

# Centre de physique des particules de Marseille (CPPM)

Un laboratoire au coeur de l'Univers et de la matière



# Le CPPM



# Le Centre de Physique des Particules de Marseille

Les tutelles :

- ▶ le CNRS/IN2P3

Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules

- ▶ Aix-Marseille Université



Le personnel : ~ 160 personnes

- ▶ ~25 chercheurs + ~10 enseignants-chercheurs
- ▶ ~70 ITA (ingénieurs, techniciens, administratifs)
- ▶ 50 non permanents (visiteurs, post-doctorants, doctorants, stagiaires)

Les laboratoires de l'IN2P3 :



# Vocation

## ▶ Recherche fondamentale

- Physique des particules

étude des constituants élémentaires de la matière et de leurs interactions

- Astroparticules

observation des particules élémentaires dans l'Univers

- Cosmologie observationnelle

compréhension de la composition de l'Univers primordial et de son évolution

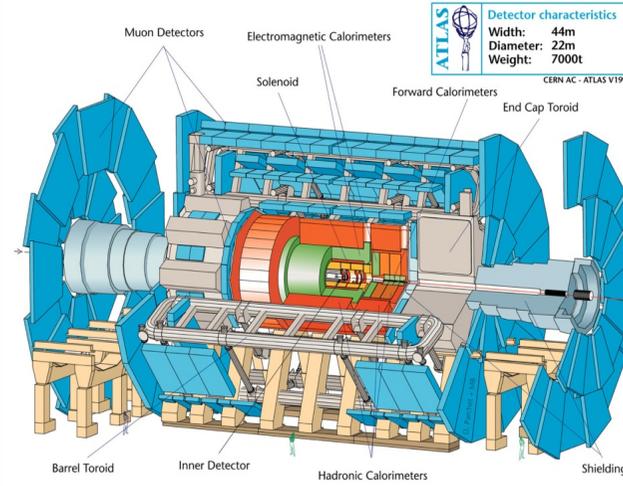
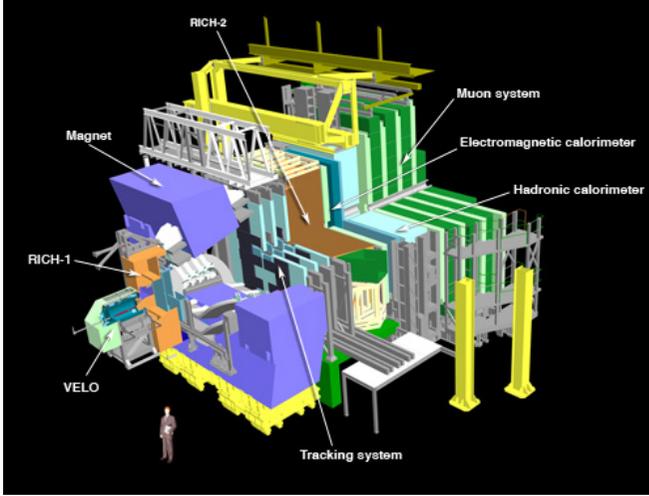
## ▶ Expérimentale

- Participation à de grands projets internationaux

- Mise en œuvre de moyens techniques avancés en électronique, en mécanique, en informatique et en instrumentation

## ▶ Sociétale (interdisciplinarité & valorisation)

- Application des techniques développées pour la physique fondamentale à d'autres thématiques (e.g. imagerie biomédicale)



### Auprès d'accélérateurs :

- ▶ H1 @ HERA (Hambourg)  
e-p [300 GeV]
- ▶ D0 @ Tevatron (Chicago)  
p-p [2 TeV]
- ▶ ATLAS & LHCb @ LHC (Genève)  
p-p [8 TeV]

### En profondeur :

- ▶ sous les montagnes : SuperNemo (Modane)
- ▶ fond marin : Antares, MEUST, KM3NeT (Toulon)

