

# Le boson de Higgs: pourquoi ? comment? vraiment ? et maintenant ?

**David Rousseau**  
**LAL-Orsay, CNRS/IN2P3**

rousseau@lal.in2p3.fr

Remerciements à : Nicolas Arnaud, Sandro de Cecco, Laurent Chevalier, Johann Collot, Laurent Duflot, Daniel Fournier, Gautier Hamel de Monchenault, Marumi Kado, Fabienne Ledroit, Jessica Lévêque, Nikola Makovec, Françoise Maréchal, Pierre Matricon, Frédéric Rousseau, Estelle Scifo, François Vazeille, Dirk Zerwas

# La Matière: les FERMIONS

Modèle Standard  
des particules

## Quarks

u up	c charm	t top
d down	s strange	b bottom

## Leptons

e electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau
$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino

## Les Forces: les BOSONS

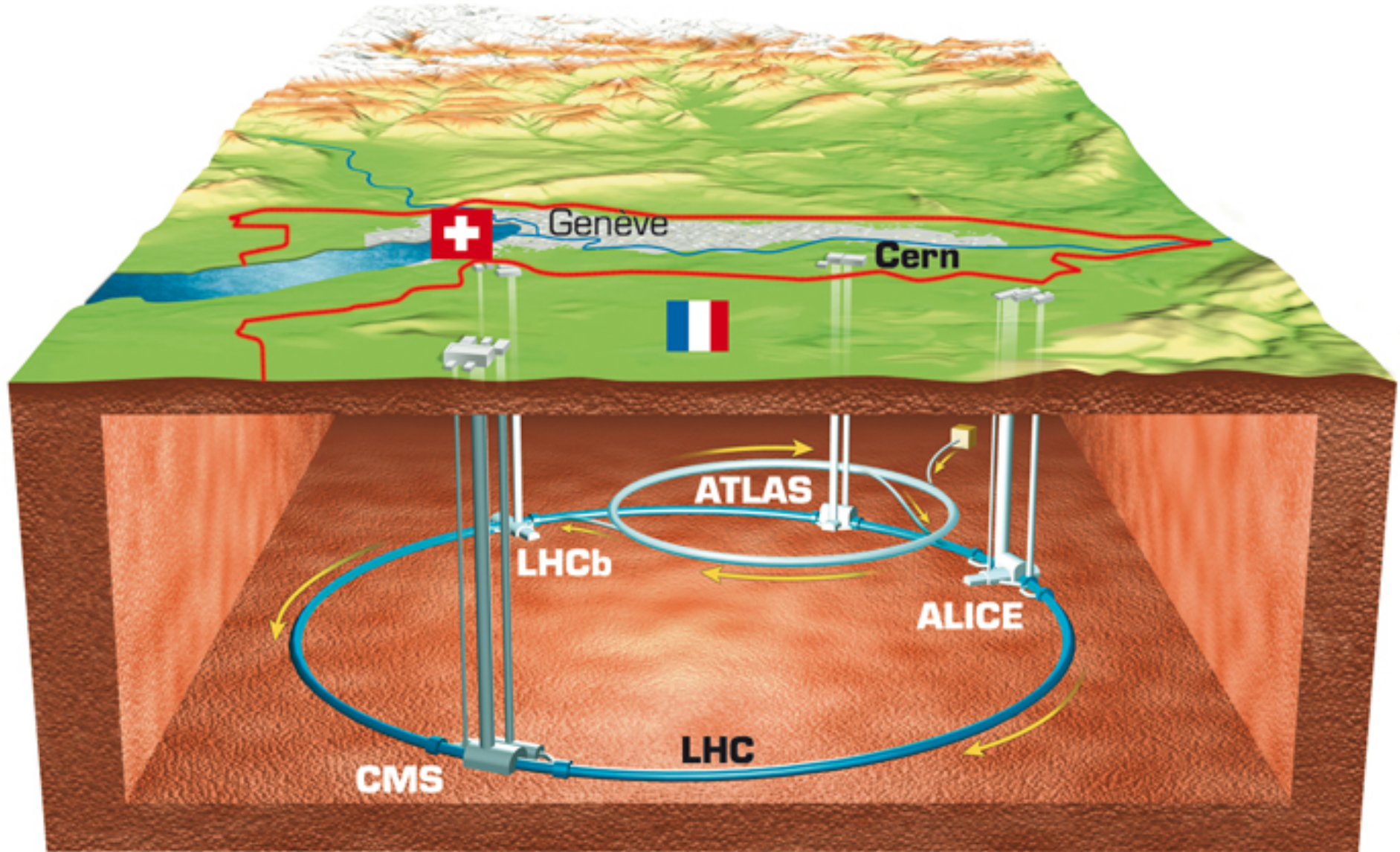
?  
La masse!  
H  
Higgs boson

Z Z boson	$\gamma$ photon
W W boson	g gluon

+Antiparticules

VOIR les particules ?

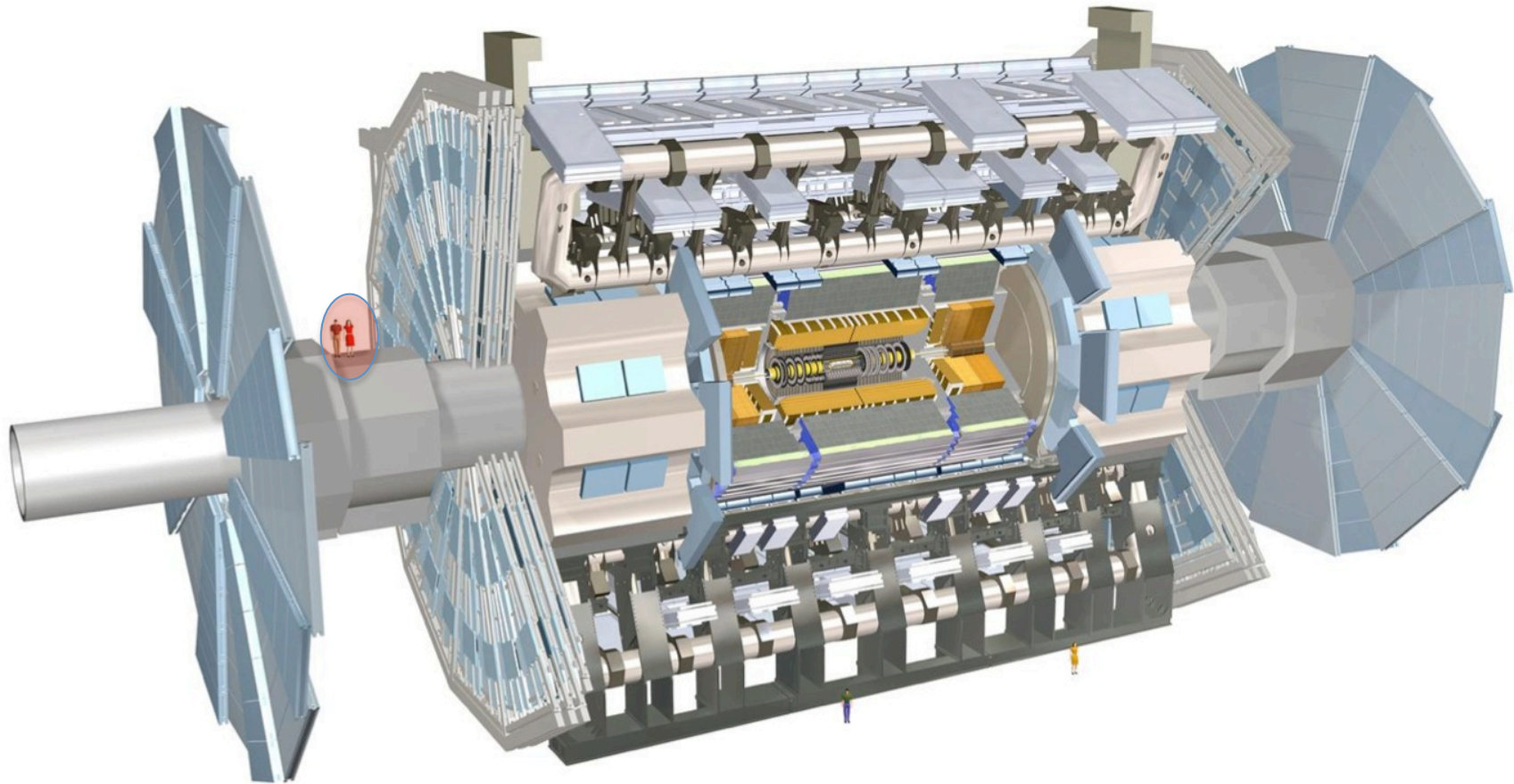
## Le LHC



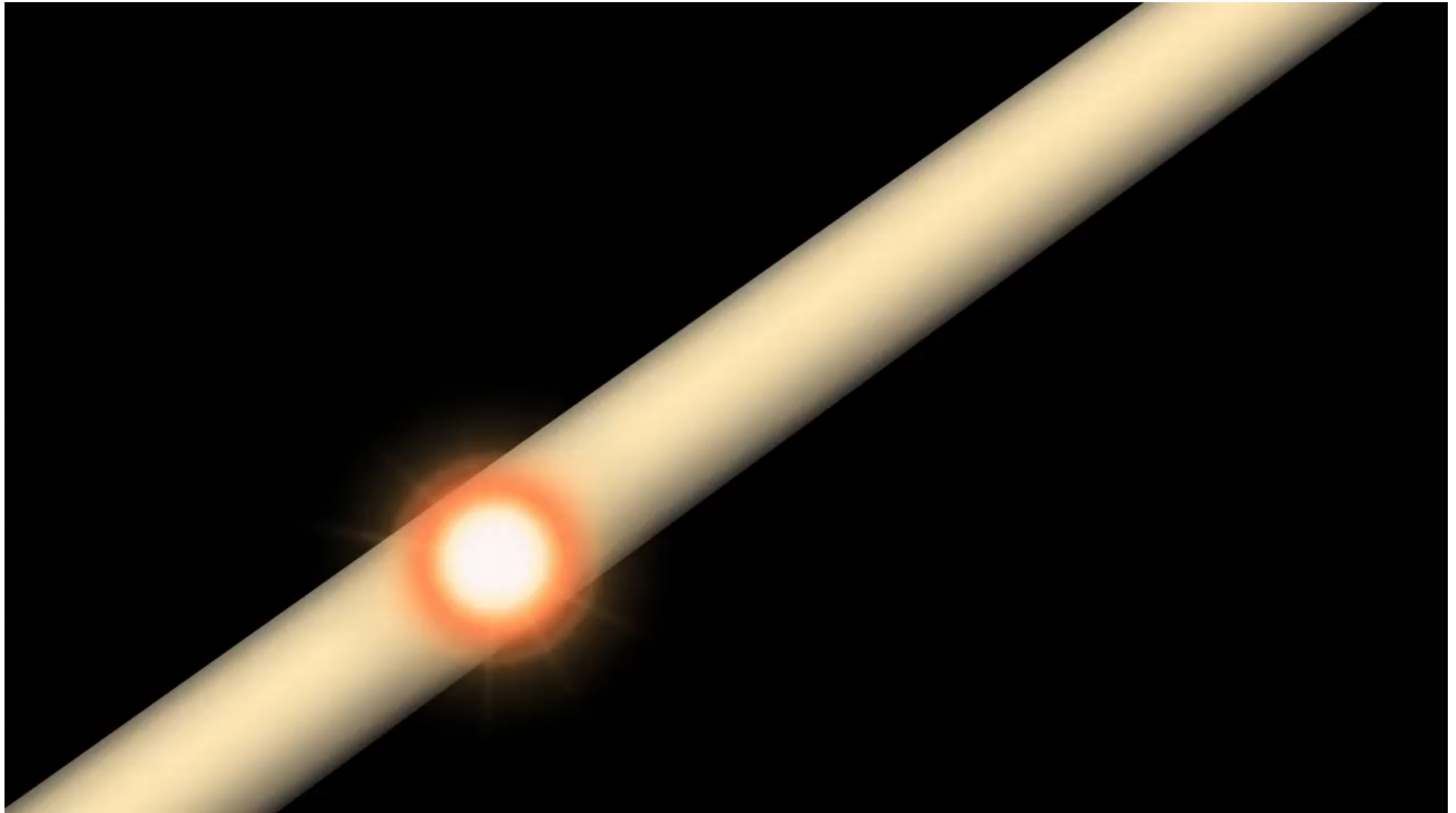
# Le détecteur Atlas

Diamètre: 25m  
Longueur: 46m  
Poids: 7000  
tonnes

3000 km de câbles  
100 millions de canaux



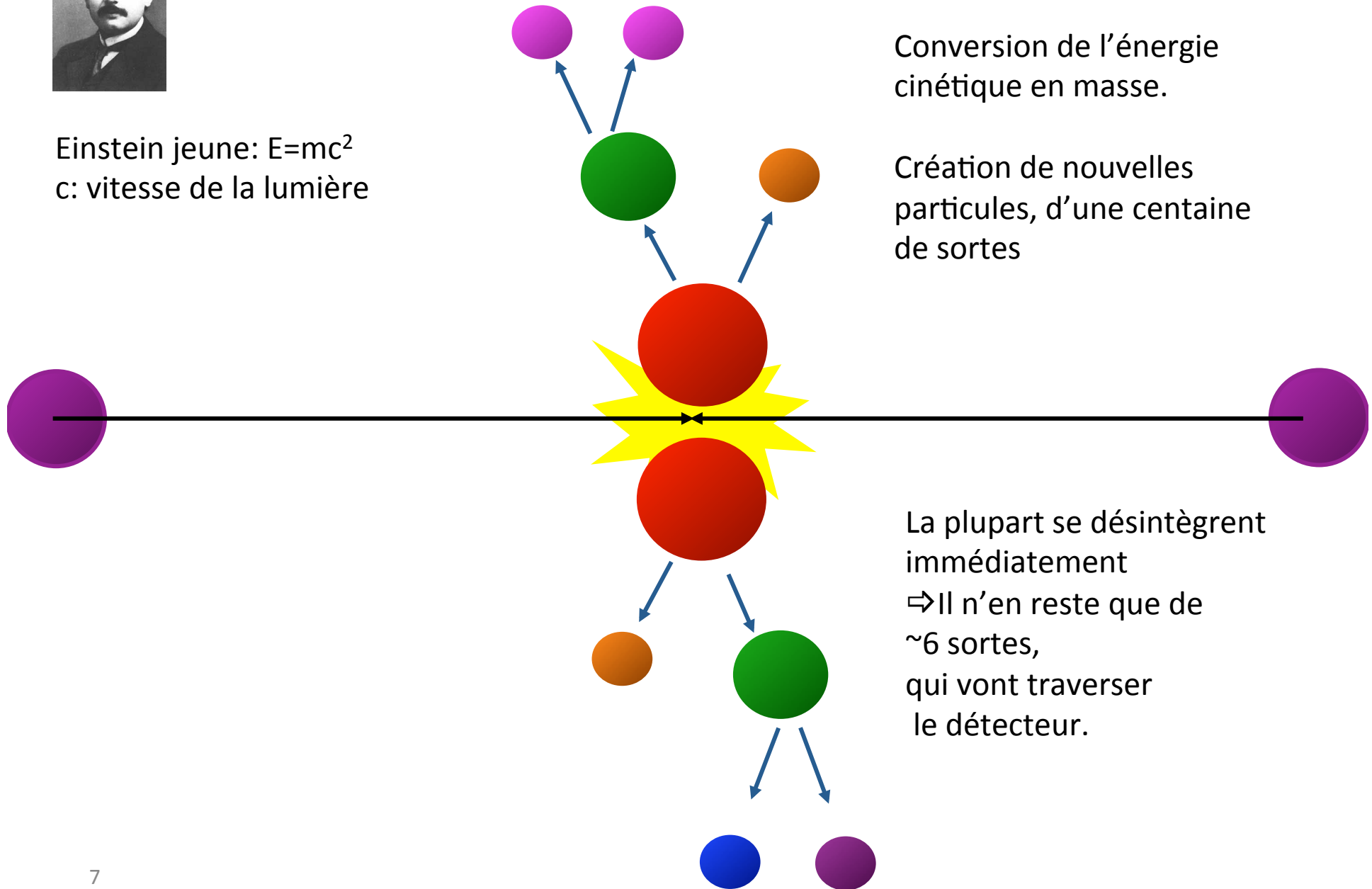
LD, booster





# Collision de protons

Einstein jeune:  $E=mc^2$   
c: vitesse de la lumière



Conversion de l'énergie cinétique en masse.

Création de nouvelles particules, d'une centaine de sortes

La plupart se désintègrent immédiatement  
⇒ Il n'en reste que de ~6 sortes, qui vont traverser le détecteur.

