



# Pourquoi une telle excitation?

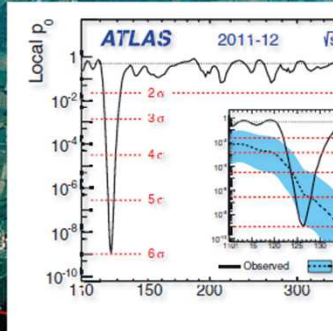
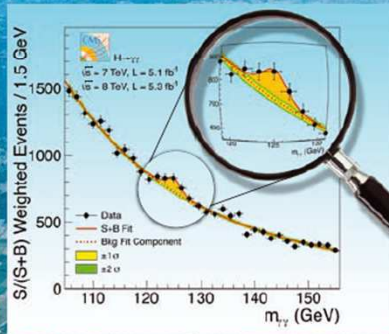


Volume 712, Issue 3, 6 June 2012

ISSN 0370-2693

## PHYSICS LETTERS B

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)  
SciVerse ScienceDirect



<http://www.elsevier.com/locate/physletb>

## The Economist

JULY 7TH - 13TH 2012

[Economist.com](http://Economist.com)

In praise of charter schools  
 Britain's banking scandal spreads  
 Volkswagen overtakes the rest  
 A power struggle at the Vatican  
 When Lonesome George met Nora

# A giant leap for science



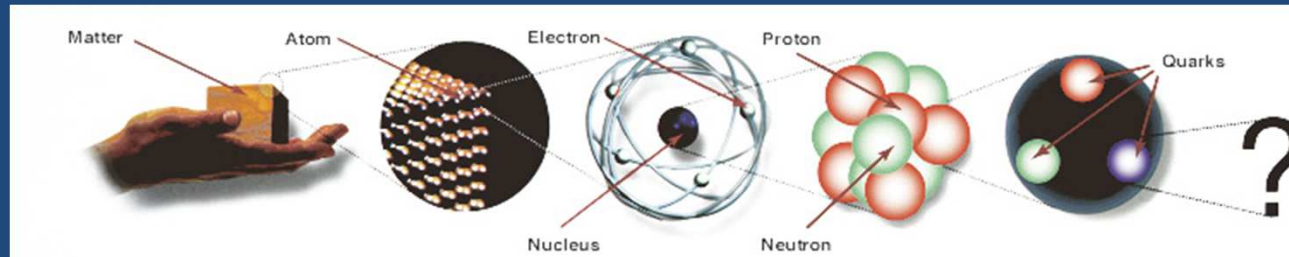
# Qu'est-ce que la physique des particules ?

Une quête pour comprendre:

Les constituants fondamentaux de la matière- les particules de matière

Les interactions avec lesquelles les particules interagissent- Les interactions

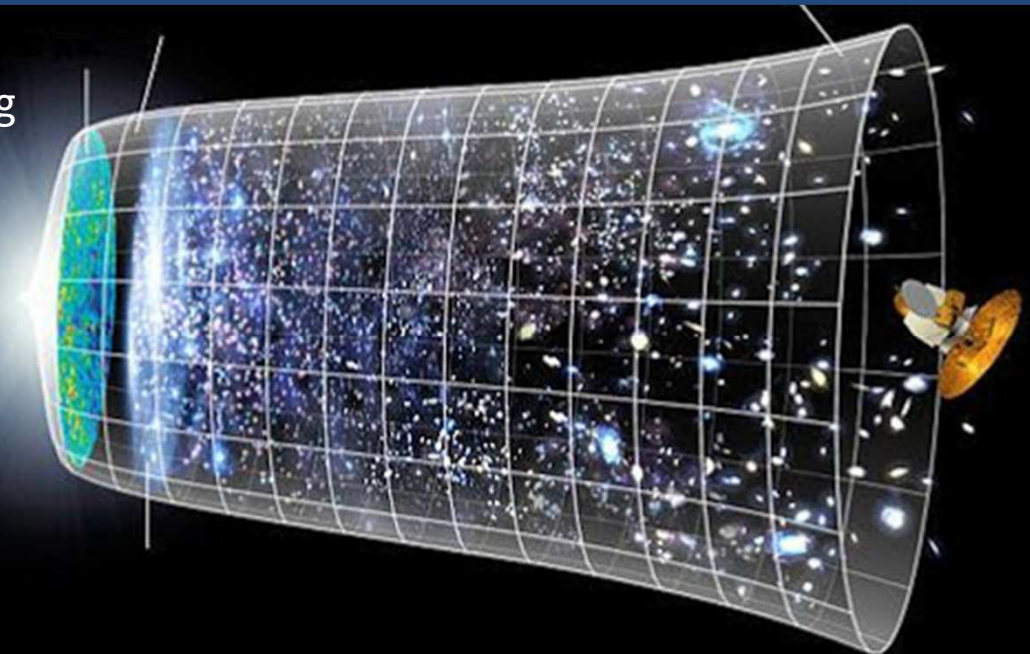
Les particules qui propagent les interactions – les particules messagères



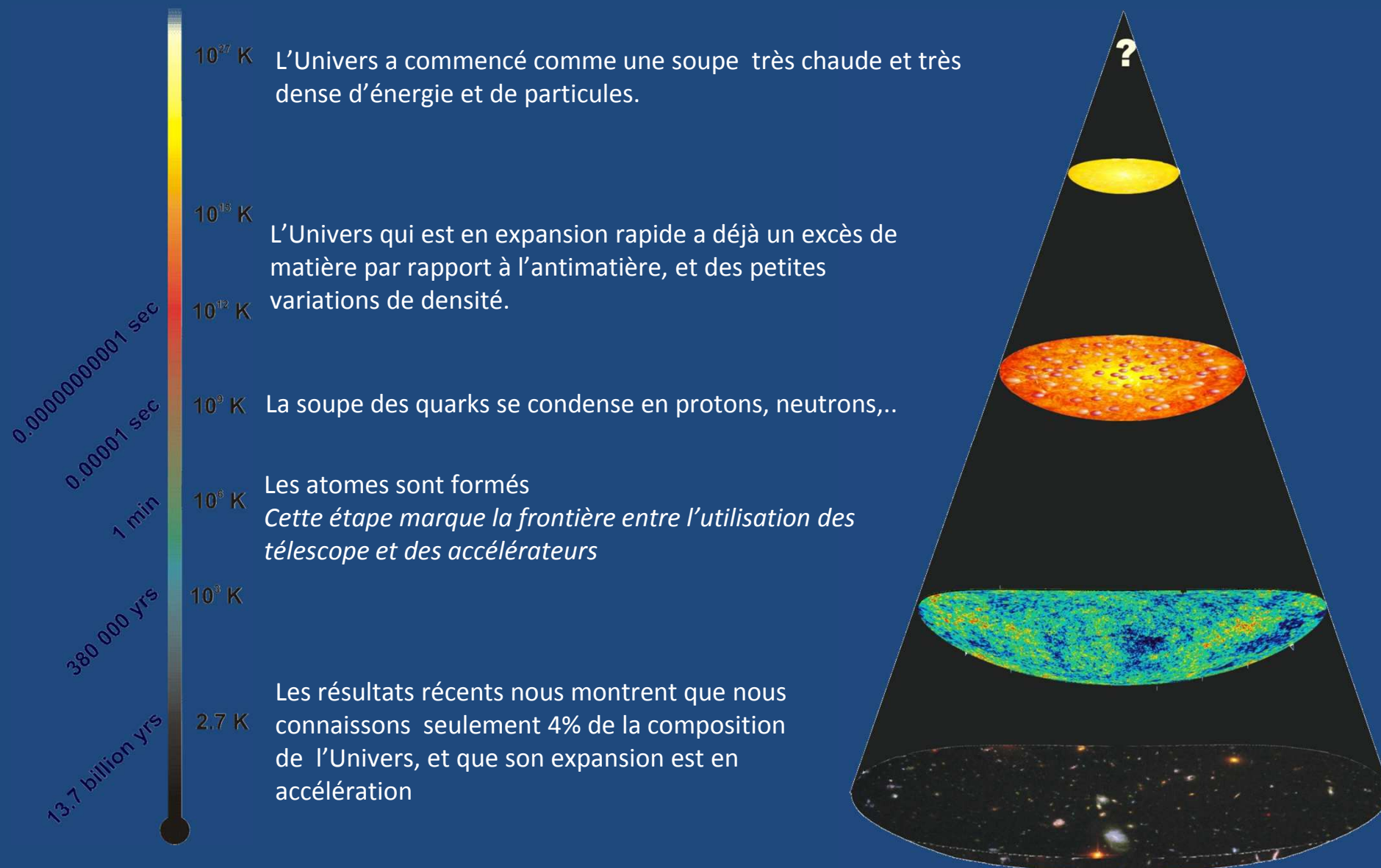
But ultime:

La naissance de l'Univers, le Big Bang

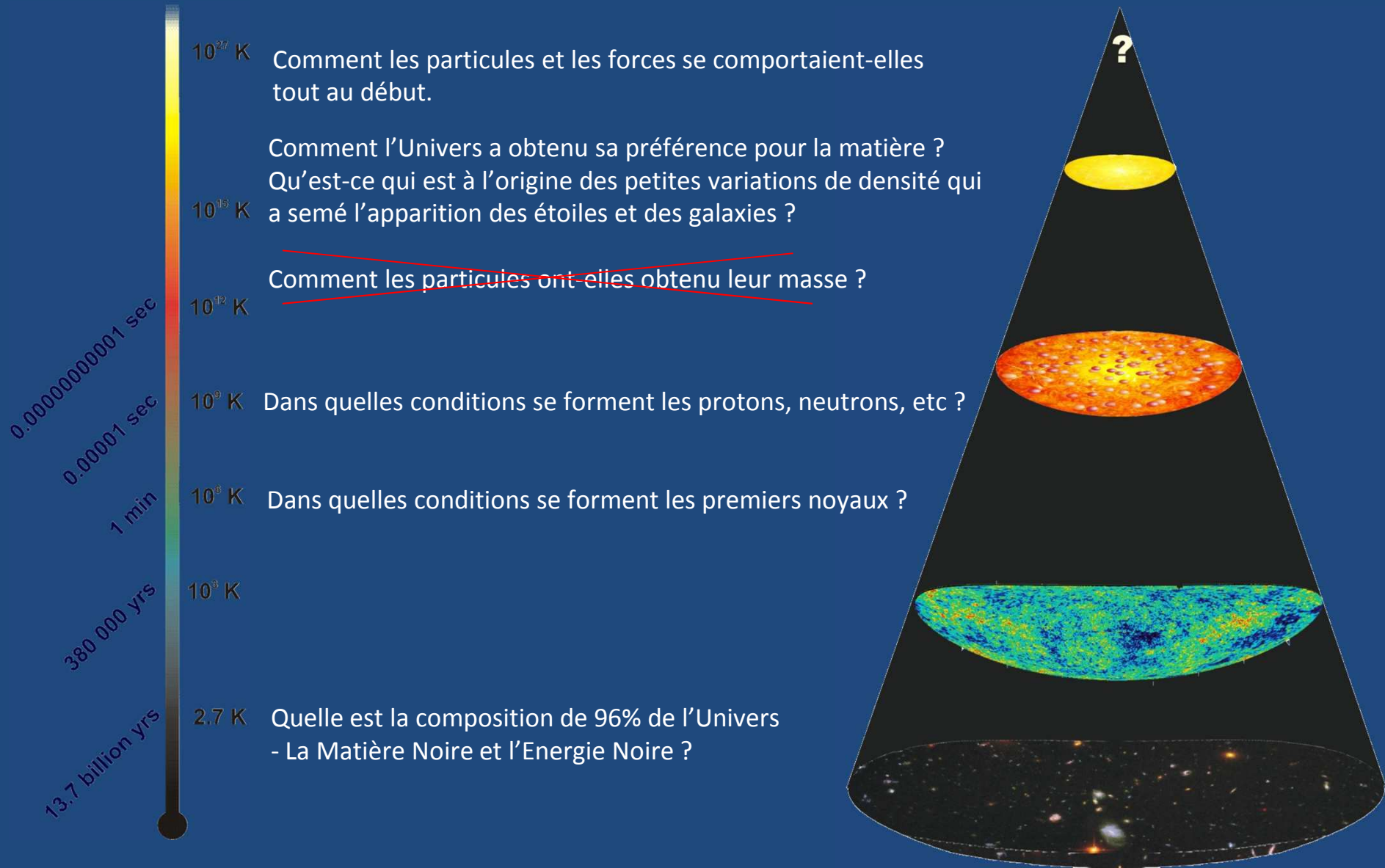
Les Evolutions passées et futures



# Que savons-nous sur l'Univers ?



# Et, que ne savons-nous PAS de l'Univers ?





# Comment étudions-nous la physique des particules ?

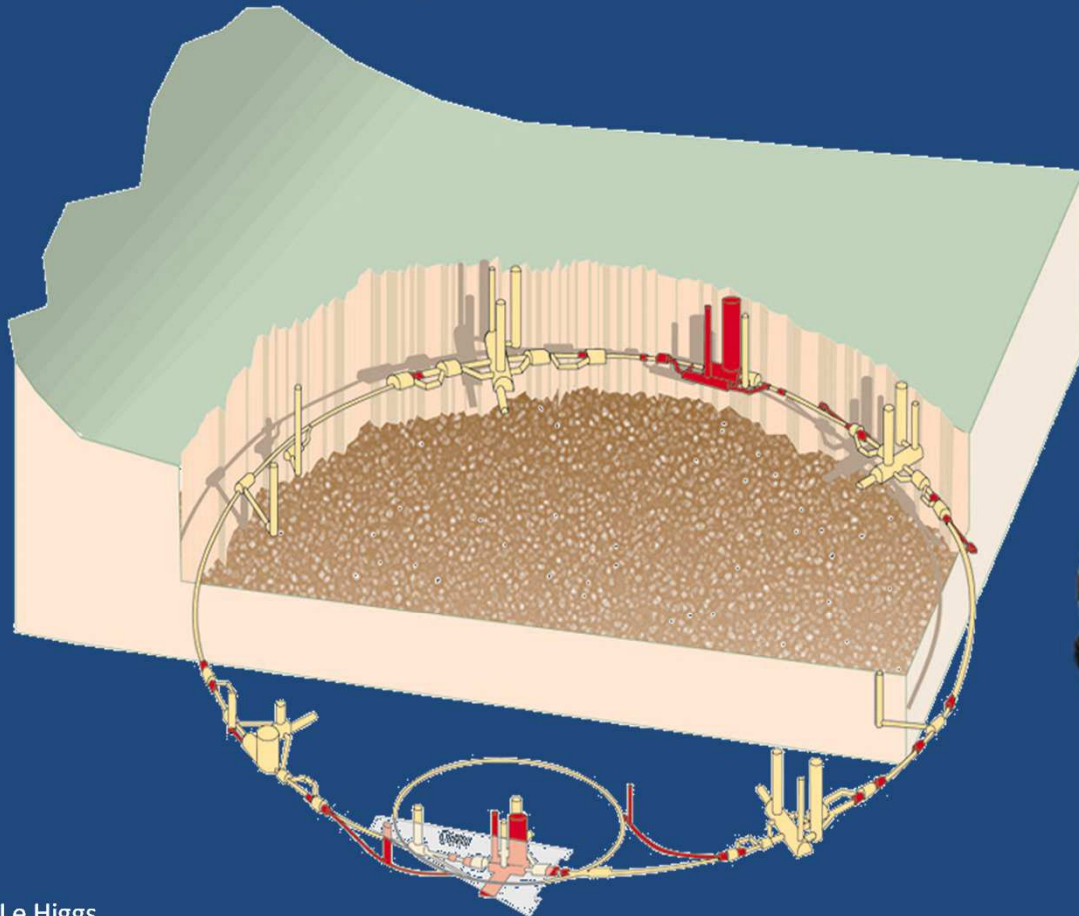
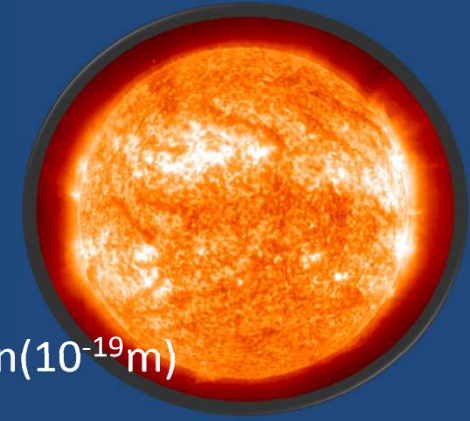
Le Grand Collisionneur d'Hadrons (LHC) fait 27 km de long

→ *Recrée les conditions à "petite échelle":*

Température  $10^{16}$  K qui est 1 000 000 000 x

0.00000000001 seconde après le Big Bang ( $10^{-11}$ s)

→ Un microscope géant avec une résolution de 1/10000 d'un proton ( $10^{-19}$ m)



# Le LEGO de l'Univers



**Three Generations of Matter (Fermions)**

	I	II	III
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
name →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
<b>Quarks</b>	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino
<b>Leptons</b>	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau

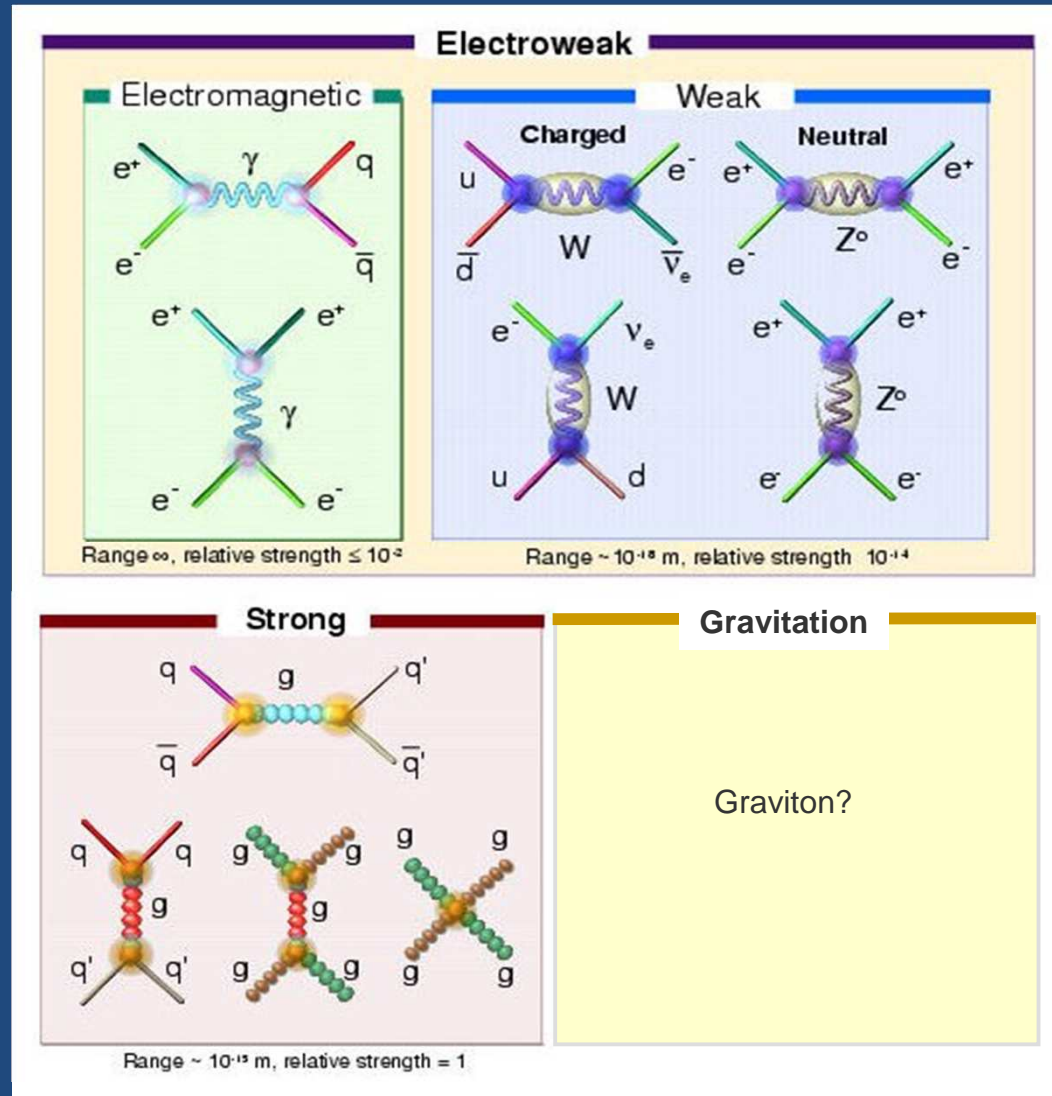
0	0	<b><math>\gamma</math></b> photon
0	0	<b>g</b> gluon
91.2 GeV	0	<b>Z</b> weak force
80.4 GeV	$\pm 1$	<b>W</b> weak force

**Bosons (Forces)**



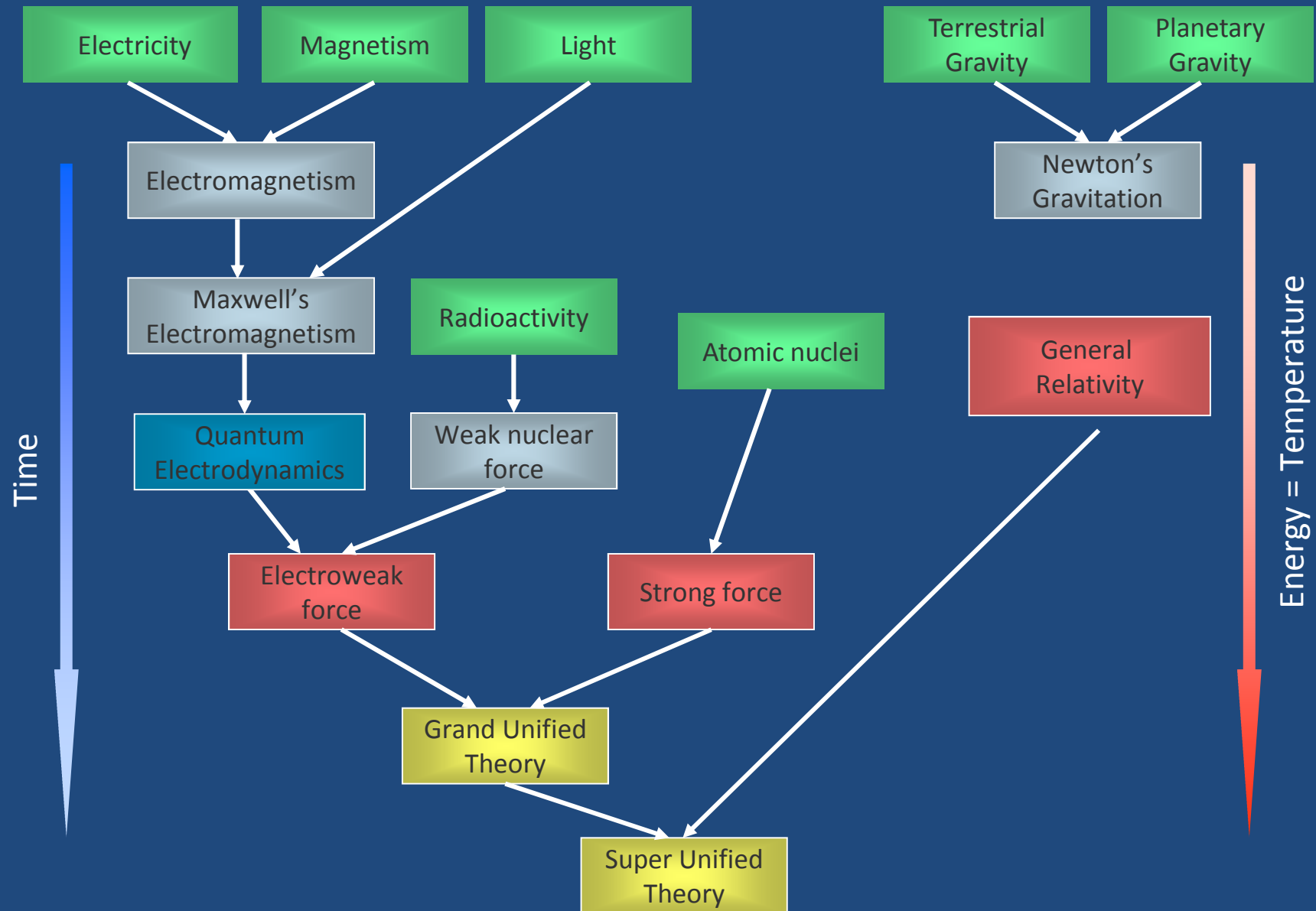
# Particules d'interactions (= bosons vecteurs/tensors)

Notre visualisation des interactions !



