



UPPSALA  
UNIVERSITET  
1477

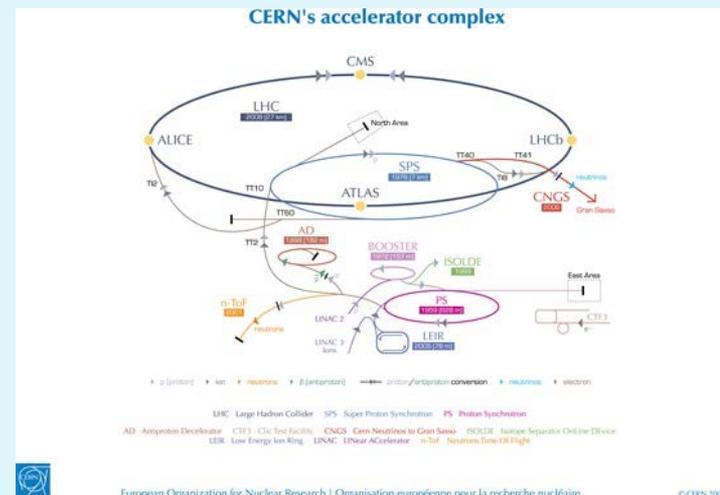


COLLÈGE  
DE FRANCE  
—1530—

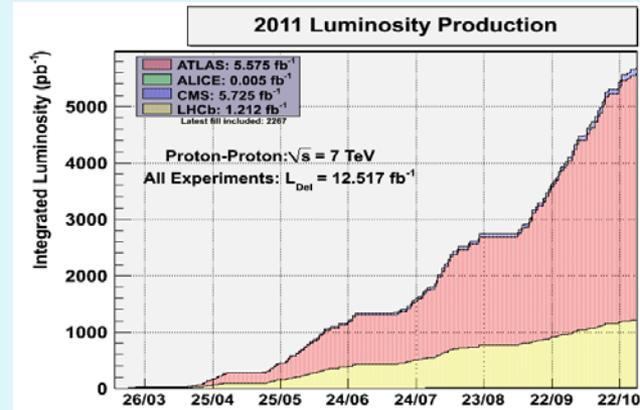
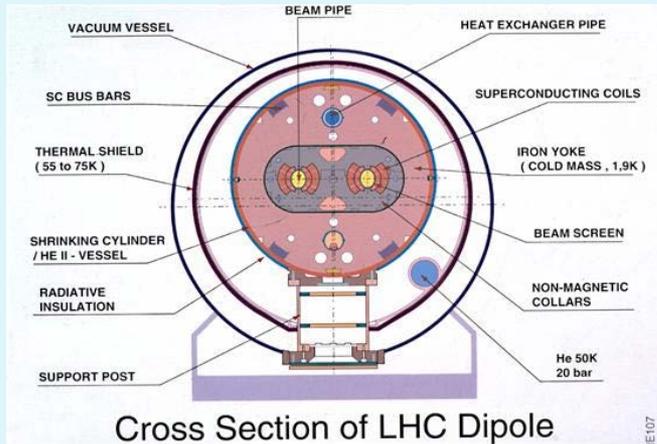
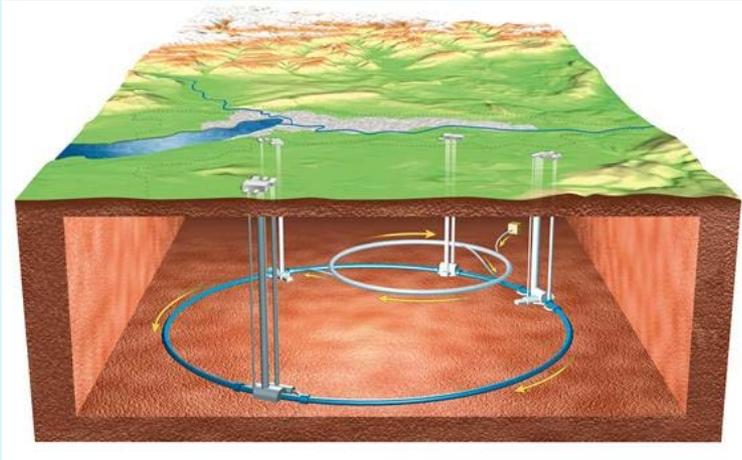
# Les derniers exploits du Grand Collisionneur LHC au CERN

Tord Ekelöf  
Université d'Uppsala

# Le laboratoire CERN à Genève



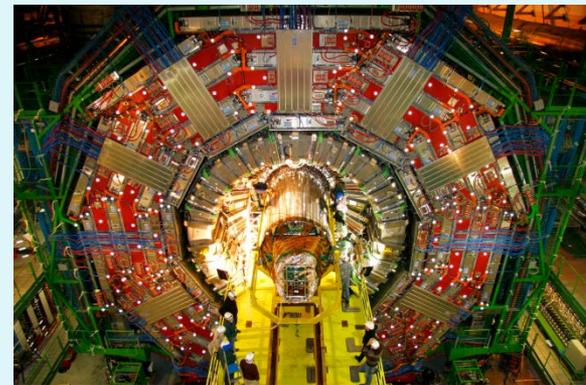
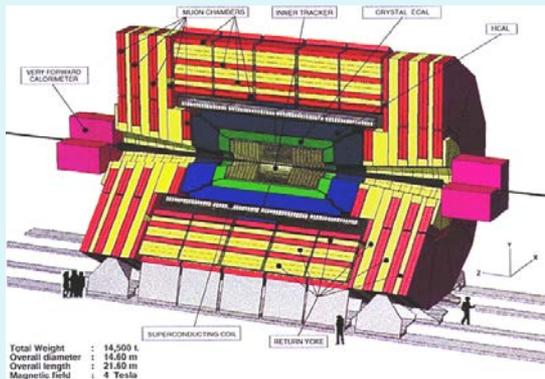
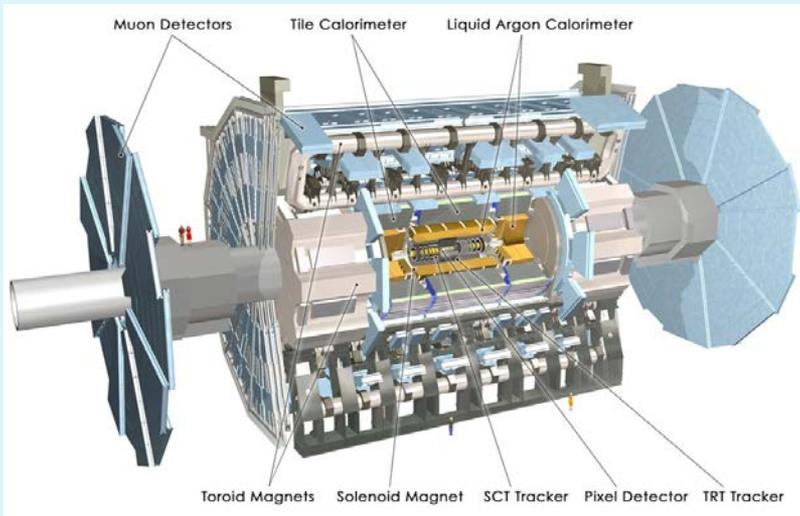
# Le collisionneur LHC



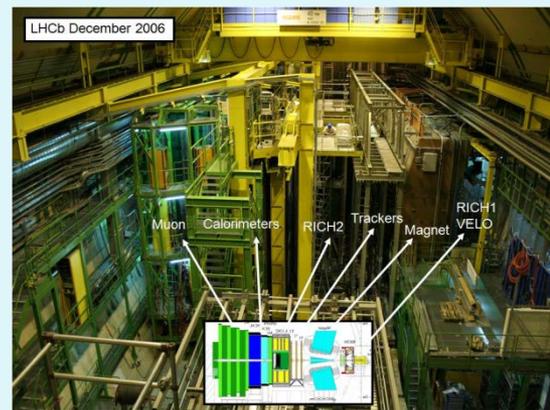
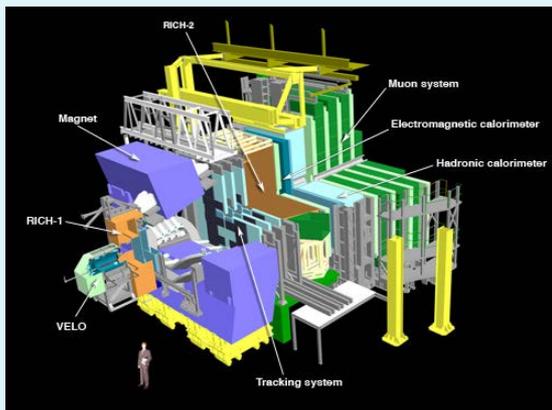
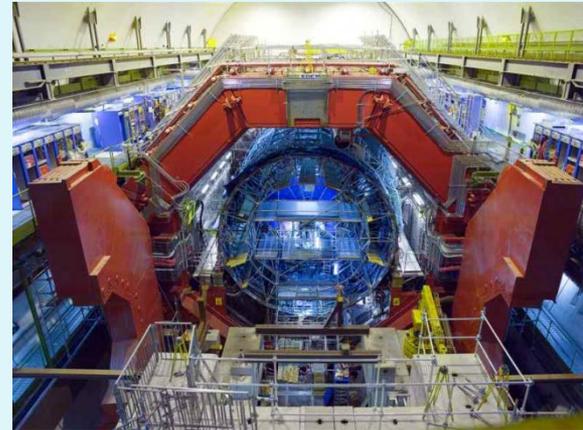
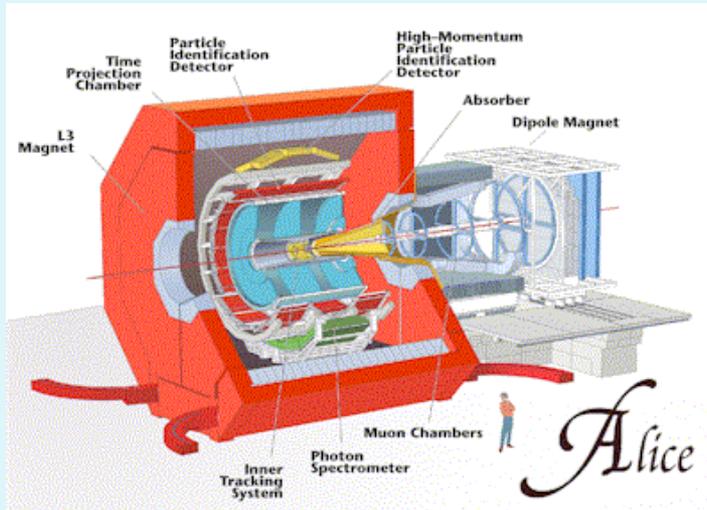
# Les parameters du LHC