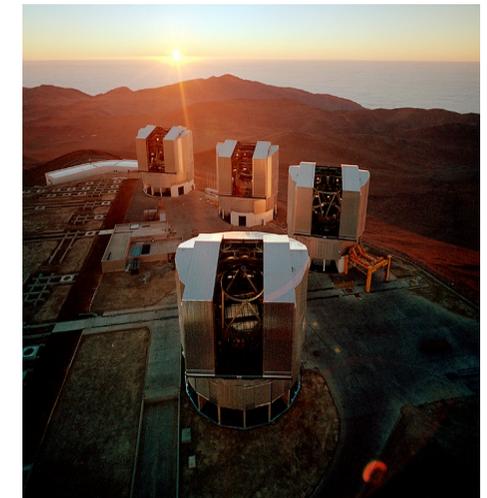
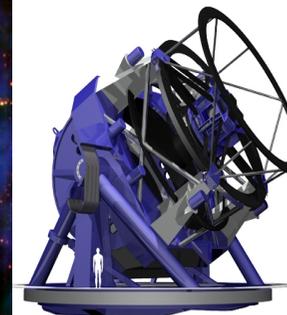
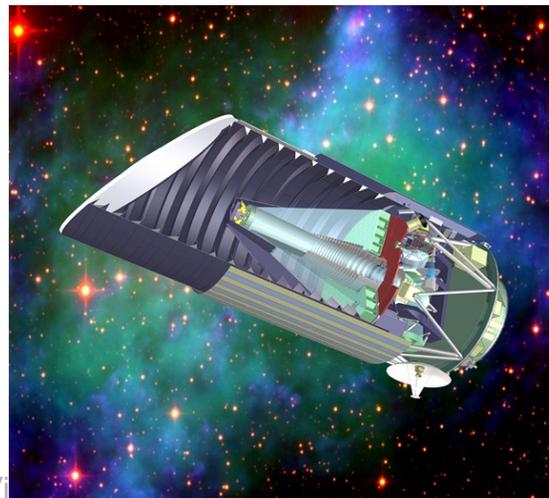
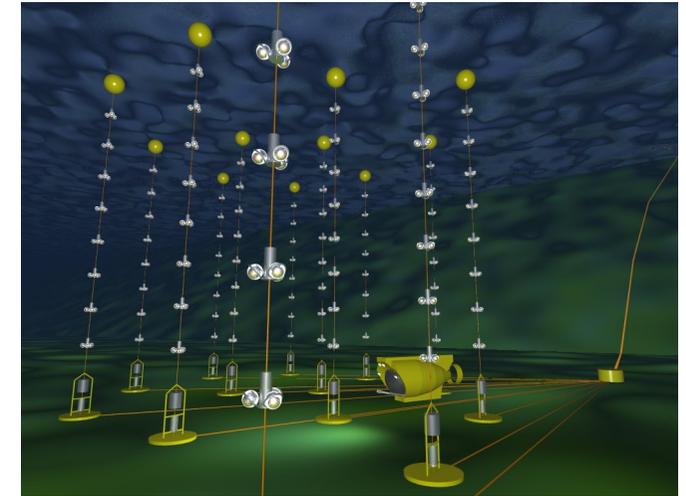
### Face au ciel :

- ▶ dans le désert : CTA (Namibie)
- ▶ au sommet des montagnes : SNLS, SNFactory, BOSS, LLST
- ▶ dans l'espace : EUCLID

Etude des constituants élémentaires  
Recherche de nouvelle physique

Astronomie  
Approche multi-messagers

Caractérisation de l'énergie noire  
Approche multi-sondes



# Compétences techniques

Micro-électronique planaire et 3D, y compris résistante aux radiations

- Détecteurs à pixels hybrides pour la physique des particules (ATLAS)
- Transfert vers l'imagerie à rayons X (imXgam) => 4 brevets  
création startup



Acquisition et traitement de très grandes quantités de données

Acquisition rapide et transmissions sur fibres optiques (LHCb)

- Conception générique pour pouvoir être transférée et valorisée

Caractérisation de détecteurs infrarouge pour le spatial (RENOIR)

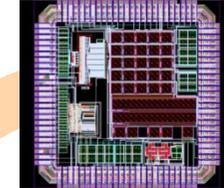
- Laboratoire bien identifié par le CNES et l'ESA

Infrastructures sous-marines (ANTARES)

- Systèmes en équipression
- Connectique sous-marine => 2 brevets;  
startup Powersea, intérêt des industriels  
(pétroliers et énergies renouvelables)