Découverte du positron (Anderson 1932), l'anti-électron  
postulé par Dirac (mais Anderson l'ignorait)  
(en joignant les équations de la mécanique quantique et de la relativité restreinte,  
Dirac a vu apparaître comme solutions des électrons d'énergie négative)



Nobel 1936

Photo dans une chambre à brouillard (« de Wilson »),  
soumise au rayonnement cosmique

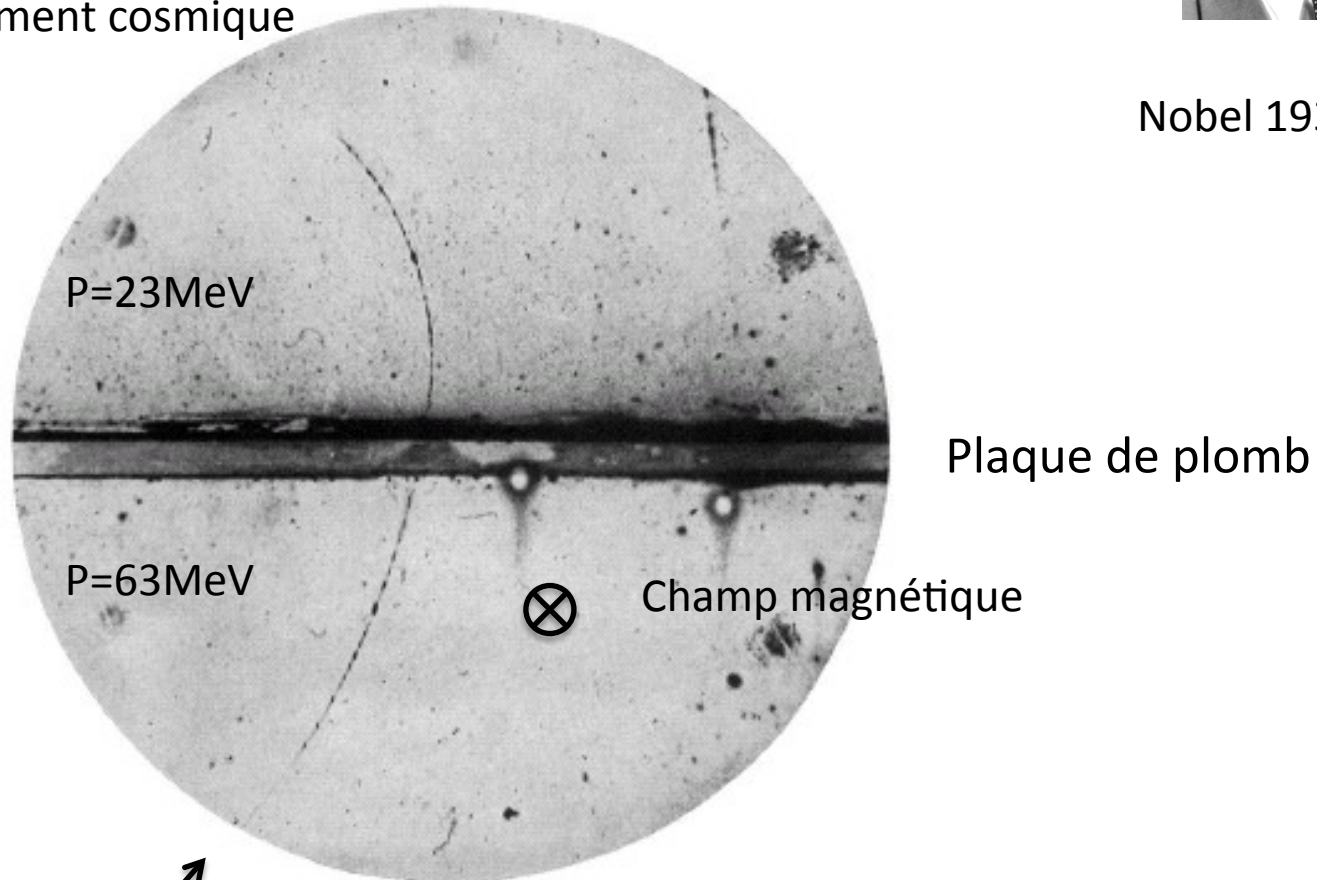
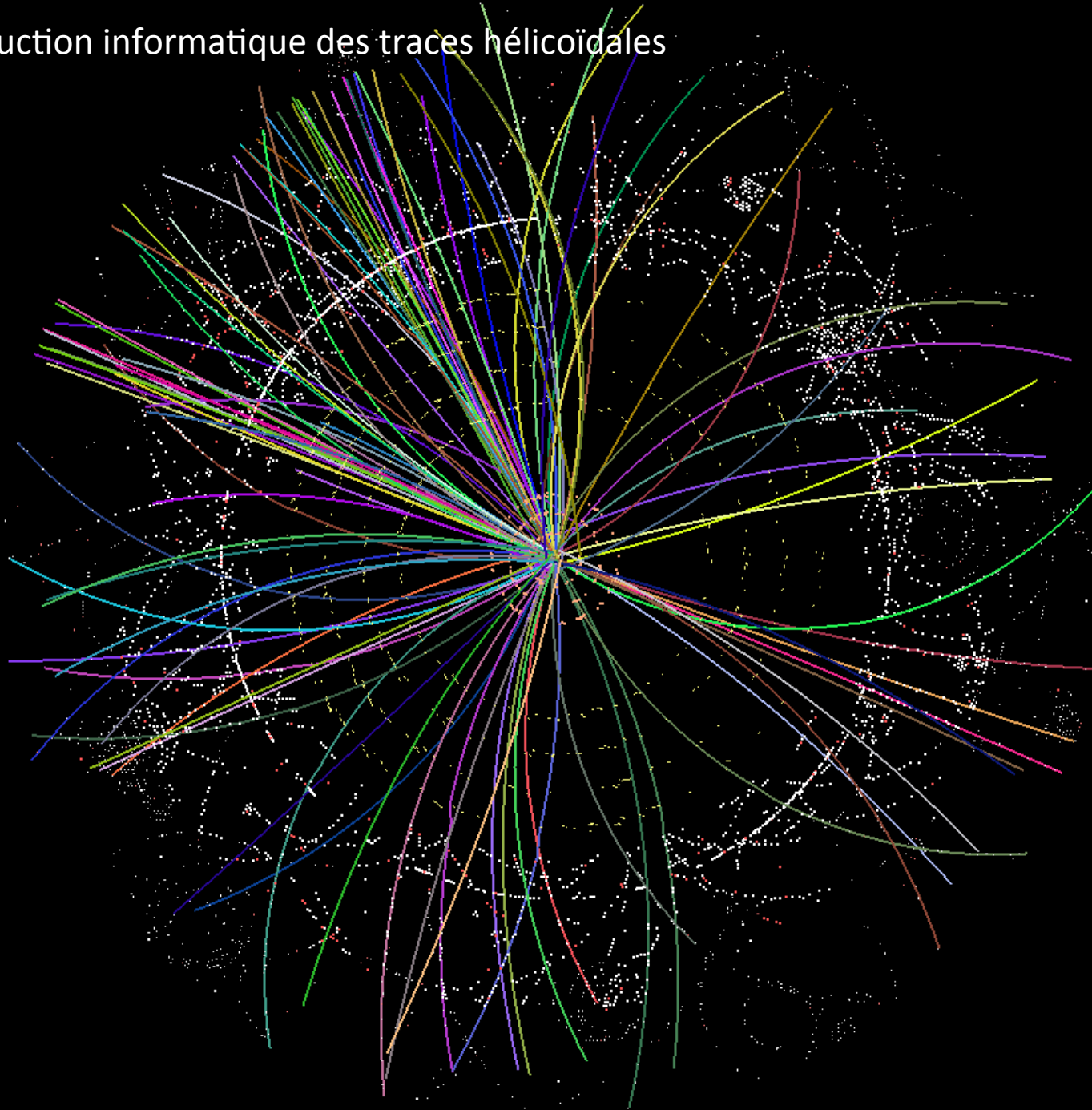


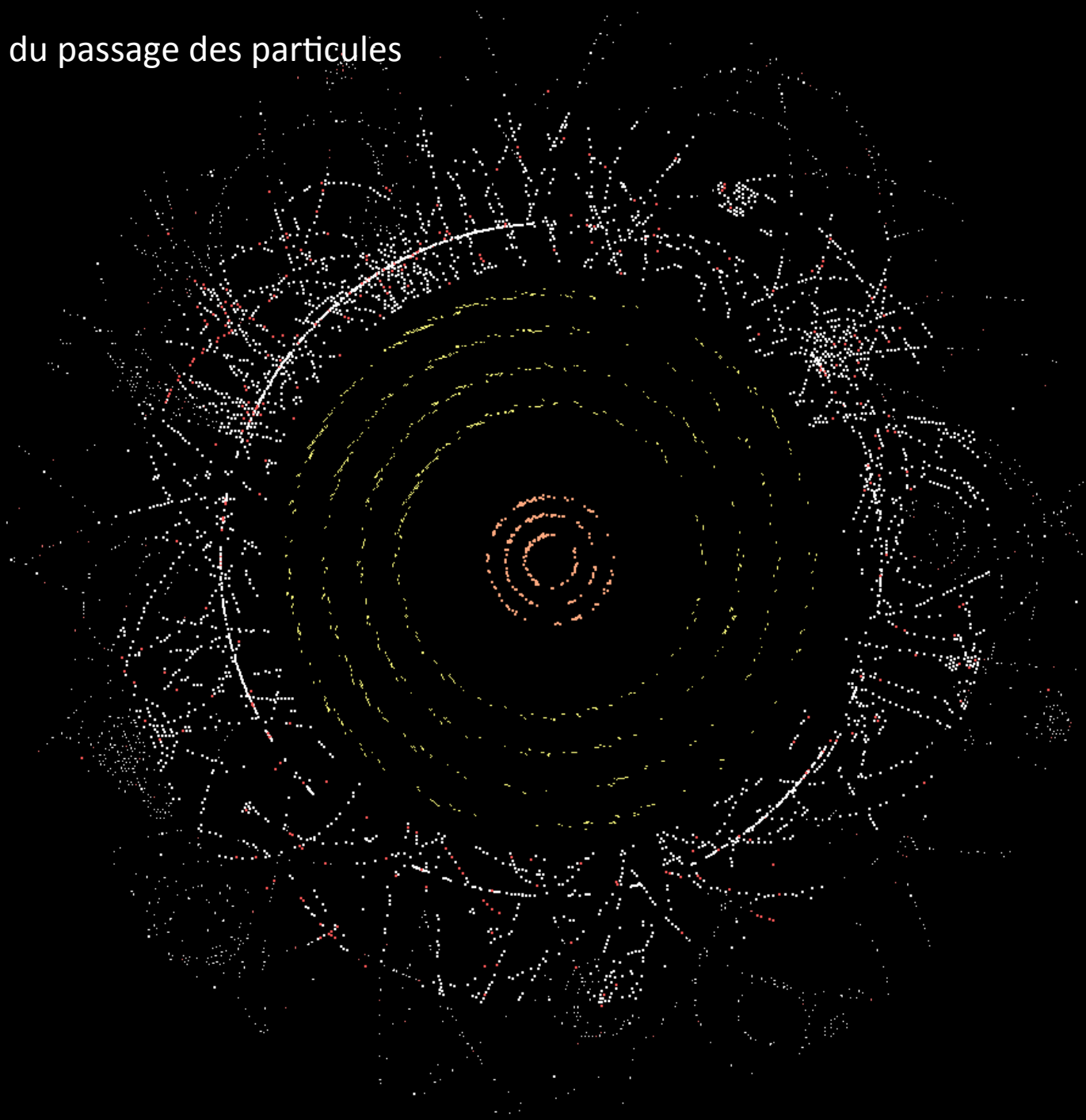
FIG. 1. A 63 million volt positron ( $H\rho=2.1 \times 10^6$  gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ( $H\rho=7.5 \times 10^4$  gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.



# Reconstruction informatique des traces hélicoïdales

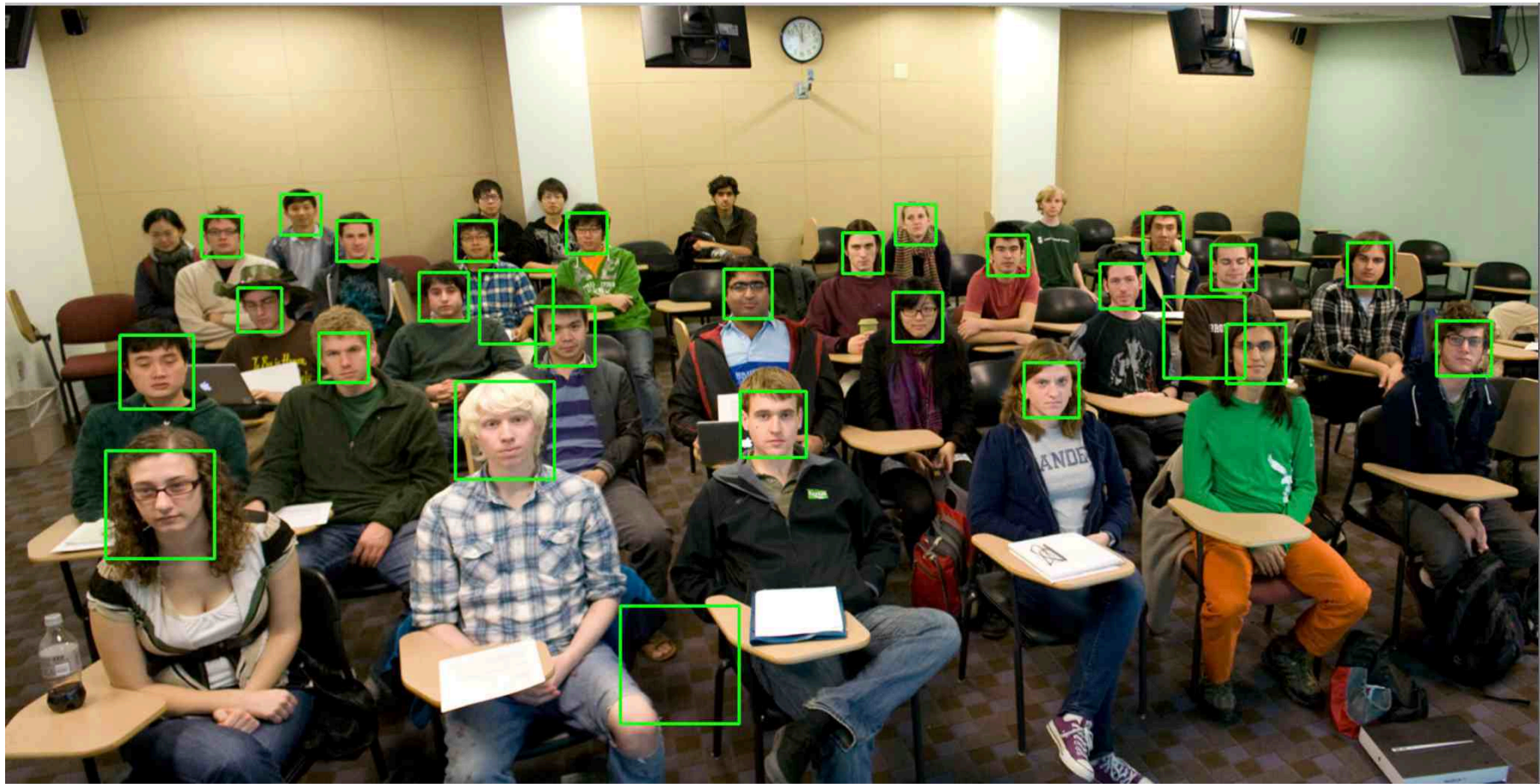


Détection du passage des particules



# The inverse problem...






➔ introduction récente d'algorithmes (cf FB) d'Intelligence Artificielle

# Higgs Machine Learning challenge


Idée : simplifier une analyse Higgs, poster les données simulées sur le web, demander aux spécialistes de « Machine Learning » de l'améliorer

Machine Learning = apprentissage automatique=intelligence artificielle, discipline de la science des données




**the HiggsML challenge**  
May to September 2014

When **High Energy Physics** meets **Machine Learning**



info to participate and compete : <https://www.kaggle.com/c/higgs-boson>



#### Organization committee

Balázs Kégl - *Appstat-LAL*  
Cécile Germain - *TAC-LRI*  
David Rousseau - *Atlas-LAL*  
Glen Cowan - *Atlas-RHUL*  
Isabelle Guyon - *Challearn*  
Claire Adam-Bourdarios - *Atlas-LAL*

#### Advisory committee

Thorsten Wengler - *Atlas-CERN*  
Andreas Hoecker - *Atlas-CERN*  
Joerg Stelzer - *Atlas-CERN*  
Marc Schoenauer - *INRIA*



Completed • \$13,000 **1,785 teams**

## Higgs Boson Machine Learning Challenge

Mon 12 May 2014 – Mon 15 Sep 2014 (34 days ago)

Dashboard

Private Leaderboard - Higgs Boson Ma

This competition has completed. This leaderboard reflects the final standings.