|                                       |       |  |
|---------------------------------------|-------|--|
| Circumference (km)                    | 26.7  | 100-150m underground   |
| Number of Dipoles                     | 1232  | Cable Nb-Ti, cold mass 37million kg  |
| Length of Dipole (m)                  | 14.3  |  |
| Dipole Field Strength (Tesla)         | 8.4   | Results from the high beam energy needed   |
| Operating Temperature (K)             | 1.9   | Superconducting magnets needed for the high magnetic field<br>Super-fluid helium |
| Current in dipole sc coils (A)        | 13000 | Results from the high magnetic field<br>1ppm resolution                          |
| Beam Intensity (A)                    | 0.5   | $2.2 \cdot 10^{-6}$ loss causes quench   |
| Beam Stored Energy (MJoules)          | 362   | Results from high beam energy and high beam current<br>1MJ melts 2kg Cu          |
| Magnet Stored Energy (MJoules)/octant | 1100  | Results from the high magnetic field   |
| Sector Powering Circuit               | 8     | 1612 different electrical circuits   |

# ATLAS et CMS



# ALICE et LHCb





**38 Countries**  
**175 Institutions**  
**2980 active scientists**  
**~ 1800 with a PhD → contribute to M&O share**  
**~ 1200 students**

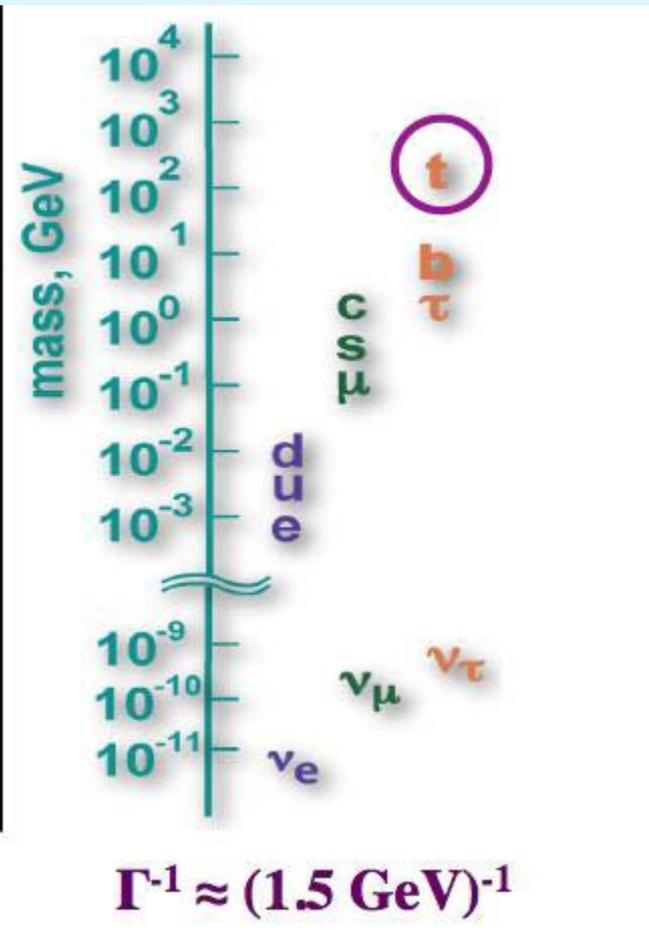
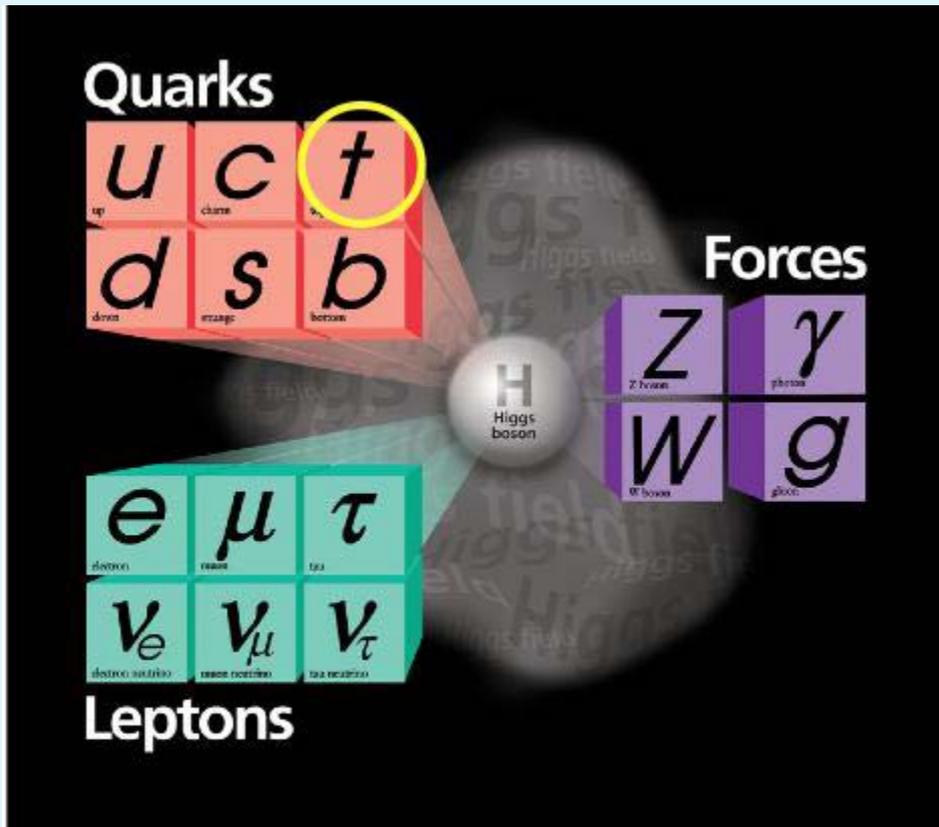
Albany, Alberta, NIKHEF Amsterdam, Ankara, LAPP Annecy, Argonne NL, Arizona, UT Arlington, Athens, NTU Athens, Baku, IFAE Barcelona, Belgrade, Bergen, Berkeley LBL and UC, HU Berlin, Bern, Birmingham, UAN Bogota, Bologna, Bonn, Boston, Brand Brasil Cluster, Bratislava/SAS Kosice, Brookhaven NL, Buenos Aires, Bucharest, Cambridge, Carleton, CERN, Chinese Cluster, Chicago, Chile, Clermont-Ferrand, Columbia, NBI Copenhagen, Cosenza, AGH UST Cracow, IFJ PAN Cracow, SMU Dallas, UT Dallas, DESY, Dortmund, TU Dresden, JINR Dubna, Duke, Edinburgh, Frascati, Freiburg, Geneva, Genoa, Giessen, Glasgow, Göttingen, LPSC Grenoble, Technion Haifa, Hampton, Harvard, Heidelberg, Hiroshima IT, Indiana, Innsbruck, Iowa SU, Iowa, UC Irvine, Istanbul Bogaz KEK, Kobe, Kyoto, Kyoto UE, Kyushu, Lancaster, UN La Plata, Lecce, Lisbon LIP, Liverpool, Ljubljana, QMW London, RHBNC London UC London, Lund, UA Madrid, Mainz, Manchester, CPPM Marseille, Massachusetts, MIT, Melbourne, Michigan, Michigan SU, Milano, Minsk NAS, Minsk NCPHEP, Montreal, McGill Montreal, RUPHE Morocco, FIAN Moscow, ITEP Moscow, MEPHI Moscow, MSU Moscow Munich LMU, MPI Munich, Nagasaki IAS, Nagoya, Naples, New Mexico, New York, Nijmegen, Northern Illinois University, BINP Novosibirsk, NPI Petersburg, Ohio SU, Okayama, Oklahoma, Oklahoma SU, Olomouc, Oregon, LAL Orsay, Osaka, Oslo, Oxford, Paris and VII, Pavia, Pennsylvania, Pisa, Pittsburgh, CAS Prague, CU Prague, TU Prague, IHEP Protvino, Rome I, Rome II, Rome III, Rutherford Appleton Laboratory, DAPNIA Saclay, Santa Cruz UC, Sheffield, Shinshu, Siegen, Simon Fraser Burnaby, SLAC, South Africa Cluster, Stockholm, KTH Stockholm, Stony Brook, Sydney, Sussex, AS Taipei, Tbilisi, Tel Aviv, Thessaloniki, Tokyo ICEPP, Tokyo MU, Tokyo Tech, Toronto, TRIUMF, Tsukuba, Tufts, Udine/ICTP, Uppsala, UI Urbana, Valencia, UBC Vancouver, Victoria, Warwick, Waseda, Washington, Weizmann Rehovot, FH Wiener Neustadt, Wisconsin, Wuppertal, Würzburg, Yale, Yerevan

|         |             |
|---------|-------------|
| France  | Switzerland |
| Georgia | Taiwan      |
| Germany | Turkey      |
| Greece  | UK          |
| Israel  | USA         |
| Italy   | CERN        |
| Japan   | JINR        |