Electronique



DAQ/info



Instrumentation



Très Fortes  
Compétences  
Techniques

Mécanique



# La physique des particules

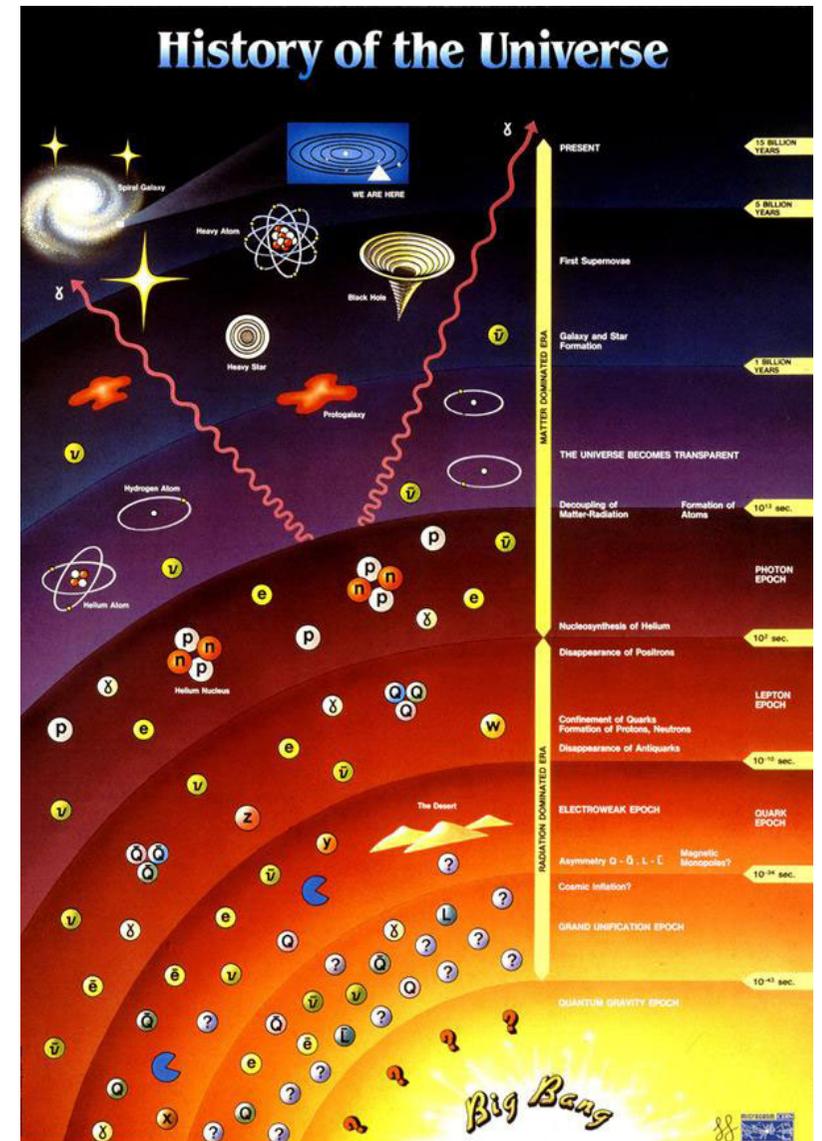
Étude des **constituants élémentaires** de la matière et de leurs **interactions**

- ▶ **constituants élémentaires** : « particules » sans structure interne
- ▶ **interactions** : les forces qui s'exercent entre ces composants élémentaires

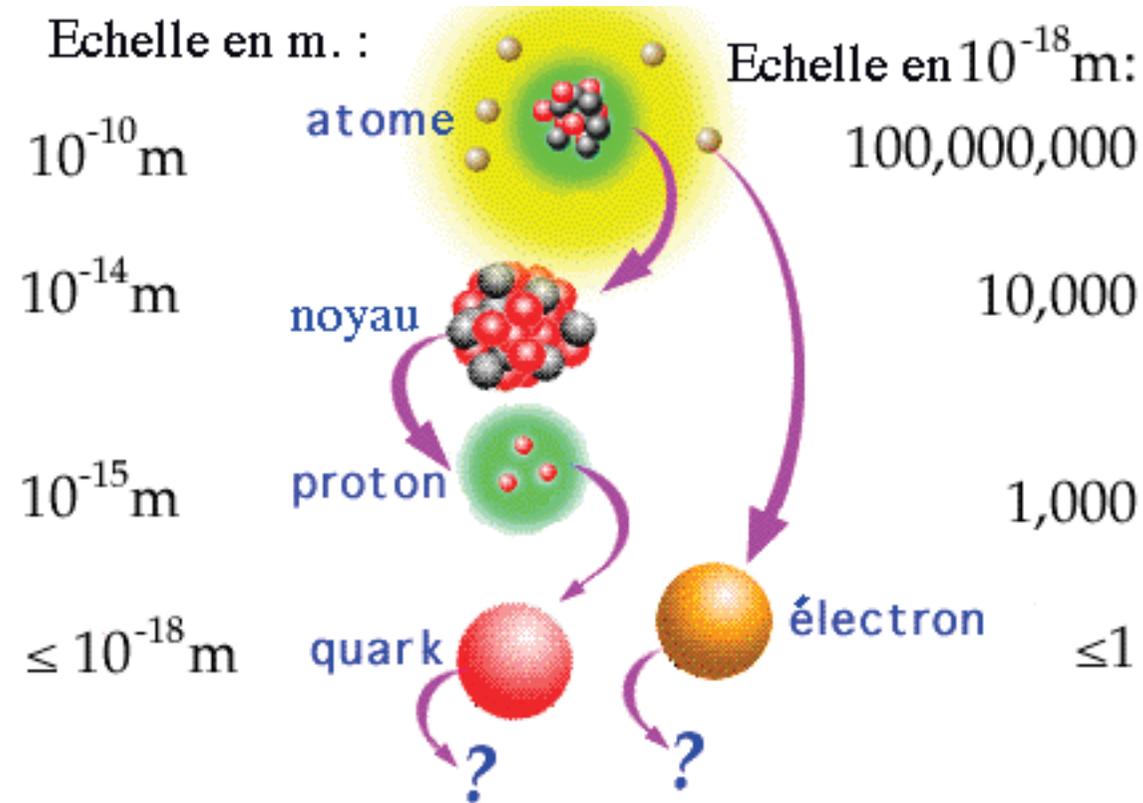
Présentes dans l'univers primordial, dense et chaud

