

**Les centres d'intérêts  
du groupe IFAC**  
présentés par  
**Cyril Hugonie**

# Qu'est-ce qui nous intéresse au LUPM ?

- ❑ Etude des Modèles Standards (physique des particules + cosmologie)
- ❑ L'interaction forte et les hadrons → S. Narison
- ❑ L'origine de la masse et le boson de Higgs → M. Capdequi, C.H.
- ❑ La supersymétrie et les sparticules → A. Villanova, C.H.
- ❑ La nature de la matière noire → J. Laval
- ❑ Les origines de l'univers → K. Jedamzik
- ❑ ...

# Les 2 "infinis"

Représentation des grands et petits nombres : puissances de 10

Notation :  $10^3 = 10 \times 10 \times 10$ ,  $10^{-3} = 1 : (10 \times 10 \times 10)$

Puissance	Nombre	Symbole	Puissance	Nombre	Symbole
$10^0$	1		$10^3$	1000	k (kilo)
$10^{-3}$	0,001	m (milli)	$10^6$	1000000	M (méga)
$10^{-6}$	0,000001	$\mu$ (micro)	$10^9$	1000000000	G (giga)
$10^{-9}$	0,000000001	n (nano)	$10^{12}$	1000000000000	T (téra)
$10^{-12}$	0,000000000001	p (pico)	$10^{15}$	1000000000000000	P (péta)



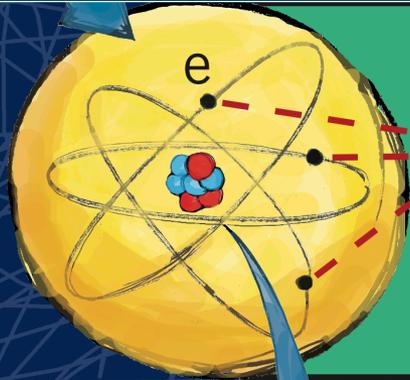
- atome  $10^{-10}$  m, fin 19<sup>ème</sup> siècle
- noyaux  $10^{-14}$  m, 1911 (Rutherford)
- proton, neutron  $10^{-15}$  m, 1932 (Chadwick)
- quarks  $< 10^{-18}$  m, 1964 (Gell-Mann)
- leptons  $< 10^{-18}$  m, 1897 (Thomson)

Le Modèle Standard de la physique des particules étudie les interactions entre les particules élémentaires :

**quarks et leptons**

# Constituants élémentaires

ATOME



**LEPTONS**

Particules insensibles à l'interaction forte.

$$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$
$$Q = -Q_e = -1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

**e**

électron

**$\nu_e$**

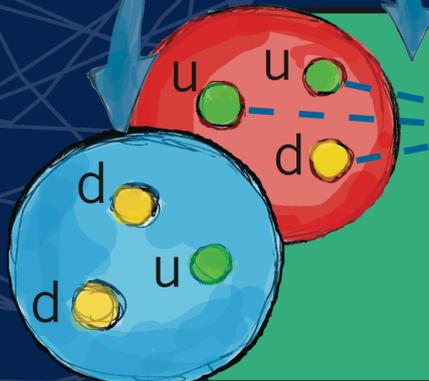
neutrino e

$$Q = 0$$

NOYAU  
ATOMIQUE



PROTON



**QUARKS**

S'assemblent en triplets ou en paires quark-antiquark pour former les nombreuses particules subatomiques.

$$Q = 2/3 Q_e$$

**u**

haut / up

**d**

bas / down

$$Q = -1/3 Q_e$$

NEUTRON

# Les 3 familles

1 <sup>re</sup> famille	2 <sup>e</sup> famille	3 <sup>e</sup> famille
<p>Les membres de la 1<sup>re</sup> famille composent l'ensemble de la matière ordinaire (protons, neutrons, atomes...).</p>	<p>Réplique plus massive et instable de la 1<sup>re</sup> famille. Le muon est ainsi 200 fois plus lourd que l'électron.</p>	<p>Réplique encore plus massive et instable de la 1<sup>re</sup> famille. Le lepton <math>\tau</math> est ainsi 3600 fois plus lourd que l'électron.</p>
<p><b>e</b> électron <math>m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}</math> <math>Q = -Q_e = -1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}</math></p>	<p><b><math>\mu</math></b> muon <math>Q = -Q_e</math></p>	<p><b><math>\tau</math></b> tau <math>Q = -Q_e</math></p>
<p><b><math>\nu_e</math></b> neutrino e <math>Q = 0</math></p>	<p><b><math>\nu_\mu</math></b> neutrino muon <math>Q = 0</math></p>	<p><b><math>\nu_\tau</math></b> neutrino tau <math>Q = 0</math></p>
<p><b>u</b> haut / up <math>Q = 2/3 Q_e</math></p>	<p><b>c</b> charme / charm <math>Q = 2/3 Q_e</math></p>	<p><b>t</b> top <math>Q = 2/3 Q_e</math></p>
<p><b>d</b> bas / down <math>Q = -1/3 Q_e</math></p>	<p><b>s</b> étrange / strange <math>Q = -1/3 Q_e</math></p>	<p><b>b</b> beau / beauty / bottom <math>Q = -1/3 Q_e</math></p>