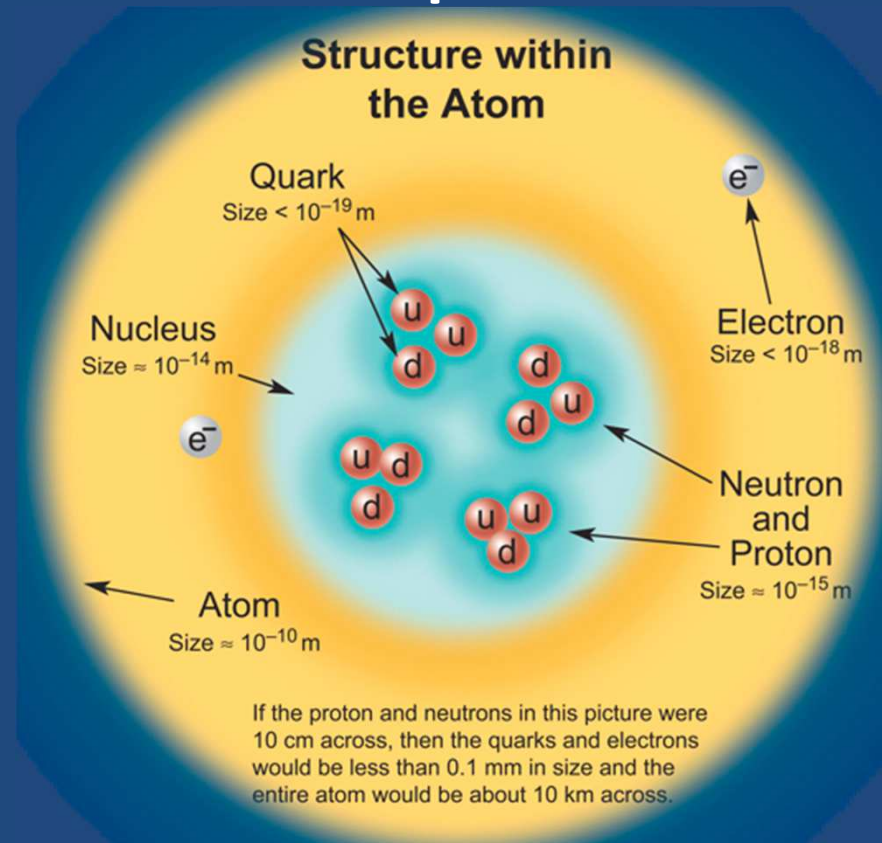


# Les interactions (~"les forces") et "l'Unification"





# Qu'est-ce que la "masse"?



Notez, la masse "fondamentale" chez les "particules fondamentales"  
 $80 \text{ kg du corps humain} / m_{p/n} (\sim 1.6 \times 10^{-27} \text{ kg}) * \sum m_{uud/udd} (\sim 2 * 10^{-29} \text{ kg}) = \sim 1 \text{ kg} \dots ?$   
 .. Le reste est constitué par l'énergie cinétique et l'énergie d'interaction (couplage)

$$E = mc^2$$

→ La masse perçue avec la gravitation est l'effet total dû à la masse fondamentale + l'énergie !

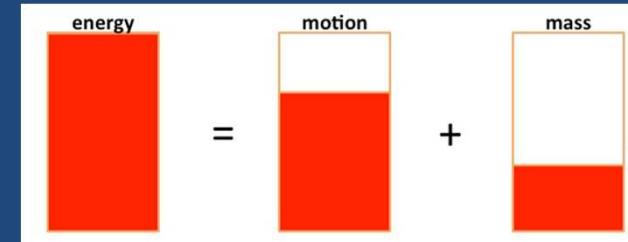
# Qu'est-ce que la "masse fondamentale" ?

"Masse fondamentale" = "Masse au repos"

Pourquoi la "masse au repos" des particules matières est tellement importante?

$$Energie = masse * c^2$$

$$E^2 = masse^2 * c^4 + impulsion^2 * c^2$$



→ Sans la masse au repos, une particule se déplace toujours à la vitesse de la lumière!

→ Difficile de construire un Univers avec des objets complexes....

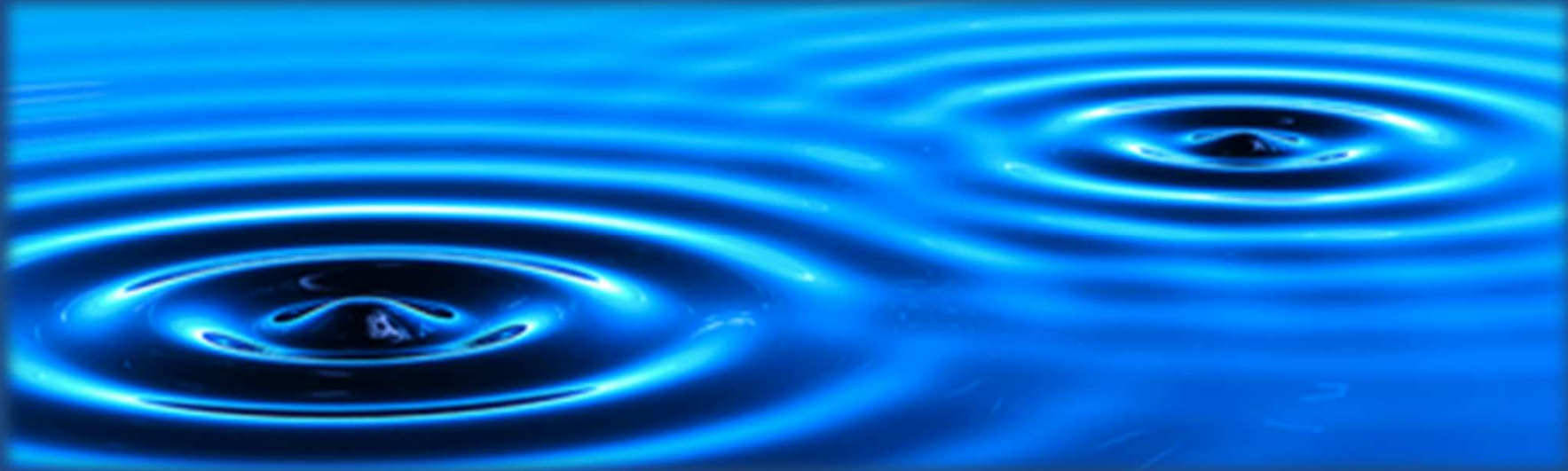
→ Acquisition d'une propriété appelée "masse au repos" *est nécessaire* pour l'Univers

→ Masse au repos n'a rien à voir avec une forme de solidité!



# Qu'est-ce qu'une "particule fondamentale" ?

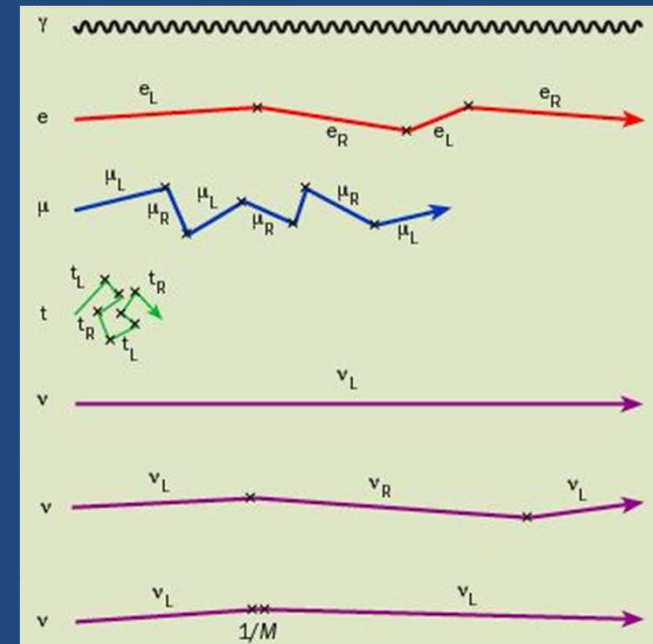
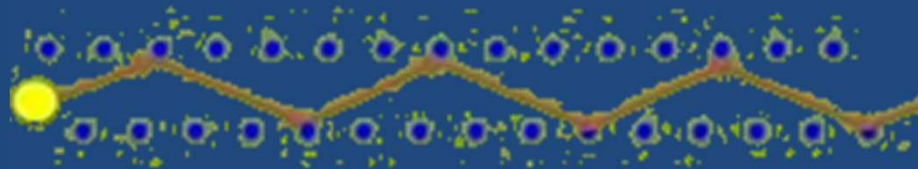
- Une "particule" est une propagation d'une somme d'informations (propriétés) perçues avec les différentes interactions !  
Gravitation, électromagnétisme, force forte et force faible
- C'est-à-dire, les particules sont ressenties différemment selon l'information qu'elles portent!
- Techniquement, une particule est représentée par une excitation d'un champ analogique avec une ondulation sur une surface d'eau



- (Quelle est la taille des particules?  
→ Quelle est la taille d'un morceau de coton? 😊 )

# L'acquisition de masse

- La propriété perçue comme une masse au repos est acquise par un “champ” qui remplit l'espace vide comme un medium.
  - Le champ est présent dans le vide, au contraire de toutes les autres interactions !
- L'interaction entre le champ et les particules, consiste en un échange d'un “boson”



Plus forte est l'interaction avec la particule, plus lourde est la masse

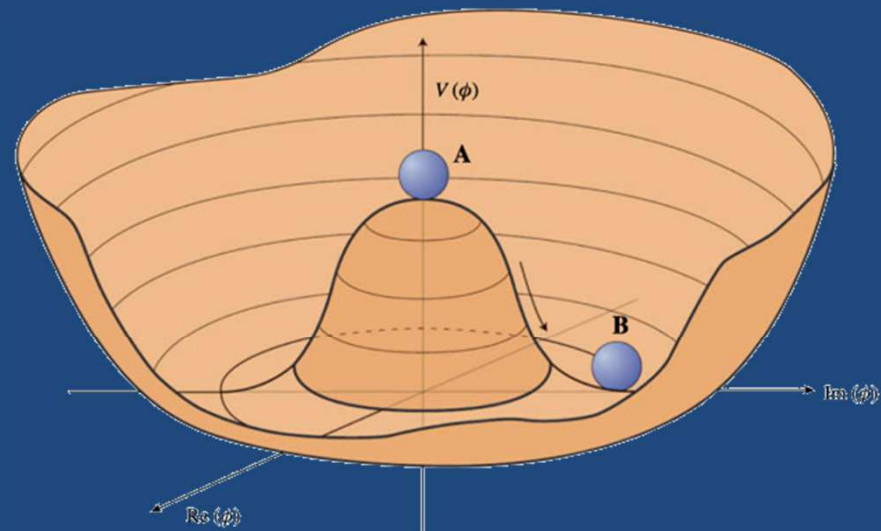
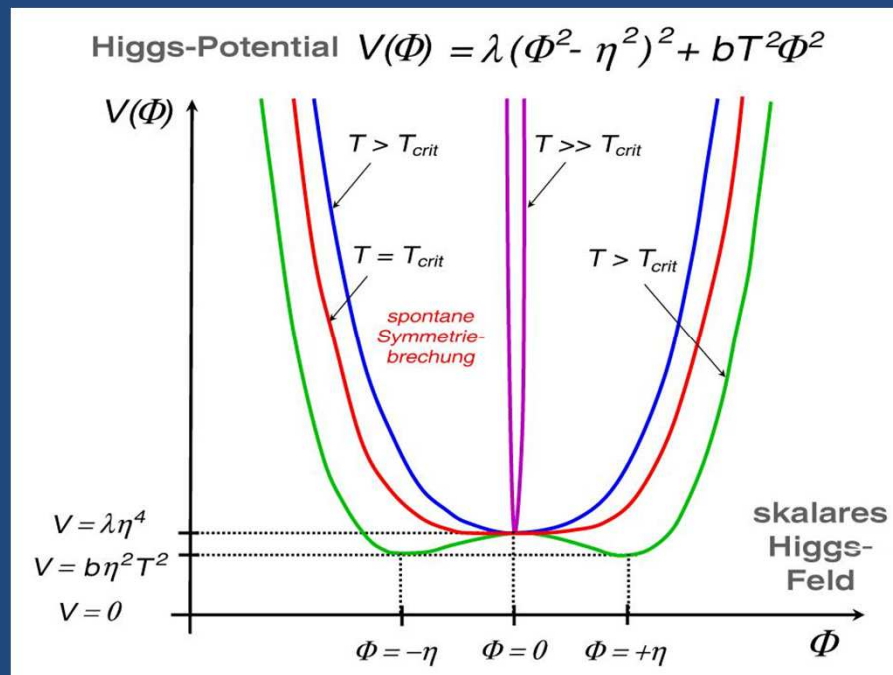
Il faut que le champ produise une interaction “scalaire”

Les interaction sont invariables par rapport aux rotations

Le champ n'indique pas une direction préférée

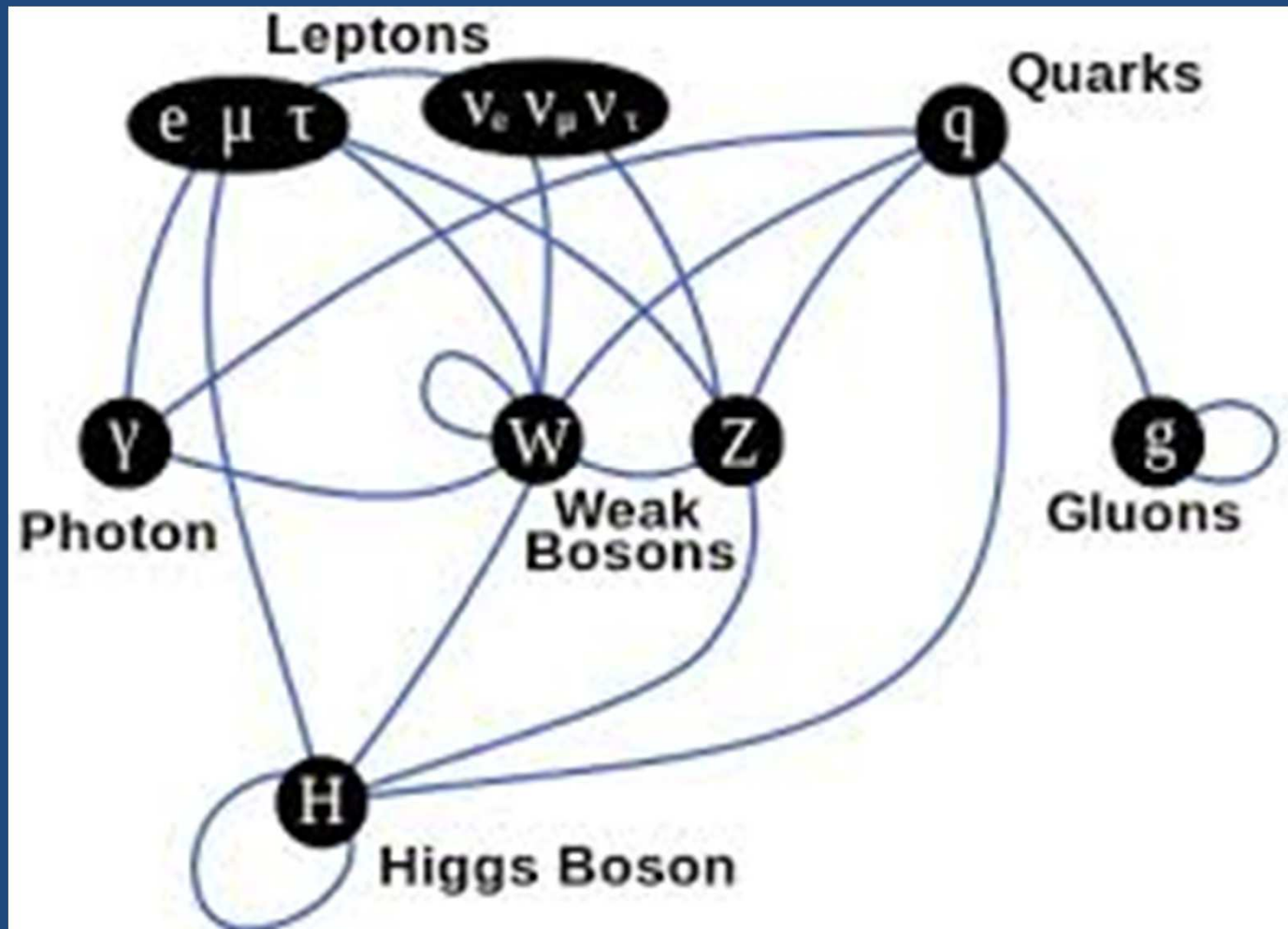
# Le champ

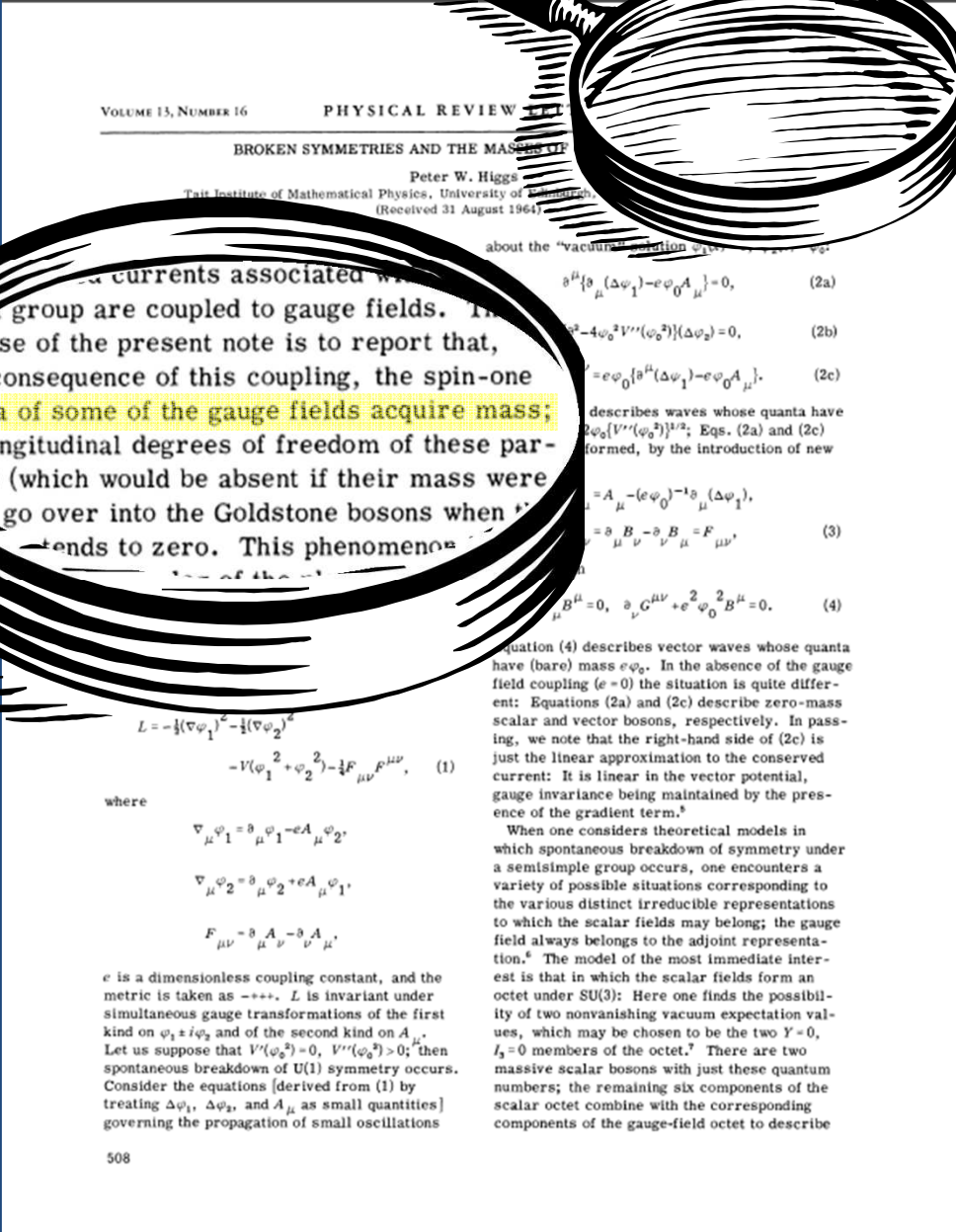
- Le champ d'interaction est née spontanément tout au debut de l'Univers avec le refroidissement dû à l'expansion
- ➔ Tout d'abord, toutes les particules sont sans masse
- ➔ Avec l'apparition du champ certaines obtiennent la propriété, d'autres pas



➔ Voilà, la proposition de Brout-Englert-Higgs et autres en 1964 !