Dans l'univers « froid » d'aujourd'hui, la plupart de ces particules ont maintenant disparu

- ▶ **créées artificiellement dans des accélérateurs (collisionneurs) de particules** qui reproduisent les conditions existant aux premiers instants de l'univers
  - **plus on accélère les particules, plus on met d'énergie en jeu, plus on remonte dans le temps**

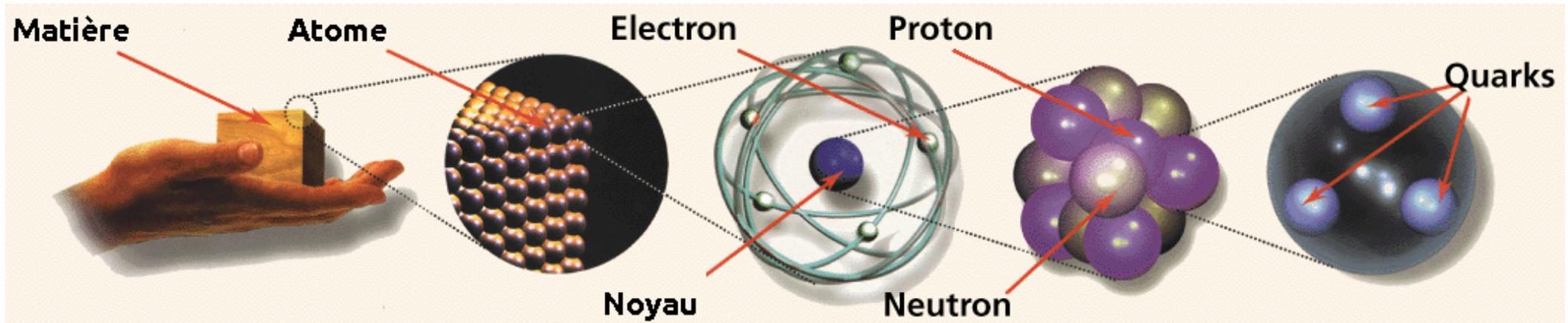


# Échelle des distances en physique des particules

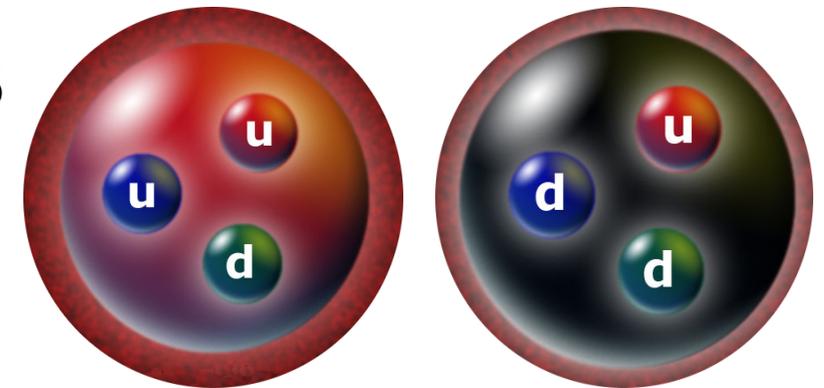


Si protons et neutrons étaient à **10 cm** l'un de l'autre, un quark ou un électron mesurerait **moins de 0,1 mm** et un atome environ **10 km**