Les particules des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> familles sont plus lourdes que celles de la 1<sup>re</sup> famille. Elles sont instables (désintégration dans des particules de la 1<sup>re</sup> famille). Elle n'existe pas dans la nature, sauf :

- univers primordial
- rayons cosmiques
- accélérateurs.

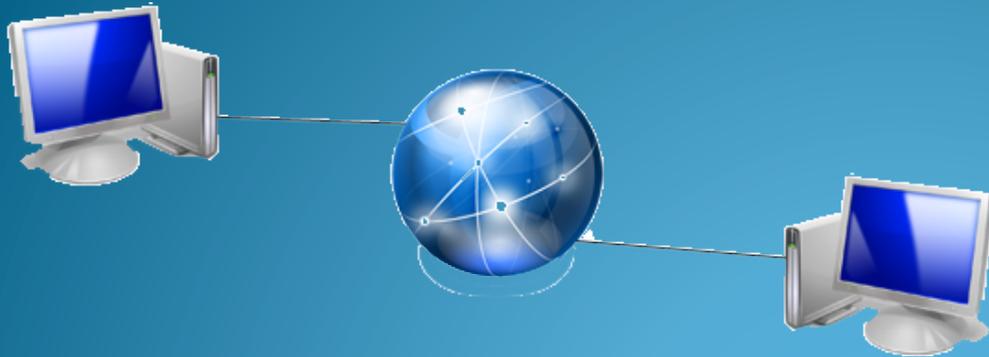
Chaque particule possède une antiparticule ayant même masse, même propriétés (interactions), charge électrique opposée.

# Interactions fondamentales

En mécanique classique (Newton, 17<sup>e</sup> siècle) l'interaction gravitationnelle entre 2 masses se fait instantanément à distance.

Selon la mécanique relativiste (Einstein, 1905) vitesse de la lumière dans le vide constante  
→ pas d'interactions instantanées.  
Elles ont lieu par échange d'une particule.

**Analogie** : 2 ordinateurs connectés à internet ne communiquent pas de façon instantanée mais par échange d'un signal électrique.



## Les bosons de jauge

### Gravitation

Attraction universelle,  
planètes, galaxies.

**GRAVITON?**

### Interaction faible

Désintégrations radioactives.

$Z^0$ ,  $W^+$ ,  $W^-$

### Interaction électromagnétique

Électricité, magnétisme,  
cohésion de l'atome et du cristal, chimie.

**PHOTON**

### Interaction forte

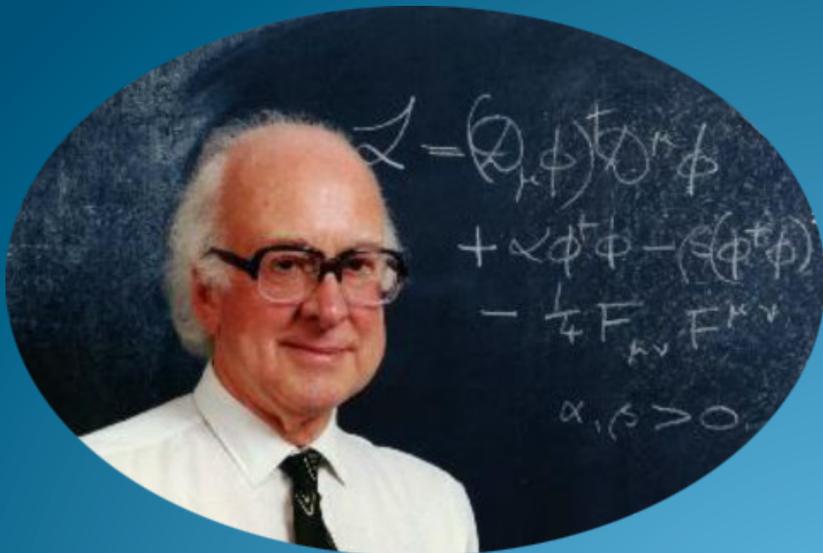
Cohésion des protons et des noyaux.