# Les interactions avec le "Higgs"





BROKEN SYMMETRIES AND THE MASS OF THE GAUGE BOSONS

Peter W. Higgs

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh,  
(Received 31 August 1964)

... currents associated with a group are coupled to gauge fields. The purpose of the present note is to report that, as a consequence of this coupling, the spin-one quanta of some of the gauge fields acquire mass; the longitudinal degrees of freedom of these particles (which would be absent if their mass were zero) go over into the Goldstone bosons when the mass tends to zero. This phenomenon is known as the Higgs mechanism.

about the "vacuum" solution  $\psi_0$ .

$$\partial^\mu \{ \partial_\mu (\Delta\varphi_1) - e\varphi_0 A_\mu \} = 0, \quad (2a)$$

$$\partial^\mu \{ -4\varphi_0^2 V''(\varphi_0^2) (\Delta\varphi_2) \} = 0, \quad (2b)$$

$$\partial^\mu \{ e\varphi_0 [ \partial^\mu (\Delta\varphi_1) - e\varphi_0 A_\mu ] \} = 0. \quad (2c)$$

describes waves whose quanta have  $2\varphi_0 \{ V''(\varphi_0^2) \}^{1/2}$ ; Eqs. (2a) and (2c) are formed, by the introduction of new

$$\begin{aligned} A_\mu &= A_\mu - (e\varphi_0)^{-1} \partial_\mu (\Delta\varphi_1), \\ B_\mu &= \partial_\mu B_\nu - \partial_\nu B_\mu = F_{\mu\nu}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\partial_\mu \partial^\mu = 0, \quad \partial_\nu G^{\mu\nu} + e^2 \varphi_0^2 B^\mu = 0. \quad (4)$$

Equation (4) describes vector waves whose quanta have (bare) mass  $e\varphi_0$ . In the absence of the gauge field coupling ( $e=0$ ) the situation is quite different: Equations (2a) and (2c) describe zero-mass scalar and vector bosons, respectively. In passing, we note that the right-hand side of (2c) is just the linear approximation to the conserved current: It is linear in the vector potential, gauge invariance being maintained by the presence of the gradient term.<sup>5</sup>

When one considers theoretical models in which spontaneous breakdown of symmetry under a semisimple group occurs, one encounters a variety of possible situations corresponding to the various distinct irreducible representations to which the scalar fields may belong; the gauge field always belongs to the adjoint representation.<sup>6</sup> The model of the most immediate interest is that in which the scalar fields form an octet under SU(3): Here one finds the possibility of two nonvanishing vacuum expectation values, which may be chosen to be the two  $Y=0, I_3=0$  members of the octet.<sup>7</sup> There are two massive scalar bosons with just these quantum numbers; the remaining six components of the scalar octet combine with the corresponding components of the gauge-field octet to describe

$$L = -\frac{1}{2}(\nabla\varphi_1)^2 - \frac{1}{2}(\nabla\varphi_2)^2 - V(\varphi_1^2 + \varphi_2^2) - \frac{1}{2}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}, \quad (1)$$

where

$$\nabla_\mu \varphi_1 = \partial_\mu \varphi_1 - eA_\mu \varphi_2,$$

$$\nabla_\mu \varphi_2 = \partial_\mu \varphi_2 + eA_\mu \varphi_1,$$

$$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu.$$

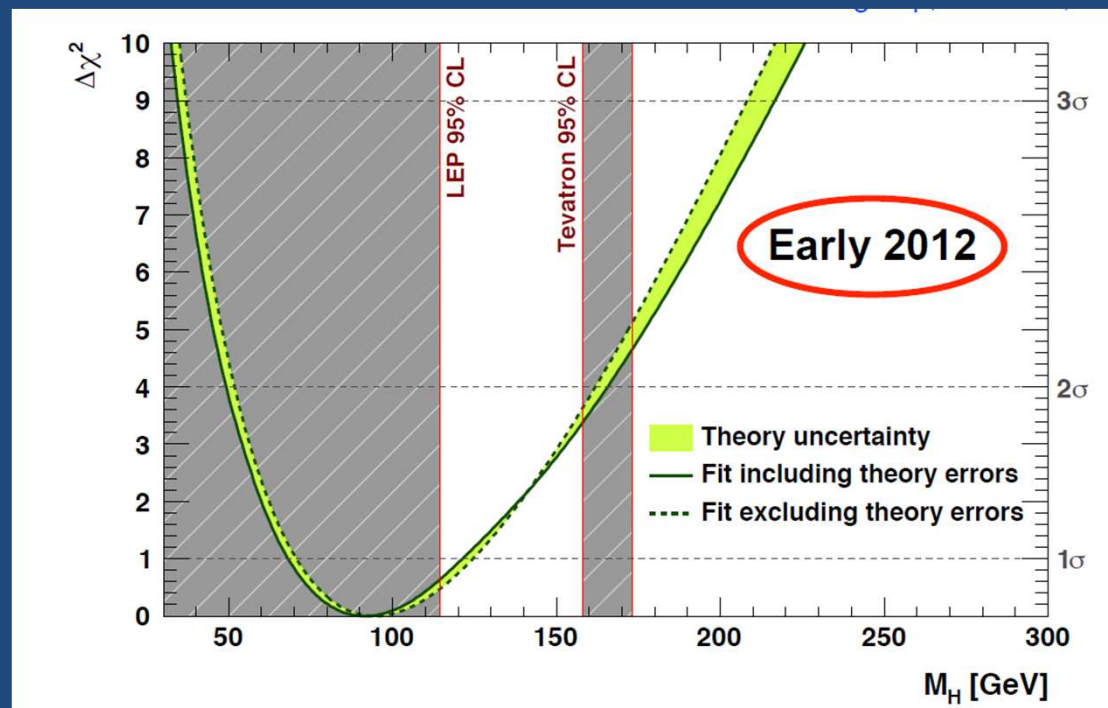
$e$  is a dimensionless coupling constant, and the metric is taken as  $-+++$ .  $L$  is invariant under simultaneous gauge transformations of the first kind on  $\varphi_1 \pm i\varphi_2$  and of the second kind on  $A_\mu$ . Let us suppose that  $V'(\varphi_0^2)=0$ ,  $V''(\varphi_0^2)>0$ ; then spontaneous breakdown of U(1) symmetry occurs. Consider the equations [derived from (1) by treating  $\Delta\varphi_1$ ,  $\Delta\varphi_2$ , and  $A_\mu$  as small quantities] governing the propagation of small oscillations

# La chasse au Higgs depuis 50 ans

- Le boson de Higgs donne lui-même sa masse...  
→ Pas possible de calculer sa masse !
- La masse du boson de Higgs a été prédite avec une précision croissante tout au long des années et cela pendant 20 ans !
- La masse préférée pour que la théorie corresponde aux données expérimentales avec des masses différentes de Higgs :

$$m_H = 96_{-24}^{+31} \text{ GeV}/c^2$$

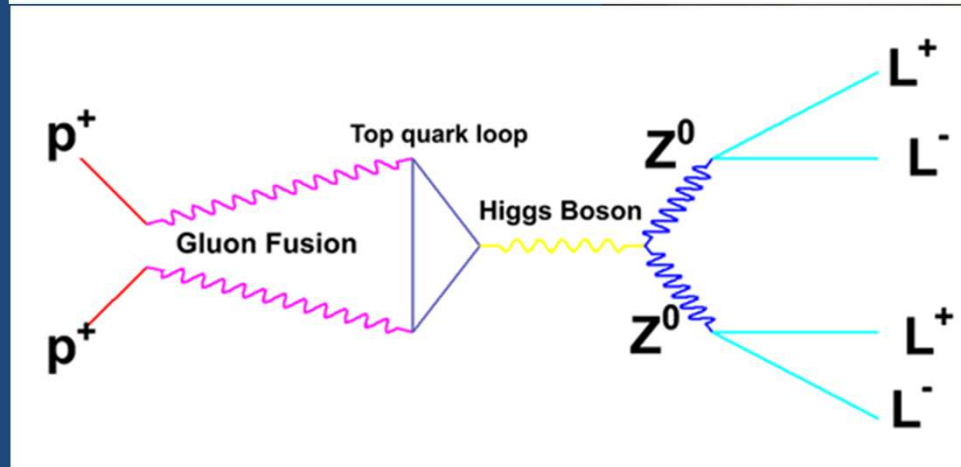
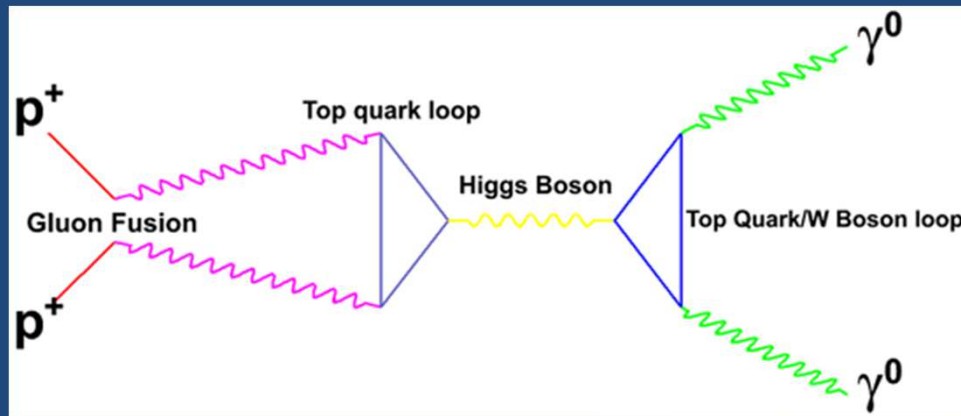
Inverse a la probabilité





# La chasse au boson de Higgs au LHC

- Exemple de production et de désintégration de boson de Higgs selon la théorie  
 “Plus forte est l’interaction avec la particule, plus lourde est la masse”  
 → “Plus lourde est la masse, plus forte est l’interaction avec la particule”



~1 - 5 Higgs par minute !

# Détecteurs de collisions

- Instruments pour enregistrer et reconstruire les collisions

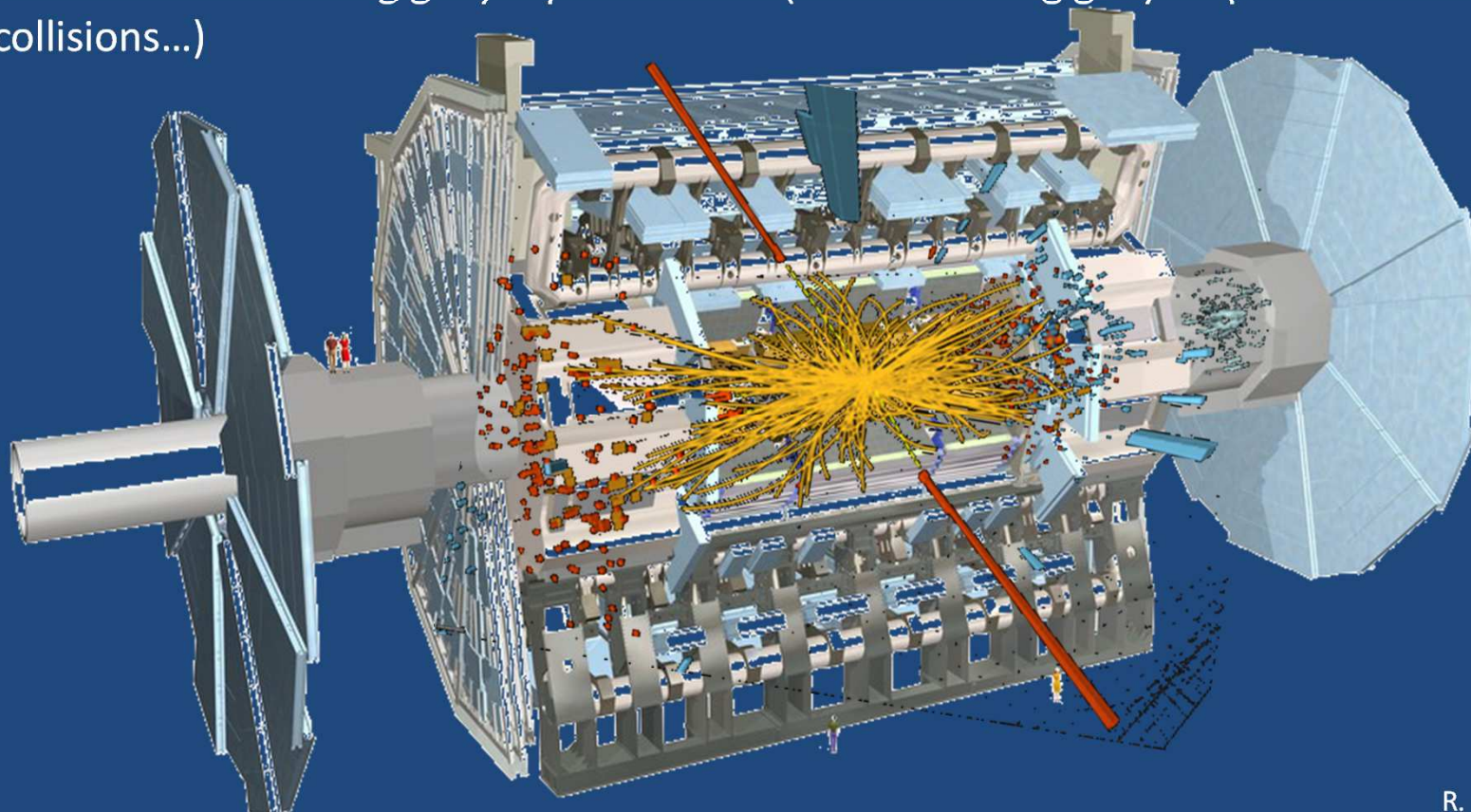
- Les traces des particules
  - énergies et moments des particules
  - identification des particules

- O(10 000) tonnes de O(100 million) de senseurs ultra-high-tech sensors lisant 1 petabyte/s (1 million gigabyte par seconde)

- Stockant un demi-gigabyte par seconde (5 millions de gigabytes par an = un milliard de collisions...)

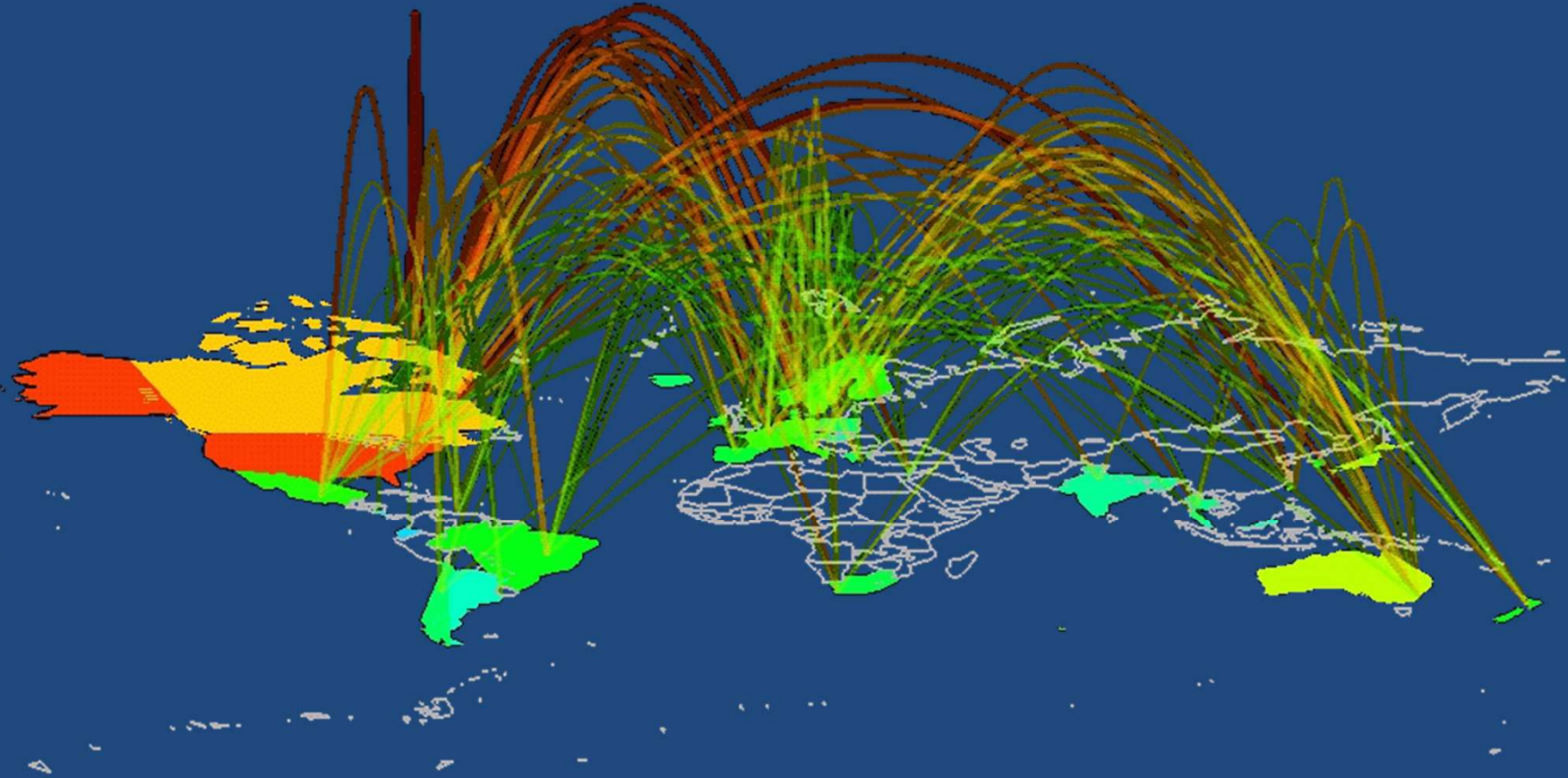
Les particules communément connues

Les choses excitantes se passent dans un volume de la taille d'un proton



# L'analyse mondiale - GRID

- Le GRID – calcul distribue avec des ordinateurs connectés autour la planète comme un “super-ordinateur” (similaire à la grille de distribution électrique)
  - ➔ 170 centres de calcul dans 36 pays

