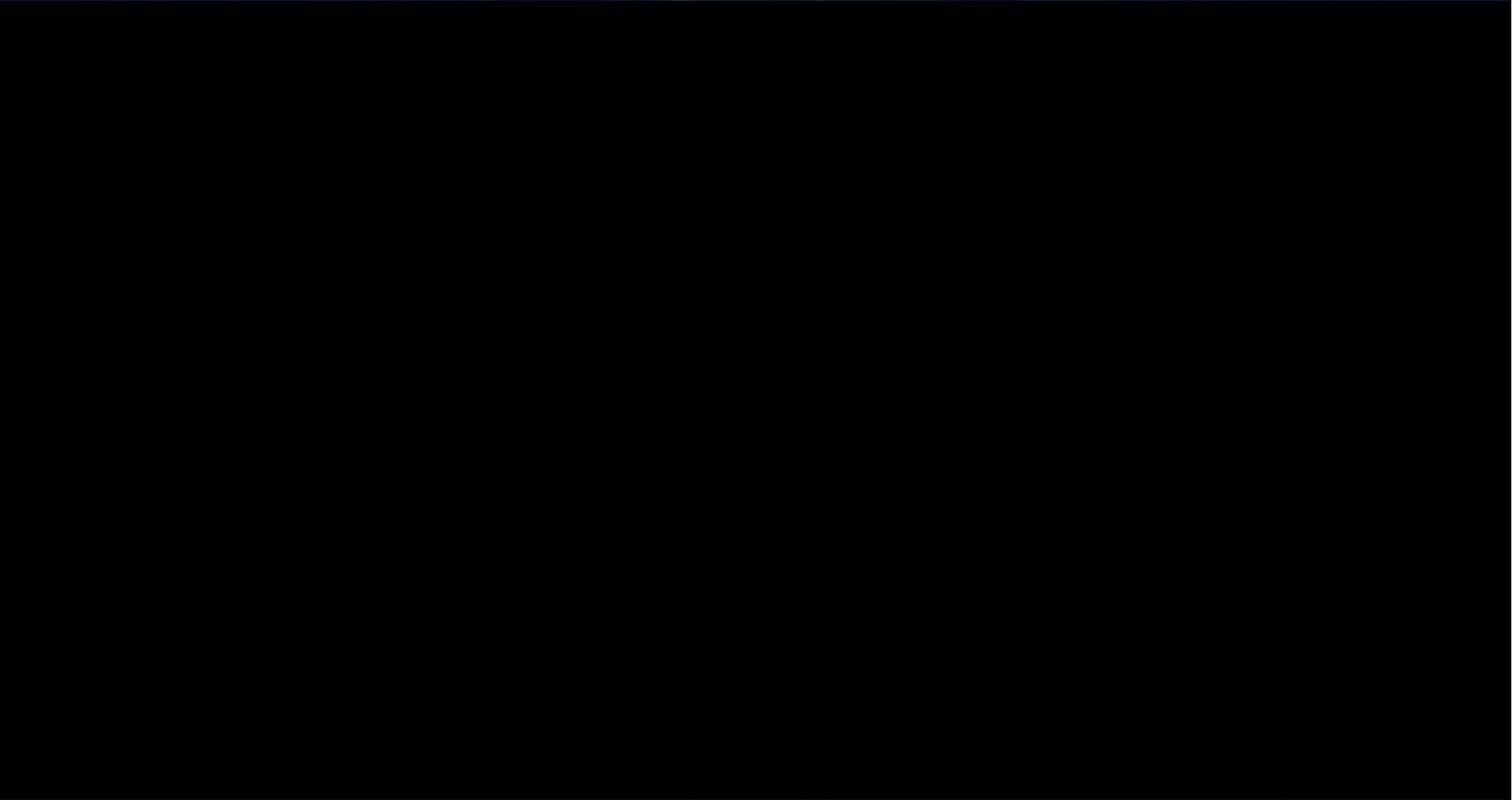
► Le Web a été inventé au CERN !