# De quoi est fait l'Univers visible ?

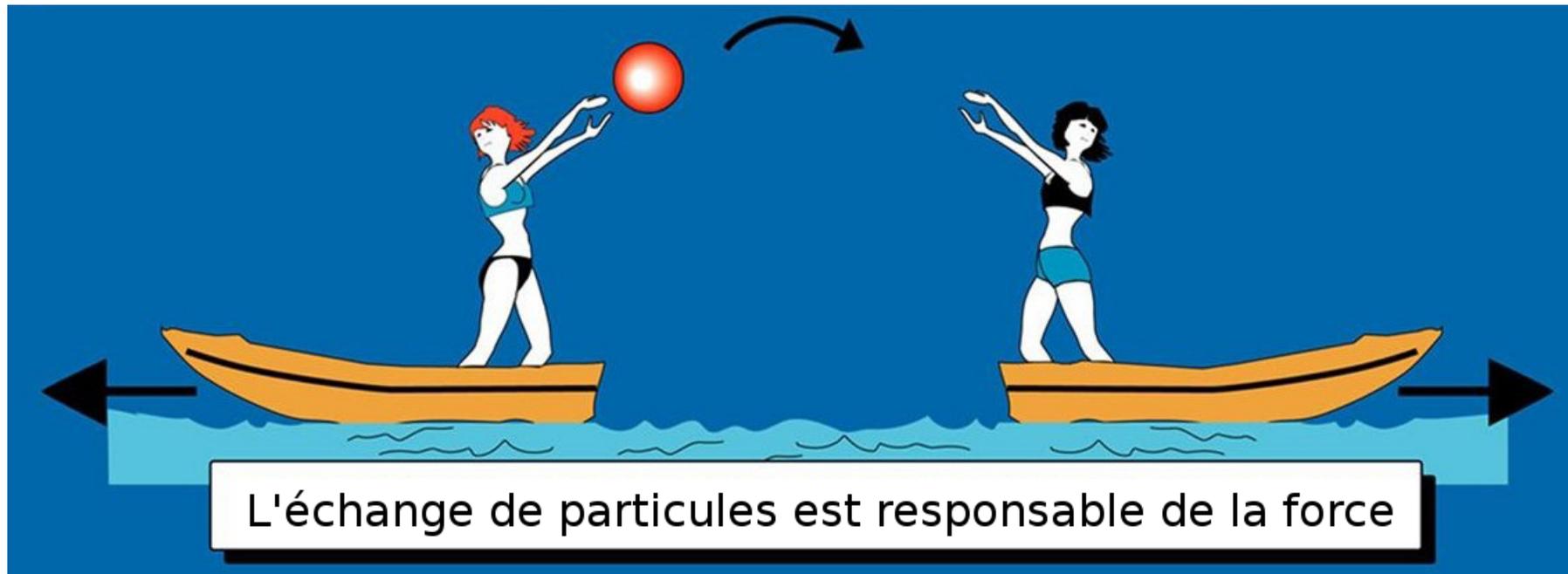


- Toute la matière visible, des galaxies aux virus en passant par les êtres humains, est faite de **quarks up** ( $u$ ) et **down** ( $d$ ) et d'**électrons**
- Protons et neutrons sont faits de 3 quarks
- Ils composent les noyaux
- Les électrons gravitent autour des noyaux
- Des **neutrinos** sont émis dans les réactions nucléaires au cœur des étoiles

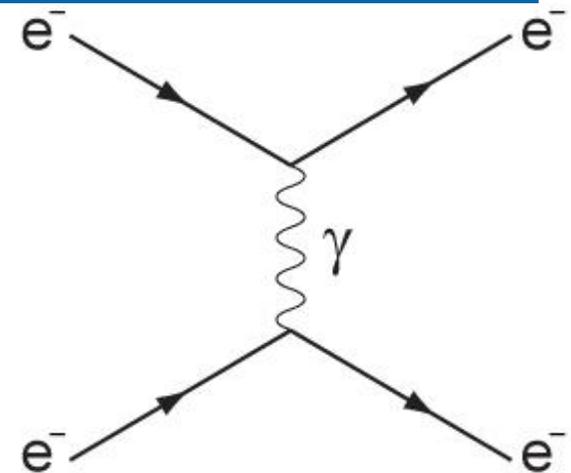


# Interaction fondamentale

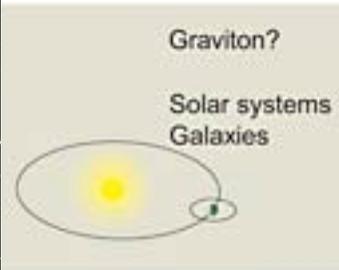
Échange de particules (bosons) entre particules de matière (fermions, comme les quarks ou les électrons)