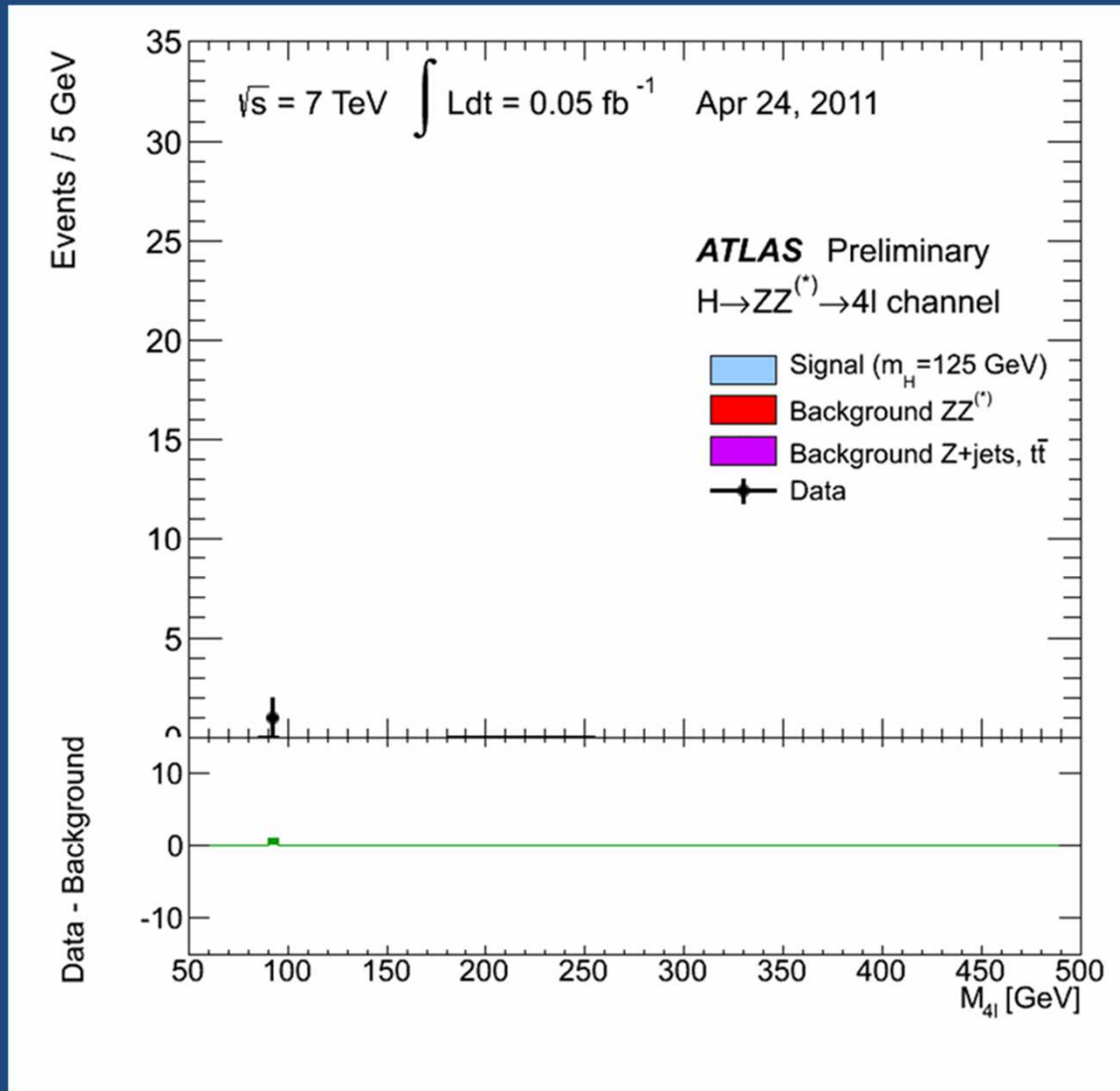




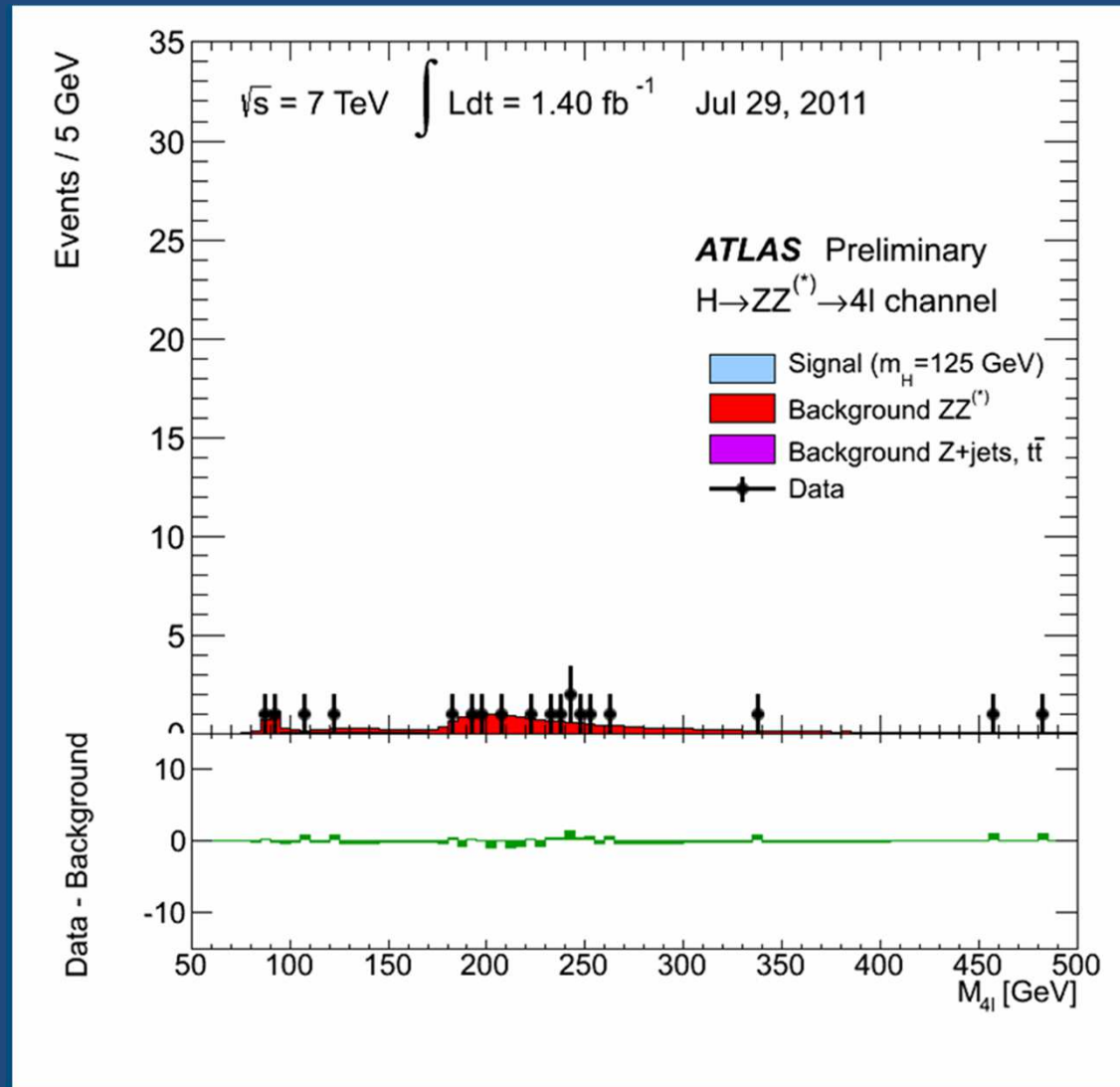
# 2011 - 2012

Les graphiques suivants sont les mesures attestant de la découverte du boson de Higgs, faites au niveau du détecteur ATLAS.

On notera successivement les mesures accompagnées du bruit de fond. Sur les dernières slides on relève, en bleu, celles qui sont spécifiques du boson.

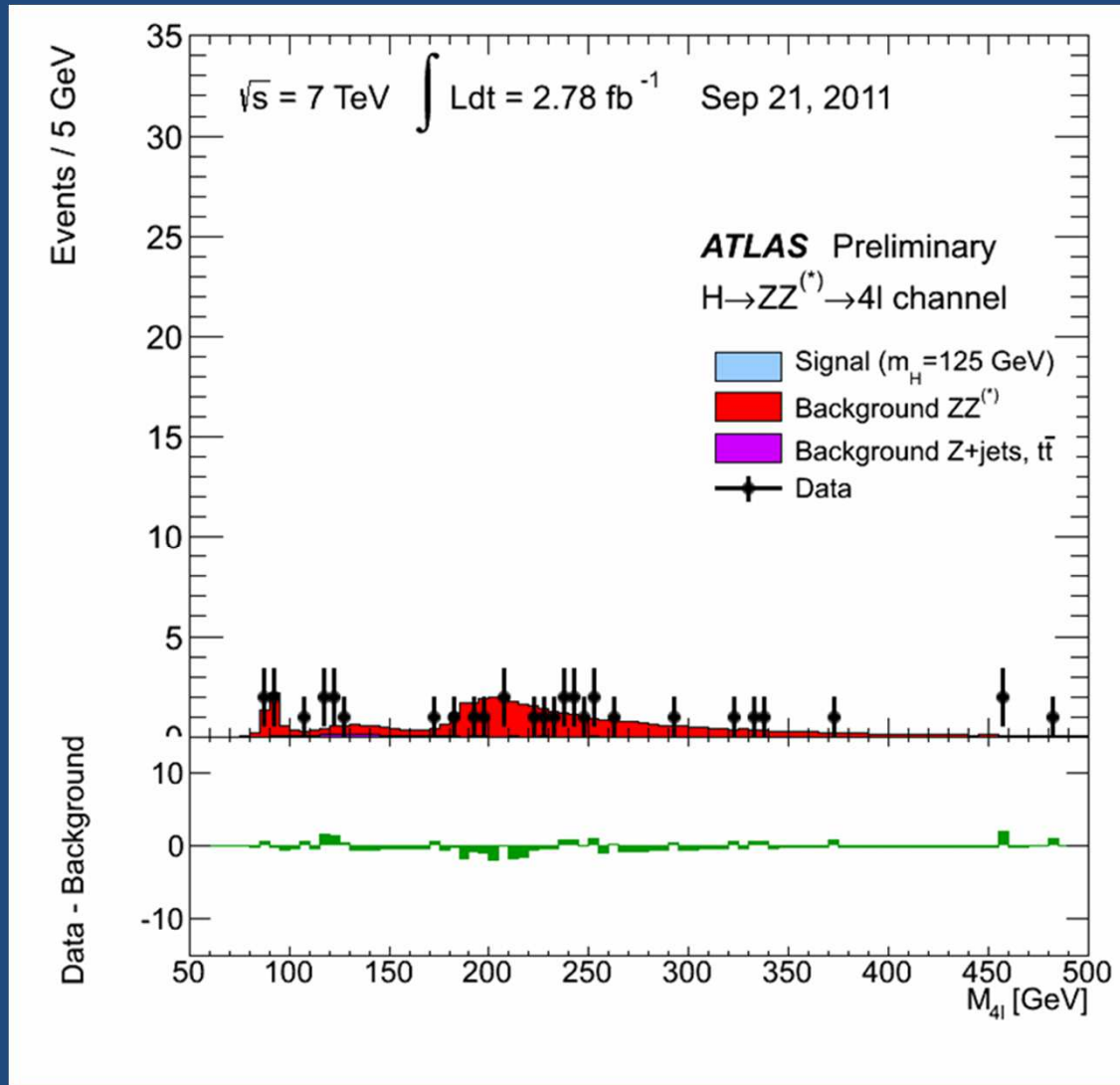


# 2011 – 2012 !



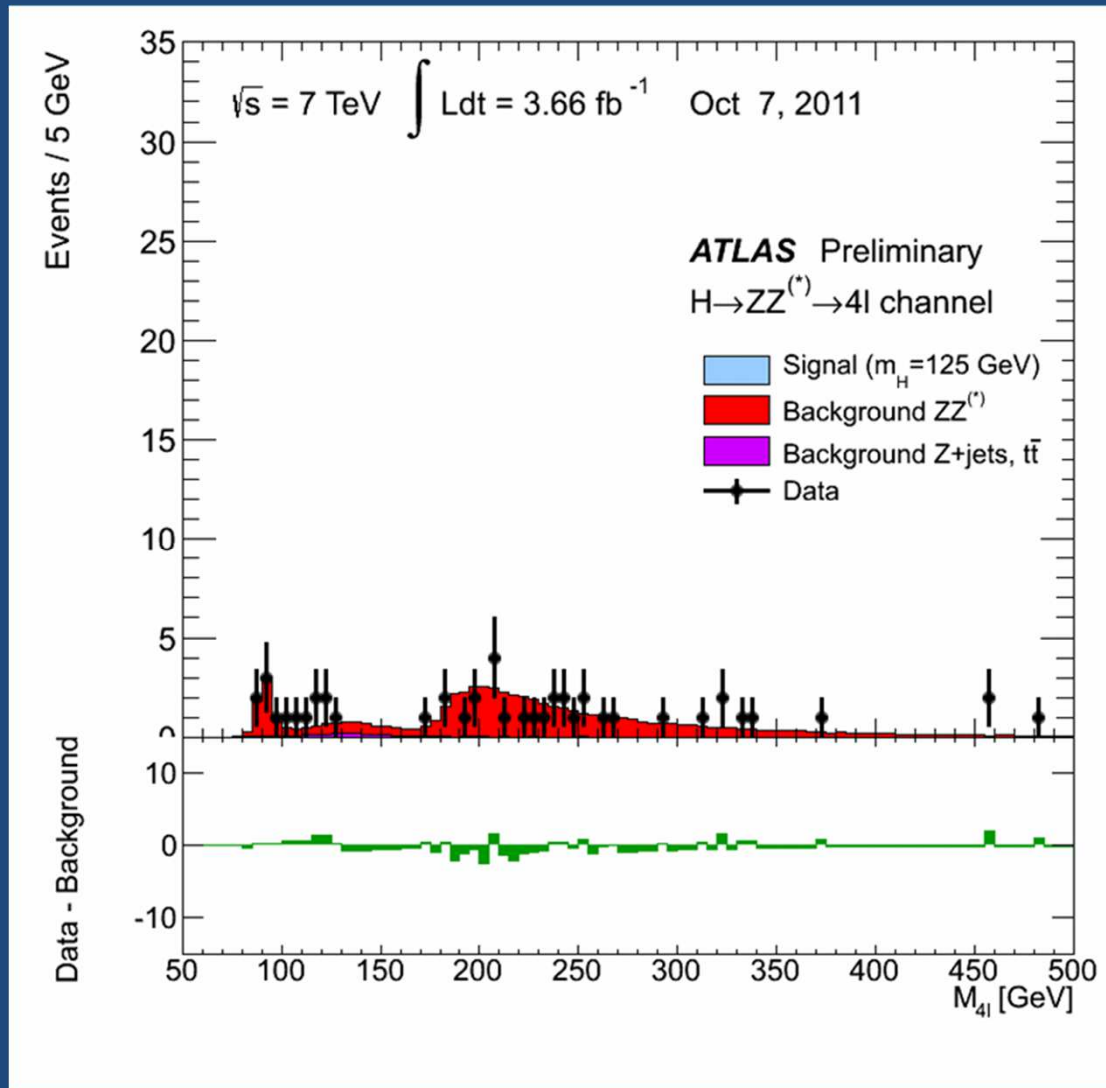
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

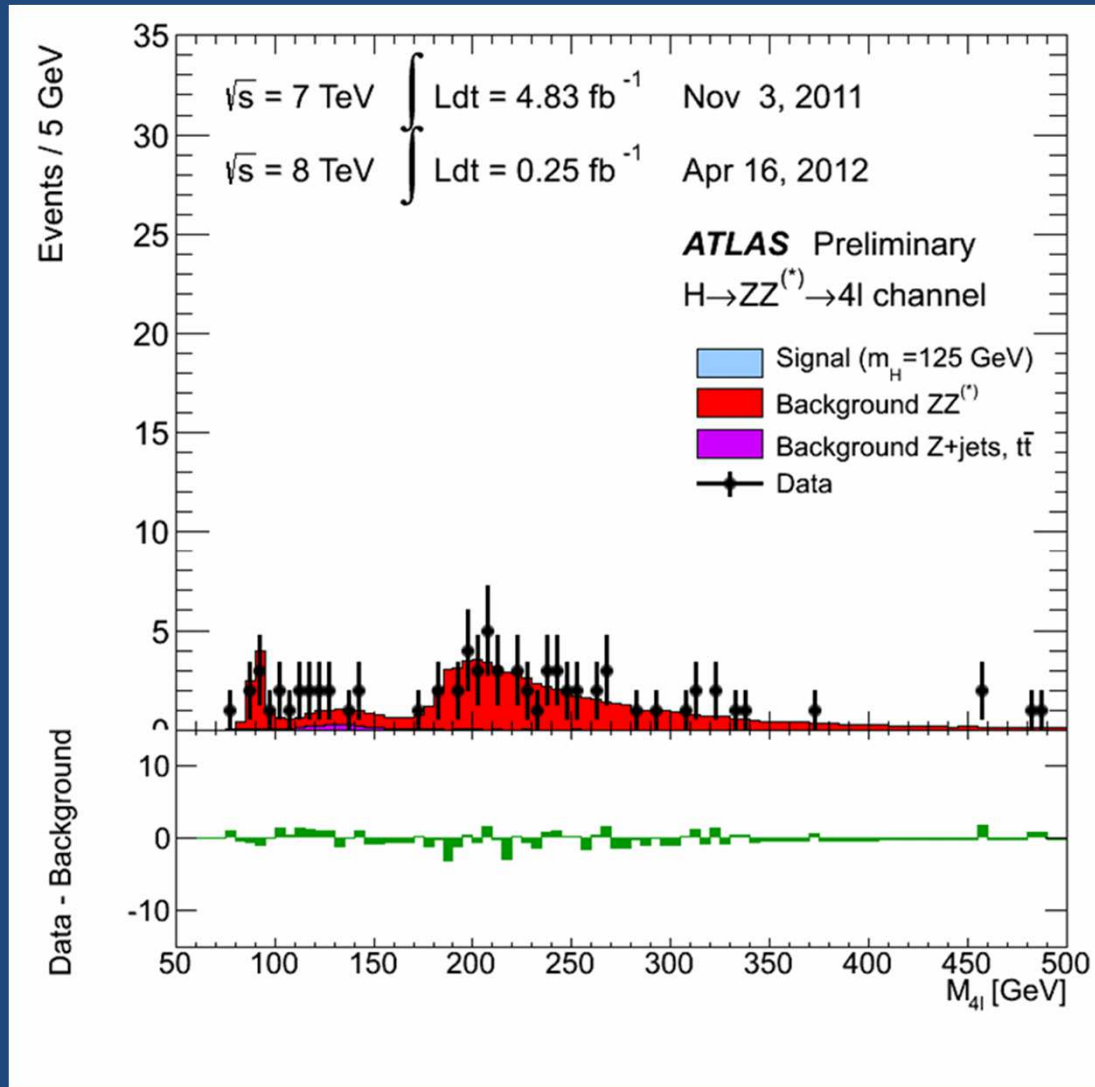
# 2011 – 2012 !