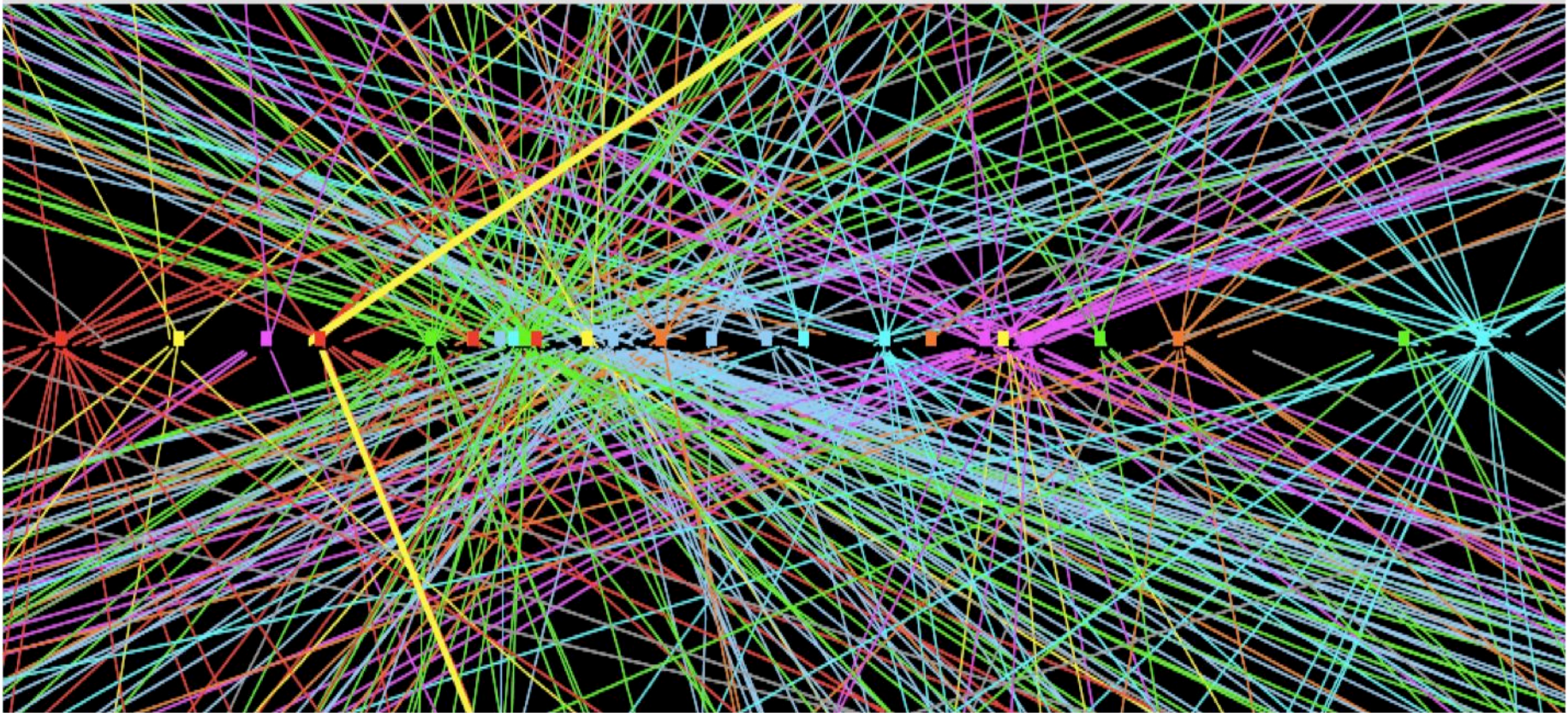
#	Δ1w	Team Name	‡ model uploaded * in the money	Score
1	↑4	Gábor Melis ‡ *	7000\$	3.80581
2	↓1	Tim Salimans ‡ *	4000\$	3.78913
3	—	nhlx5haze ‡ *	2000\$	3.78682
4	↑55	ChoKo Team		3.77526
5	↑23	cheng chen		3.77384
6	↓2	quantify		3.77086
7	↑73	Stanislav Semenov & Co (HSE Yandex)		3.76211
8	↓1	Luboš Motl's team		3.76050
9	↓1	Roberto-UCIIM		3.75864
10	↑5	Davut & Josef		3.75838

991 TMVA (CERN standard)

3.2

- ~20% amélioration!
- Est-ce utilisable « en vrai » pour une analyse réelle ?
- Méthodologie ?
- Logiciels?
- On verra dans un an ou deux

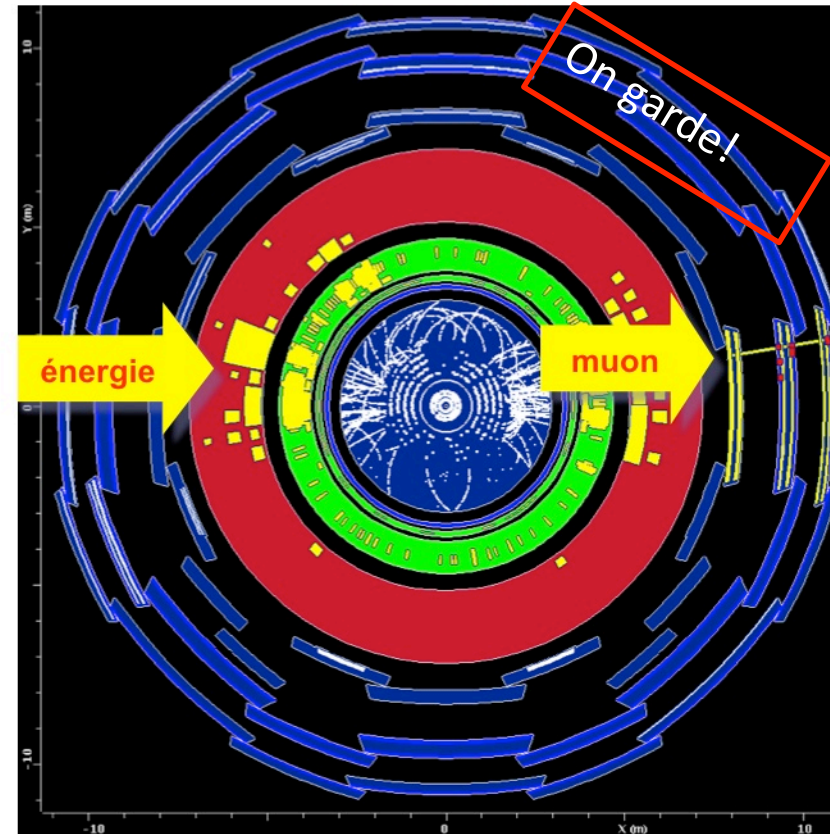
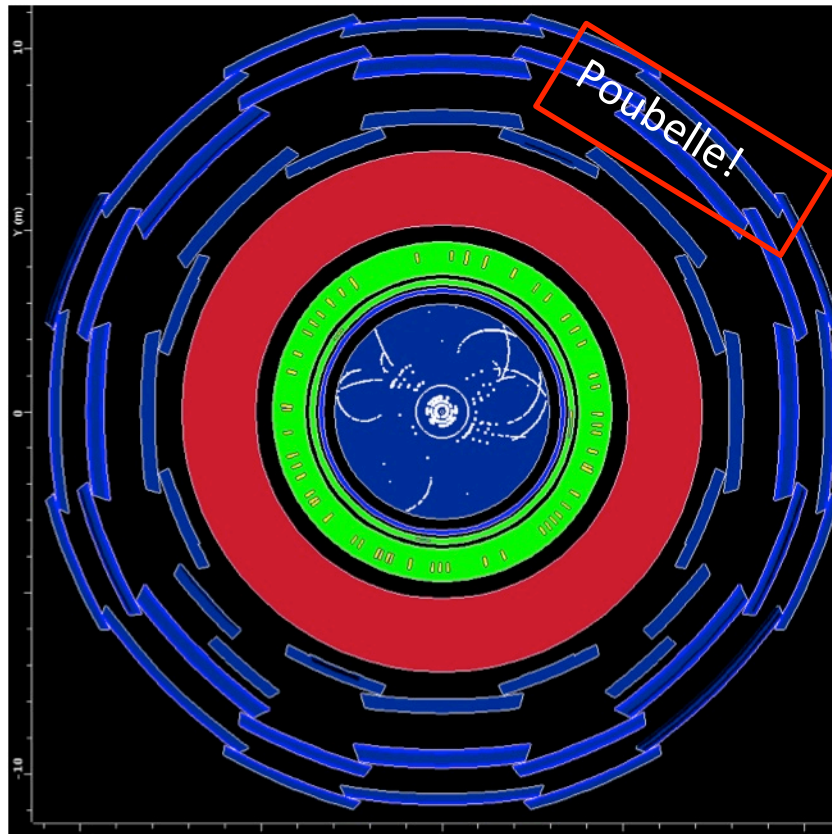
## Un événement



La précision obtenue permet de distinguer les traces venant de la collision intéressante de la 20aine de collision parasites au court de la collision des mêmes paquets de protons

# Sélection des événements en temps réel

- 20 millions de collision de paquets par seconde
- 400 événements sélectionnés (1/50.000) au vol
- ⇒ échantillonnage en cascade, décision en  $1\mu\text{s}$ -1s sur des *signatures*





23/7/2014 2:00:32 pm

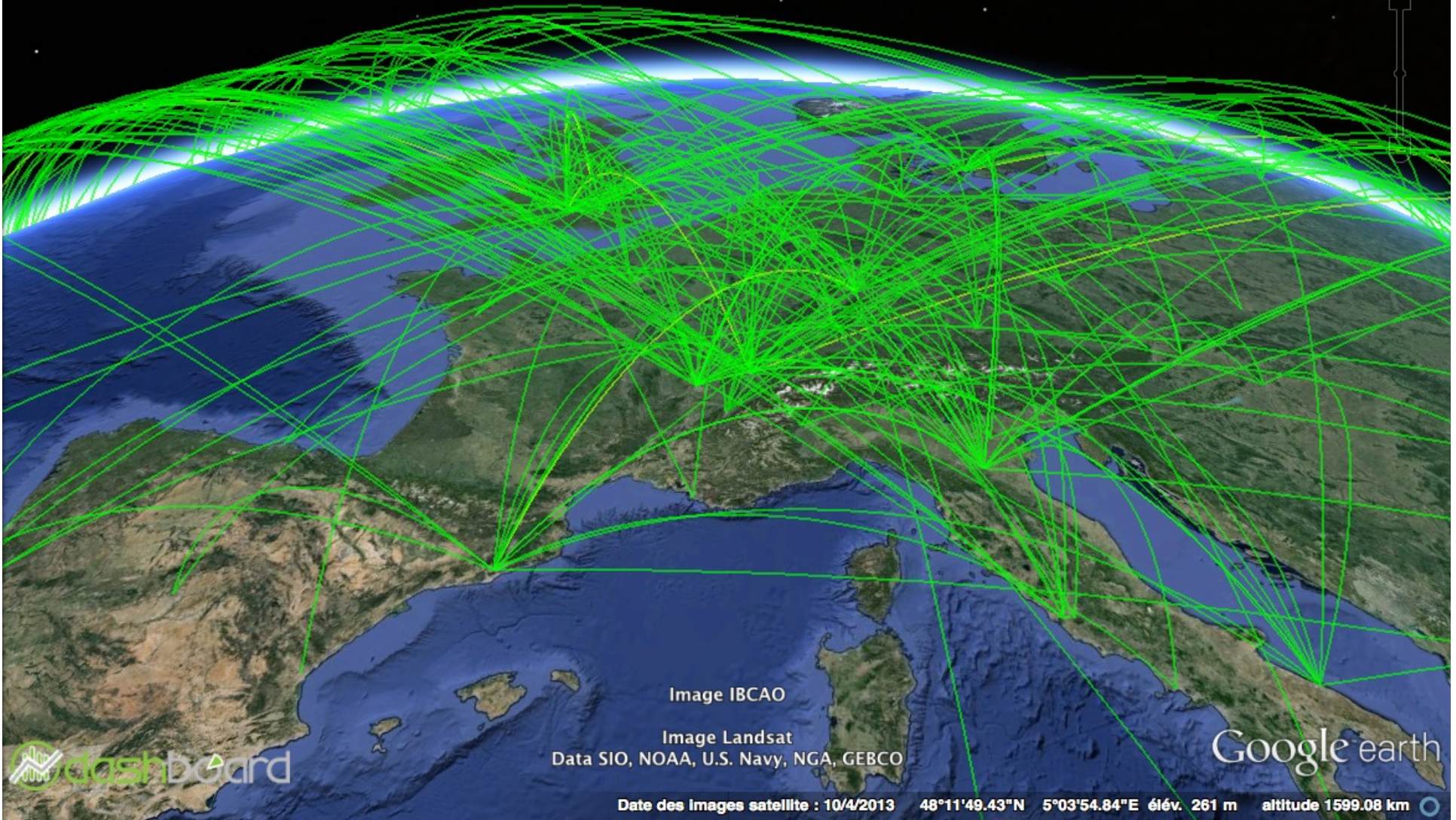


Image IBCAO  
Image Landsat  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Google earth

Date des Images satellite : 10/4/2013 48°11'49.43"N 5°03'54.84"E élév. 261 m altitude 1599.08 km

VOIR le boson de Higgs

Avant de le voir, on savait tout sur le boson de Higgs, sauf sa masse

Particule très instable ( $10^{-22}$ s), se désintégrant immédiatement en paire d'autres particules, de façon imprévisible (sauf en moyenne)

**Probabilités de désintégration  
prédites pour une masse de 125 GeV**

**H  $\rightarrow$  bb 58%**

**H  $\rightarrow$  WW\* 21%**

**H  $\rightarrow$   $\tau^+\tau^-$  6.4%**

**H  $\rightarrow$  ZZ\* 2.7%**

**H  $\rightarrow$   $\gamma\gamma$  0.2%**

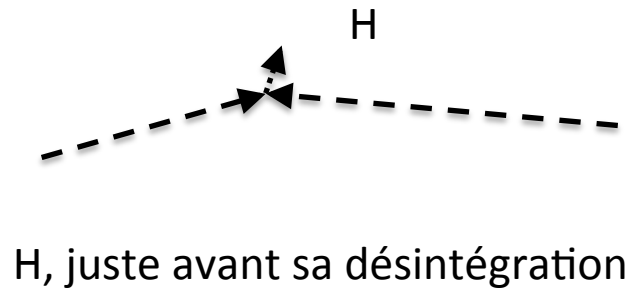
$$E=mc^2$$



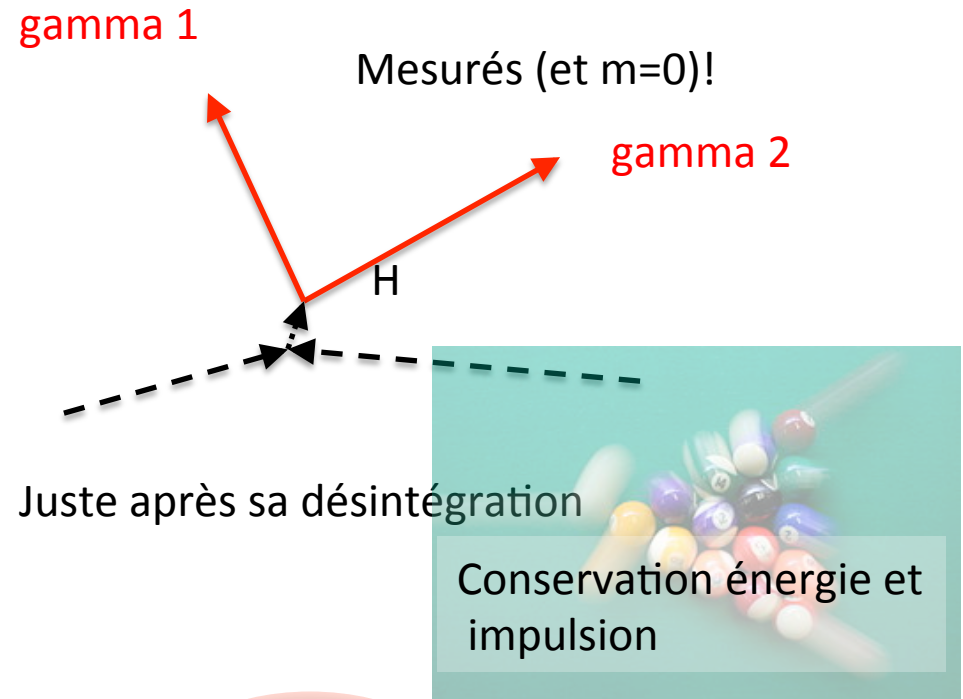
Einstein en 1905

En fait, la formule complète est  $E^2=p^2c^2+m^2c^4$   
 $p$  est l'impulsion,  $mv$  en mécanique classique  
En choisissant bien les unités, on se débarrasse de  $c$ :

$$E^2=p^2+m^2$$



$$m_H^2=E_H^2-p_H^2$$



$$E_H=E_{g1}+E_{g2}$$
$$\vec{p}_H=\vec{p}_{g1}+\vec{p}_{g2}$$

⇒ on en déduit  $m_H$ !