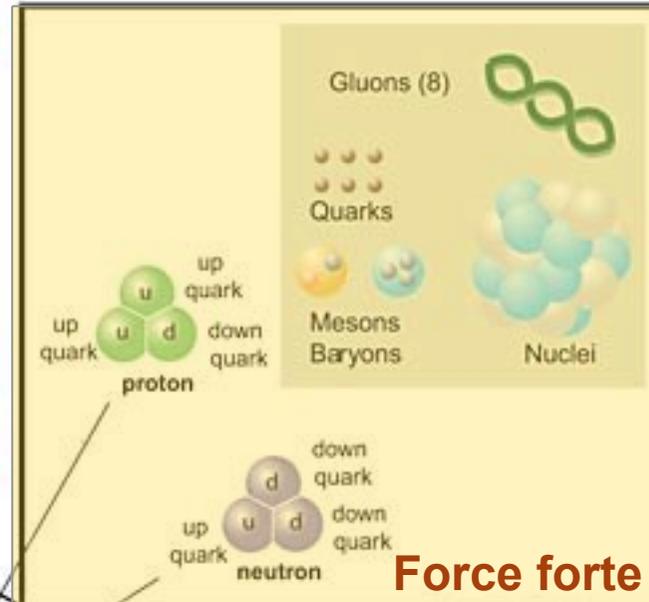
En physique des particules :



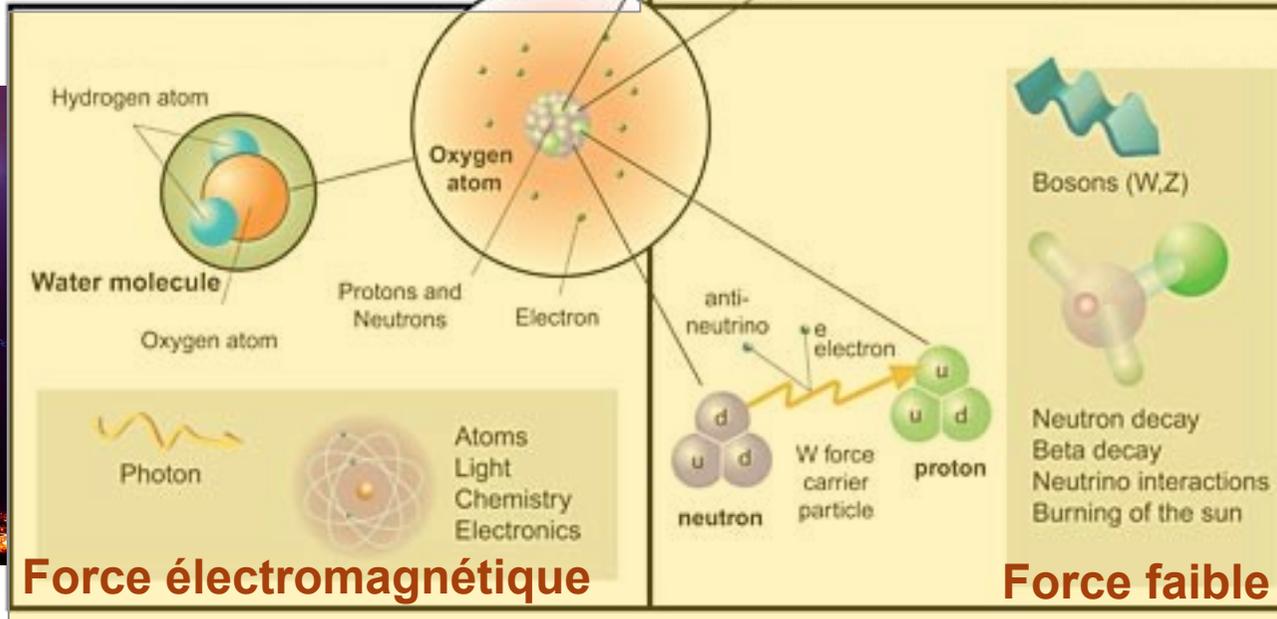
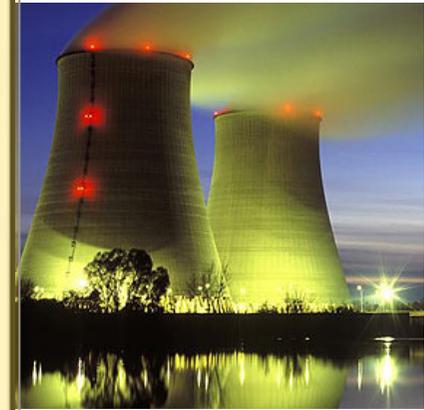
# Les forces