**GLUON**

# Le boson de Higgs

**Qu'est-ce que la masse ?** On ne sait pas pourquoi les quarks, les leptons et certains bosons de jauge ont une masse.

La meilleure explication trouvée jusqu'à présent est de supposer qu'un « **champ de Higgs** » remplit l'univers et que la résistance au mouvement dans ce champ mesure la masse d'une particule.



Peter Higgs, émérite à l'Université d'Edimbourg

Beaucoup de recherches ont été faites pour observer le boson de Higgs, par exemple au LEP, prédécesseur du LHC, malheureusement toutes infructueuses.

Limite sur la masse du boson de Higgs :

$$m_H > 114 \text{ GeV}$$

unité de masse = le Giga électron Volt

masse du proton = 1 GeV

# La supersymétrie

Le boson de Higgs, en plus de jouer à cache-cache avec les expérimentateurs, pose un problème théorique, le « **problème de hiérarchie** » : en sa présence, on ne peut pas étendre la validité du Modèle Standard à très haute énergie.

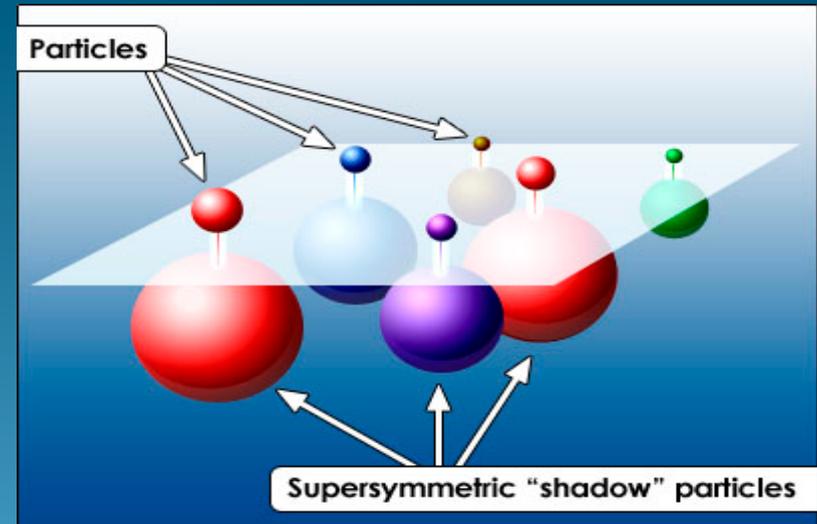
Solution : à chaque particule du Modèle Standard on associe un partenaire SUSY