# C'est tout ?

Nous et l'Univers visible



**Modèle standard**

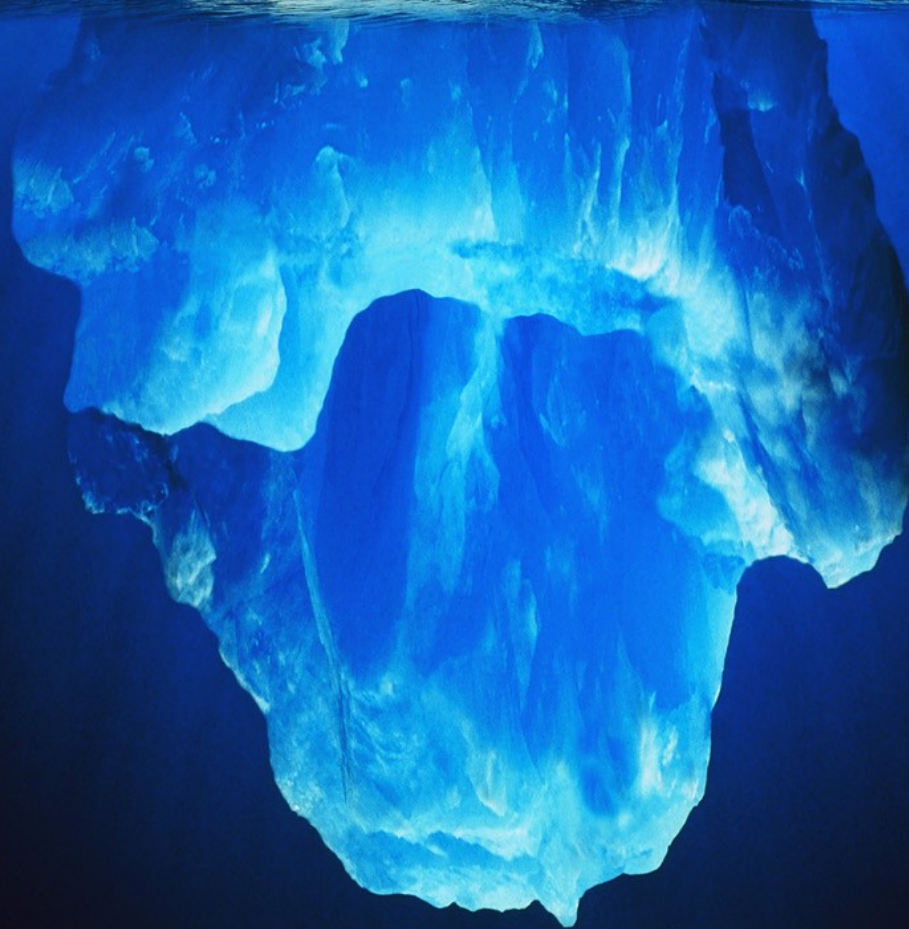


# C'est tout ?

Nous et l'Univers visible



**5% Modèle standard**



# C'est tout ?

Nous et l'Univers visible

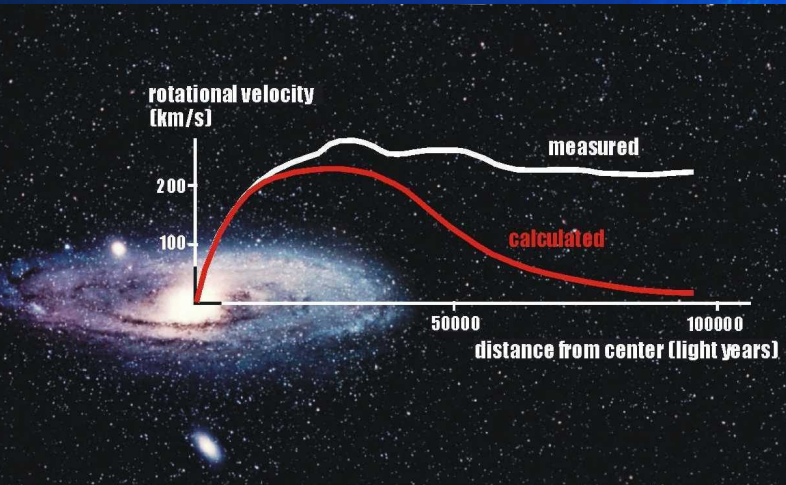


5% Modèle standard