**ATLAS**  
**Collaboration**



# Le Modèle Standard

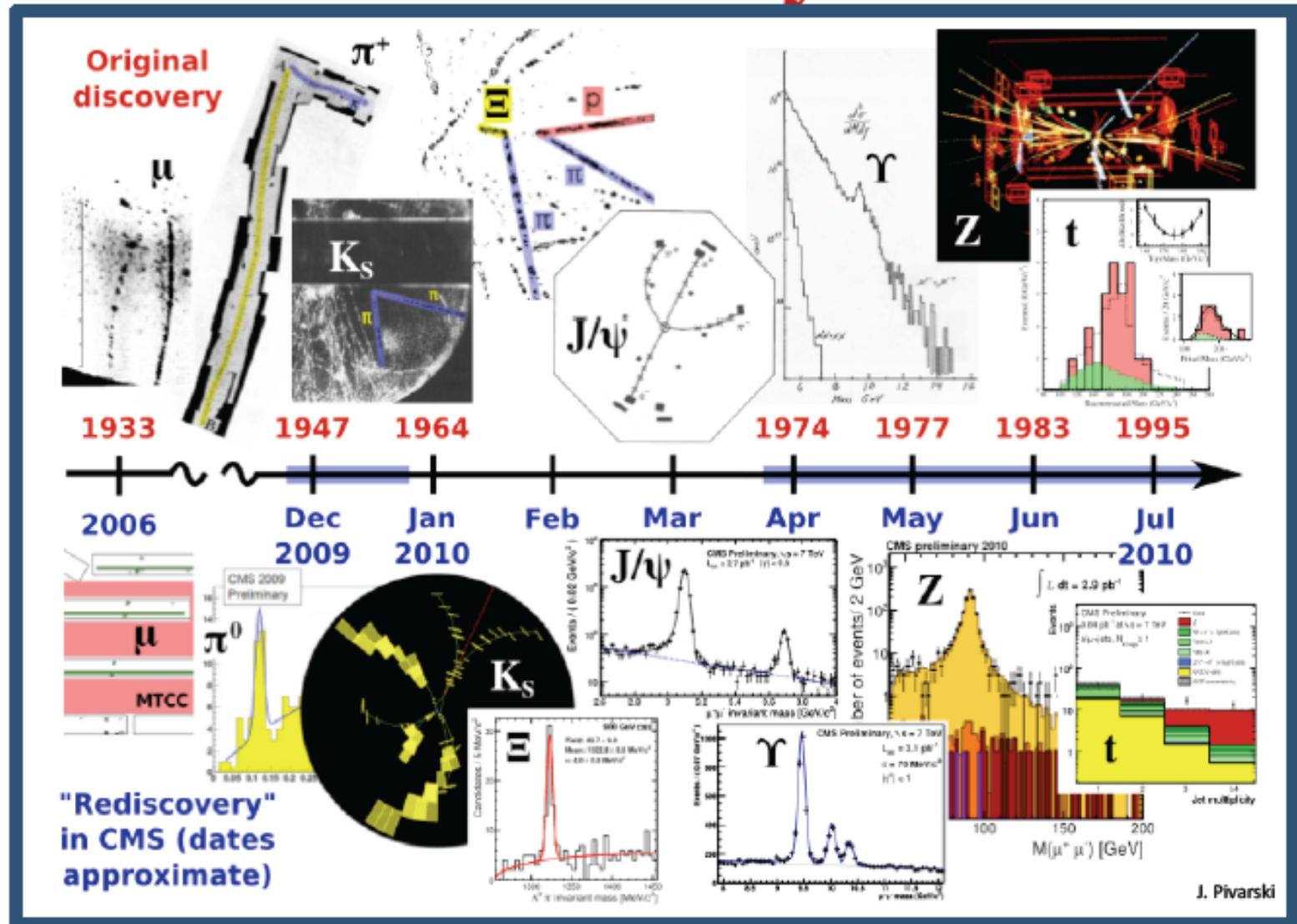


$$M_{\text{top}} \approx 173 \text{ GeV}$$

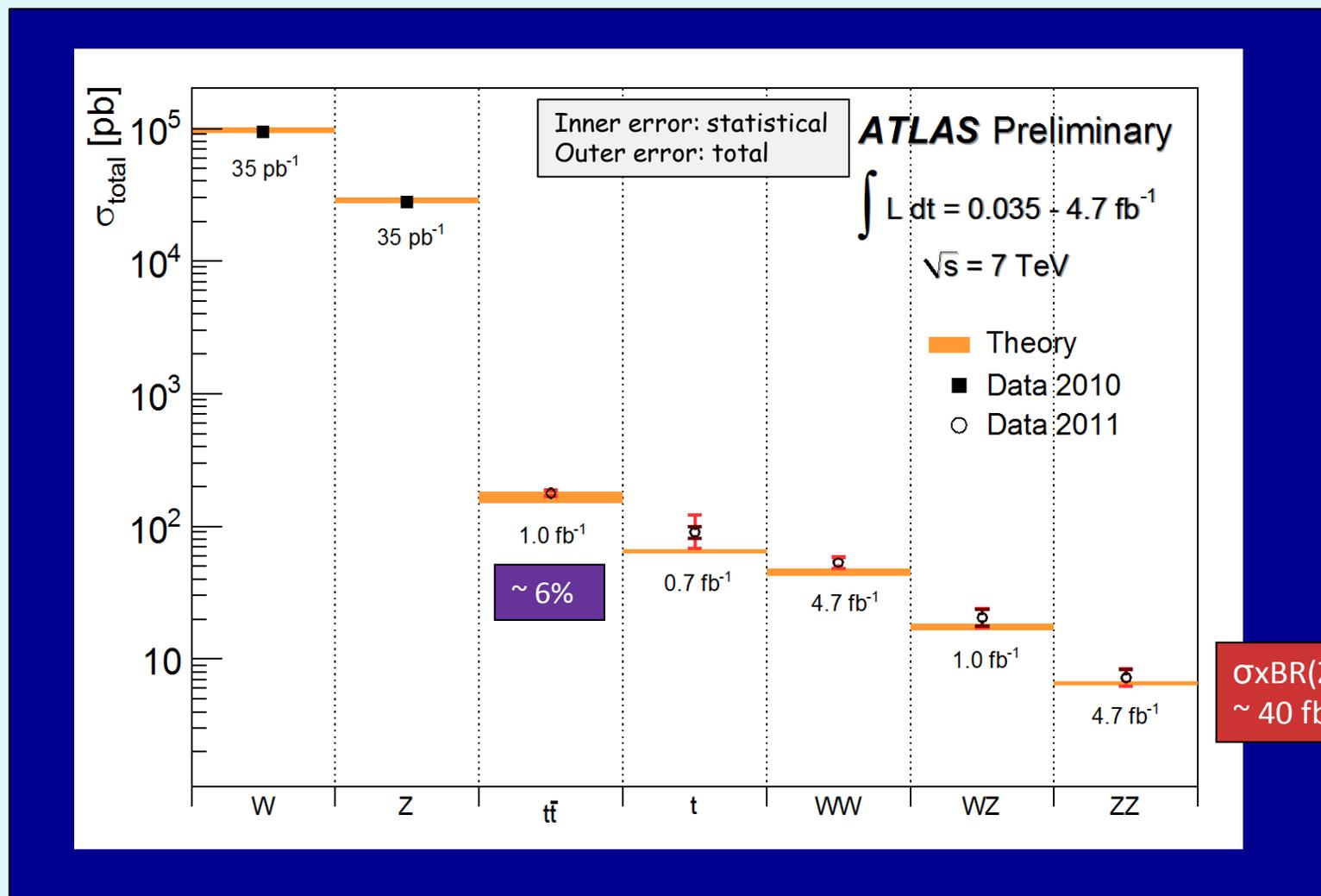
$$\tau \sim 5 \times 10^{-25} \text{ s}$$

$$\Gamma^{-1} \approx (1.5 \text{ GeV})^{-1}$$

# S.M. rediscovery in 2010



# Sommaire de tout les mesures de section efficaces de boson electrofaibles et du top



SM expectations agree with measurements (within present uncertainties)

Experimental precision starts to challenge theory for e.g. tt (background to most searches)

Measuring cross-sections down to few fb (including leptonic branching ratios)

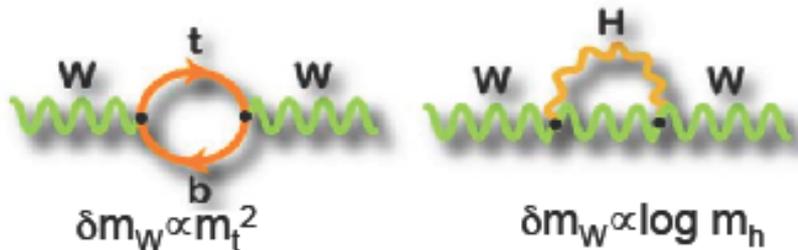
# Top quark mass

- Top quark mass is a fundamental parameter of the SM

- Known with good accuracy from the Tevatron:  $173.2 \pm 0.9$  GeV (arXiv:1107.5255)