# Finalemment...

$10^{14}$  collisions



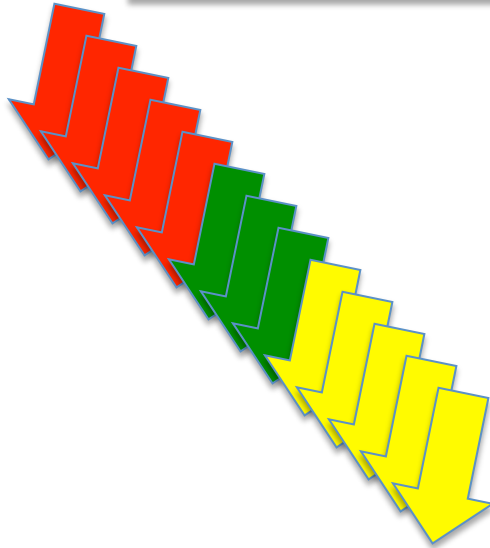
Tri rapide et grossier

$10^9$  événements sur disque

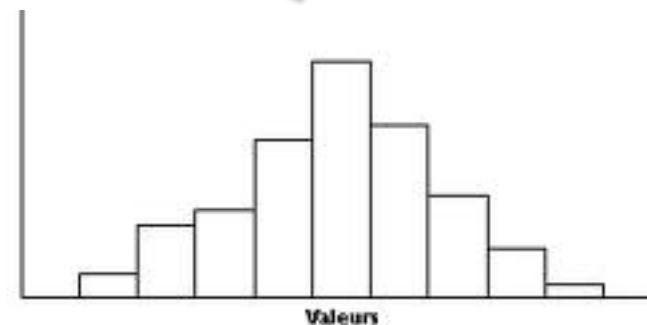


Tri précis

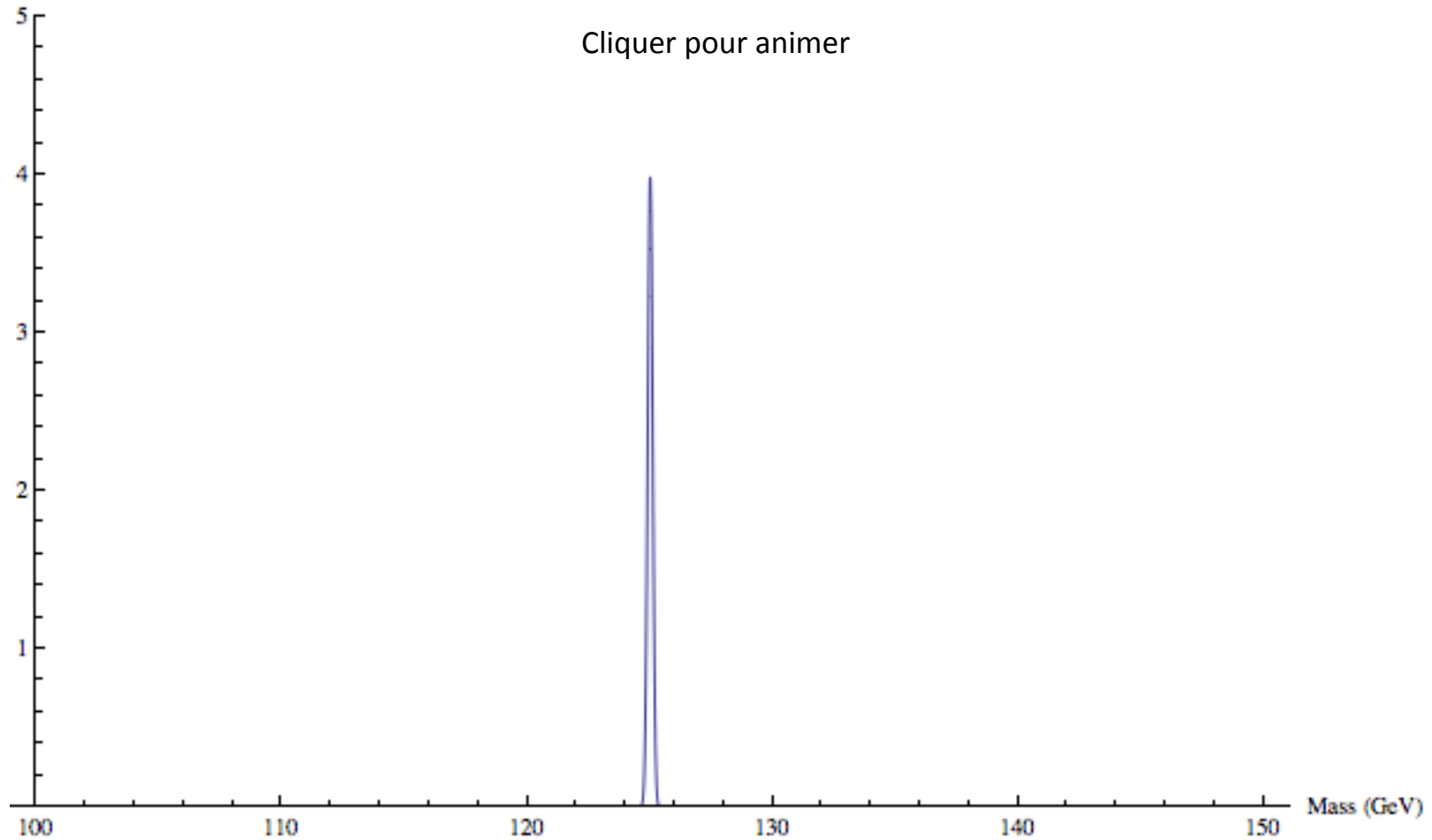
$10^5$  événements à 2 gamma



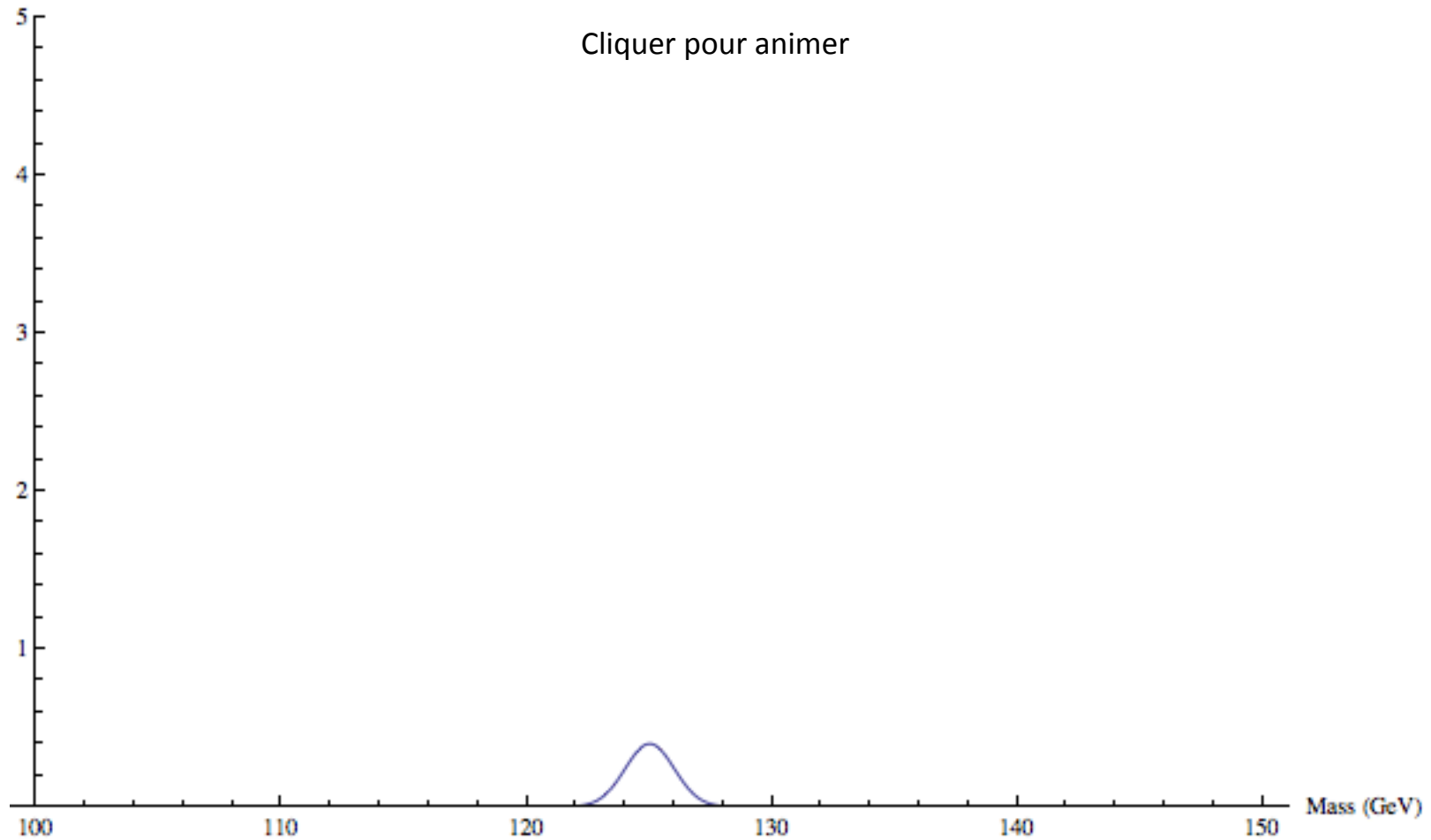
Calcul de la masse  
→ histogramme



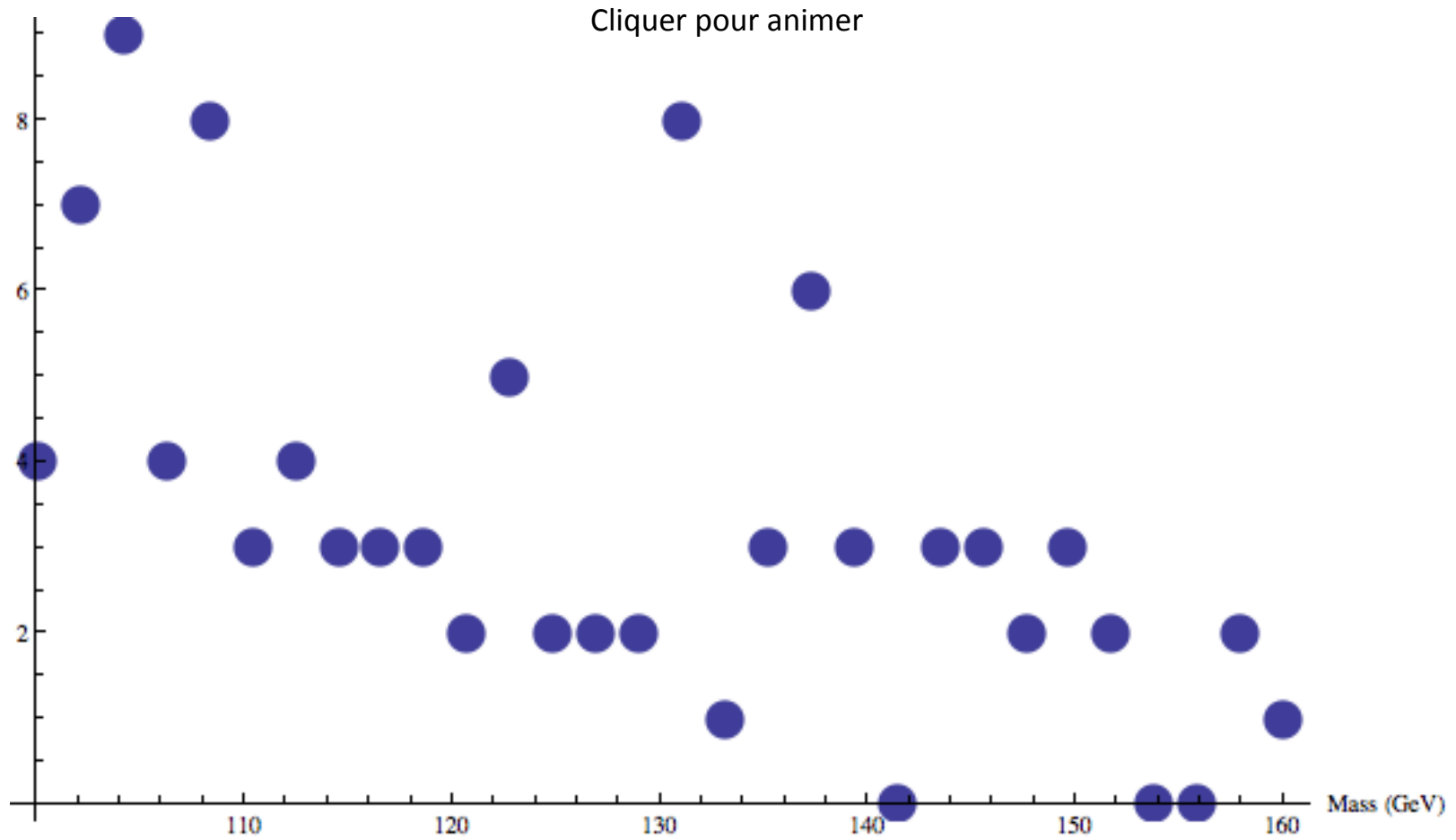
# Effet de la précision du détecteur



# Effet du bruit de fond

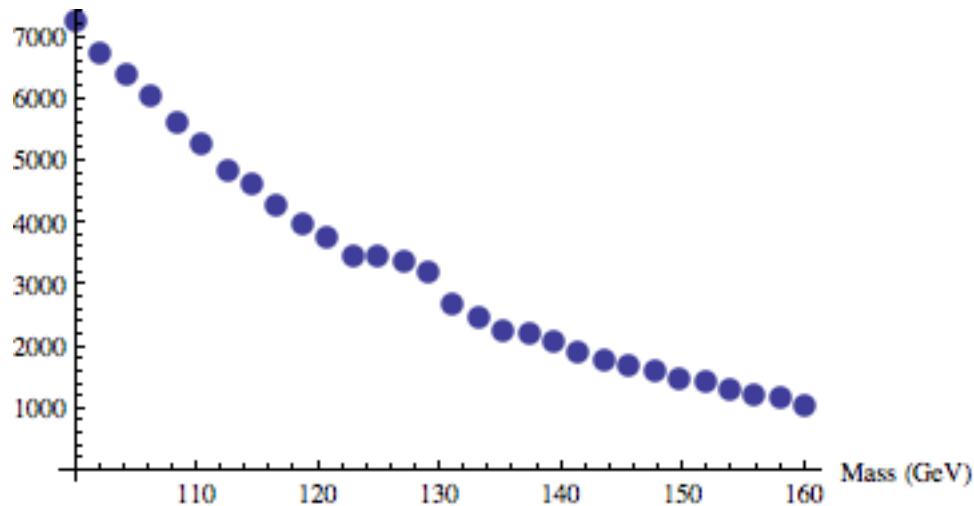


# Effet de la statistique





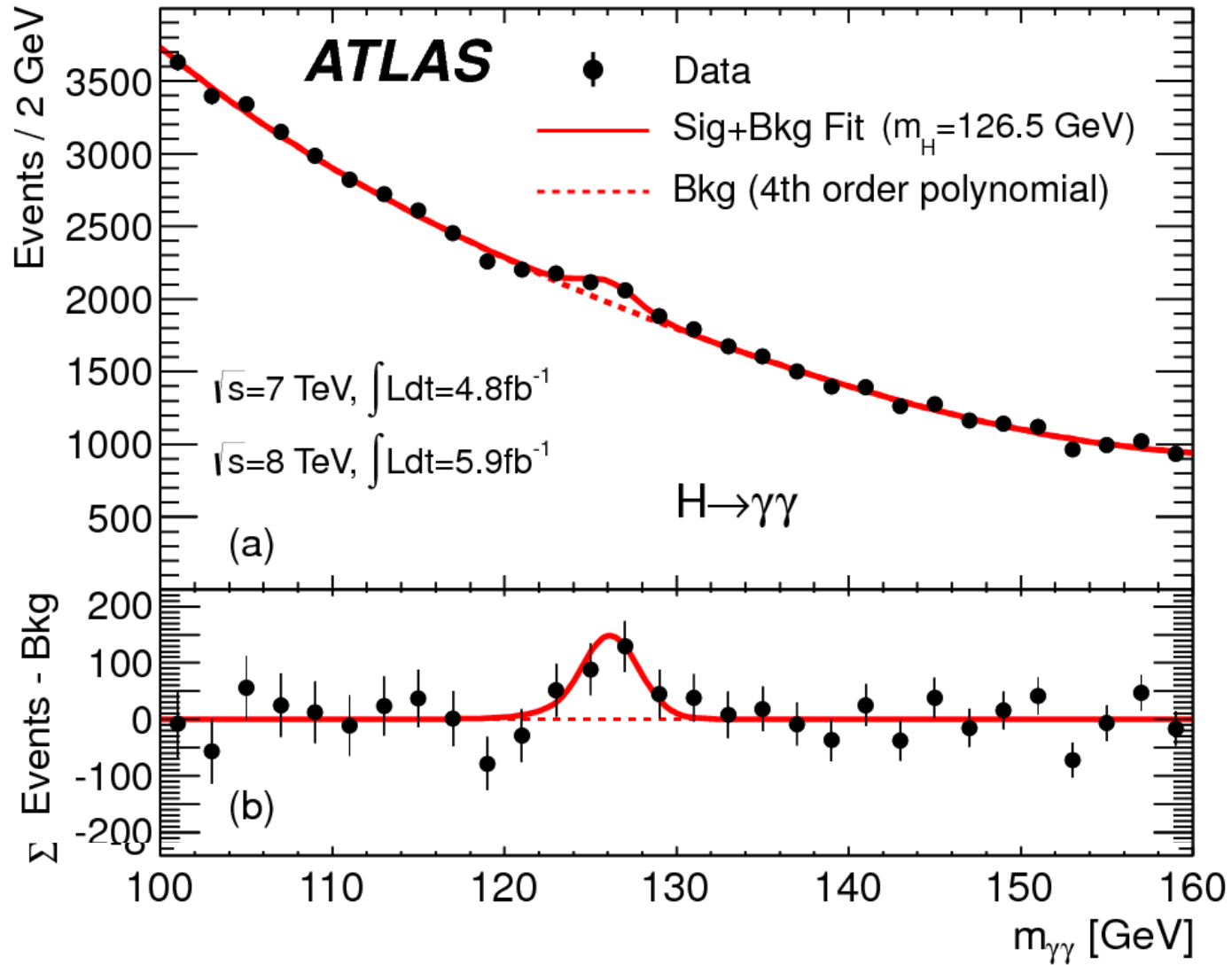
# Jobs du physicien



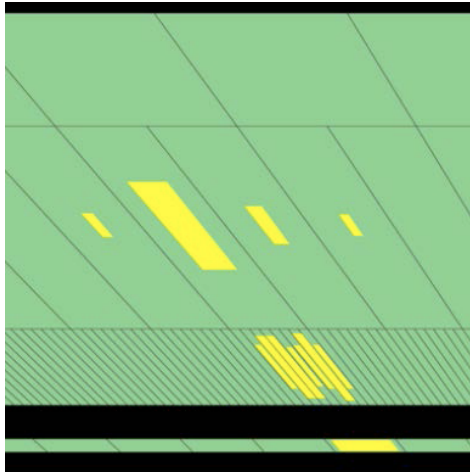
- Augmenter la taille du pic
- Réduire sa largeur
- Réduire le fond
- Evaluer les incertitudes (le plus difficile!)

Job du LHC : augmenter la statistique, accompli au-delà des espérances

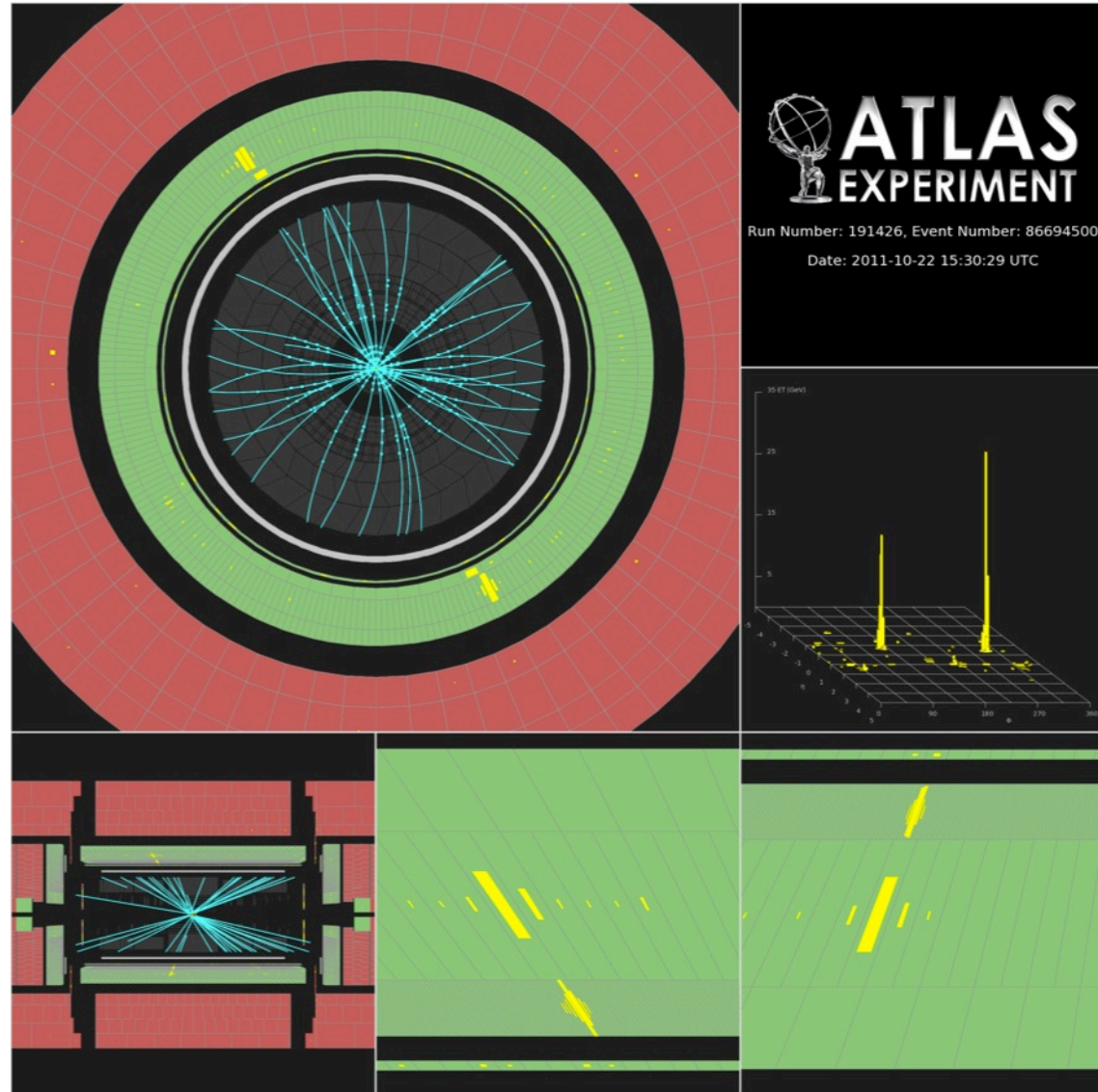
# Et maintenant « en vrai » (Juillet 2012)



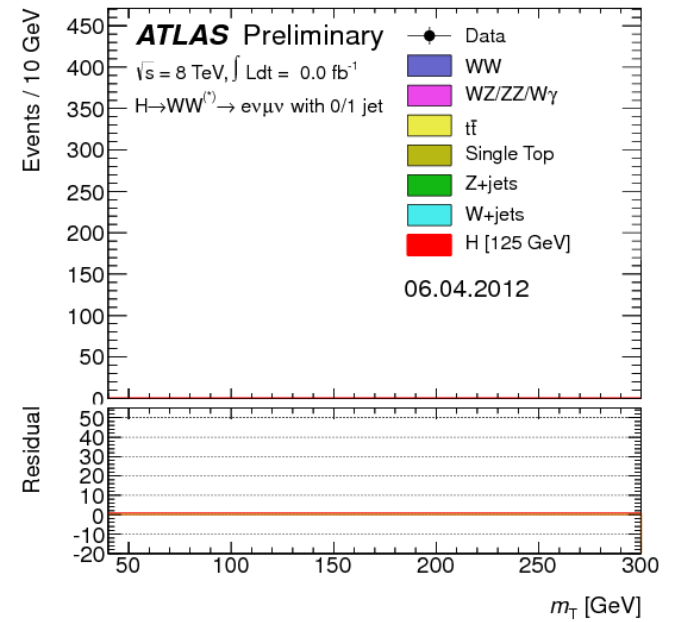