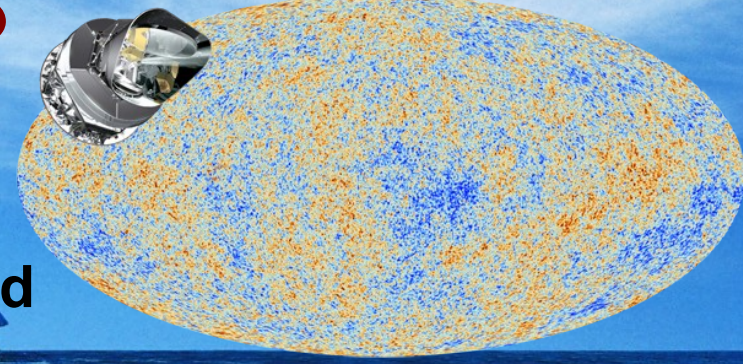
27% Matière noire



- 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

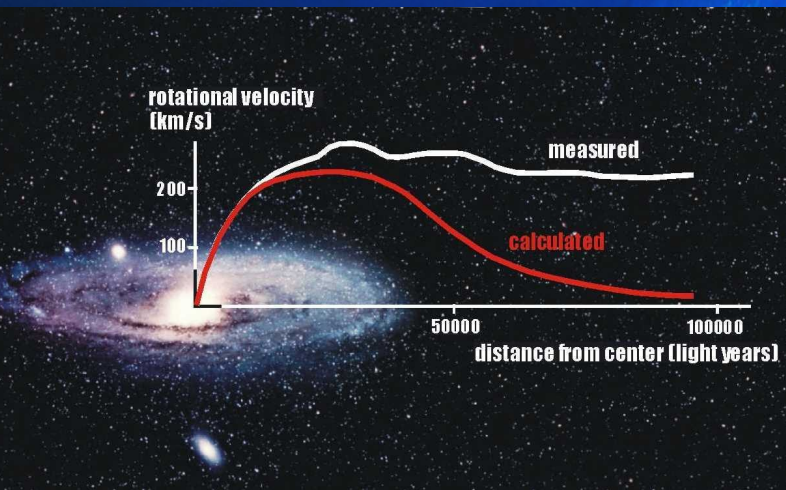


5% Modèle standard

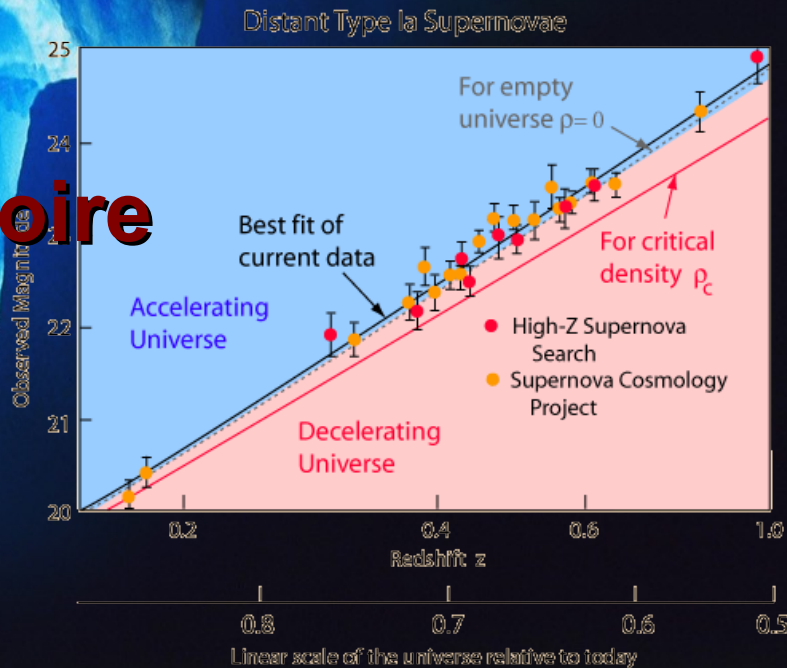
27% Matière noire



- 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 !