La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

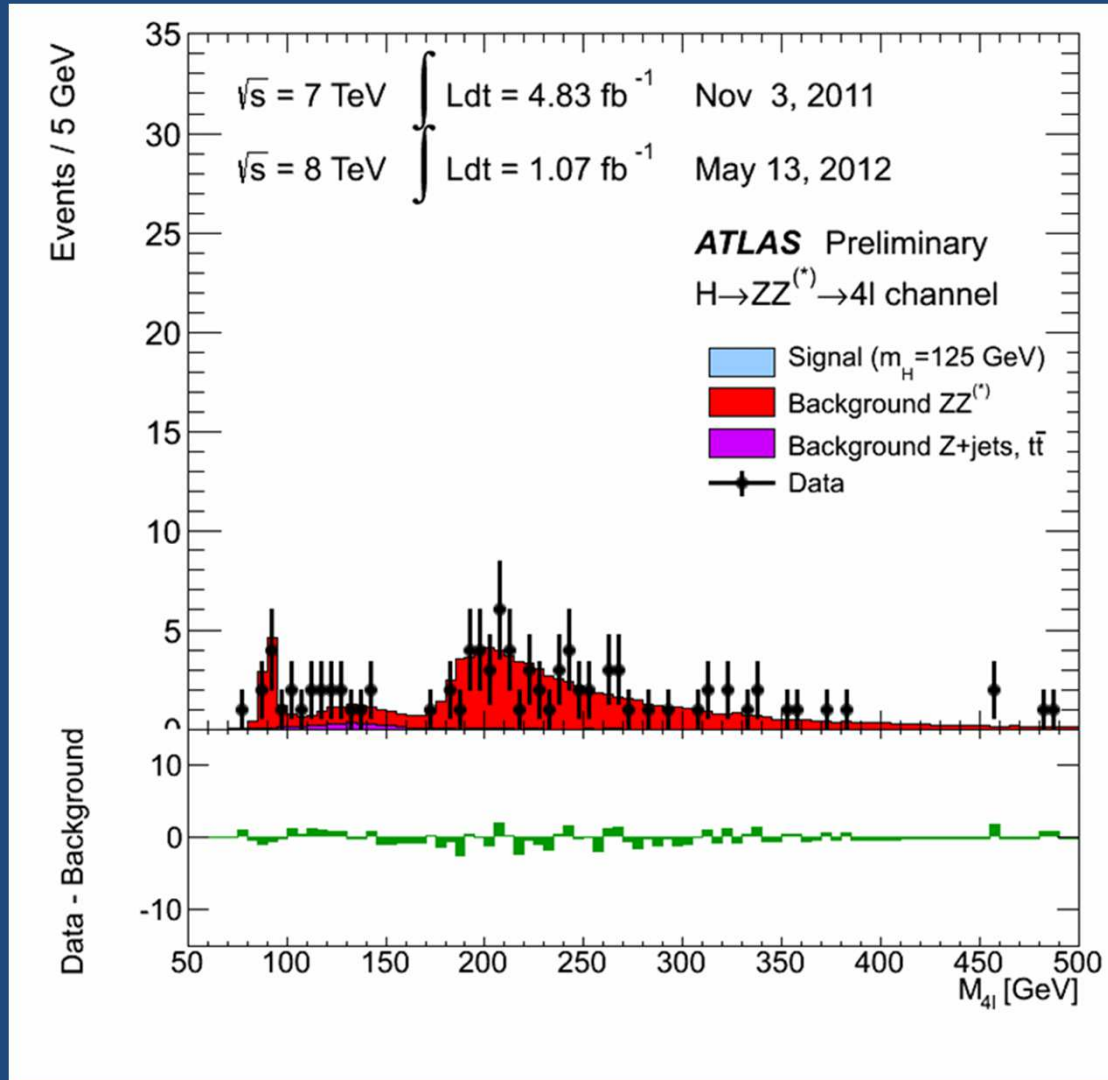


# 2011 – 2012 !



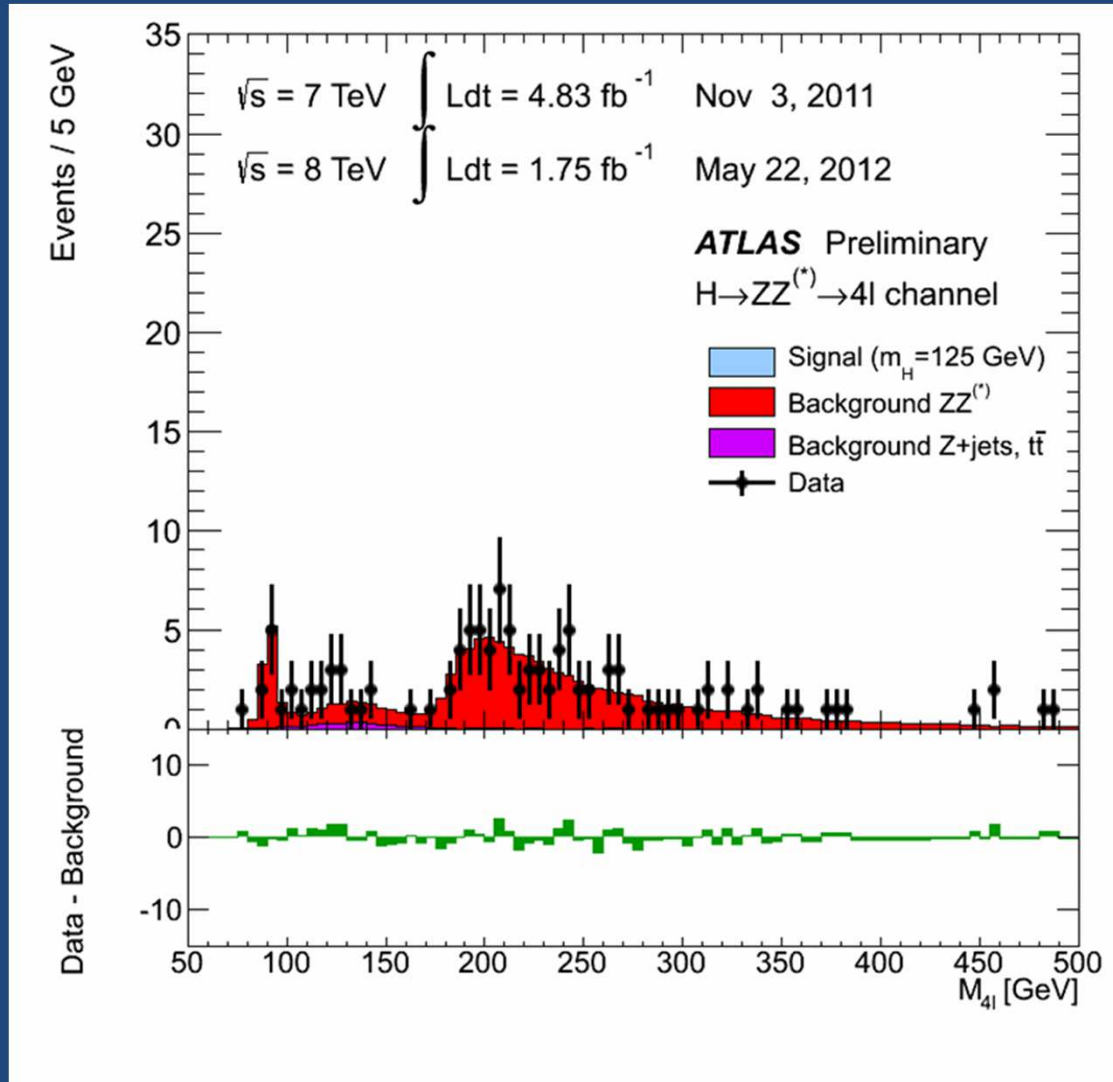
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



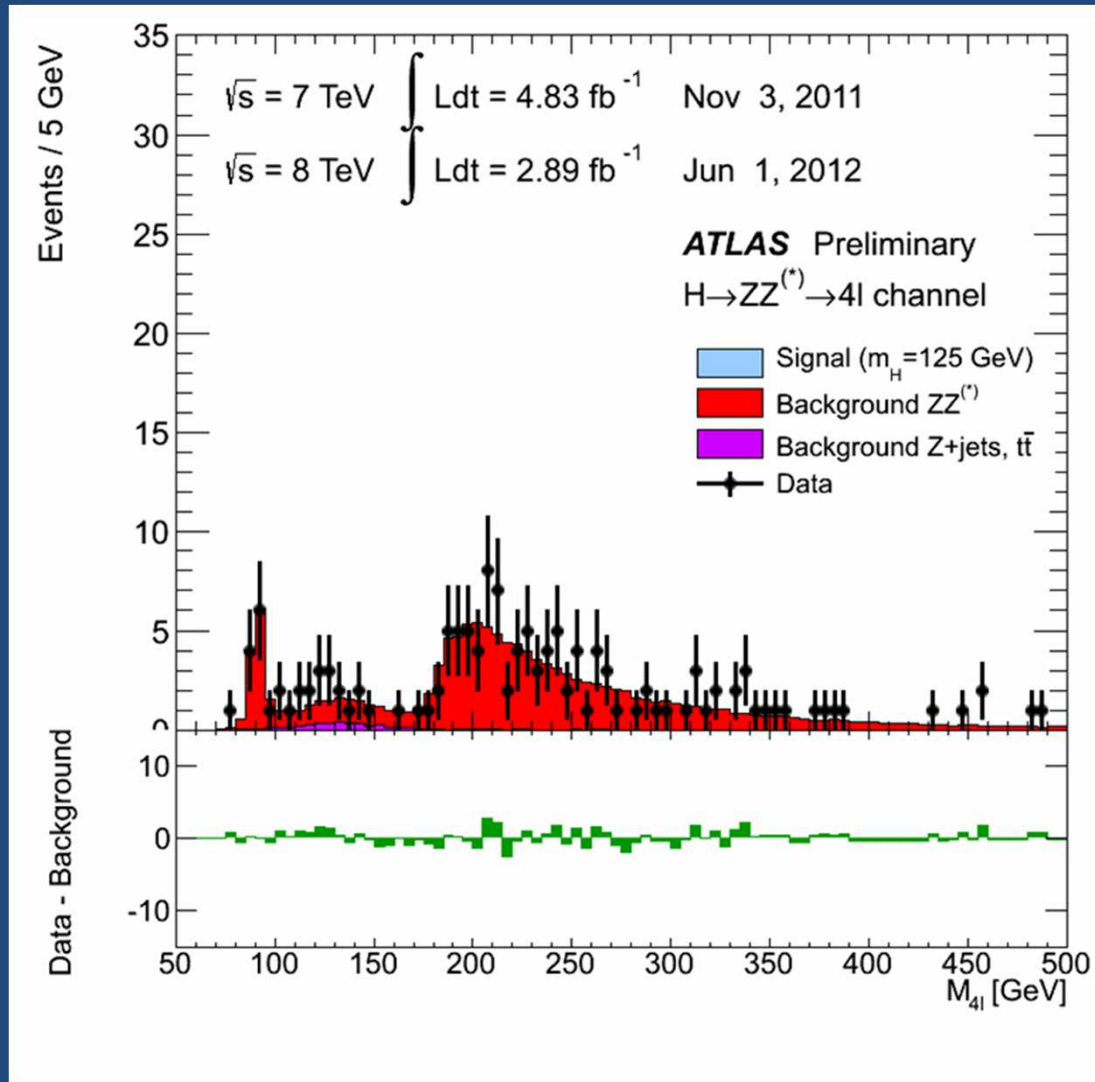
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



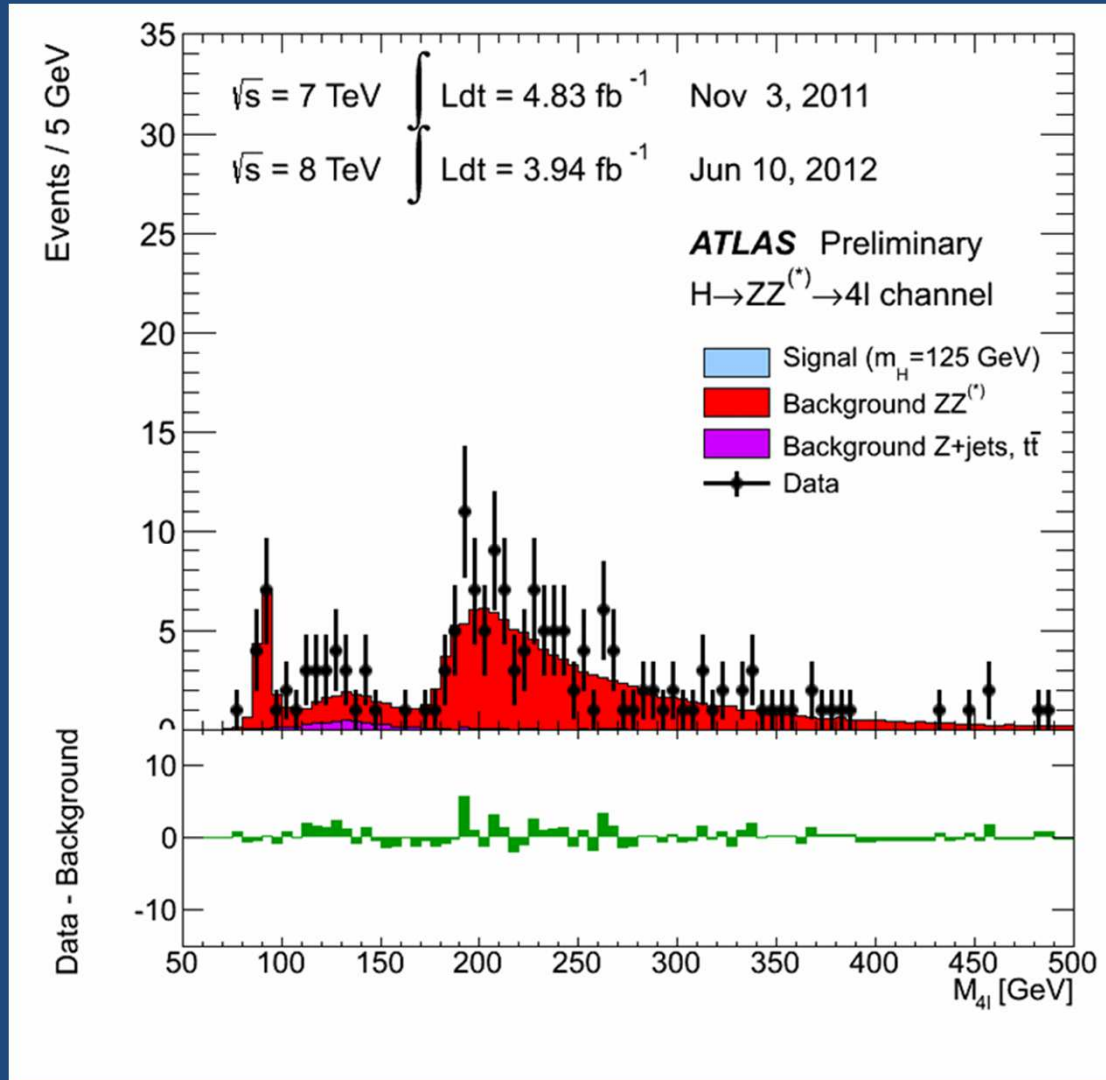
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



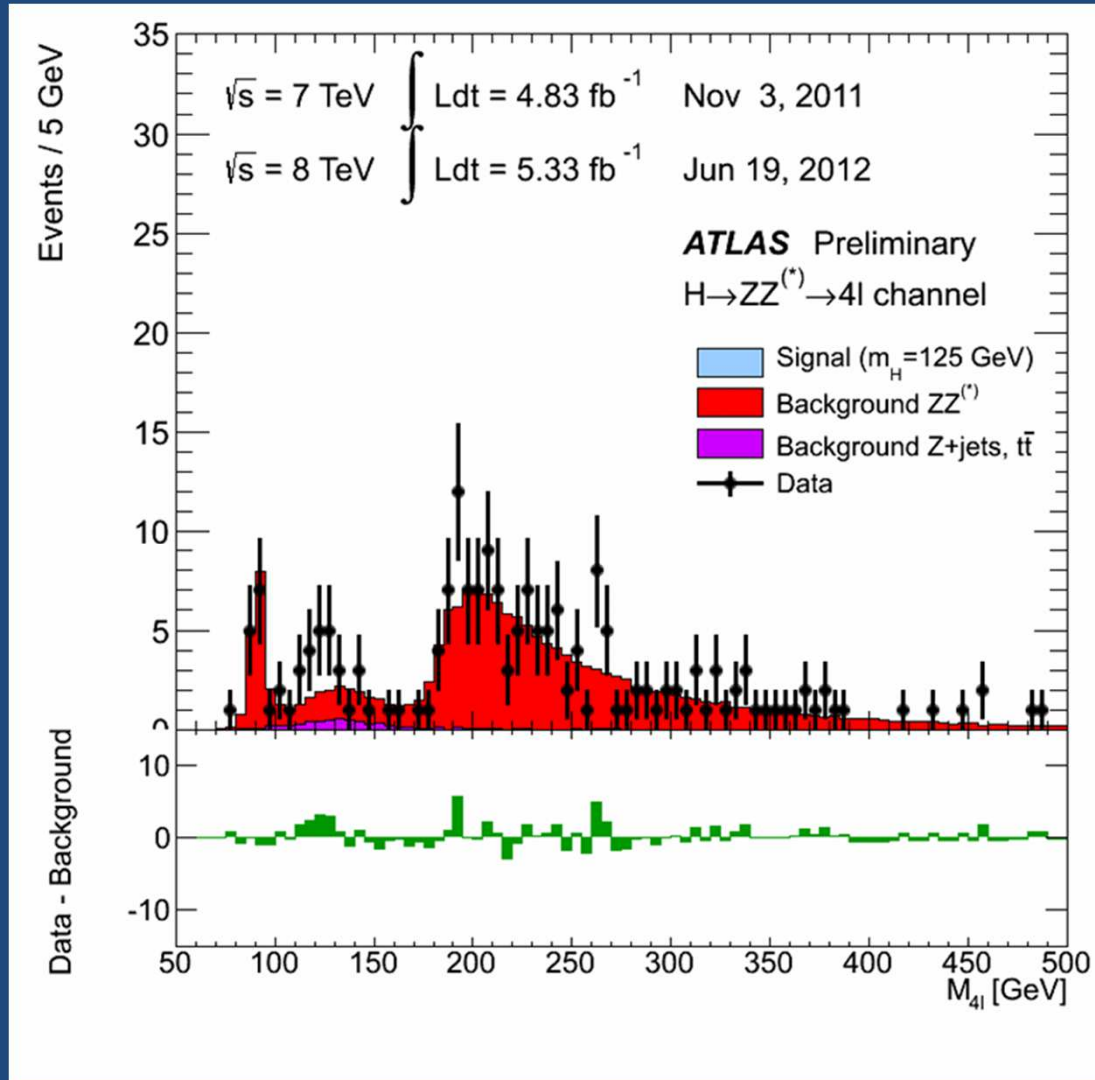
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



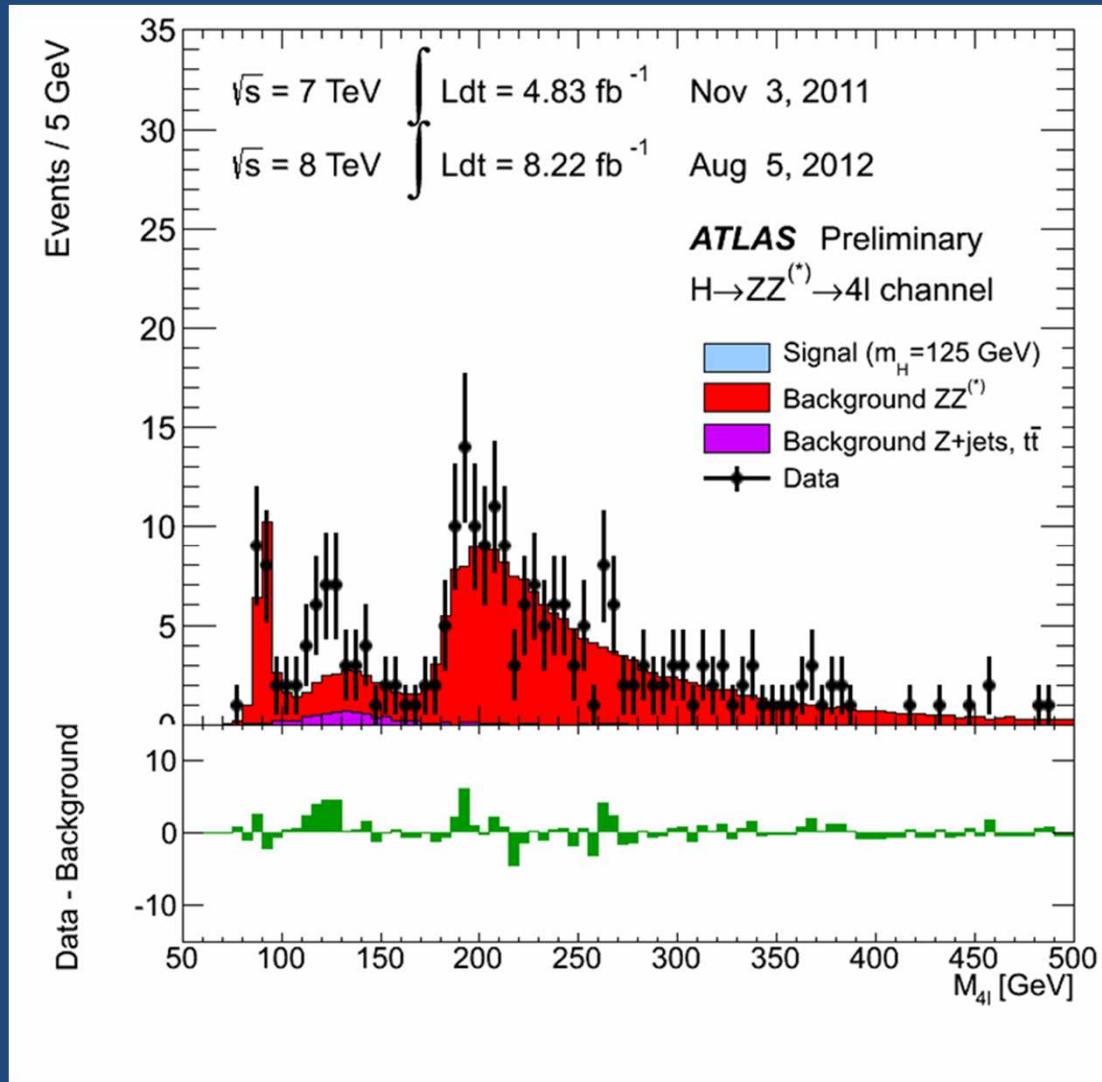
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



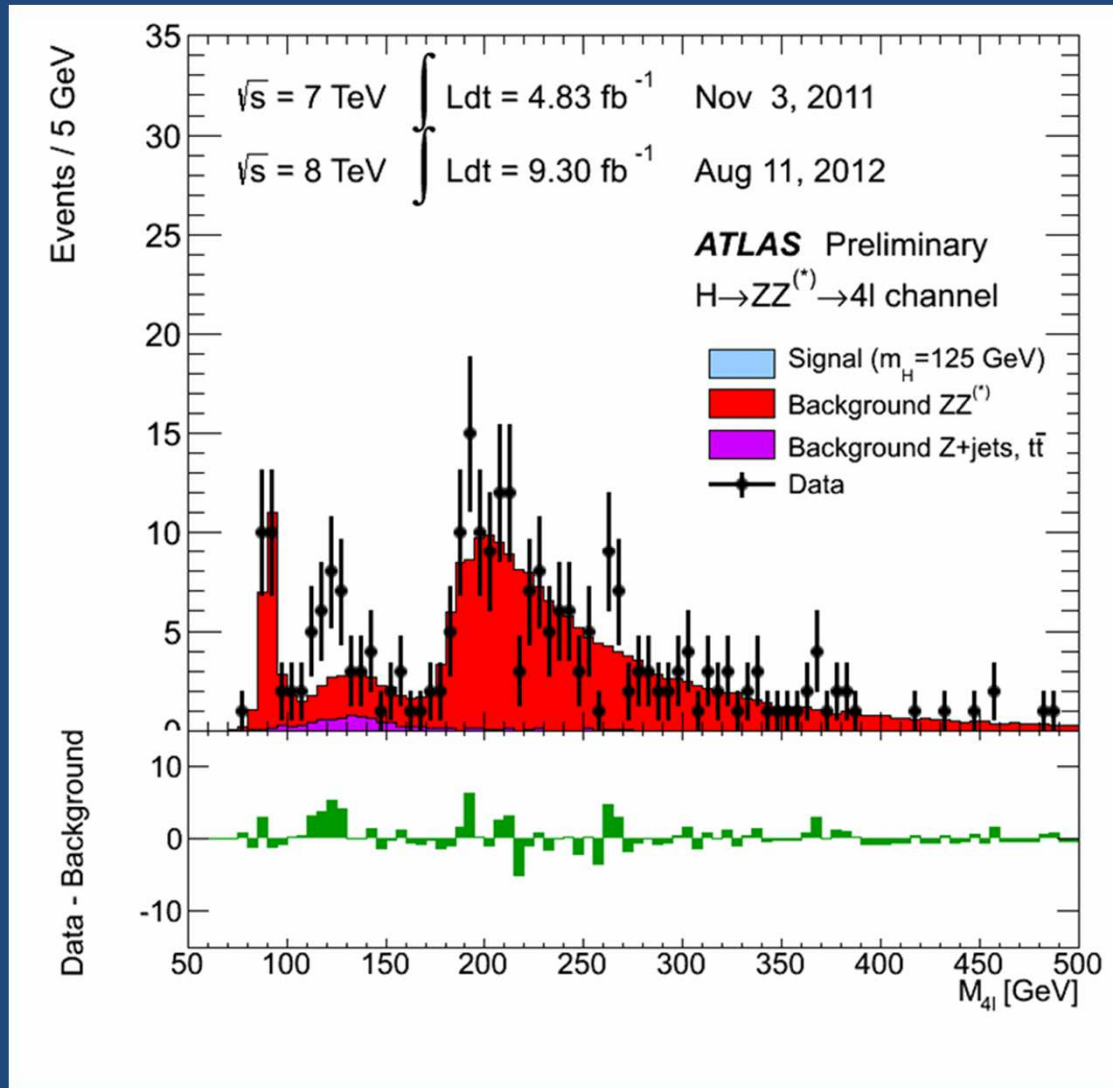
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