quarks  $\longleftrightarrow$  squarks

leptons  $\longleftrightarrow$  sleptons

bosons de jauge  $\longleftrightarrow$  jauginos

bosons de Higgs  $\longleftrightarrow$  higgsinos

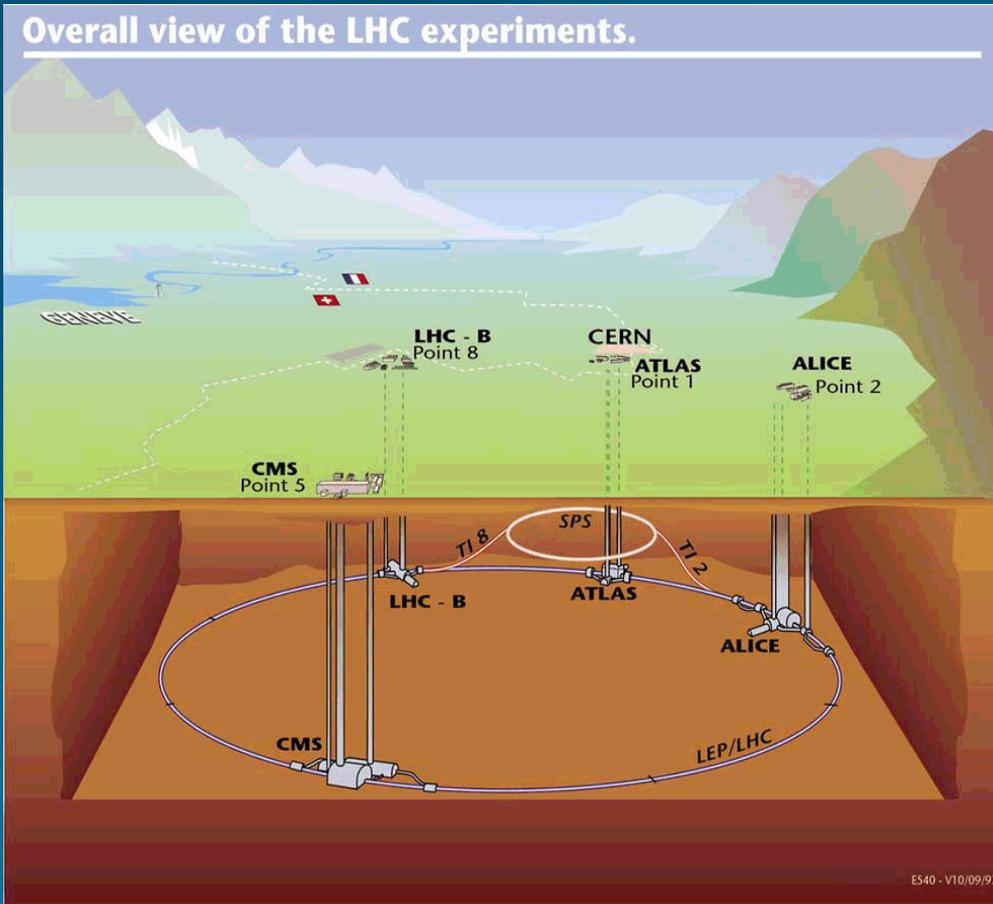


- ☺ On peut envisager une théorie unifiée des interactions fondamentales (GUT)
- ☺ On peut même y incorporer la gravitation (supergravité, supercordes)
- ☺ En prime, on obtient un candidat naturel pour la matière noire (LSP)
- ☹ **Problème** : aucune sparticule n'a été observée jusqu'à présent...

# Le Large Hadron Collider

Le plus grand et le plus complexe appareil scientifique au monde

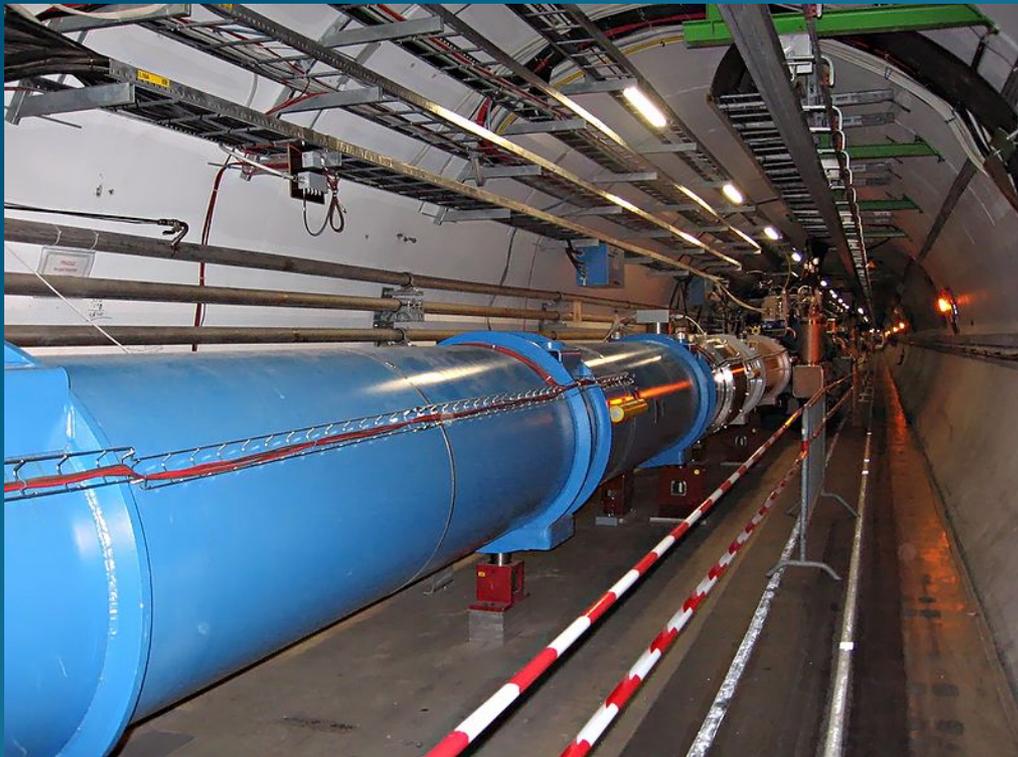
Tunnel : 27 km de circonférence, 100m de profondeur, creusé en 83-88 pour LEP (89-00)