- Indirect constraint on the Higgs boson mass via EW corrections

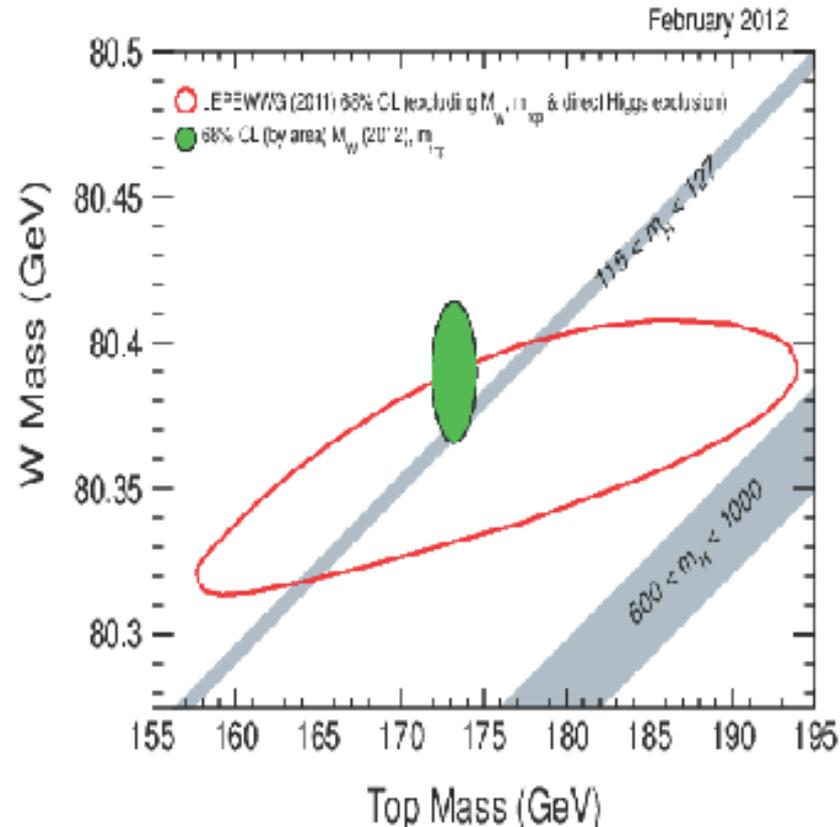
$\Rightarrow m_H = 92^{+34}_{-26}$  GeV or  $< 161$  GeV



- Top is the only fermion with the mass of the order of EWSB scale

- Measuring precisely  $m_W$  and  $m_{top}$

- Test consistency of SM
- Search for New Physics



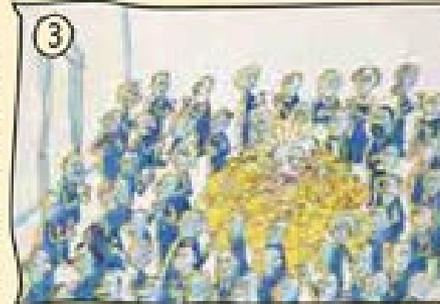
# THE HIGGS MECHANISM

① TO UNDERSTAND THE HIGGS MECHANISM, IMAGINE THAT A ROOM FULL OF PHYSICISTS QUIETLY CHATTERING IS LIKE SPACE FILLED ONLY WITH THE HIGGS FIELD.

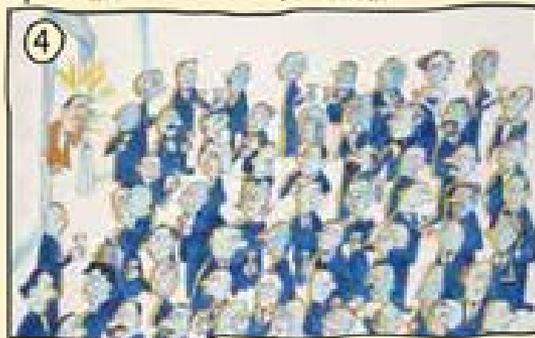


A WELL KNOWN SCIENTIST, ALBERT EINSTEIN, WALKS IN, CREATING A DISTURBANCE AS HE MOVES ACROSS THE ROOM, AND ATTRACTING A CLUSTER OF ADMIRERS WITH EACH STEP.

THIS INCREASES HIS RESISTANCE TO MOVEMENT - IN OTHER WORDS, HE ACQUIRES MASS, JUST LIKE A PARTICLE MOVING THROUGH THE HIGGS FIELD.

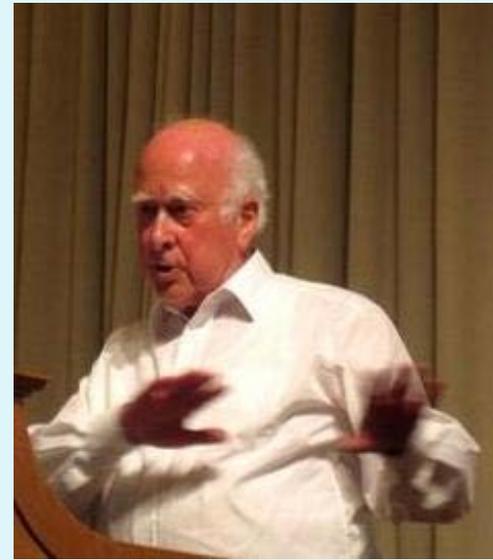


IF A RUMOUR CROSSES THE ROOM ...



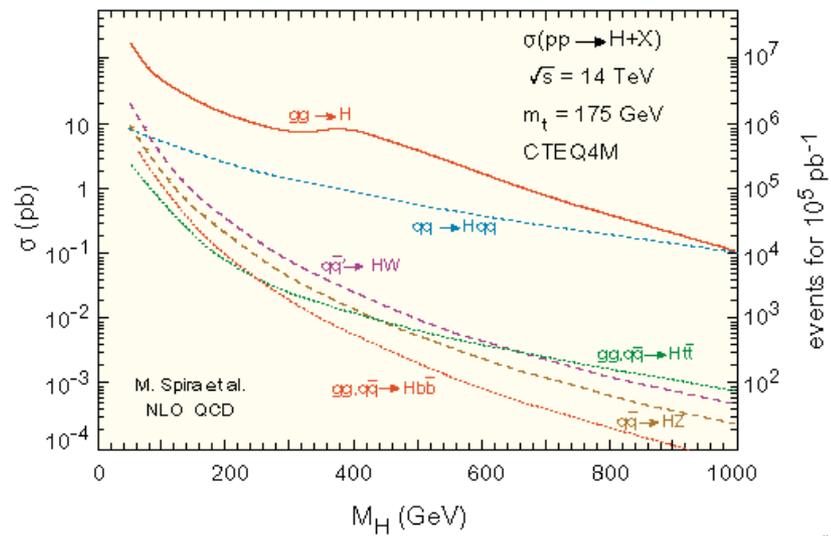
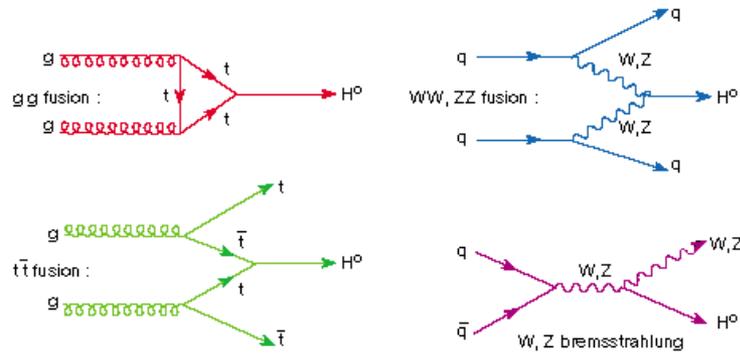
IT CREATES THE SAME KIND OF CLUSTERING, BUT THIS TIME AMONG THE SCIENTISTS THEMSELVES. IN THIS ANALOGY, THESE CLUSTERS ARE THE HIGGS PARTICLES.

# La particule Englert-Brout-Higgs



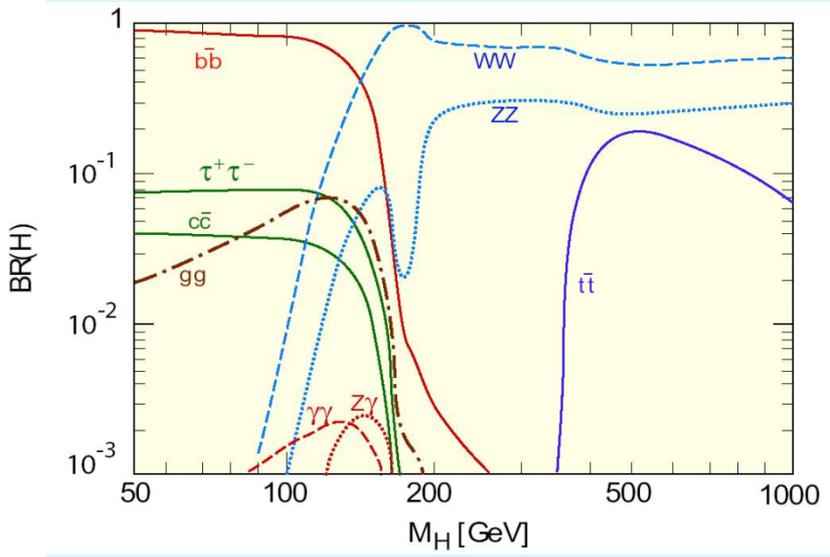
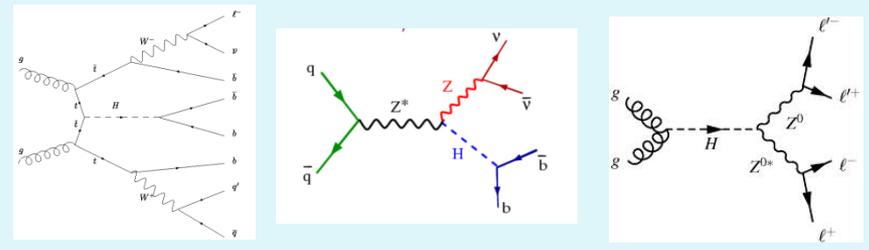
Les six auteurs des publications 1964 PRL 1964, qui ont reçu le prix J. J. Sakurai 2010 pour leur travail. De gauche à droite: Kibble, Guralnik, Hagen, Englert, Brout. A droite: Higgs.