**Force gravitationnelle**

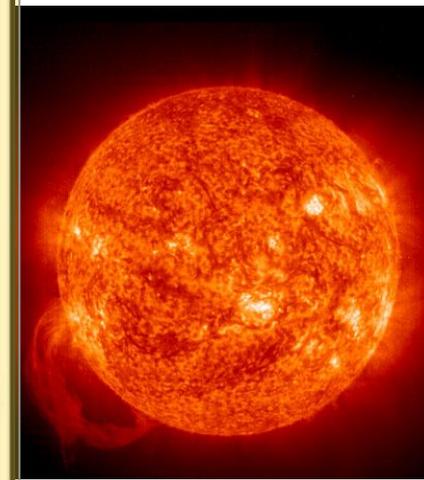


**Force forte**



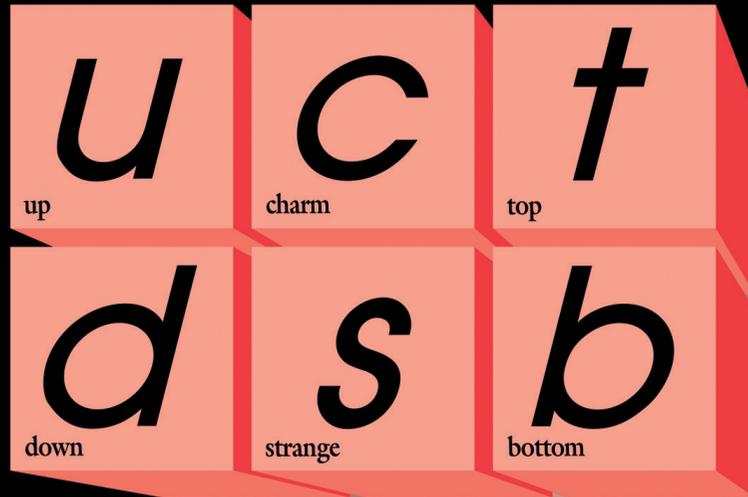
**Force électromagnétique**

**Force faible**

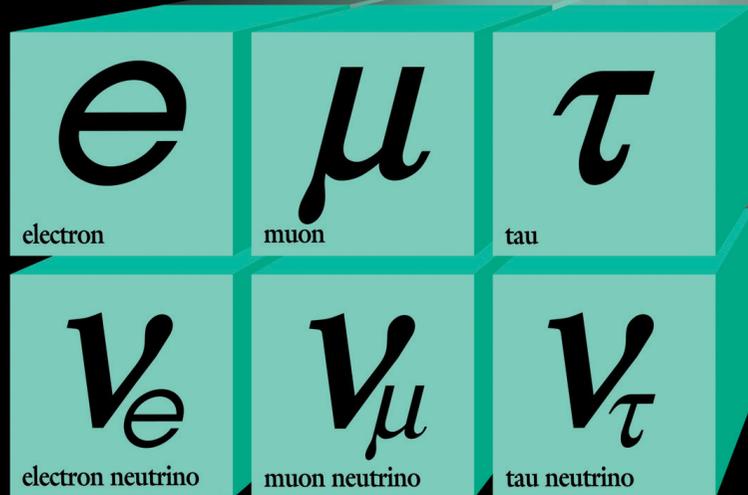


# Le modèle standard

## Quarks

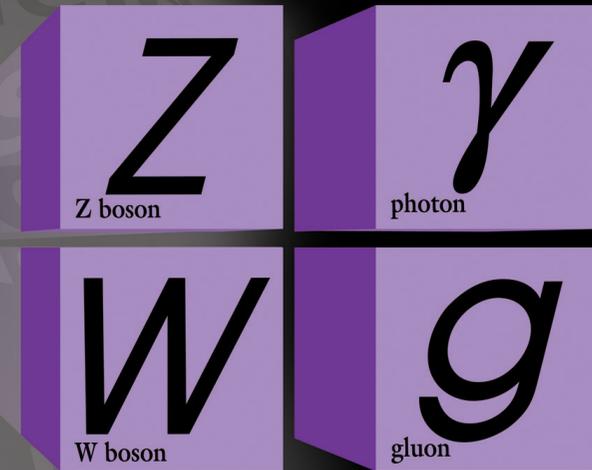


+ anti-matière



## Leptons

## Forces



Toutes ces particules ont une masse nulle, c'est contraire à l'expérience...