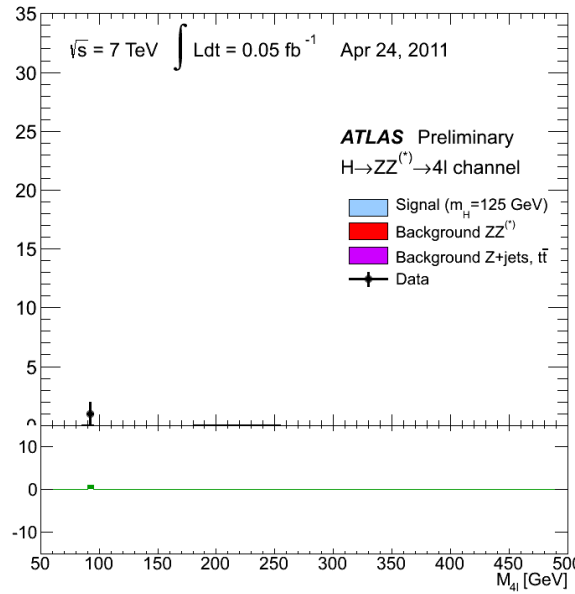
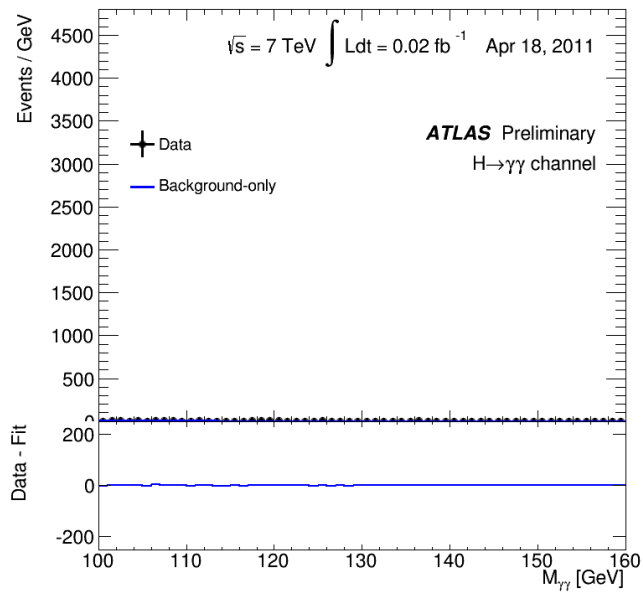
# Candidat $H \rightarrow \text{gamma gamma}$



Pion neutre dans un événement de bruit de fond



# Mise à jour 2013



Pourquoi sommes-nous certains d'avoir  
découvert une nouvelle particule ?

- Certitude au sens physique, non mathématique!
- On essaye d'évaluer la probabilité  $P(H | E)$  (=probabilité que le boson de Higgs existe étant donné les résultats de notre Expérience)
- Si cette probabilité est meilleure que 5 écarts standards, on peut, « légitimement » parler de découverte .

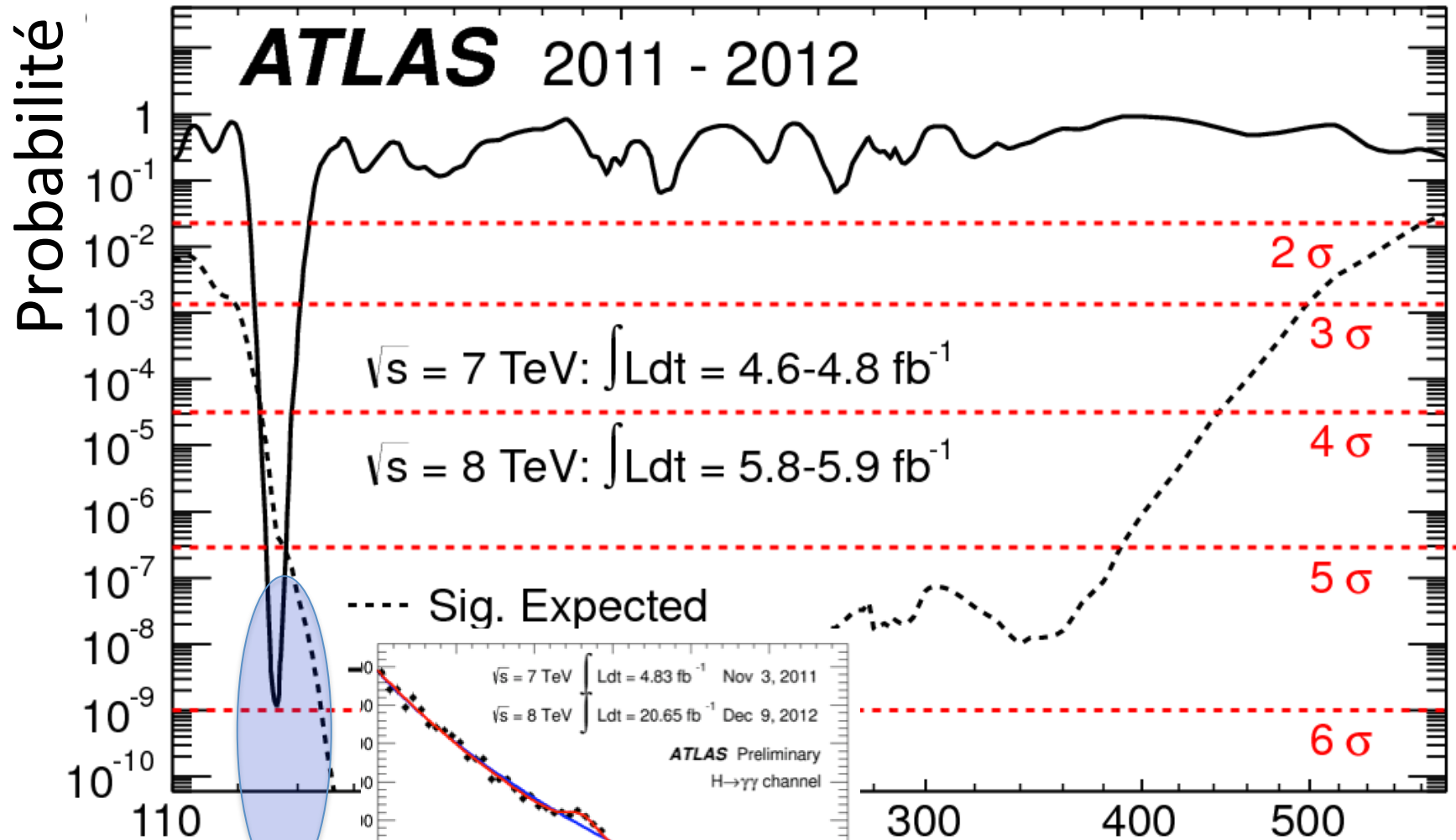
- 5 écarts standards :

- loi de Gauss: probabilité  $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ , une chance sur 3 millions,
- ou bien  $\sim$  la probabilité de tirer les quatre as d'un jeu de 52 cartes, dans l'ordre

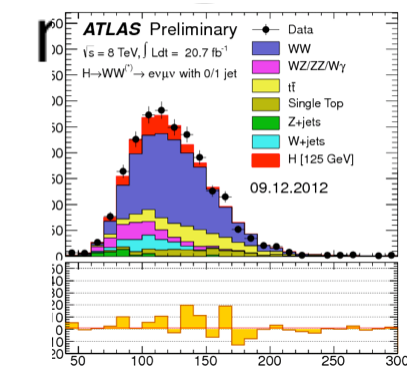
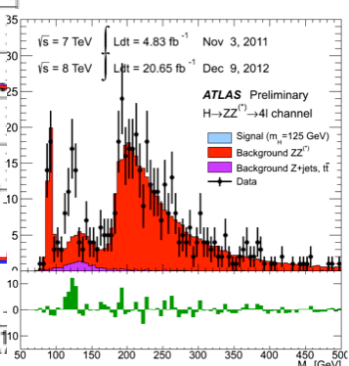
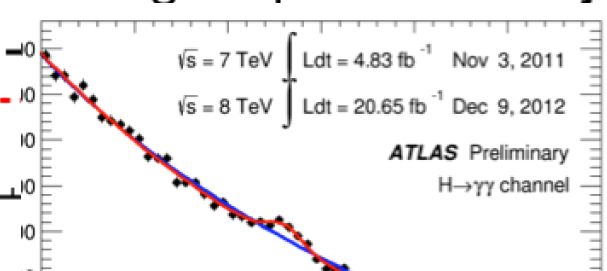