# H<sup>0</sup> production at hadron colliders:



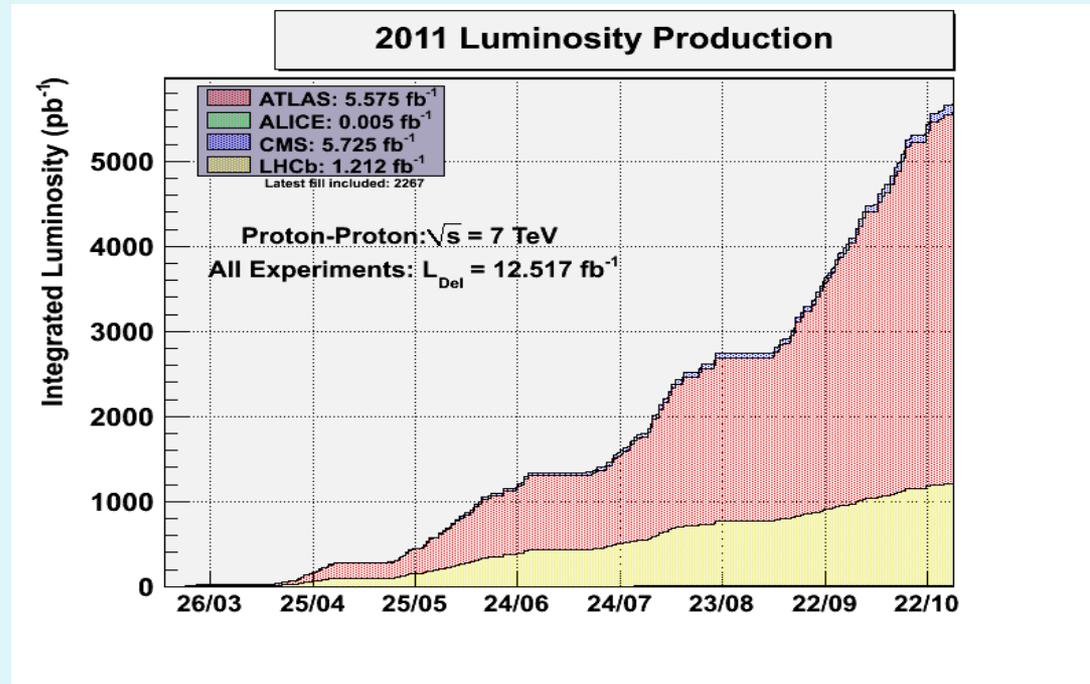
**Dominant Higgs production mechanisms**  $gg \rightarrow H, qq \rightarrow H$

# H<sup>0</sup> decay at hadron colliders:



**Higgs decay channels with good selectivity**  
 $H \rightarrow \gamma\gamma, H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l, H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu, H \rightarrow \tau\tau, H \rightarrow W/ZH \rightarrow bb$

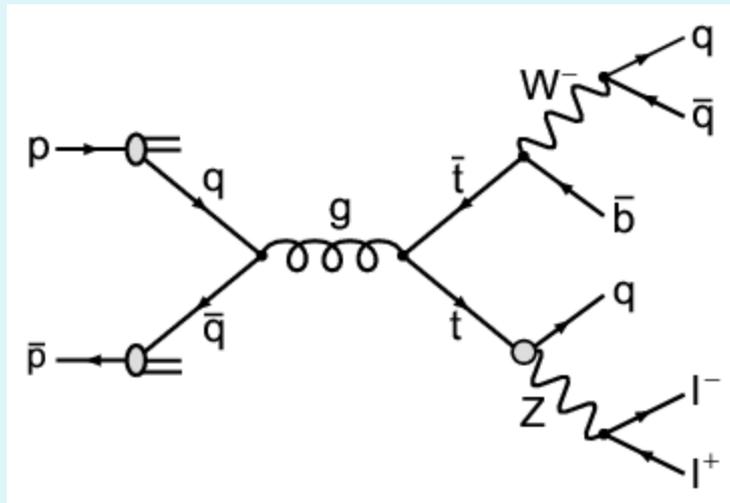
Selon le Modèle Standard la section efficace pour la production du Higgs au LHC est donc de l'ordre 10 pb  
Combien de Higgs auraient en ce cas, selon le Modèle Standard, été produits au LHC en 2011?



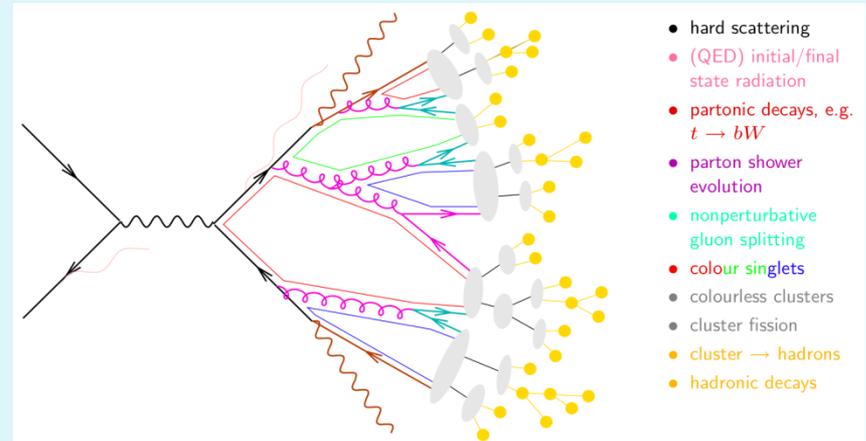
La luminosité qui a été collectée en 2011 au LHC est de 5000 collisions avec production de Higgs par pb. Le nombre de bosons Higgs produits au LHC en 2011 seraient en ce cas 50 000 - dans chacun d'ATLAS et de CMS!

Si on a déjà en 2011 produit 100 000 bosons Higgs au LHC pourquoi n'a-t-on pas pu découvrir le Higgs?

L'explication est qu'il y a beaucoup d'autres processus qui ressemblent à la production et à la décroissance de Higgs - ce sont des réactions de *bruit de fond*

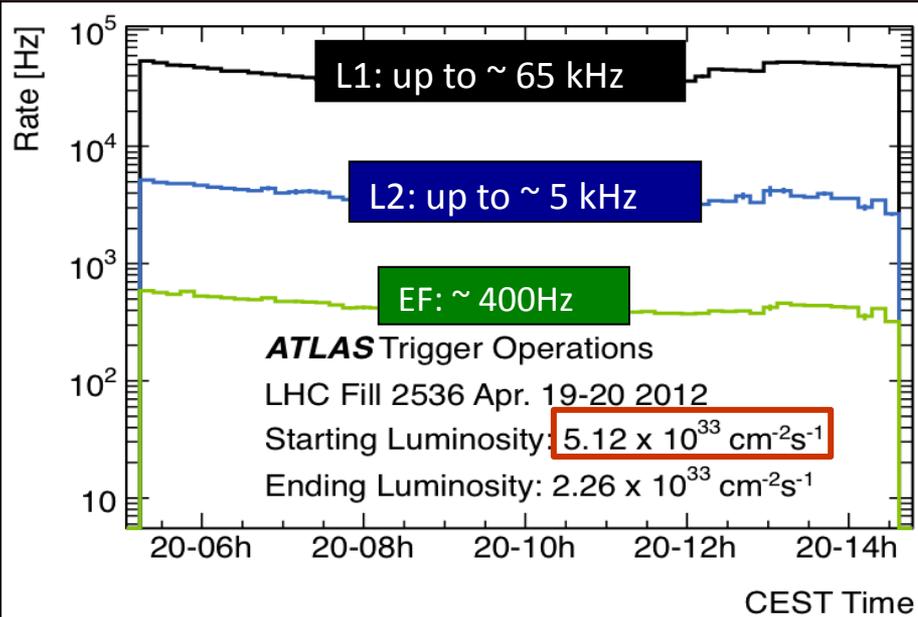


Electrofaible



La force forte QCD

# Le rôle important joué par le trigger



## Lowest unrescaled thresholds (examples)

| Item                | $p_T$ threshold (GeV)<br>( )=end 2011 if different | Rate (Hz)<br>$4 \times 10^{33}$ |
|---------------------|--|---------------------------------|
| Incl. e             | 24 (22)  | 55                              |
| Incl. $\mu$         | 24 (18)  | 37                              |
| ee                  | 12   | 6                               |
| $\mu\mu$            | 13 (10)  | 4                               |
| $\tau\tau$          | 29,20  | 7                               |
| $\gamma\gamma$      | 20   | 9                               |
| $E_T^{\text{miss}}$ | 80 (60)  | 8                               |

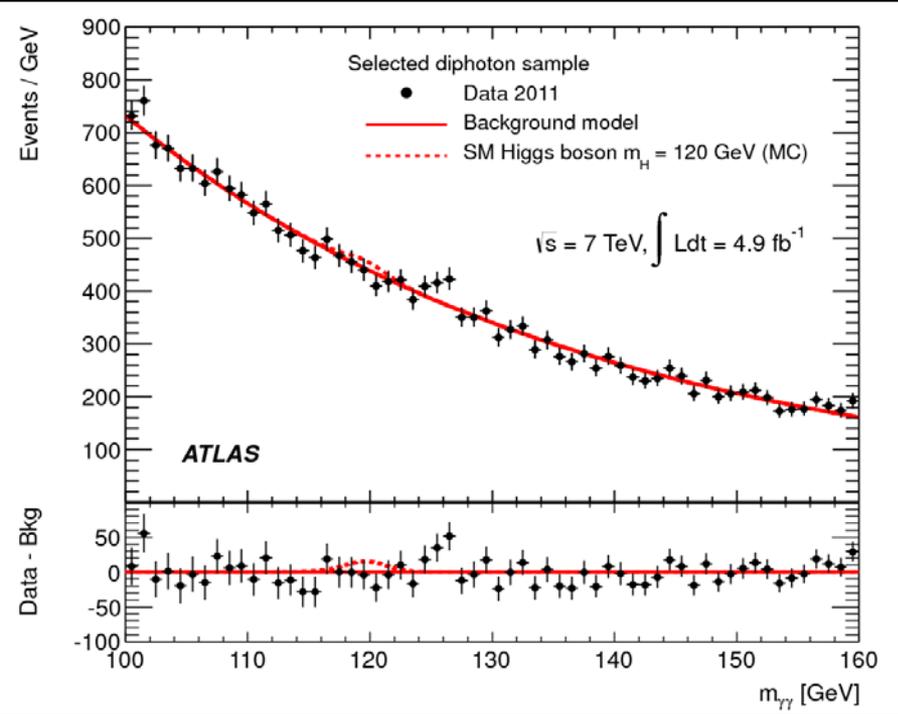
Typical recorded rates for main streams e/ $\gamma$ , Jets/ $\tau$ / $E_T^{\text{miss}}$ , Muons: ~ 100 Hz each

Note: almost 600 trigger items in total !