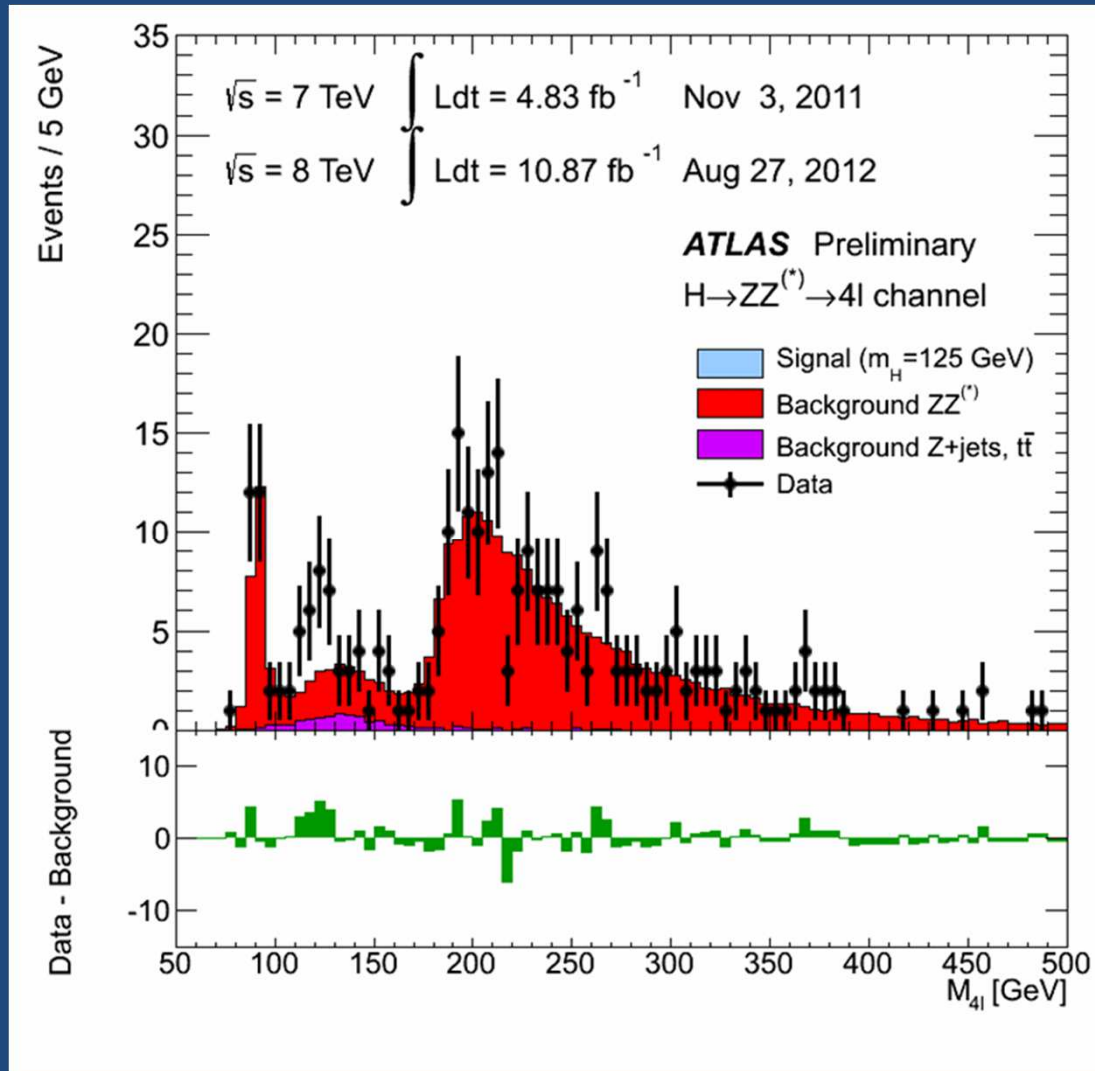
# 2011 – 2012 !



La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

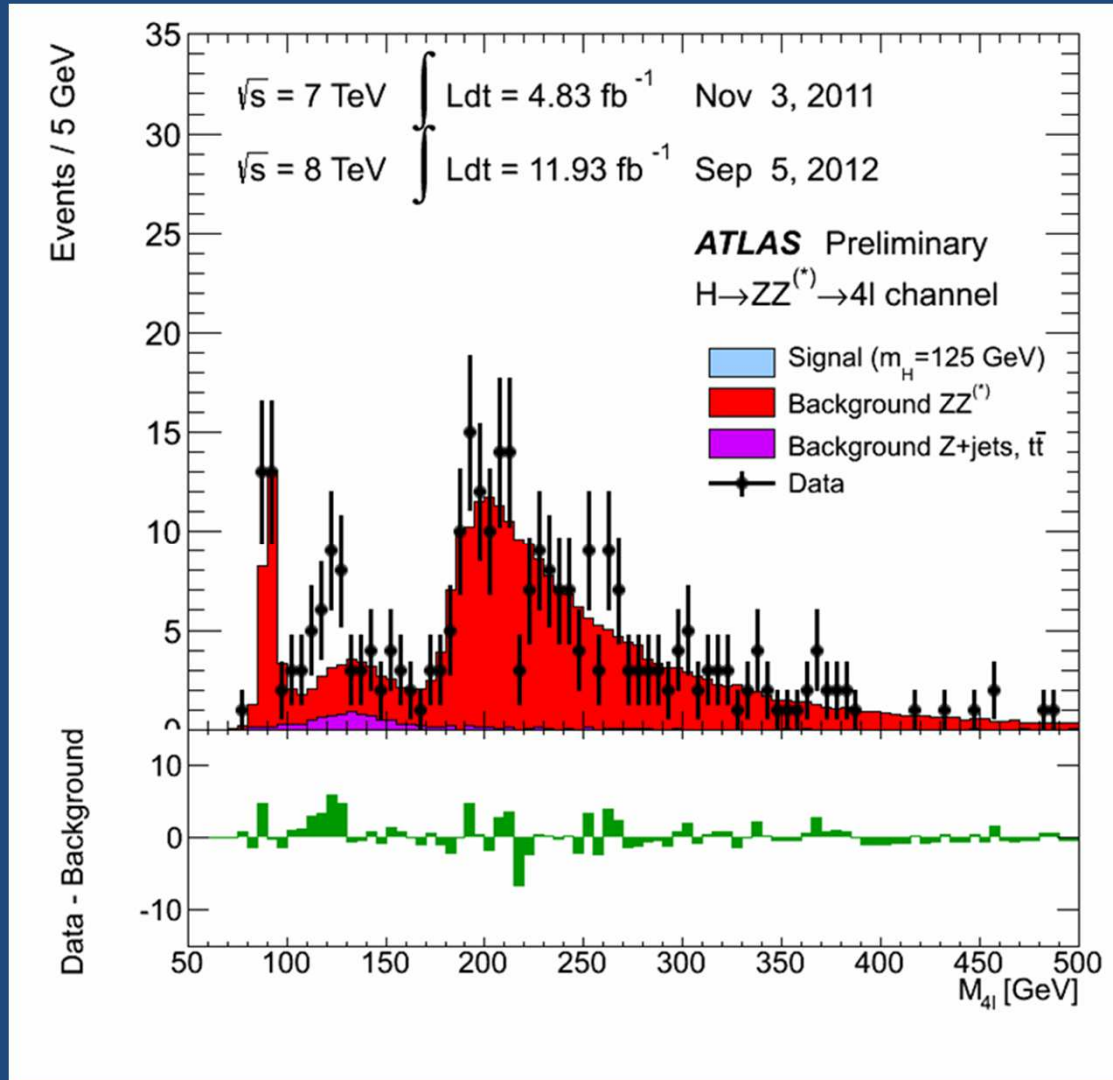


# 2011 – 2012 !



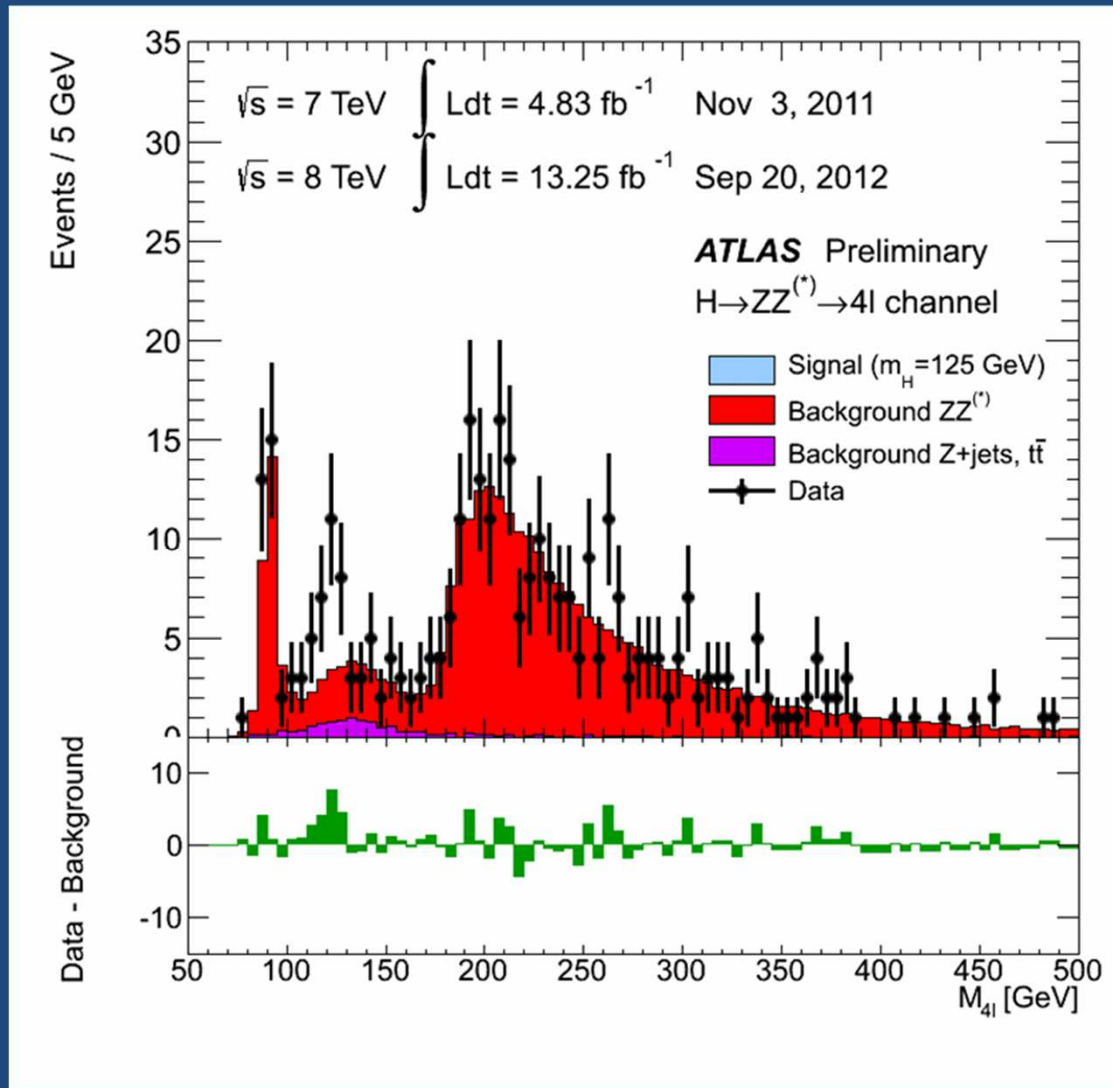
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



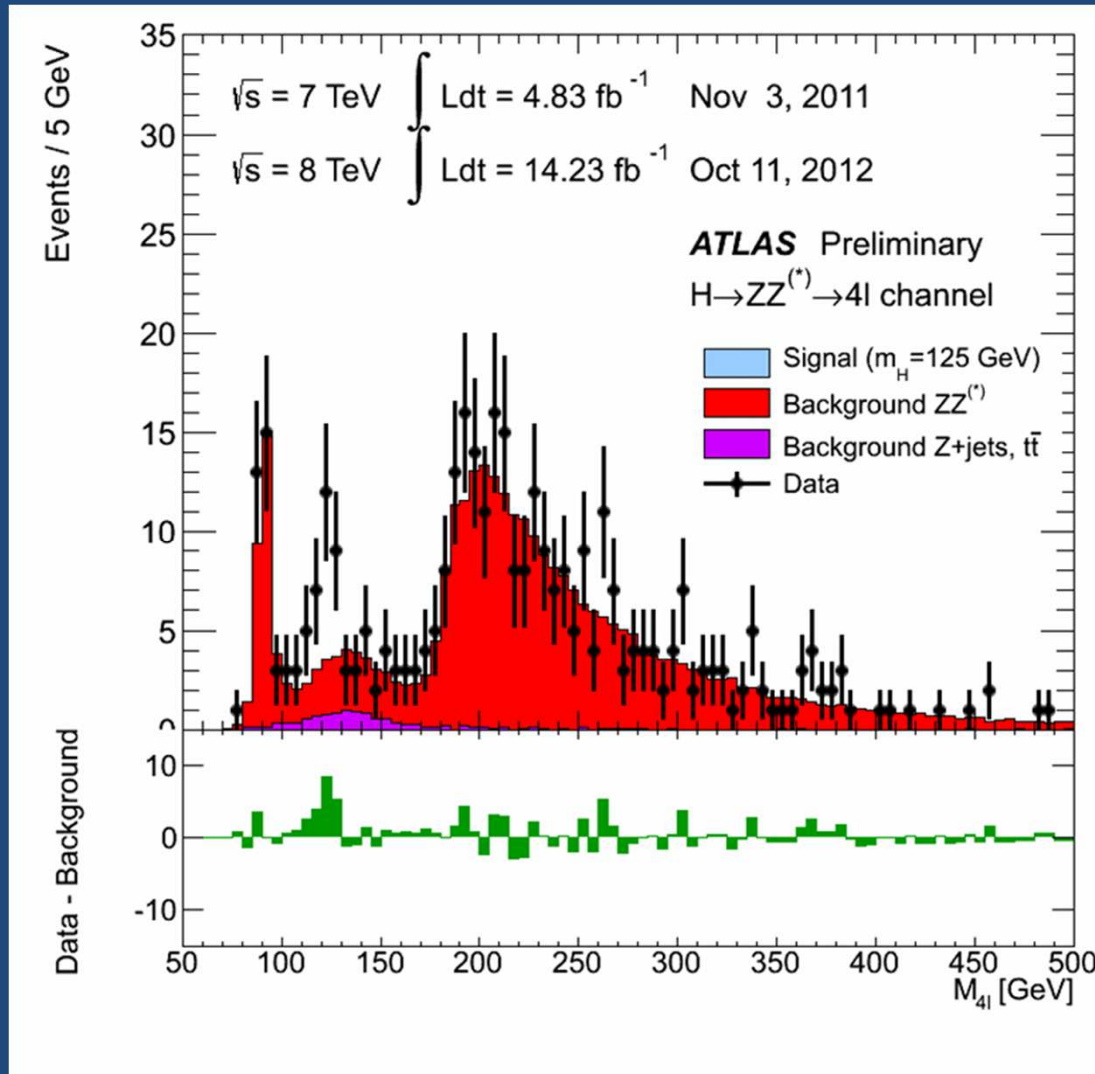
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



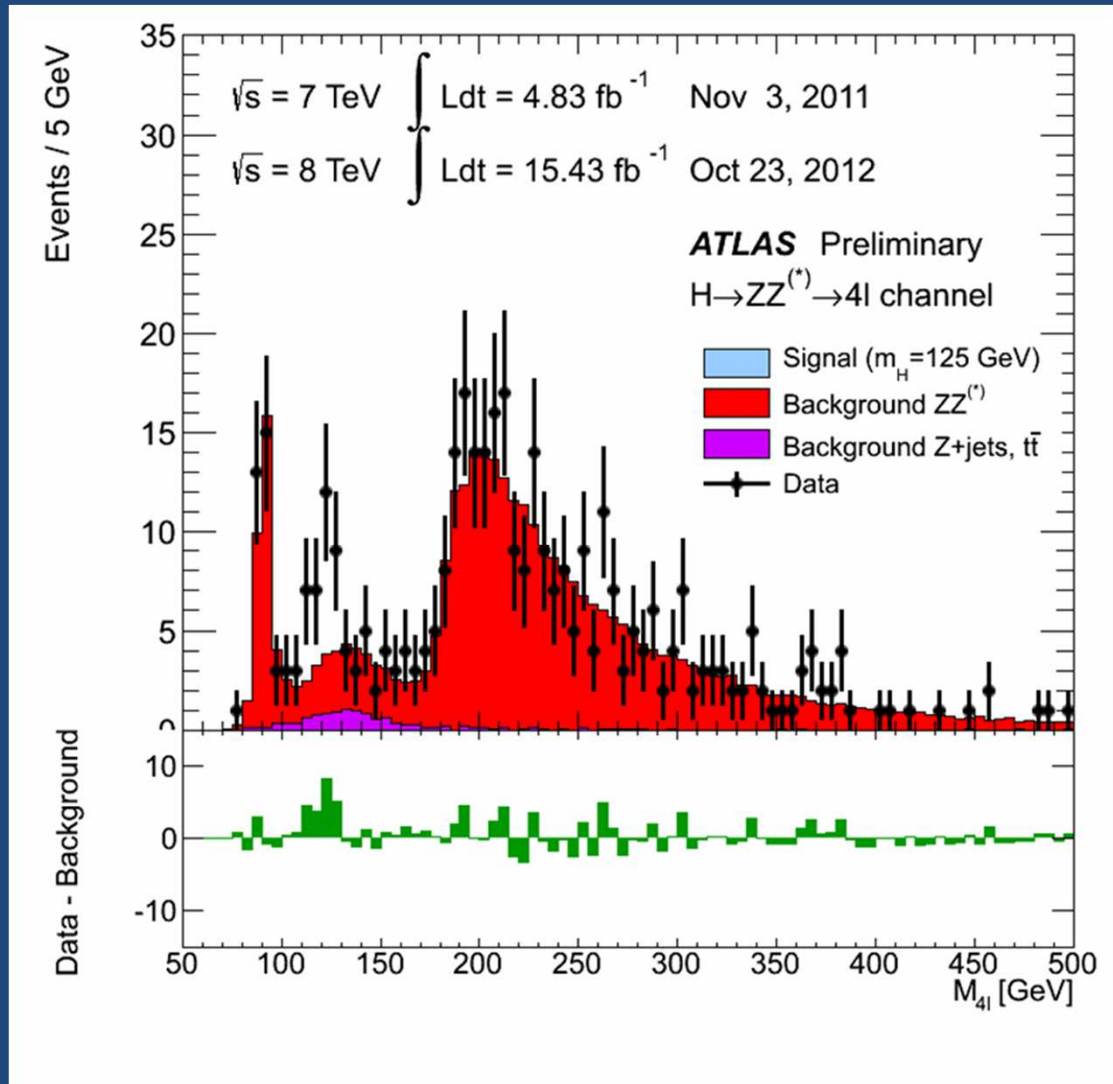
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