# Un peu plus de proba

- On voudrait calculer  $P(H|E)$  (=probabilité que le boson de Higgs existe étant donnés les résultats de notre Expérience)
- $P(H|E) P(E) = P(H \& E)$  (théorème de Bayes)
- $\rightarrow P(H|E) = 1 / (1 + P(E|\text{non } H) * P(\text{non } H) / P(E|H) * P(H))$  : ça devrait marcher
- Problème :  $P(H)$  : probabilité *a priori* (avant l'expérience) que le boson de Higgs existe est arbitraire et subjective!
- $\rightarrow$  après beaucoup de discussions on est tombé d'accord pour calculer  $P(E|\text{non } H) / P(E|H(m))$  (lemme de Neyman Pearson)
- $\rightarrow$  probabilité pour que l'expérience donne ce que l'on voit en l'absence de boson de Higgs, divisé par cette probabilité en présence d'un boson de Higgs de masse  $m$



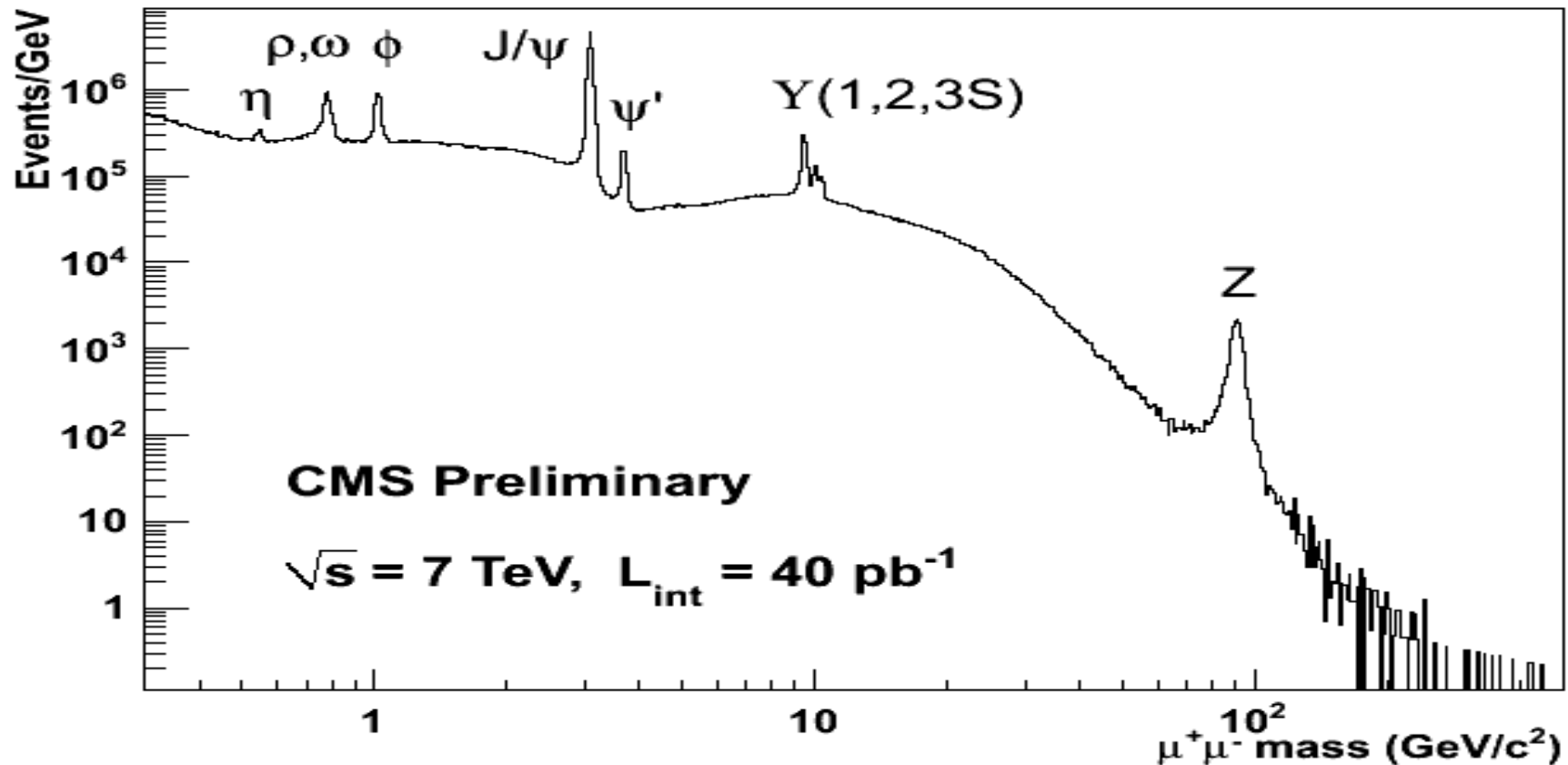
Permet de combiner  
plusieurs canaux





- Oui mais : l'observation par Opera des neutrinos allant plus vite que la lumière était à 6 sigmas...
- ...pour un câble mal branché...

## Ré-observation de particules connues



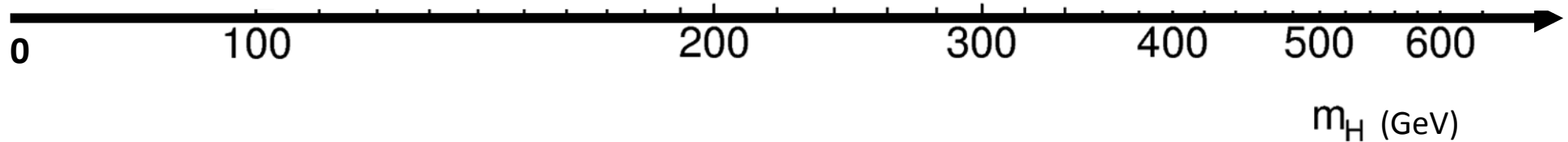
De plus:

- Nous avons également observé des particules connues du modèle standard avec leurs propriétés connues
- Excès d'événements dans trois canaux indépendants, mettant en jeu des éléments différents du détecteur, à la même masse.
- ATLAS et CMS, de technologies complètement différentes, conçues et exploitées par des équipes différentes, ont trouvé sans se concerter les mêmes excès d'événements à la même masse

La chasse au boson de Higgs était  
ouverte depuis longtemps

# Etat initial

?

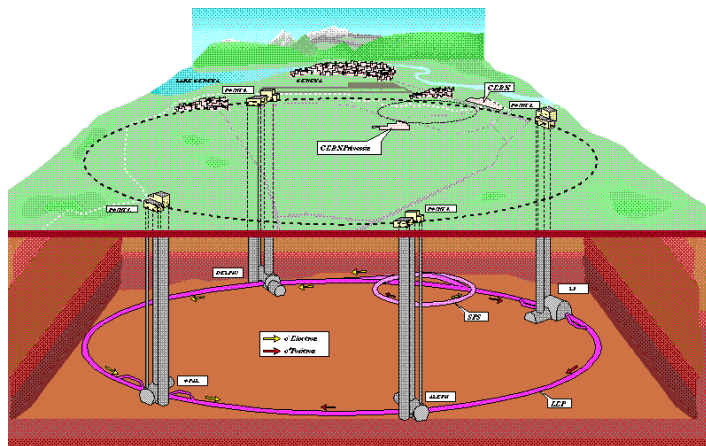
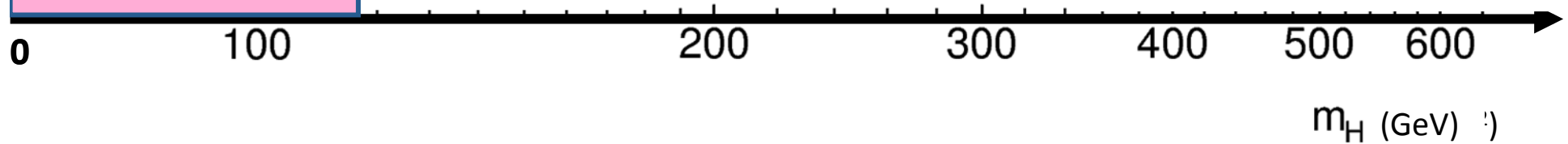
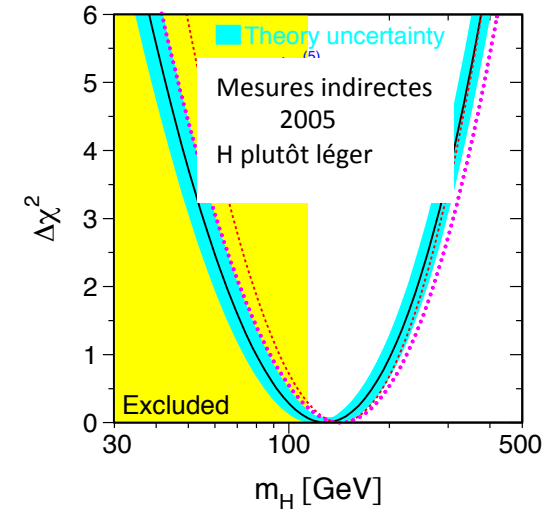


- Toutes les propriétés du boson de Higgs sont prédites par la théorie sauf sa masse
- Théorie  $\Rightarrow m_H < 1000$  GeV

<sup>36</sup>  
1GeV  $\sim$  masse d'un proton/atome d'hydrogène

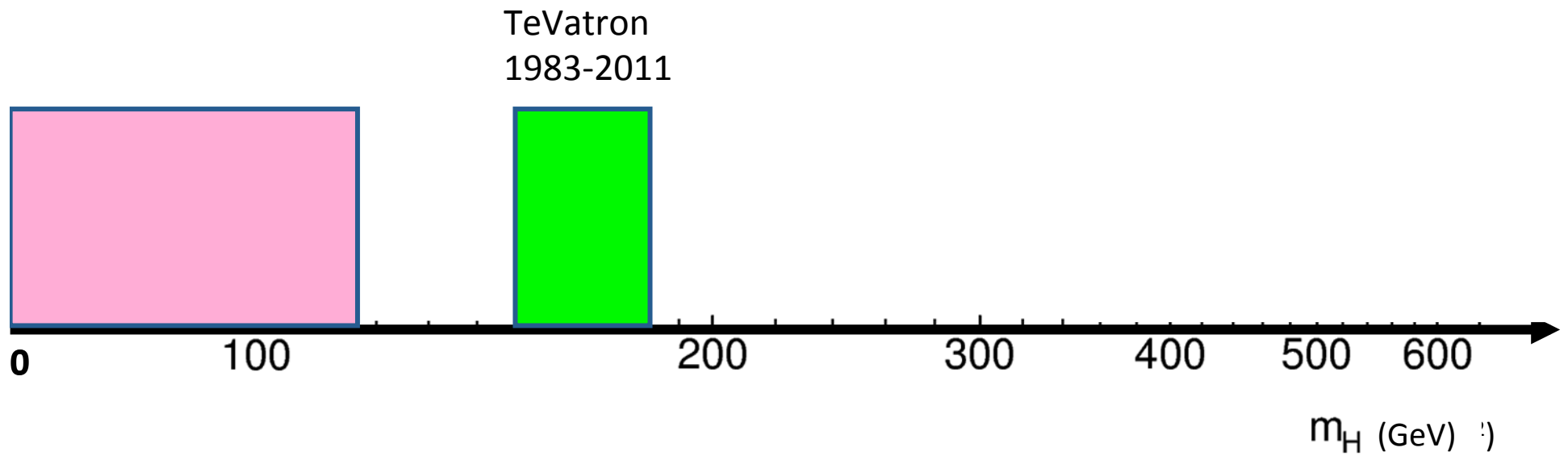
# La chasse au boson de Higgs

LEP  
1989-2000



Le LEP au cern  
(pres de Genève)

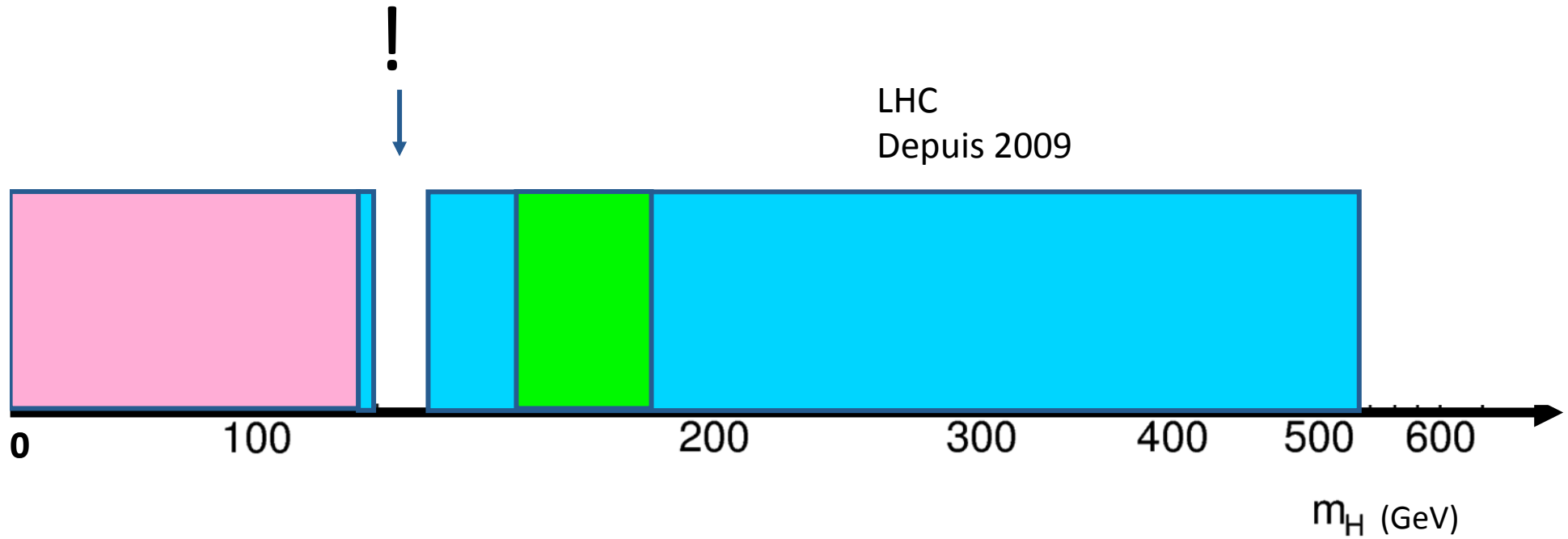
# La chasse au boson de Higgs



Le TeVatron à Fermilab  
(pres de Chicago)



# La chasse au boson de Higgs



Le LHC au cern



# Séminaire du 4 juillet 2012 au CERN



Large crowd watches as physicists Fabiola Gianotti (standing, left), Rolf Dieter-Heuer (right) and Joe Incandela (far right) unveil evidence for the Higgs boson.



the guardian

News Sports Comment Culture Business Money London 2012 Life & style Travel Environment Video Apps Offers Jobs

Breaking news: Weather not limitations end Mousa McKelvey's bid

Diamond set to come out fighting as he faces MPs

Chief executive to reveal role of City watchdog and watchdog's role

Whitaker in line to replace

Full coverage of the 2012 London Olympics

Hadley Proves He's escaped by chicken and other baffling Britain

Man Did to Boat

Libération



Les derniers feux des pharaons

Au musée Jacquemart-André, à Paris, une exposition passionnante s'attarde sur la période naissante de l'art égyptien, souvent oubliée.

PAGES 14-15

Physique des particules

# La masse est dite

Le Cern a réussi à mettre en évidence le boson de Higgs qui résout une énigme fondamentale et ouvre une nouvelle étape scientifique. PAGES 2-5

Suicides chez France Télécom: l'ancien patron mis en examen

Dierk Lombard, qui dirigeait l'opérateur téléphonique lors de la vague de suicides ayant touché l'entreprise en 2008 et 2009, est visé par une enquête de la justice pour harcèlement moral.

PAGE 14

A nos lecteurs

En raison d'un mouvement de grève dans les imprimeries, ce numéro de Libération n'est disponible que sous sa forme électronique. Toutes nos excuses à nos lecteurs.