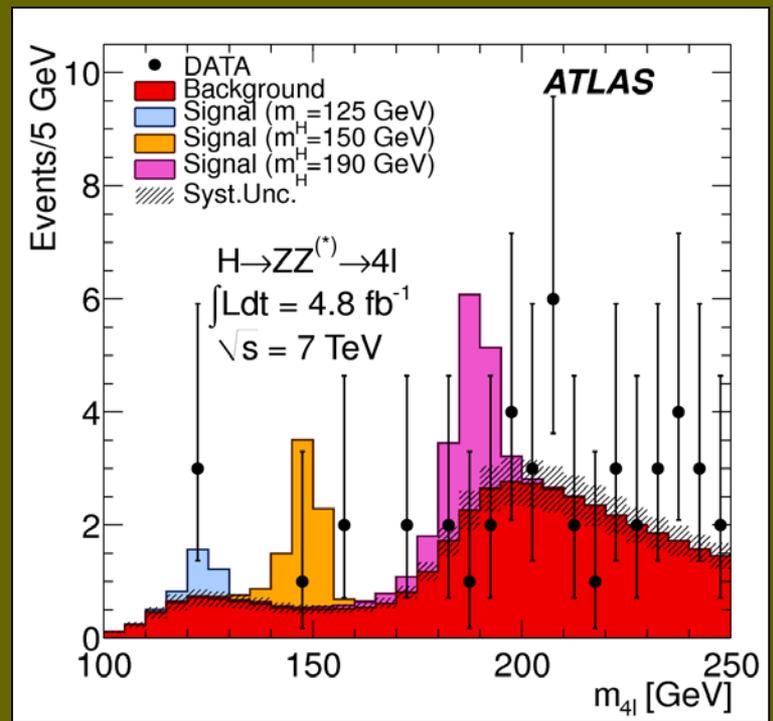
# Les canaux de haute résolution de masse du boson Higgs:

$H \rightarrow \gamma\gamma$  et  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$  (4e, 4μ, 2e2μ)



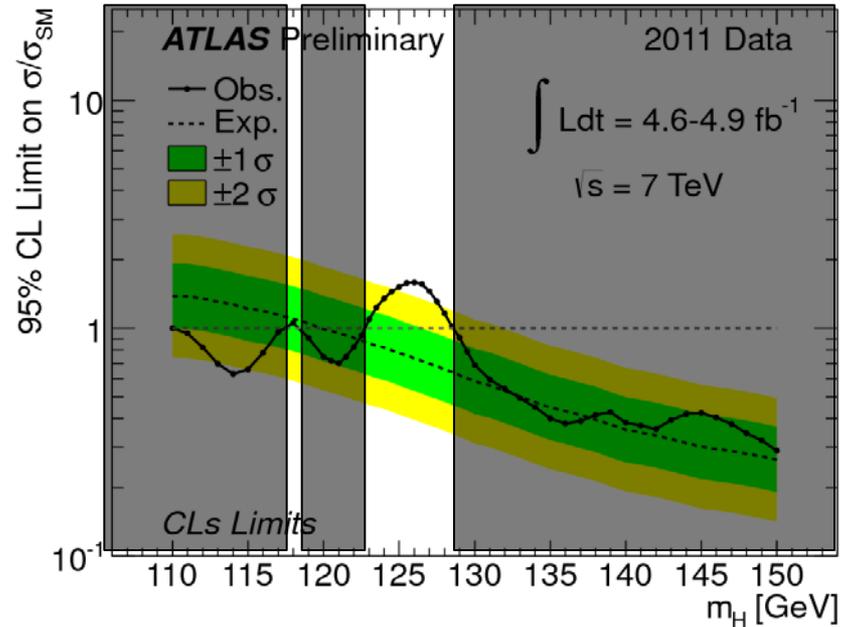
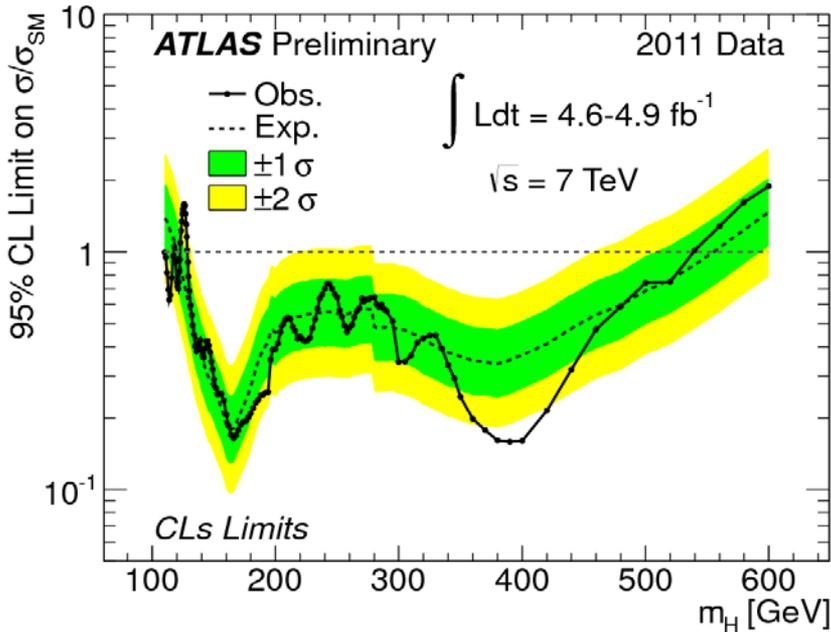
$H \rightarrow \gamma\gamma$ :  
 for  $m_H \sim 125$  GeV,  $\sim 70$  signal events expected after all cuts, and  $\sim 3000$  background events in signal mass window  $\rightarrow S/B \sim 0.02$

$H \rightarrow 4l$ :  
 in the region  $m_H < 141$  GeV (not excluded at 99% CL by ATLAS+CMS combination) 3 events are observed:  
 two  $2e2\mu$  events ( $m=123.6$  GeV,  $m=124.3$  GeV) and one  $4\mu$  event ( $m=124.6$  GeV)





# Combinaison de toutes les modes de décroissance de Higgs



Exclué a 95% CL

110 < m<sub>H</sub> < 122.5 GeV (except 117.5-118.5)  
129 < m<sub>H</sub> < 539 GeV

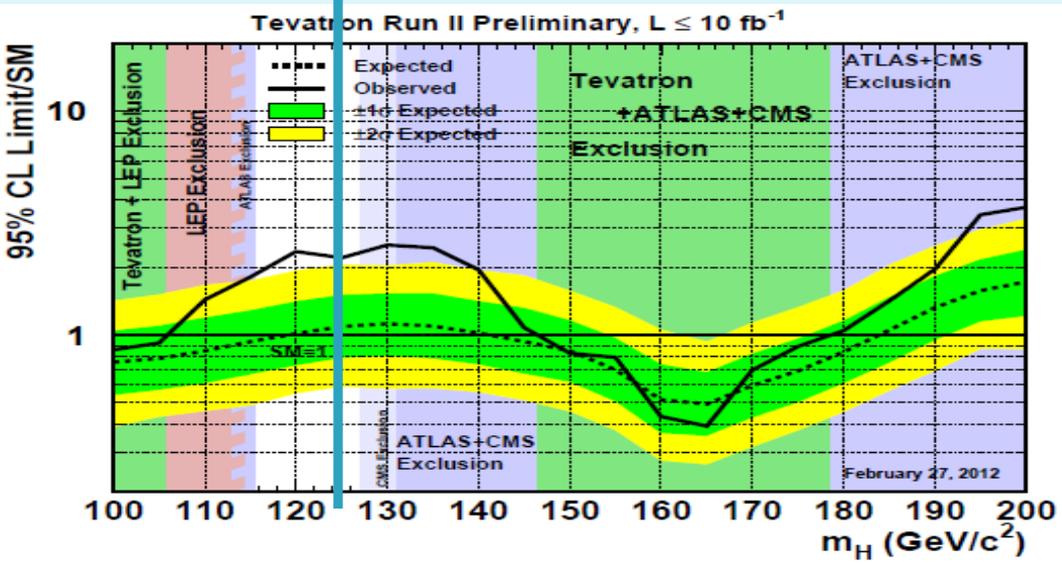
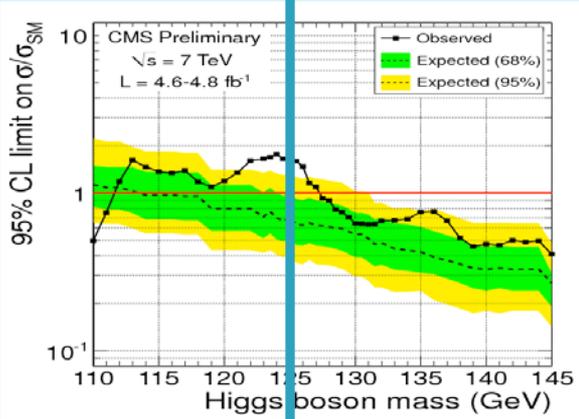
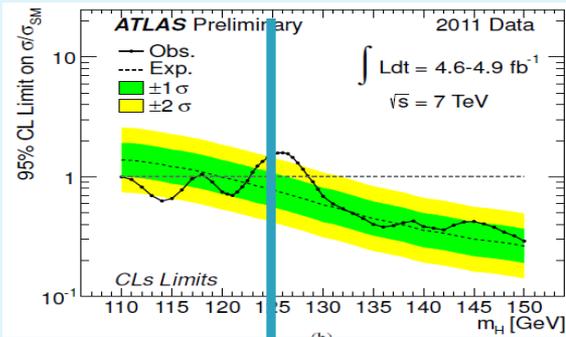
Expecté s'il n'y a pas de signal