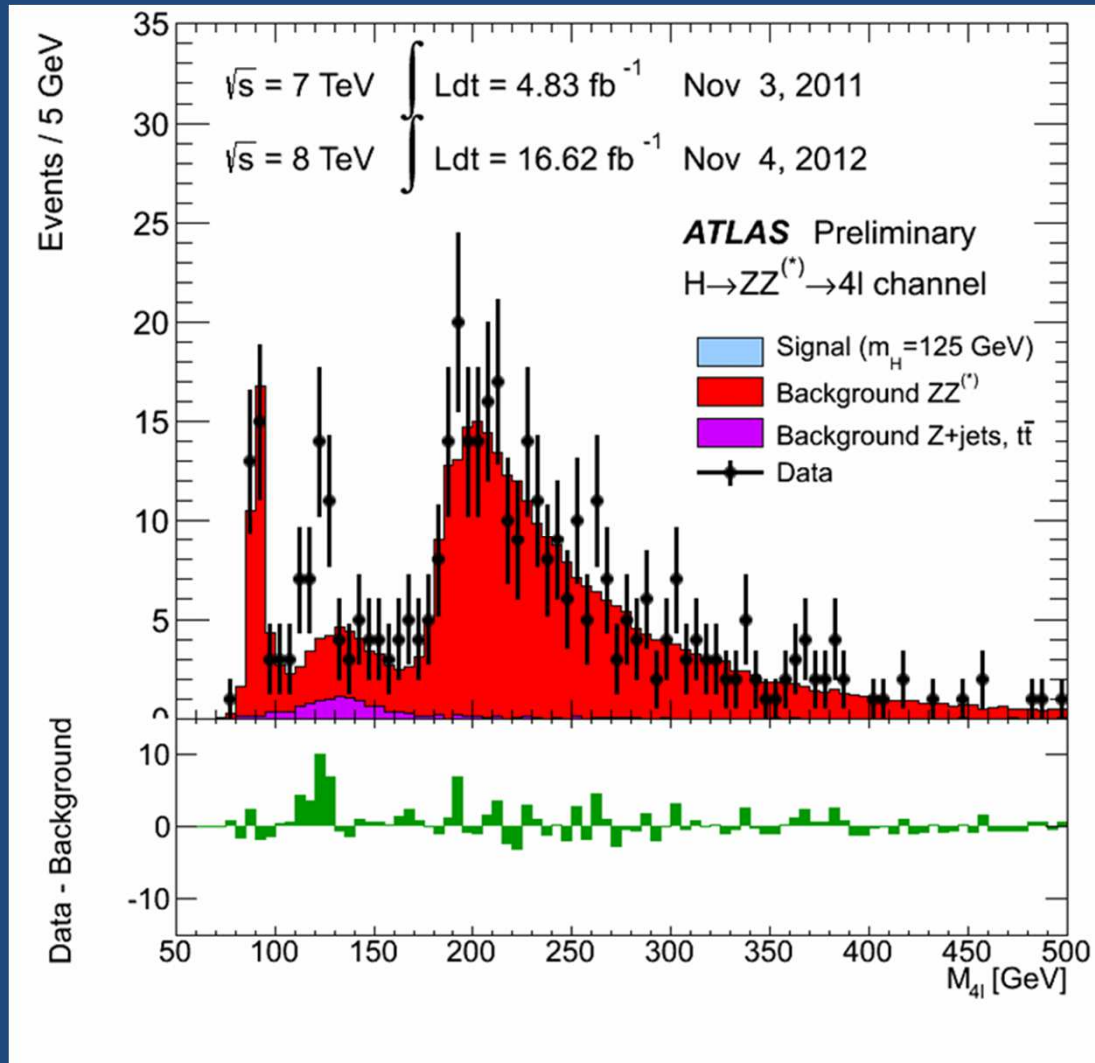
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



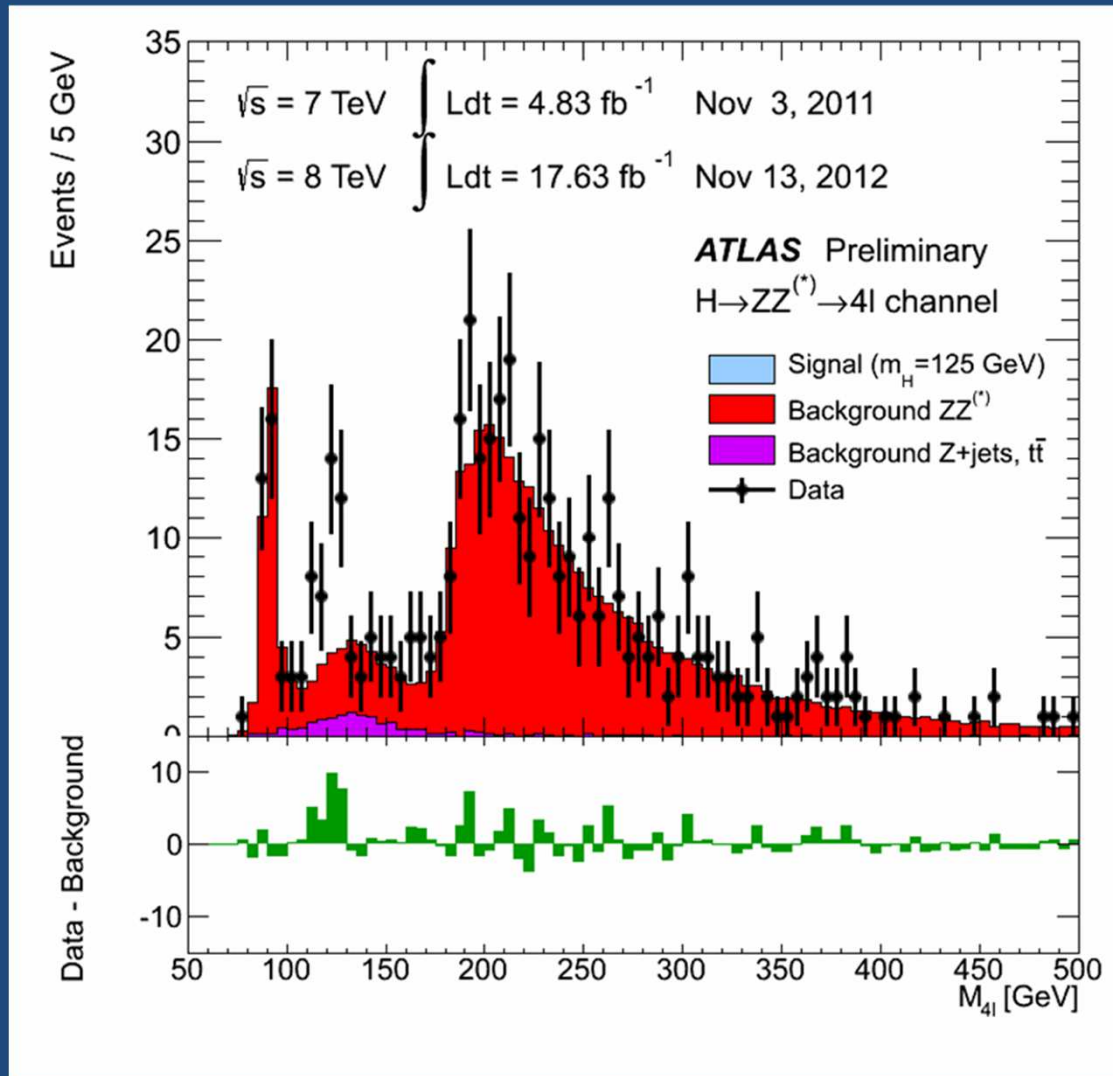
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



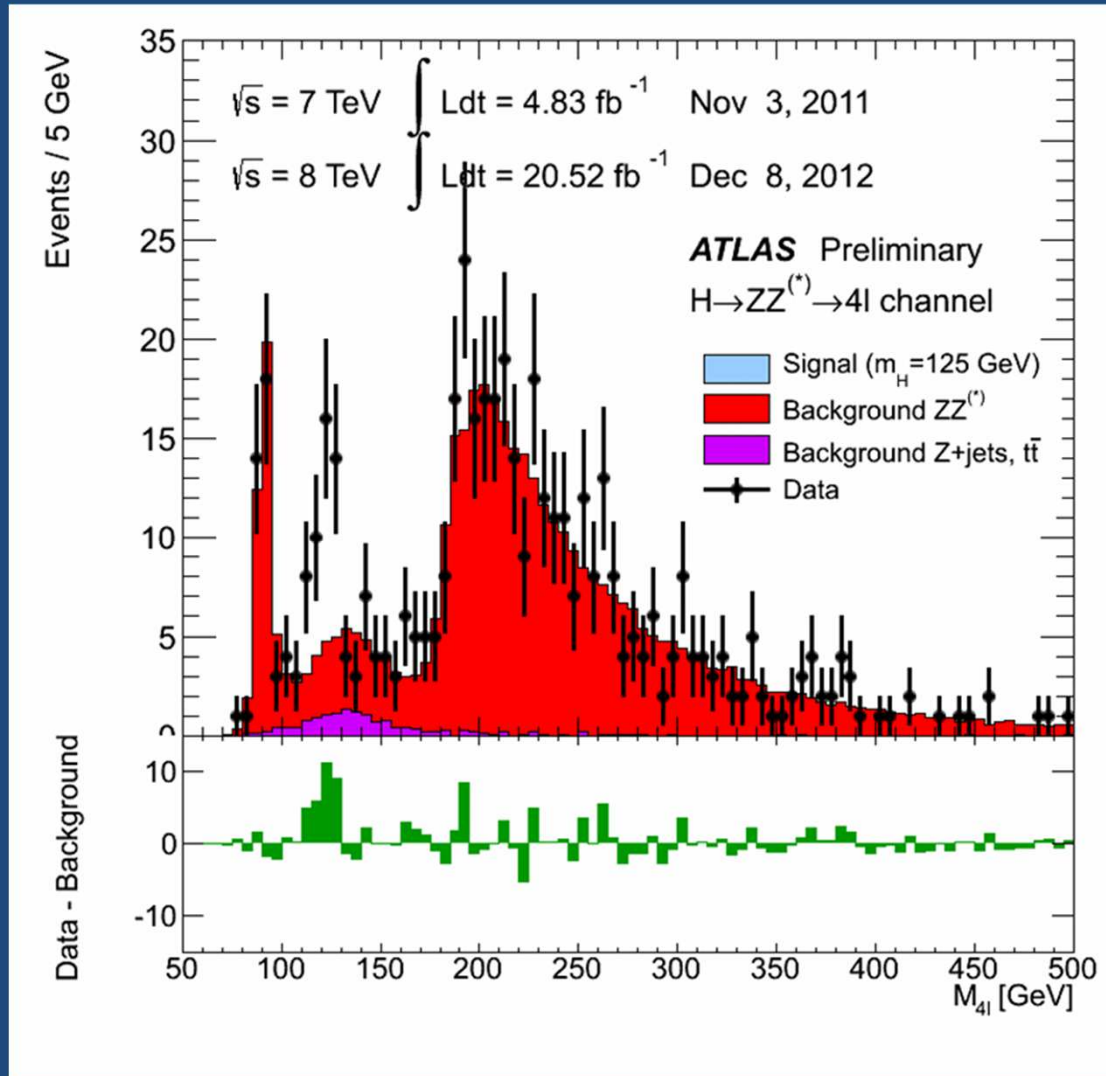
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

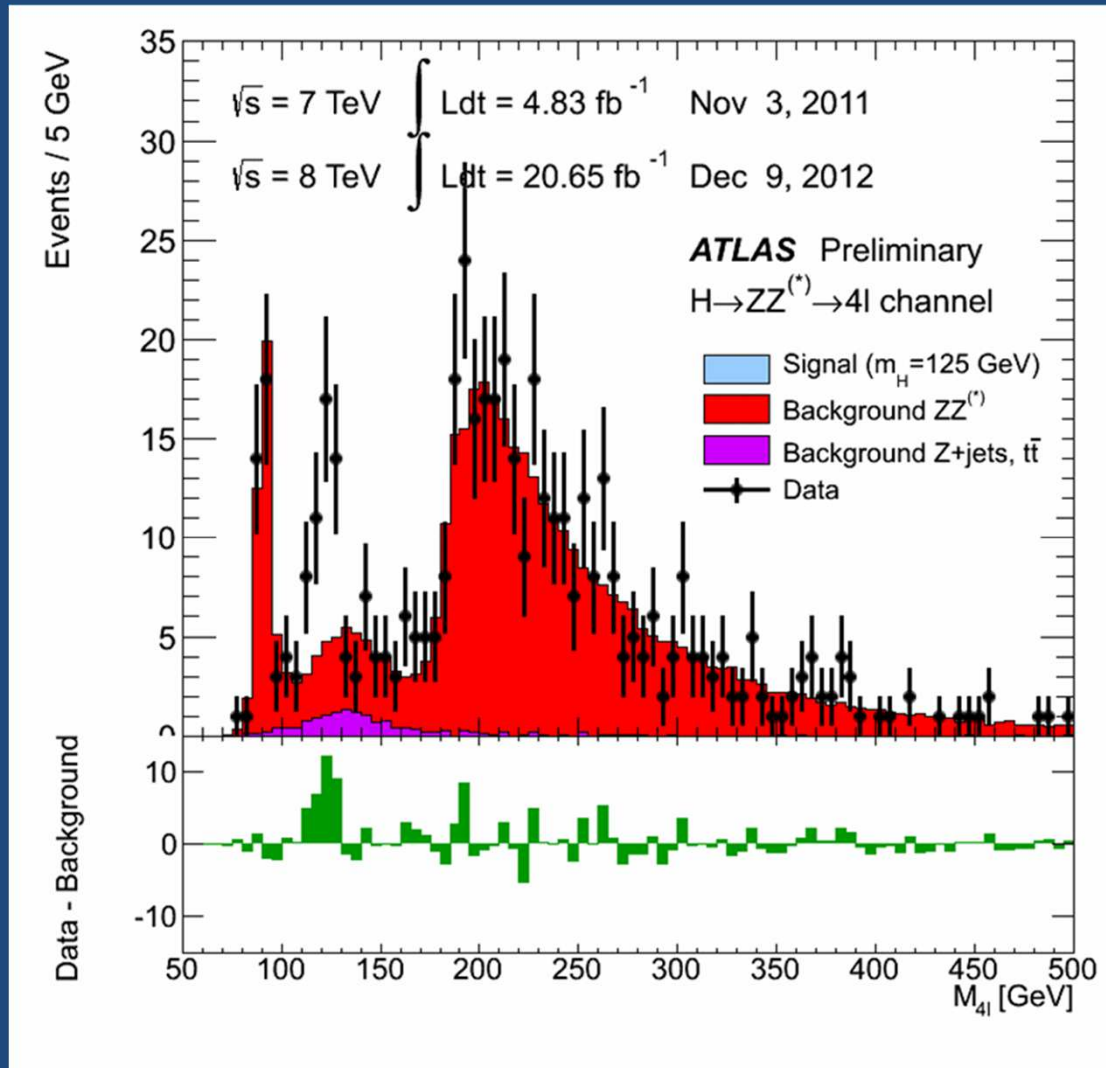
# 2011 – 2012 !



La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

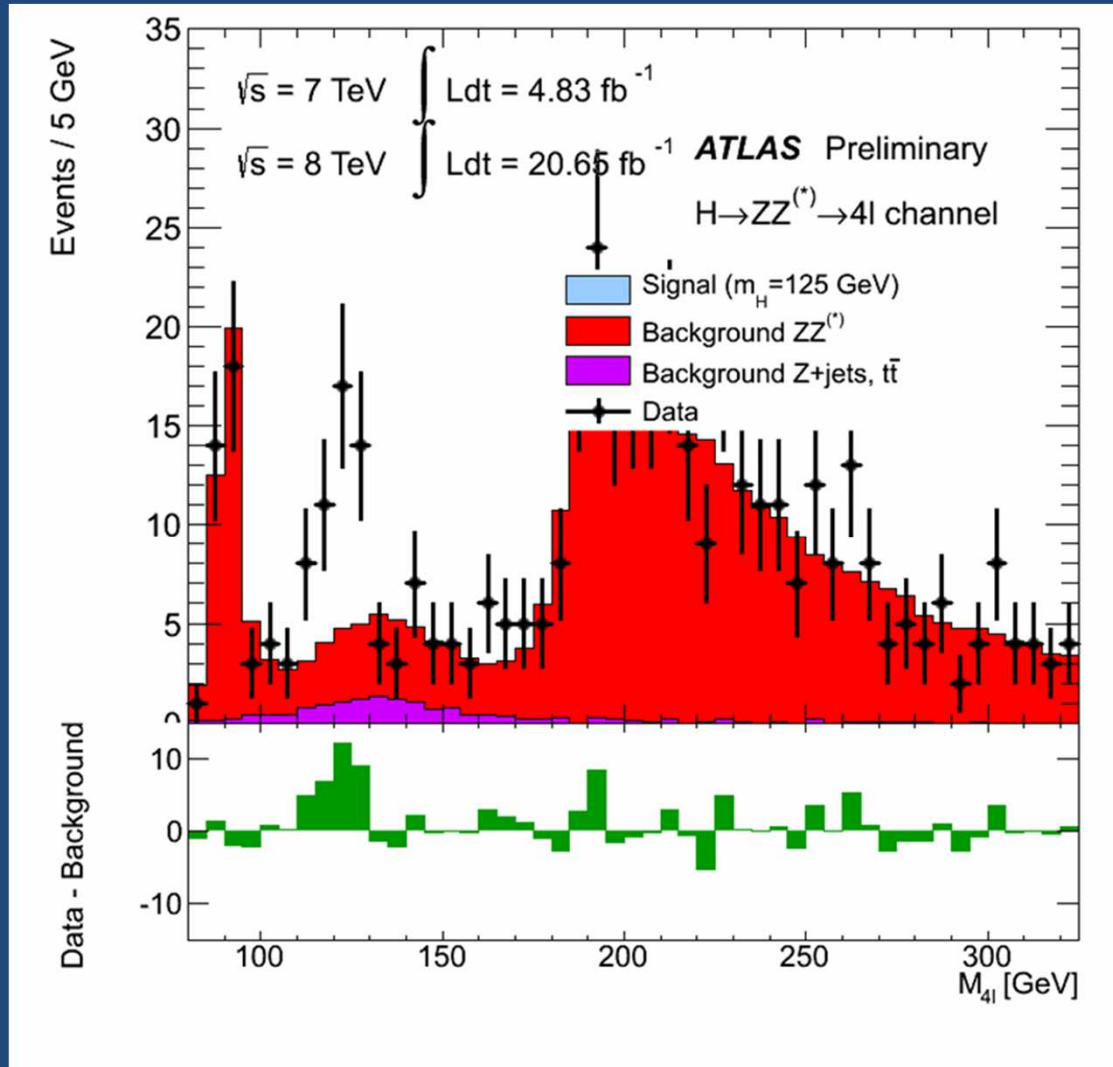


# 2011 – 2012 !



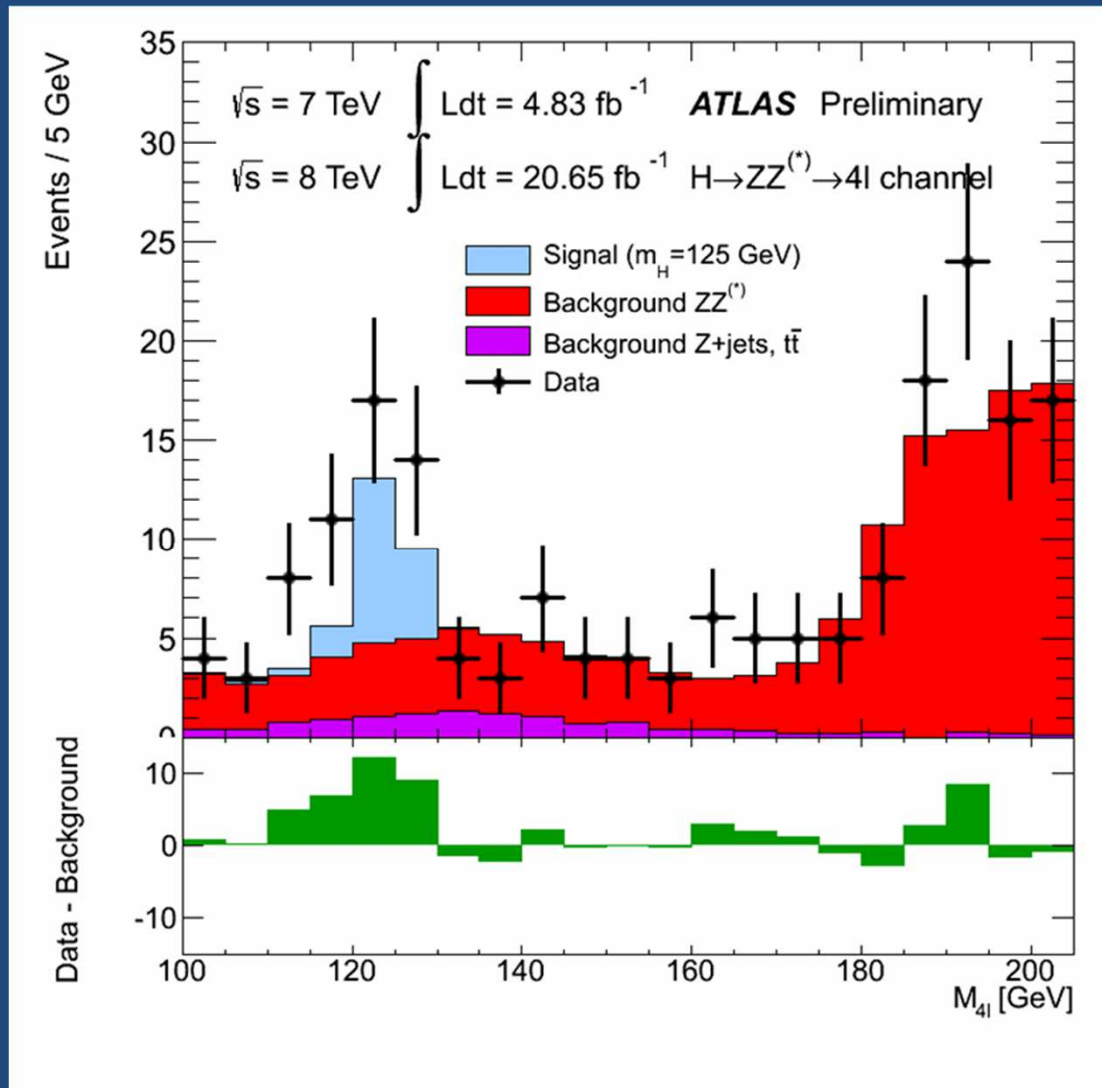
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