- En discussion dans les années 80
- Projet approuvé en 1994
- En construction de 2000 à 2008
- Coût total ~ 5 milliards €
- Mise en route le 10/09/2008
- Première collision le 20/11/2009
- 2 faisceaux de protons chacun accéléré à une énergie de 7 TeV (pour l'instant 3.5 TeV)
- Collisions dans 4 détecteurs : ATLAS, CMS, LHCb, ALICE

# L'accélérateur

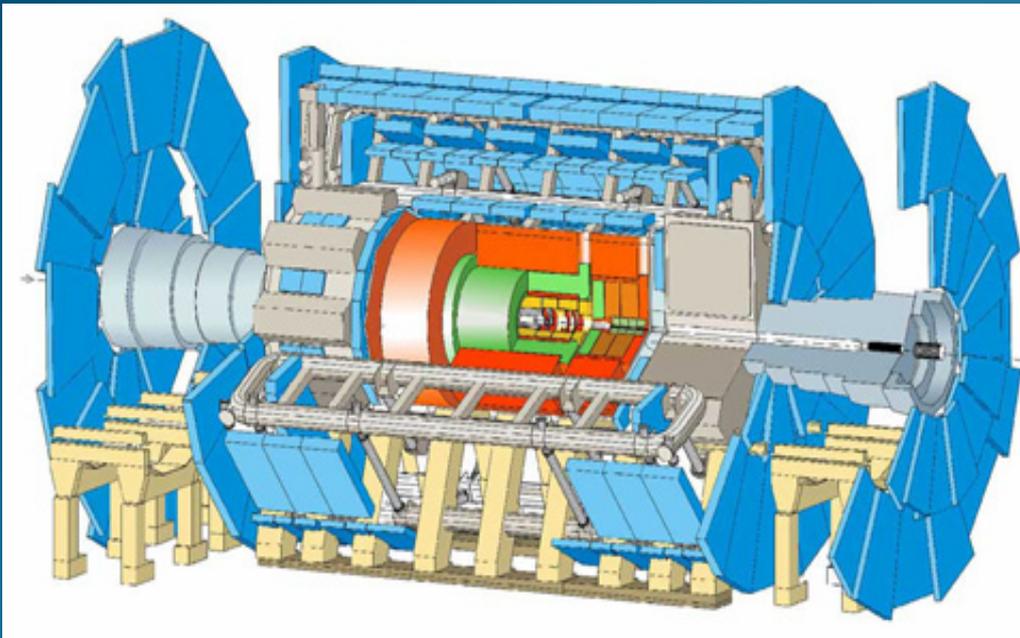
Près de 9600 électroaimants, servant à accélérer et courber les faisceaux, les plus gros mesurant 14 m et pesant 34 t. Aimants supraconducteurs (courant de 12 kA) refroidis à  $-271^{\circ}\text{C}$  par de l'Hélium superfluide dans l'ultravide ( $10^{-13}$  atm) fournissant un champ magnétique de 8.3 Tesla.



- La vitesse des protons est égale à 99.999999% de celle de la lumière
- Chaque faisceau = 3000 paquets  
1 paquet = 100 milliards de protons
- ⇒ Energie du faisceau = 300 MJ  
(= rame de TGV à 200 km/h)
- Tours par seconde : 11 250  
Collisions par seconde : 600M
- Données gérées par la « grille »  
flux ~ 10 Gb par seconde  
quantité annuelle ~ 15 Po