120-555 GeV

Excluded at 99% CL

130 < m<sub>H</sub> < 486 GeV

NEW: full 2011 dataset



ATLAS et CMS excluent le boson Higgs du Modèle Standard avec un masse jusqu'à ~550 GeV hormis le domaine (117-128 GeV): excès 2.5-2.9  $\sigma$  à 125-126 GeV/c<sup>2</sup> (consistant)

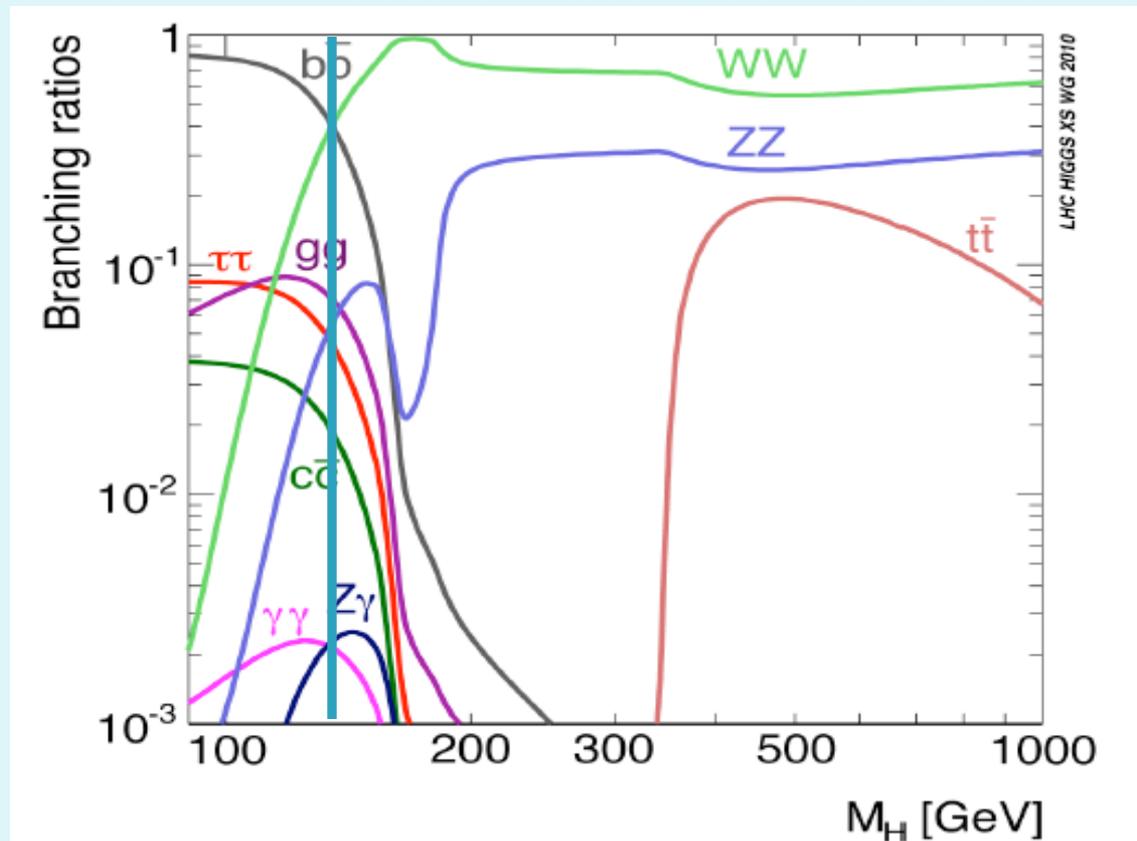
ATLAS :  $\gamma\gamma$  et ZZ  
 CMS :  $\gamma\gamma$   
 CDF+ D0 sur tout  $\bar{b}b$ &WW

Trop tôt pour prétendre une découverte mais...

!

Pour vérifier si c'est vraiment le Higgs boson du Modèle Standard qu'on pense éventuellement voir, il faut comparer les taux de décroissance de différents états finaux.

Dans ce sens, la masse de Higgs égale à 125 GeV est idéale:  $bb$ ,  $WW$ ,  $gg$ ,  $\tau\tau$ ,  $ZZ$ ,  $c\bar{c}$  sont tous au-dessus de quelques % et  $\gamma\gamma$  est  $\sim$ maximal



# Le problème de la divergence de la masse du boson Higgs (problème dit « de hiérarchie »)

Problème analogue: l'électron a une charge électrique de  $1.6 \times 10^{-19}$  Coulomb qui est confinée dans une sphère qui est plus petite que  $10^{-19}$  m. Pour amasser une telle charge dans un si petit volume il faut selon la loi de Coulomb une énergie de  $E \sim C \times q^2 / r \sim 10\,000$  MeV. Selon Einstein  $M = E/c^2$ . La masse de l'électron devrait donc être à  $10\,000$  MeV/c<sup>2</sup>. Depuis longtemps les mesures de la masse de l'électron donnent le résultat  $0.511$  MeV/c<sup>2</sup>.

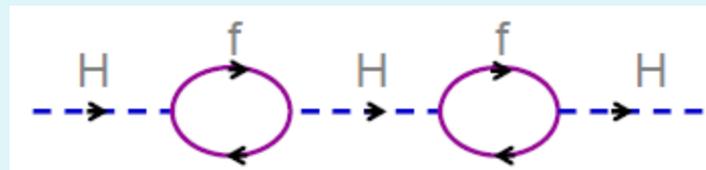
Solution au problème (Weisskopf 1939): Introduire une nouvelle particule: celui du positron (découvert en 1932). Des paires d'électron-positron virtuelles tirées de leur champs dans le vide sont amassées autour de l'électron. La charge positive du positron apporte une énergie égale à celle de l'électron mais avec le signe opposé, ce qui réduit l'énergie, et donc la masse, de l'électron à  $0.511$  MeV/c<sup>2</sup>.

$$(m_e c^2)_{obs} = (m_e c^2)_{bare} \left[ 1 + \frac{3\alpha}{4\pi} \log \frac{\hbar}{m_e c r_e} \right]$$

# Solution du problème de la divergence de la masse du boson Higgs: Introduire de nouvelles particules nommées particules supersymétrique (SUSY).

La supersymétrie est la symétrie entre les particules constituantes (les quarks et les lepton) et les particules de force (le photon, le gluon et  $W, Z$ ). Chaque particule ordinaire aurait un partenaire supersymétrique. Le partenaire SUSY de l'électron s'appelle *selectron*. Le partenaire du quark top s'appelle *stop*.

Nouveau problème: pourquoi n'a-t-on pas pu détecter ces particules SUSY? L'hypothèse est que le particules SUSY sont beaucoup plus massives que les particules ordinaires et si massives qu'elles n'ont pas encore pu être détectées au LHC. Mais il y a donc la possibilité que ces particules SUSY puissent être détectées une fois que l'intensité et l'énergie du LHC auront été augmentées suffisamment.



# Occam's Razor: Particle Physics Version

We like doubling the particle spectrum.

---

Single Blade (electron)



Twin Blade  
(electron & positron)



Multiple Blades  
(electron, positron, selectron?...)