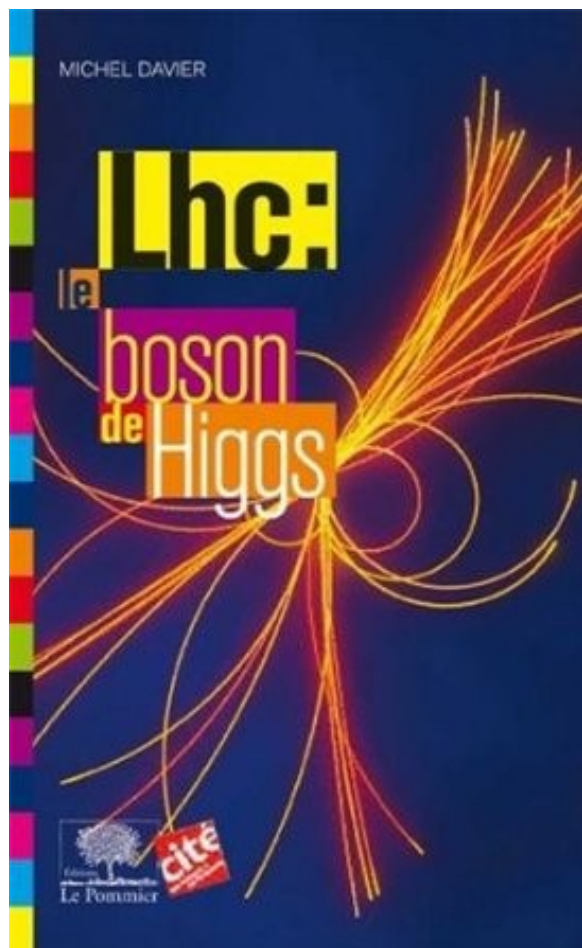
# Lien entre l'infiniment grand et l'infiniment petit

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

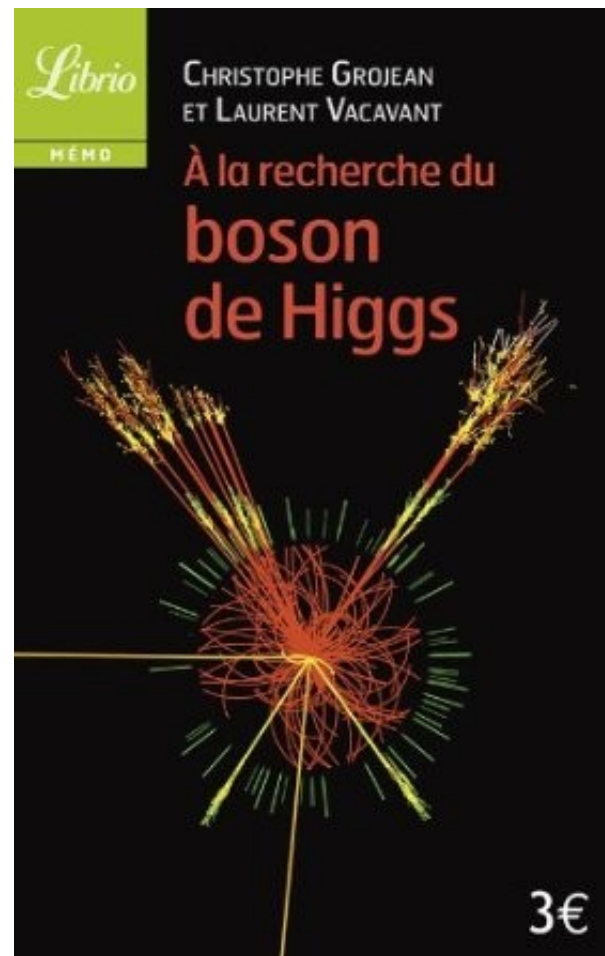
Au LHC :

- Recherche de candidats pour expliquer la matière noire
- Asymétrie matière-antimatière
- Des surprises ? On l'espère !

# Des ouvrages pour aller plus loin



- *LHC: le boson de Higgs*, Michel Davier, Éditions du Pommier (2013), 13€



- *A la recherche du boson de Higgs* Christophe Grojean et Laurent Vacavant Éditions Librio Mémo (2013), 3€

# Liens

Nos présentations

ATLAS grand public



ATLAS en direct

ATLAS sur 

ATLAS sur 

ATLAS sur 

ATLAS sur 

Site français du 

Le CPPM



Le CERN



Le CERN sur



[fpcp2014.in2p3.fr/higgs/](http://fpcp2014.in2p3.fr/higgs/)

[atlas.ch](http://atlas.ch)

[atlas-live.cern.ch](http://atlas-live.cern.ch)

[twitter.com/ATLASexperiment](https://twitter.com/ATLASexperiment)

[www.facebook.com/ATLASexperiment](https://www.facebook.com/ATLASexperiment)

[www.google.com/+ATLASexperiment](https://www.google.com/+ATLASexperiment)

[www.youtube.com/theATLASExperiment](https://www.youtube.com/theATLASExperiment)

[www.lhc-france.fr](http://www.lhc-france.fr)

[marwww.in2p3.fr](http://marwww.in2p3.fr)

[cern.ch](http://cern.ch)

[twitter.com/cern](https://twitter.com/cern)