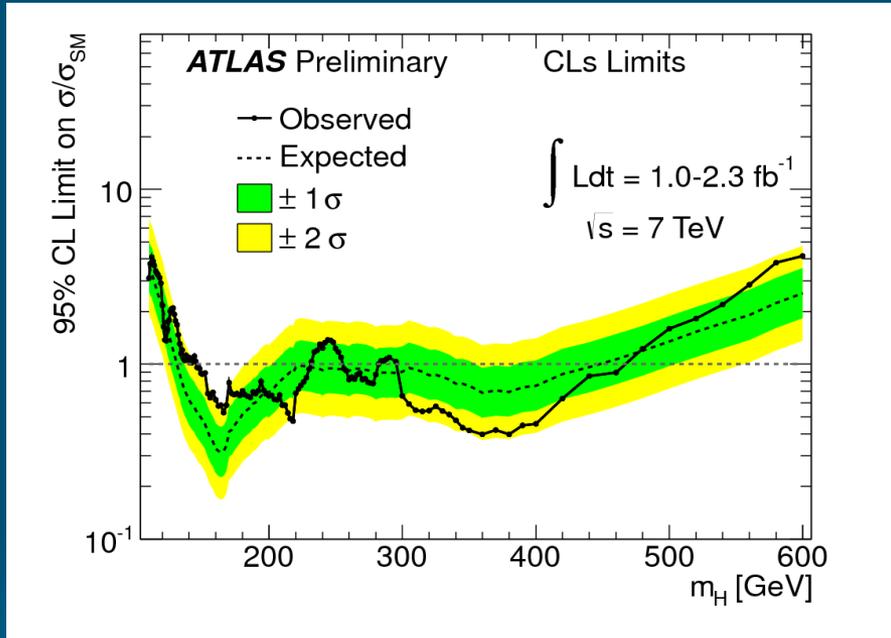
# Les détecteurs

Lors de la collision de 2 protons, l'énergie cinétique liée à leur vitesse peut se transformer en masse ( $E=mc^2$  !). Dans ce cas des particules massives sont créées (2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> génération, boson de Higgs, sparticules). Ces particules étant instables, elles se désintègrent rapidement en particules plus légères (électrons, photons, etc...) que l'on cherche à identifier grâce à des détecteurs de particules. Exemple : **ATLAS**

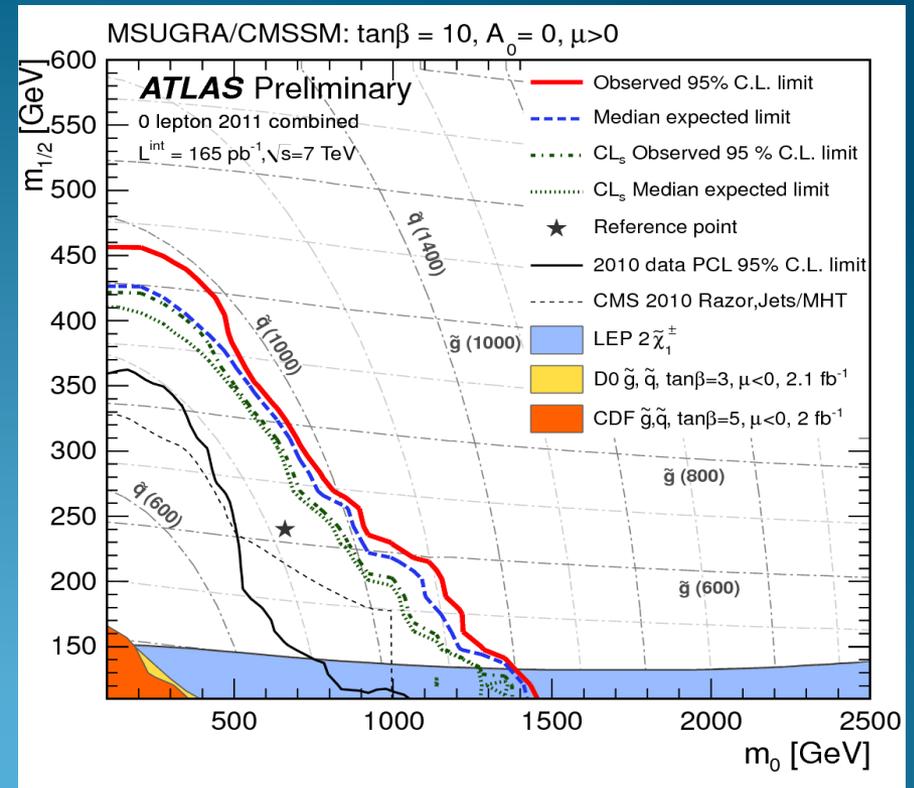


- Dimension : 45m x 25m x 25m
- Poids : 7000 t
- Coût : 450 M€
- 1900 chercheurs, 164 laboratoires  
35 pays (le soleil ne se couche jamais)
- Objets principaux de recherche :
  - boson de Higgs
  - supersymétrie.

# Premiers résultats



## Pas de Higgs...



## ... ni de SUSY