---

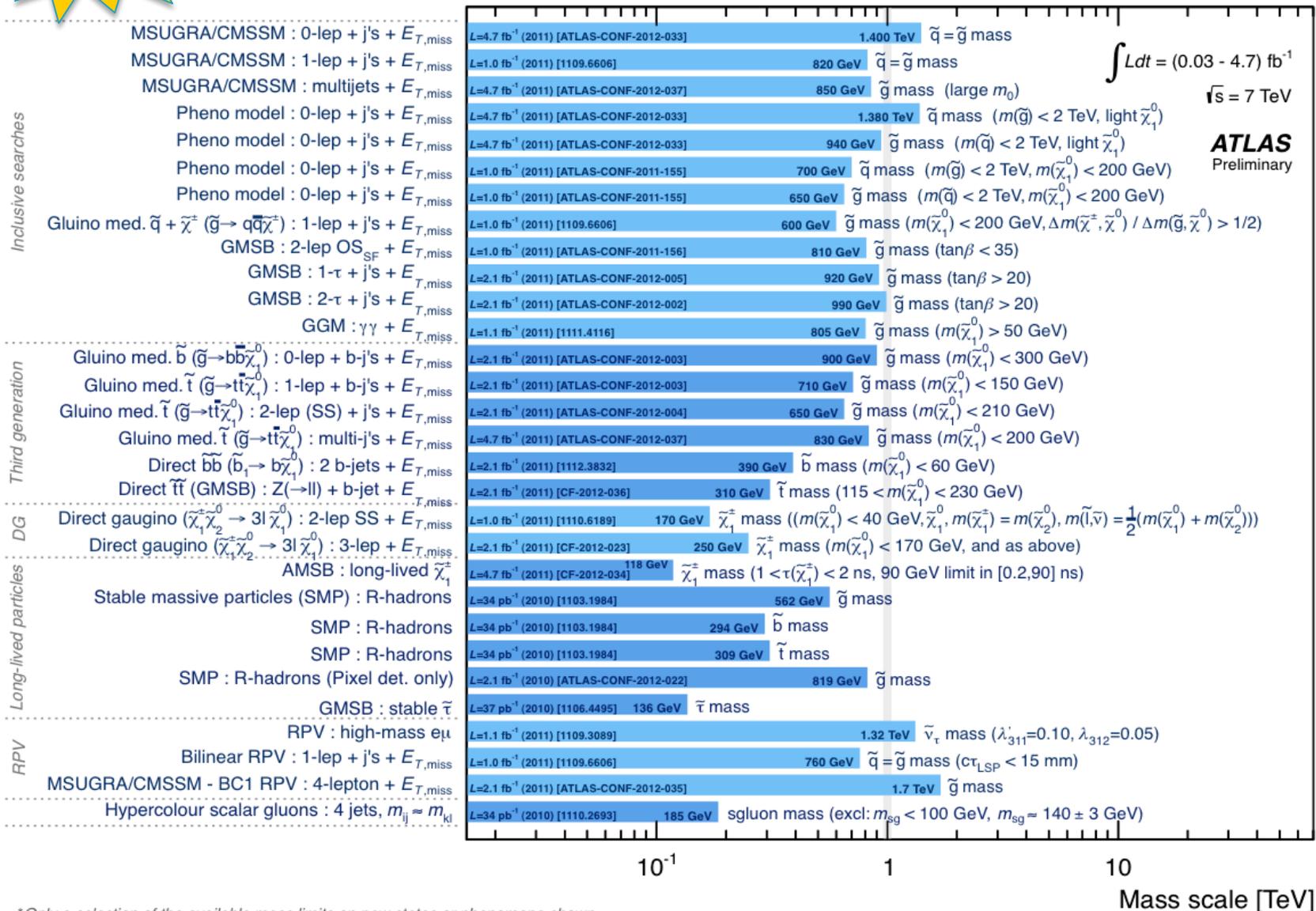
3

Sunil Somalwar, Rutgers, Blois 29-May-2012

# Résultats d'ATLAS sur la recherche des particules supersymétriques en 2011

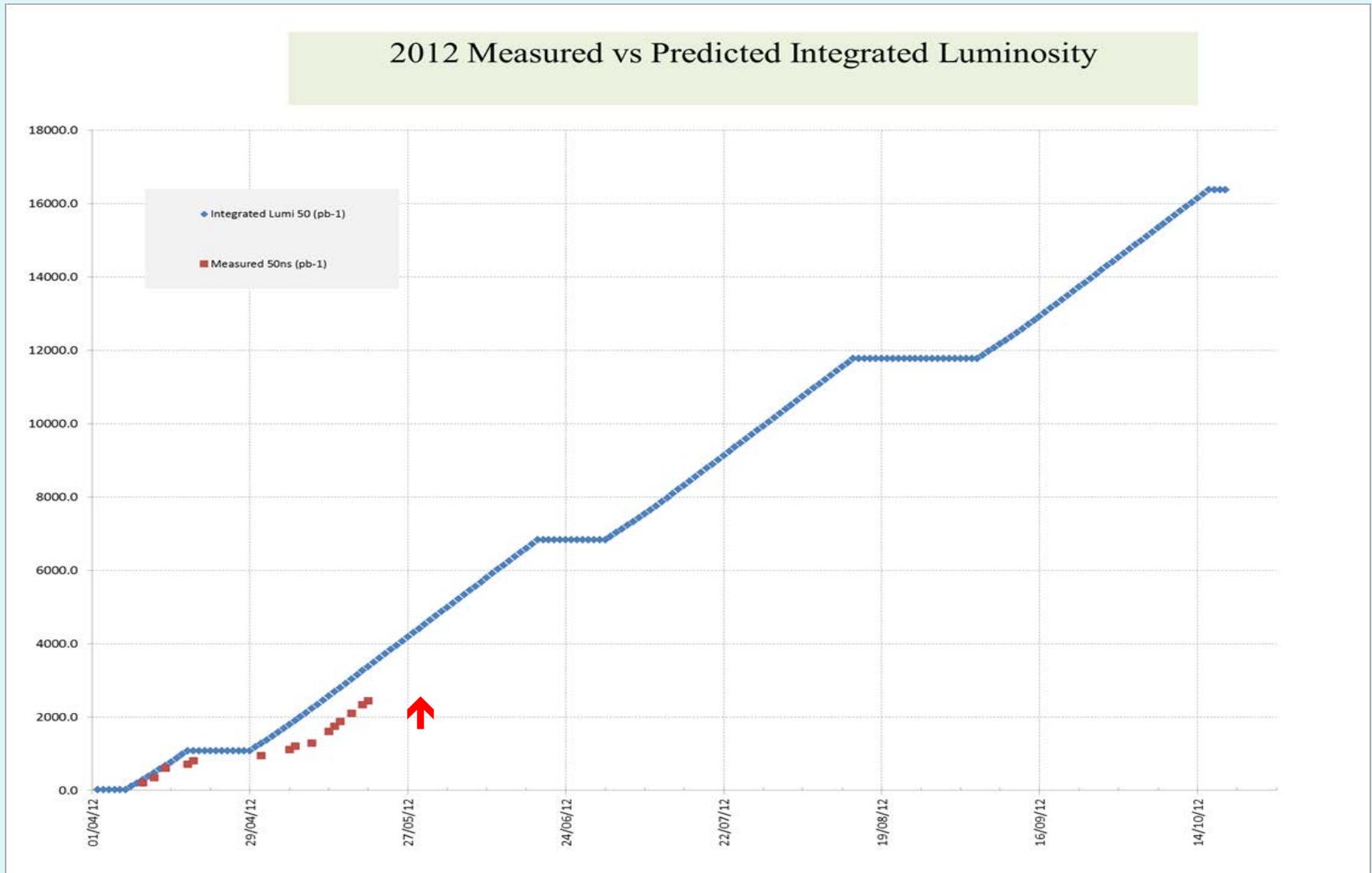
NEW

## ATLAS SUSY Searches\* - 95% CL Lower Limits (Status: Moriond QCD 2012)

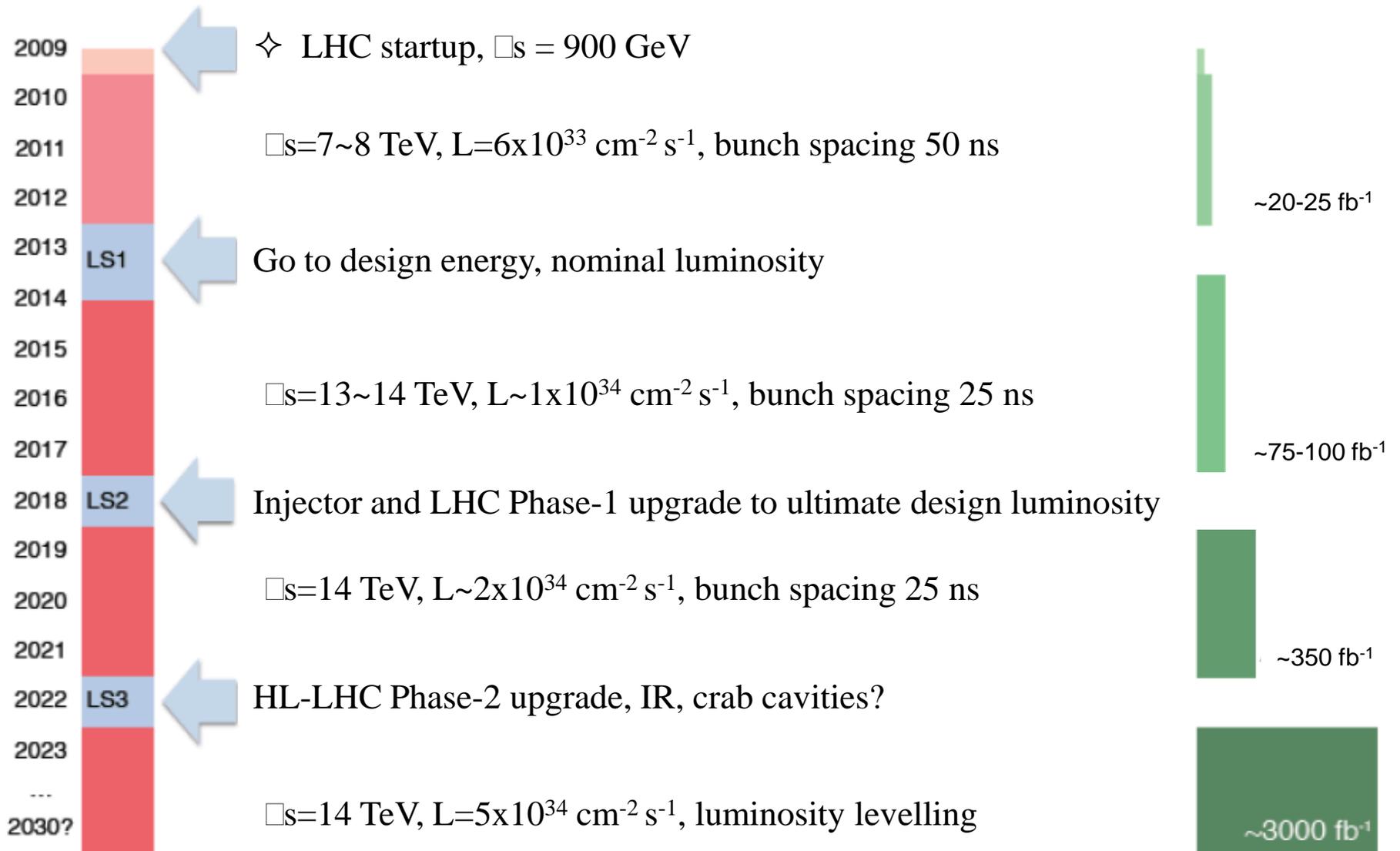


\*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena shown

# L'évolution de la luminosité du LHC en 2012



# L'évolution de la luminosité du LHC au delà de 2012



# Conclusion

Le LHC a démarré en 2010. En 2010 toutes les particules qui étaient connues déjà ont été « redécouvertes »

En 2011 des mesures de précision des particules top, W et Z ont pu être obtenues, ainsi qu'une indication possible du boson Higgs avec une masse autour de 125 GeV.

Au cours de l'année 2012 il sera possible de découvrir ou d'exclure l'existence du boson Higgs du Modèle Standard

En 2013-2014 l'énergie de faisceau du LHC sera augmentée du 4 GeV à c:a 6.5 GeV et la luminosité instantanée à peu près doublée, ce qui va permettre au courant des années suivantes de faire des mesures de précision du boson Higgs ainsi que de poursuivre la chasse aux particules supersymétriques.

En 2018 et en 2022 la luminosité sera encore augmentée avec le but d'accumuler à la fin des années 2020 une luminosité intégrée de 3000 événements par fb, ce qui est c:a 300 fois plus que nous avons aujourd'hui.

Ce que vont nous montrer ces 3000 événements par fb nous ne le savons pas, peut-être des cordelettes et des membranes....l'aventure continue vers les territoires inconnus de la structure de la matière et de ses forces.