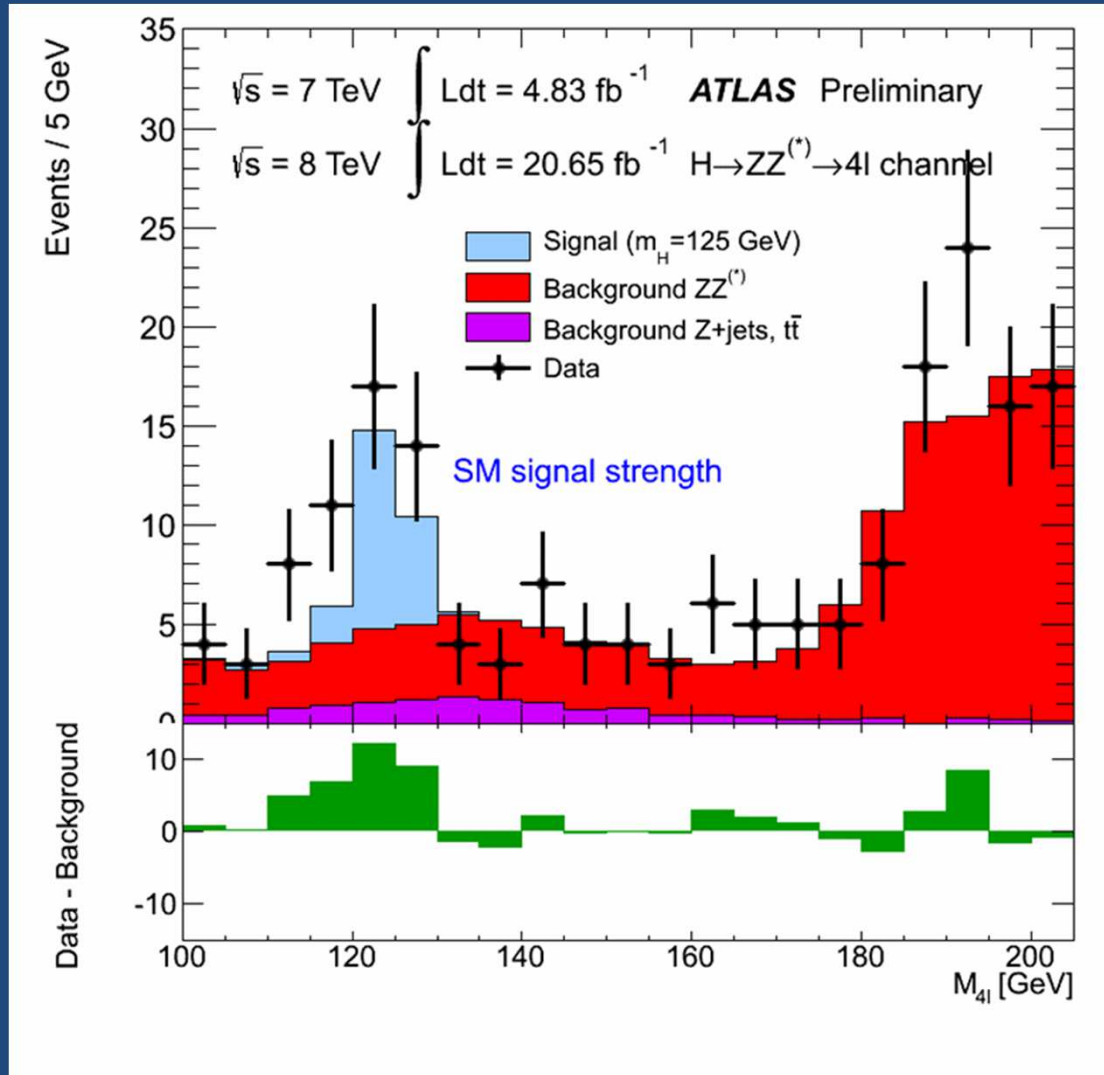
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



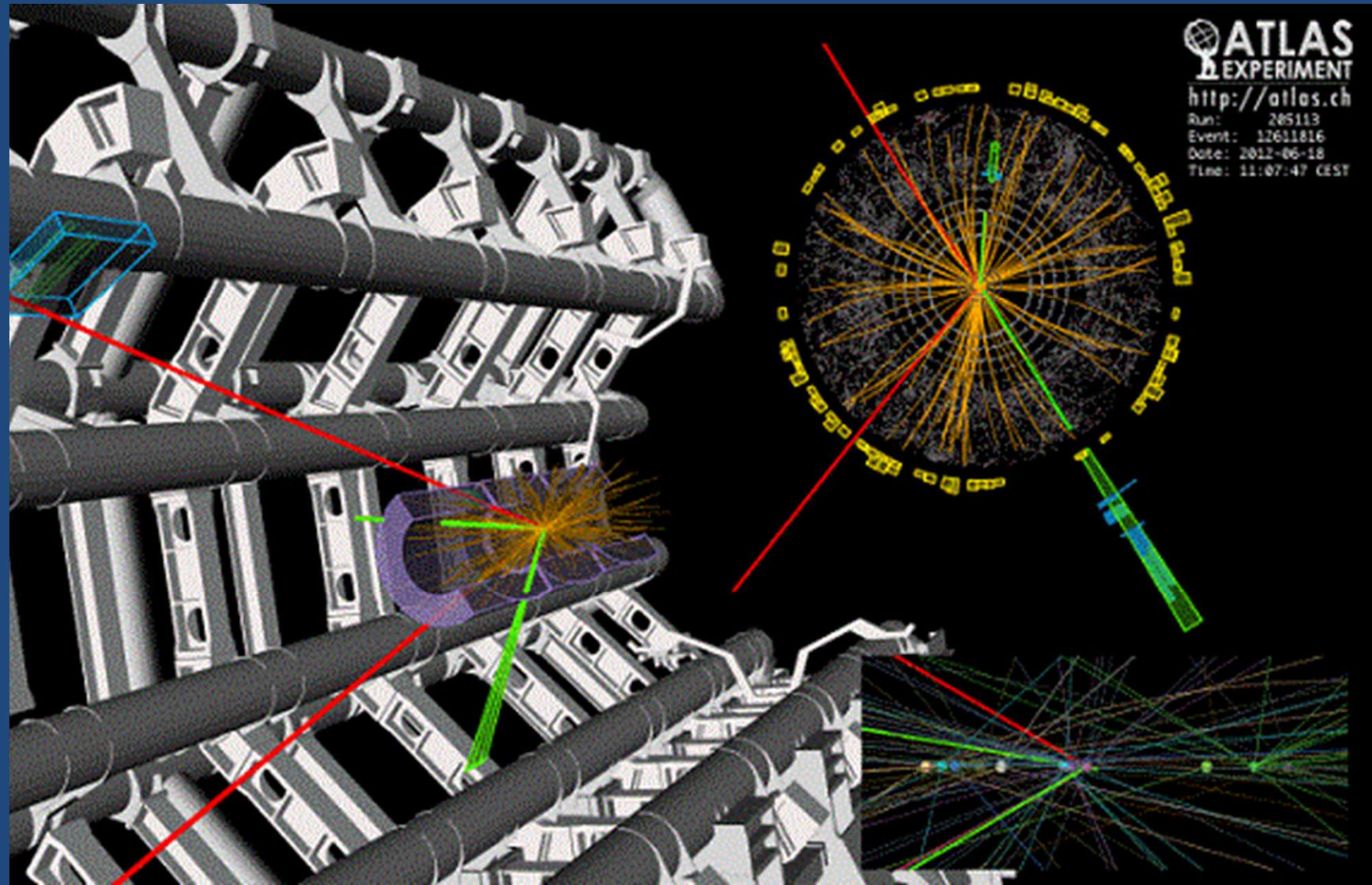
La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# 2011 – 2012 !



La masse de Higgs est égale à celle de 130 protons !

# Un exemple.....



# Prix Nobel 2013 !

- Rien de ce que nous avons vu jusqu'à aujourd'hui ne ressemble au boson de Higgs !

CERN Accelerating science

Sign in Directory

About CERN Students & Educators Scientists CERN people

English Français

### CERN congratulates Englert and Higgs on Nobel in physics

8 Oct 2013

The 2013 Nobel prize in physics has been awarded to François Englert and Peter Higgs for their theoretical work on the Higgs boson

COME ON. PICK A SIDE.

FORCE.

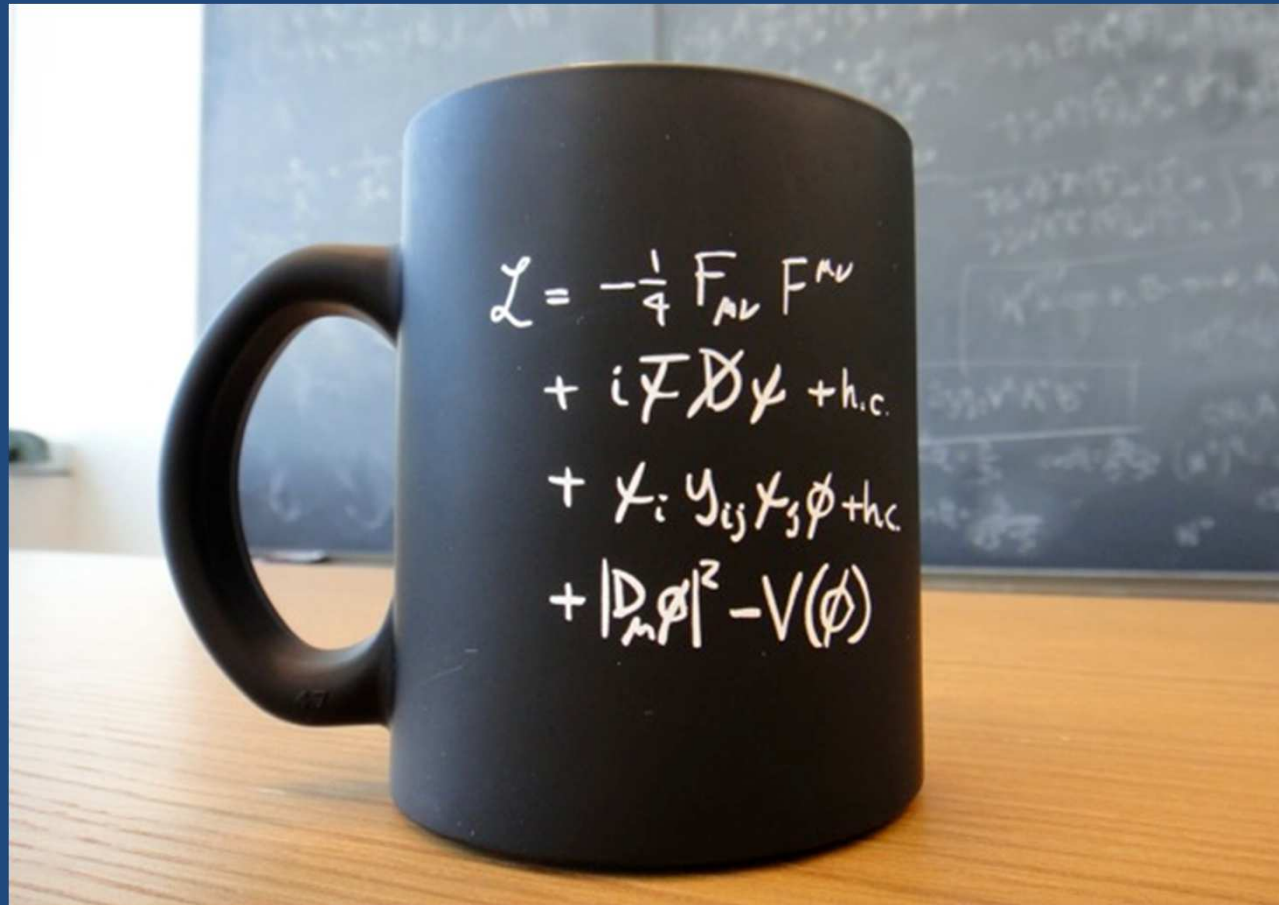
MATTER

H

PHT 2011

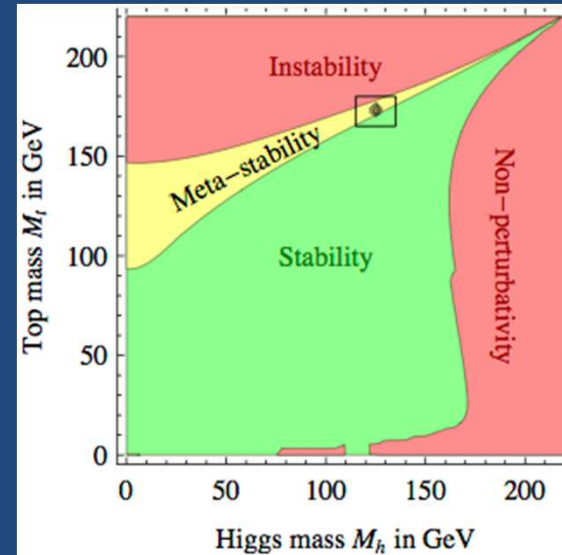
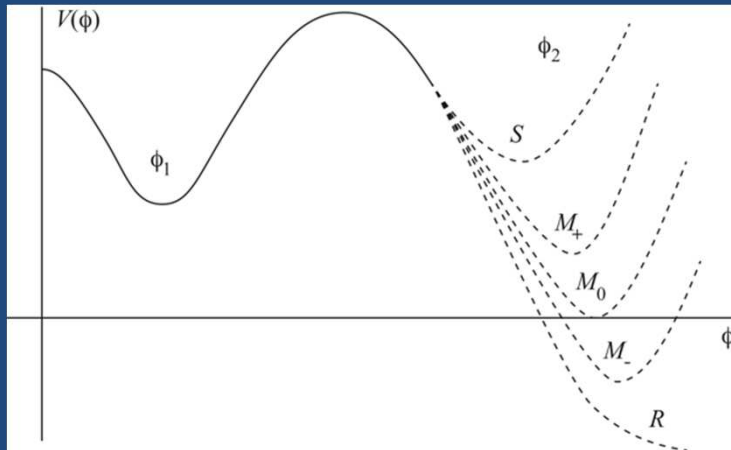
# L'Univers à 0 K – 10<sup>15</sup>K en une seule formule ?

- C'est si simple que ça, ou...?



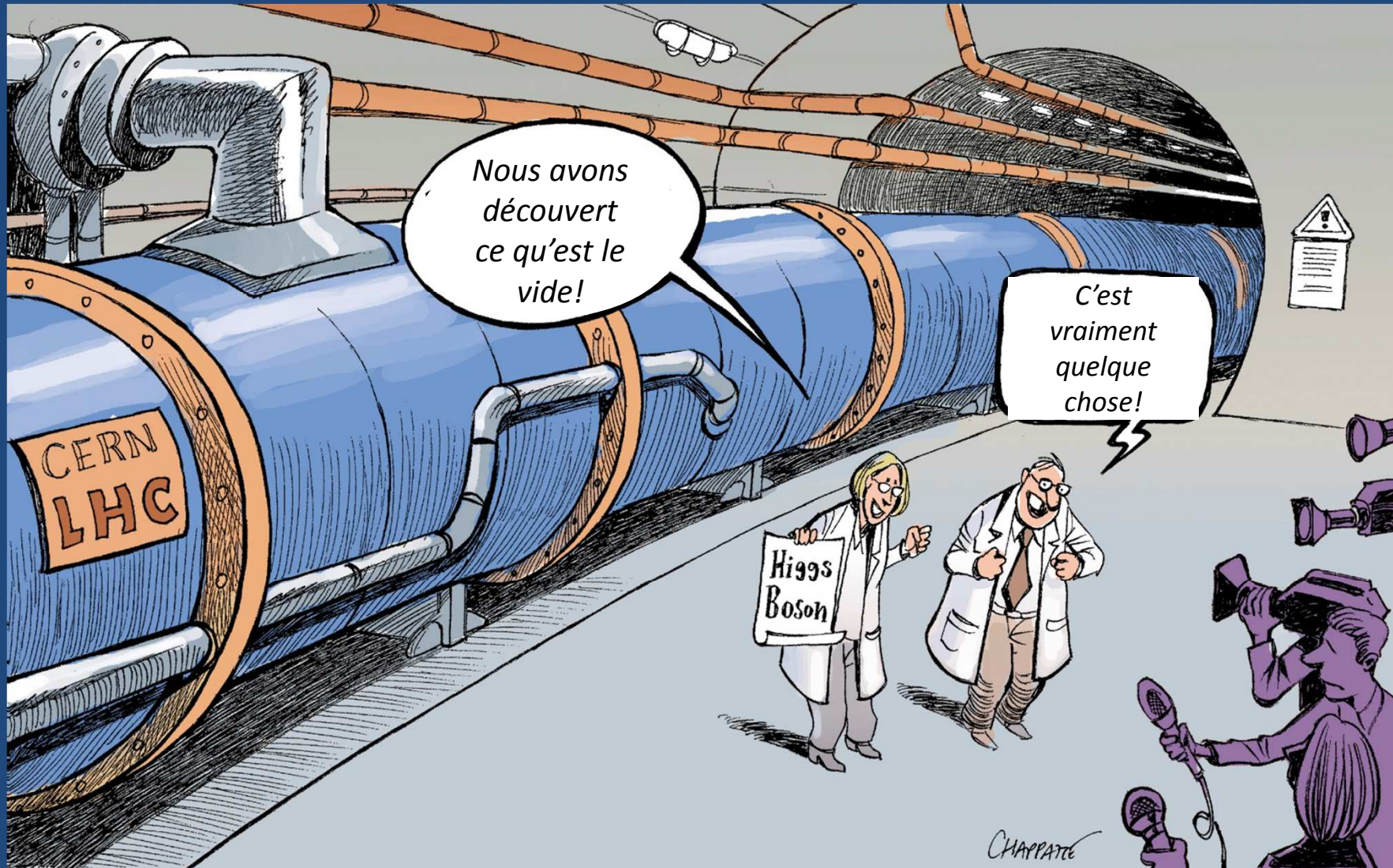
# Le vide (de l'Univers) est-il stable ?

- Probablement, juste, juste, juste avec une marge d'un cheveu  
Et forcément.... ça s'est passé, vu que nous sommes ici pour en parler!



- Sinon:
  - Une bulle de vrai vide pourrait être semée quelque part et s'étendre ....
  - L'effet d'une bulle grandissant du point de l'espace-temps où il a commencé, prend plutôt du temps vu la taille actuelle de l'Univers
  - Les structures, les particules et les forces actuelles seraient perdues et remplacées par une version différente des mêmes champs de quantum.





# Des conséquences cosmologiques !

- “Introduire un champ scalaire avec une énergie potentielle non-nulle dans le vide”

*soumet le vide à une pression négative !!!*

- Chaque petit volume dans le vide est soumis à une force d’expansion
- L’énergie potentielle du champ scalaire est toujours constant
  - “Constante cosmologique d’Einstein”, ça vous dit quelque chose ? !
- Si un volume double sa taille, la force d’expansion augmente au cube (8x) !!
- Le vide est soumis à une expansion accélérée !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

## → INFLATION et l’ENERGIE NOIRE

→ *Nous avons maintenant un outil réel pour les expliquer*  
 (l’origine n’est pas forcément le champ de Higgs, mais du même type !)

BIG BANG

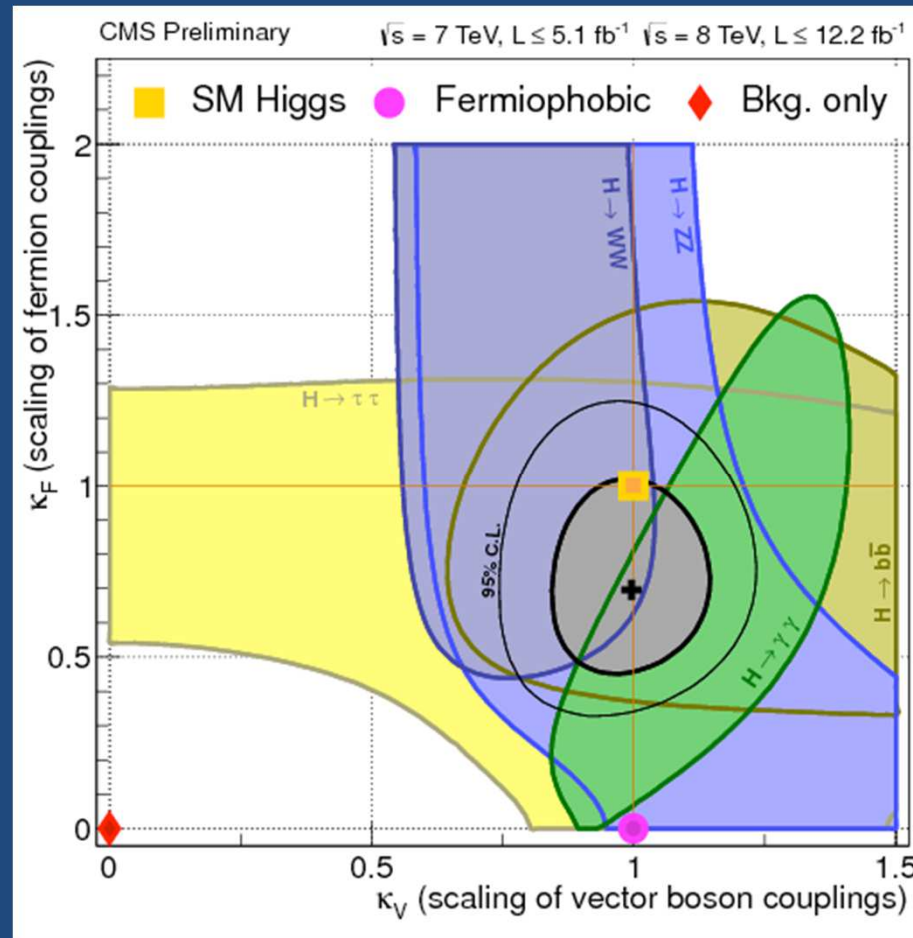
PRESENT

FUTURE

TIME

# Le futur

- Caractériser le boson avec une grande précision !
  - ➔ C'est un boson de Higgs, mais est-ce *LE* boson de Higgs ?
  - ➔ Est-ce qu'il peut nous montrer le chemin vers la "Nouvelle Physique" toujours nécessaire pour expliquer les grands mystères dans l'Univers ?





Fin