Spécial Festival d'Avignon

Le 60<sup>e</sup> fête du théâtre dimanche le 7 juillet

Le Monde

Science: la matière dévoilée

Le boson de Higgs, particule mystérieuse pour expliquer l'univers, vient d'être découvert

Les physiciens du CERN de ce projet pour explorer l'univers et découvrir



EL PAÍS

Actualidad Internacional Política Economía Cultura Deportes

Hallada "la más sólida evidencia de la existencia del bosón de Higgs"

El posible descubrimiento de la partícula es un paso esencial hacia la explicación del origen de la materia



OST POPULAR U.S. Edition

# The New York Times

Wednesday, July 4, 2012 Last Update: 4:00 AM ET

DIGITAL SUBSCRIPTION: 4 WEEKS FOR 99¢

Search



h uses results he ns to reir

OPINION » EDITORIAL

Too Quiet, A Health Care The Obama ca forcefully coun Republican m the reform law

MARKETS » Britain Ge

LE FIGARO

Le Cern a mis la main sur le boson de Higgs

Les chercheurs de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire ont découvert le boson de Higgs

Grati de la physique

# de 1964...à aujourd'hui



## BROKEN SYMMETRY AND THE MASS OF GAUGE VECTOR MESONS\*

F. Englert and R. Brout

Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium  
(Received 26 June 1964)

It is of interest to inquire whether gauge vector mesons acquire mass through interaction<sup>1</sup>; by a gauge vector meson we mean a Yang-Mills field<sup>2</sup> associated with the extension of a Lie group from global to local symmetry. The importance of this problem resides in the possibility that strong-interaction physics originates from massive gauge fields related to a system of conserved currents.<sup>3</sup> In this note, we shall show that in certain cases vector mesons do indeed acquire mass when the vacuum is degenerate with respect to a compact Lie group.

Theories with degenerate vacuum (broken symmetry) have been the subject of intensive study since their inception by Nambu.<sup>4-6</sup> A

those vector mesons which are coupled to currents that "rotate" the original vacuum are the ones which acquire mass [see Eq. (6)].

We shall then examine a particular model based on chirality invariance which may have a more fundamental significance. Here we begin with a chirality-invariant Lagrangian and introduce both vector and pseudovector gauge fields, thereby guaranteeing invariance under both local phase and local  $\gamma_5$ -phase transformations. In this model the gauge fields themselves may break the  $\gamma_5$  invariance leading to a mass for the original Fermi field. We shall show in this case that the pseudovector field acquires mass.

In the last paragraph we sketch a simple argument which renders these results reason-

VOLUME 13, NUMBER 16

PHYSICAL REVIEW LETTERS

19 OCTOBER 1964

## BROKEN SYMMETRIES AND THE MASSES OF GAUGE BOSONS

Peter W. Higgs

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

In a recent note<sup>1</sup> it was shown that the Goldstone theorem,<sup>2</sup> that Lorentz-covariant field theories in which spontaneous breakdown of symmetry under an internal Lie group occurs contain zero-mass particles, fails if and only if the conserved currents associated with the internal 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 coupling tends to zero. This phenomenon is just the relativistic analog of the plasmon phenom-

about the "vacuum" solution  $\varphi_1(x) = 0$ ,  $\varphi_2(x) = \varphi_0$ :

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

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

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

Equation (2b) describes waves whose quanta have (bare) mass  $2\varphi_0 \{ V''(\varphi_0^2) \}^{1/2}$ ; Eqs. (2a) and (2c) may be transformed, by the introduction of new variables

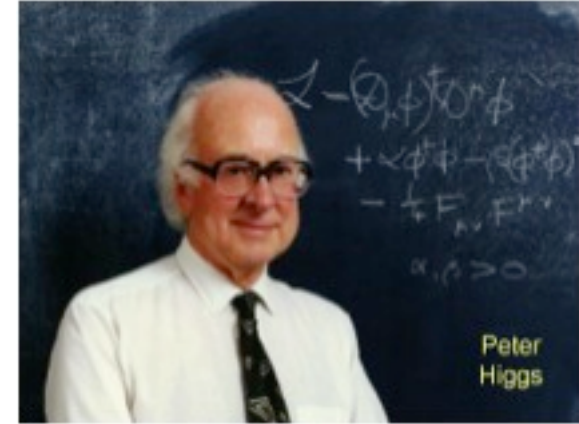
$$B_\mu = A_\mu - (e\varphi_0)^{-1} \partial_\mu (\Delta\varphi_1),$$



Robert Brout 1928-2011



François Englert 1932-



Peter Higgs 1929-

Également : G. S. Guralnik, C. R. Hagen, and T. W. B. Kibble,



Champ de Higgs

Boson de Higgs

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

## The Positive Electron

CARL D. ANDERSON, *California Institute of Technology, Pasadena, California*

(Received February 28, 1933)

Out of a group of 1300 photographs of cosmic-ray tracks in a vertical Wilson chamber 15 tracks were of positive particles which could not have a mass as great as that of the proton. From an examination of the energy-loss and ionization produced it is concluded that the charge is less than twice, and is probably exactly equal to, that of the proton. If these particles carry unit positive charge the

curvatures and ionizations produced require the mass to be less than twenty times the electron mass. These particles will be called positrons. Because they occur in groups associated with other tracks it is concluded that they must be secondary particles ejected from atomic nuclei.

*Editor*

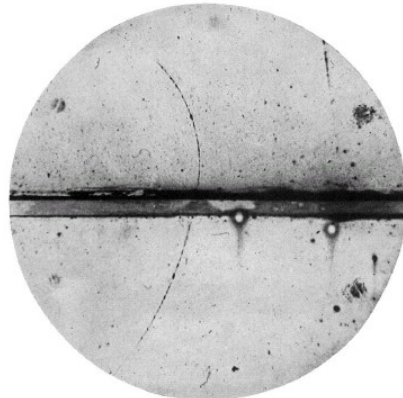


FIG. 1. A 65 million volt positron ( $H_0 = 2.1 \times 10^9$  gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ( $H_0 = 7.5 \times 10^8$  gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.



(~3000  
signataires en  
annexe)

## Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC <sup>☆</sup>

ATLAS Collaboration <sup>\*</sup>

This paper is dedicated to the memory of our ATLAS colleagues who did not live to see the full impact and significance of their contributions to the experiment.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 31 July 2012  
Received in revised form 8 August 2012  
Accepted 11 August 2012  
Available online 14 August 2012  
Editor: W.-D. Schlatter

### ABSTRACT

A search for the Standard Model Higgs boson in proton–proton collisions with the ATLAS detector at the LHC is presented. The datasets used correspond to integrated luminosities of approximately  $4.8 \text{ fb}^{-1}$  collected at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  in 2011 and  $5.8 \text{ fb}^{-1}$  at  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  in 2012. Individual searches in the channels  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ ,  $H \rightarrow \gamma\gamma$  and  $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow e\nu\mu\nu$  in the 8 TeV data are combined with previously published results of searches for  $H \rightarrow ZZ^{(*)}$ ,  $WW^{(*)}$ ,  $b\bar{b}$  and  $\tau^+\tau^-$  in the 7 TeV data and results from improved analyses of the  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$  and  $H \rightarrow \gamma\gamma$  channels in the 7 TeV data. Clear evidence for the production of a neutral boson with a measured mass of  $126.0 \pm 0.4 \text{ (stat)} \pm 0.4 \text{ (sys) GeV}$  is presented. This observation, which has a significance of 5.9 standard deviations, corresponding to a background fluctuation probability of  $1.7 \times 10^{-9}$ , is compatible with the production and decay of the Standard Model Higgs boson.

© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.



(~3000  
signataires en  
annexe)

## Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC <sup>☆</sup>

CMS Collaboration <sup>\*</sup>

CERN, Switzerland

This paper is dedicated to the memory of our colleagues who worked on CMS but have since passed away. In recognition of their many contributions to the achievement of this observation.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 31 July 2012  
Received in revised form 9 August 2012  
Accepted 11 August 2012  
Available online 18 August 2012  
Editor: W.-D. Schlatter

#### Keywords:

CMS  
Physics  
Higgs

### ABSTRACT

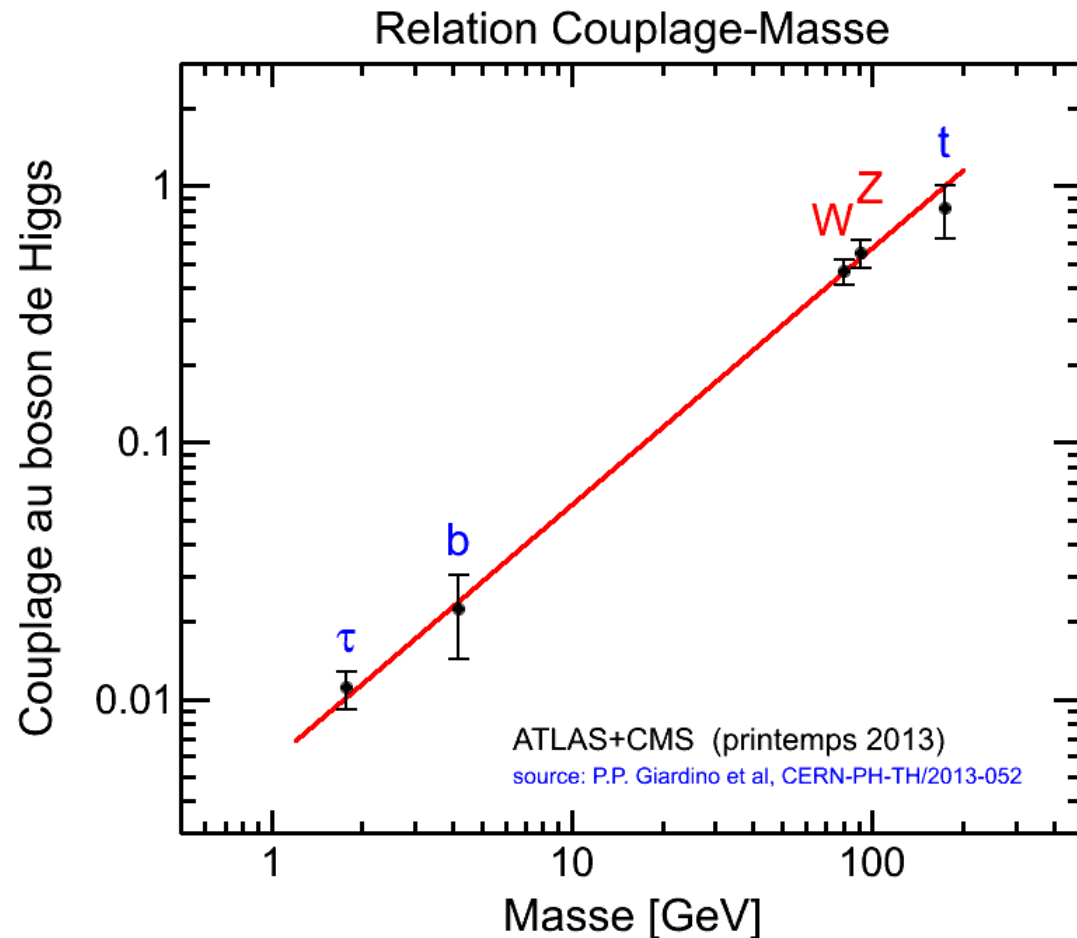
Results are presented from searches for the standard model Higgs boson in proton–proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV in the Compact Muon Solenoid experiment at the LHC, using data samples corresponding to integrated luminosities of up to  $5.1 \text{ fb}^{-1}$  at 7 TeV and  $5.3 \text{ fb}^{-1}$  at 8 TeV. The search is performed in five decay modes:  $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$ ,  $W^+W^-$ ,  $\tau^+\tau^-$ , and  $b\bar{b}$ . An excess of events is observed above the expected background, with a local significance of 5.0 standard deviations, at a mass near 125 GeV, signalling the production of a new particle. The expected significance for a standard model Higgs boson of that mass is 5.8 standard deviations. The excess is most significant in the two decay modes with the best mass resolution,  $\gamma\gamma$  and  $ZZ$ ; a fit to these signals gives a mass of  $125.3 \pm 0.4 \text{ (stat.)} \pm 0.5 \text{ (syst.) GeV}$ . The decay to two photons indicates that the new particle is a boson with spin different from one.

© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

Est-ce que c'est bien le boson de  
Higgs?

# Relation couplage-masse

entre ce boson et différentes particules



→ parfaitement proportionnelle !

→ relation privilégiée de ce boson à la masse

→ exactement comme prévu

Qu'est-ce que VOIR une particule ?



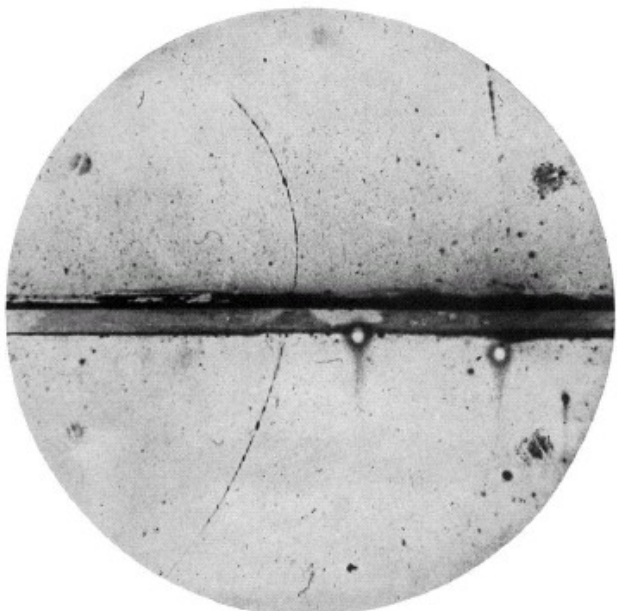
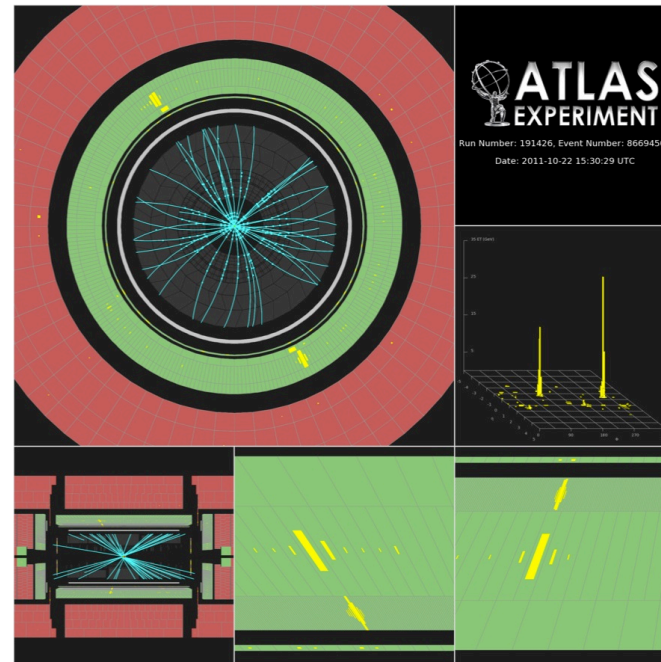
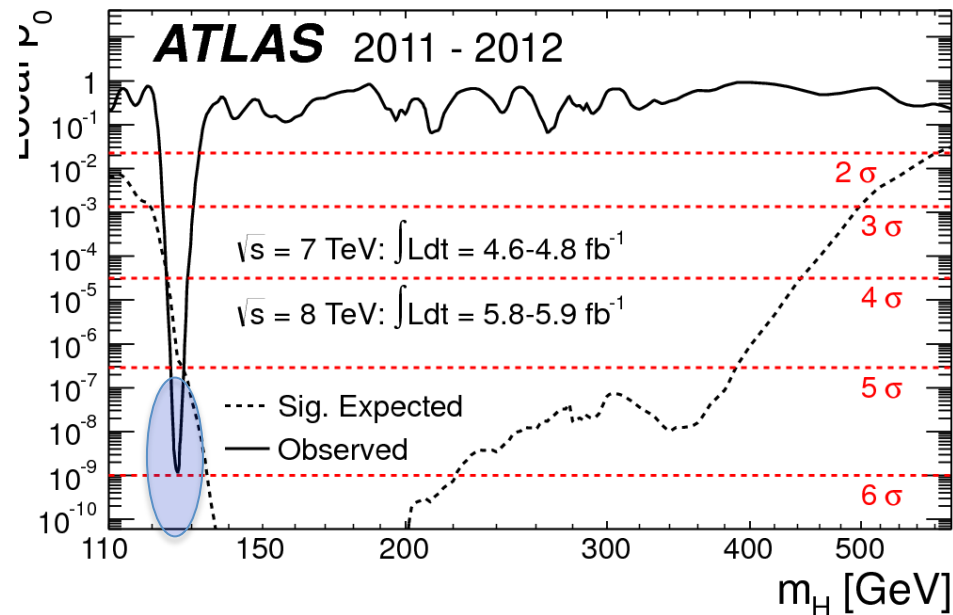
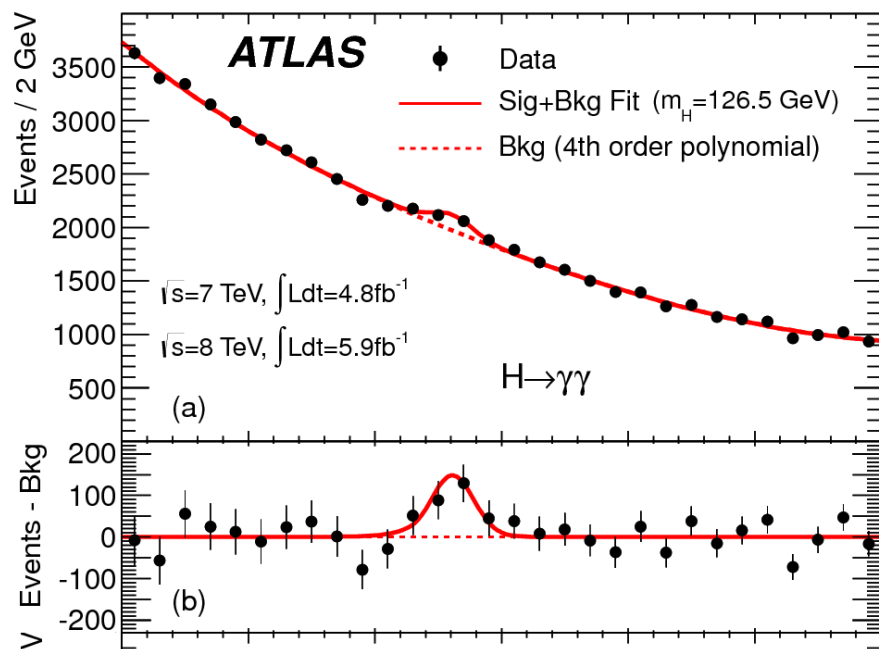


FIG. 1. A 65 million volt positron ( $H\rho = 2.1 \times 10^6$  gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ( $H\rho = 7.5 \times 10^6$  gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.

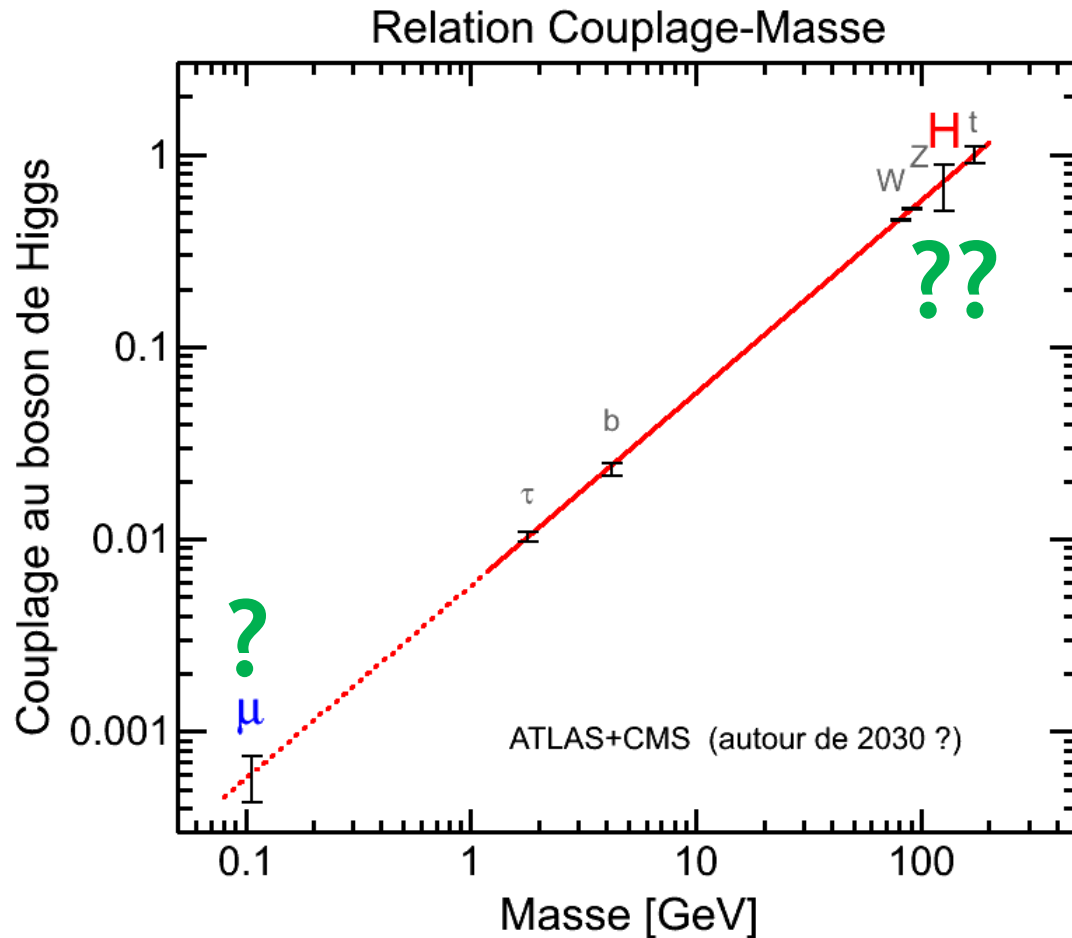


**ATLAS**  
EXPERIMENT  
Run Number: 191426, Event Number: 66694500  
Date: 2011-10-22 15:30:29 UTC



# Le boson de Higgs: la fin d'un commencement

# Terra incognita



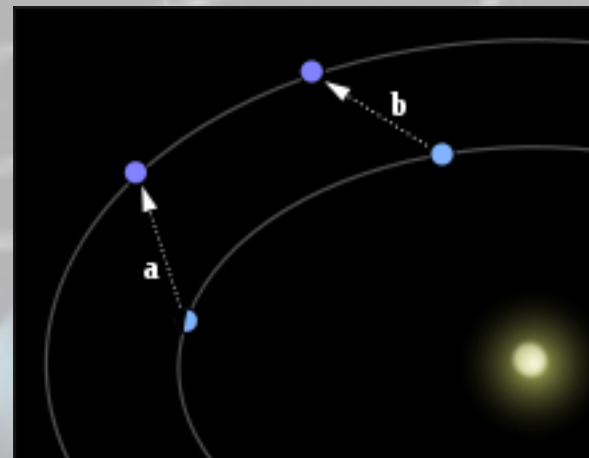
Les physiciens pénètrent  
un nouveau territoire

celui du « secteur de Higgs »

Mesurer les  
propriétés du nouveau boson!

# Flash-back: 1846

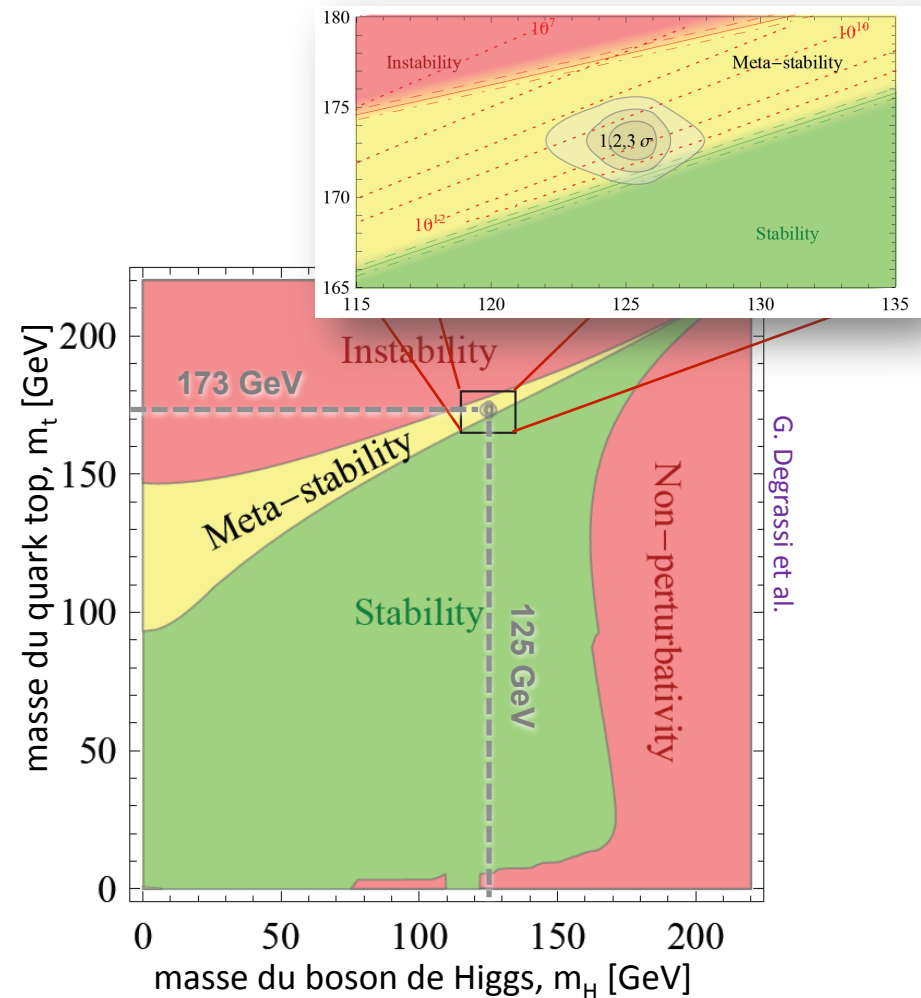
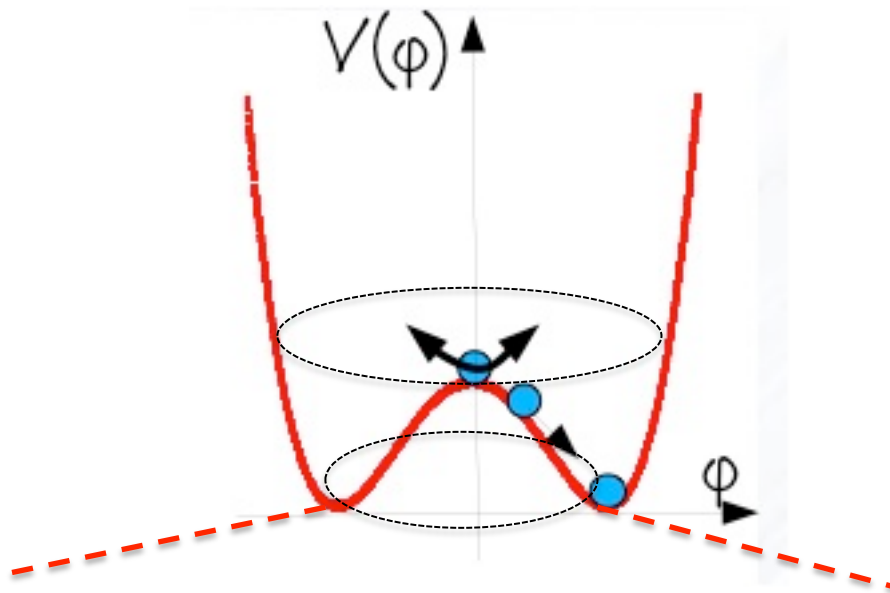
- Observations de minuscules déviations de la position d'Uranus
- Urbain Le Verrier calcule et prédit l'existence d'une nouvelle planète...
- ...Neptune effectivement découverte quelques semaines plus tard à l'endroit indiqué



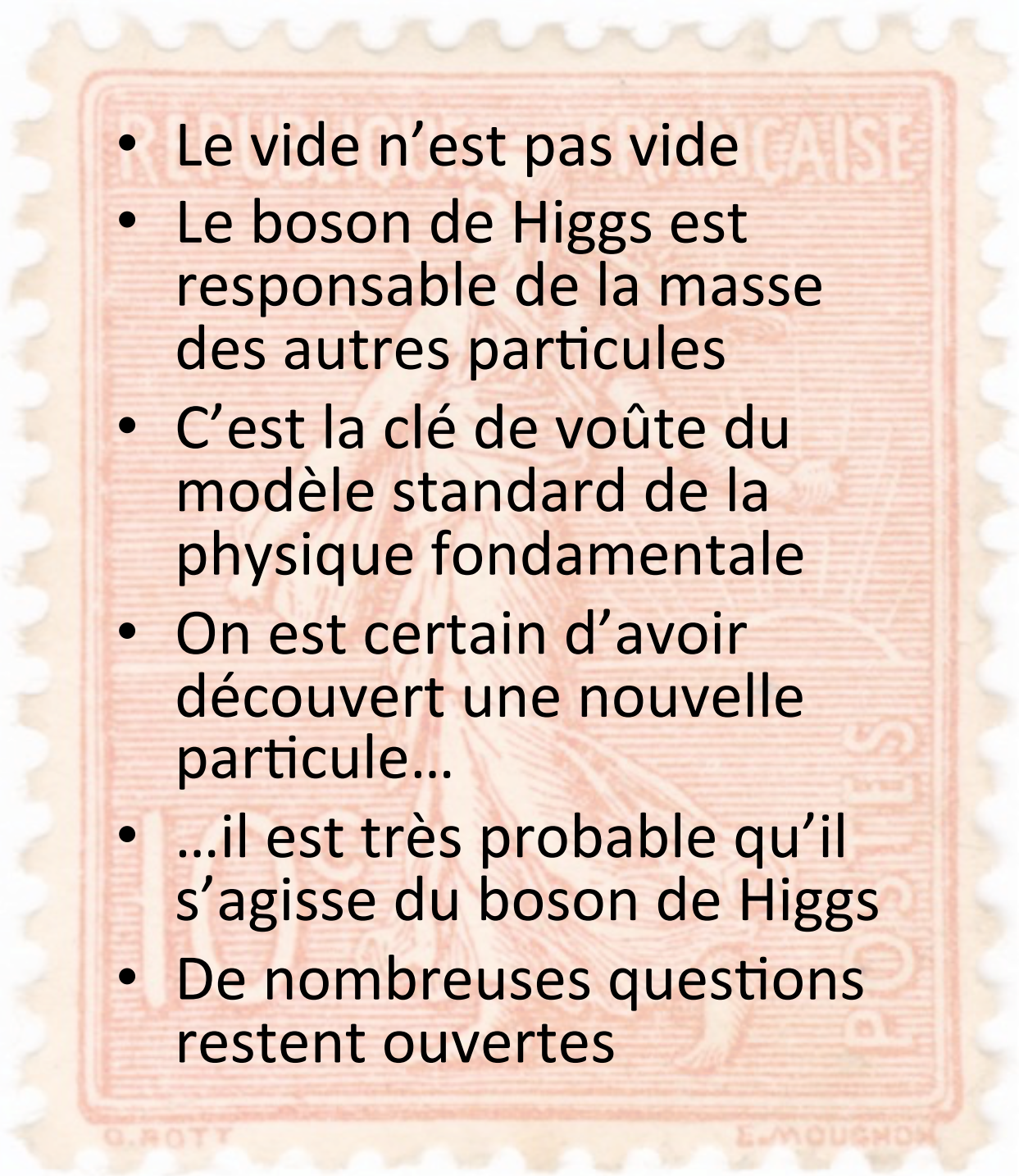
# L'Univers est-il stable ?

La **stabilité** du **vide**  
dépend des **masses** du  
**boson de Higgs** et du **quark top**

Notre Univers vit au bord du précipice !

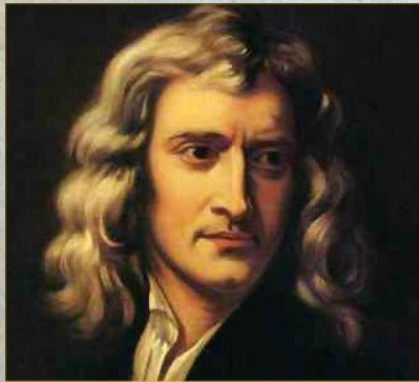


# Conclusions

- 
- Le vide n'est pas vide
  - Le boson de Higgs est responsable de la masse des autres particules
  - C'est la clé de voûte du modèle standard de la physique fondamentale
  - On est certain d'avoir découvert une nouvelle particule...
  - ...il est très probable qu'il s'agisse du boson de Higgs
  - De nombreuses questions restent ouvertes

Eléments de la philosophie de Newton,  
Voltaire, 1738

lectricité de Magnétisme. Il viendra un tems peut-être, où l'on aura un amas assez grand d'expériences pour reconnaître quelque autres principes cachés. Tout nous avertit que la matiere a beaucoup plus de propriétés que nous n'en connaissons. Nous ne sommes encore qu'au bord d'un Océan immense; que de choses restent à découvrir! mais aussi que de choses sont à jamais hors de la Sphere de nos connaissances.



**F I N.**