Solution : rajouter un champ de Higgs

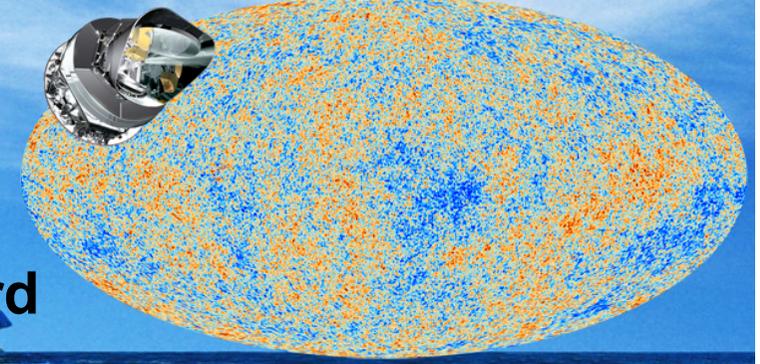
# C'est tout ?

Planck, mars 2013

Nous et l'Univers visible



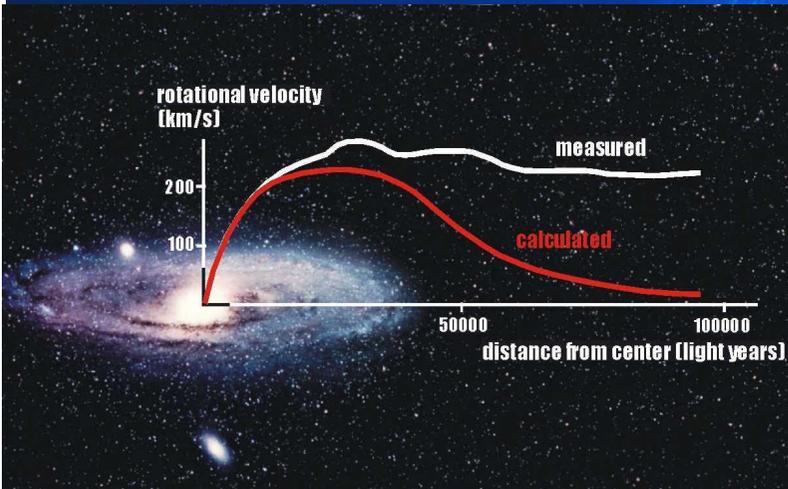
5% Modèle standard



27% Matière noire



- On ne sait pas ce que c'est mais on croit savoir que c'est là
- Candidats observables au LHC (supersymétrie, ... ) ?

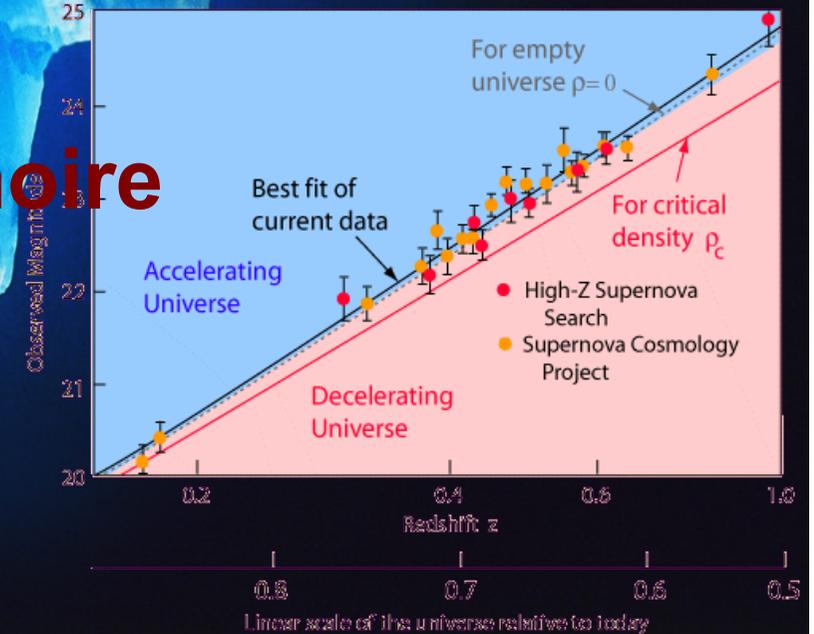


Distant Type Ia Supernovae

68% Énergie noire



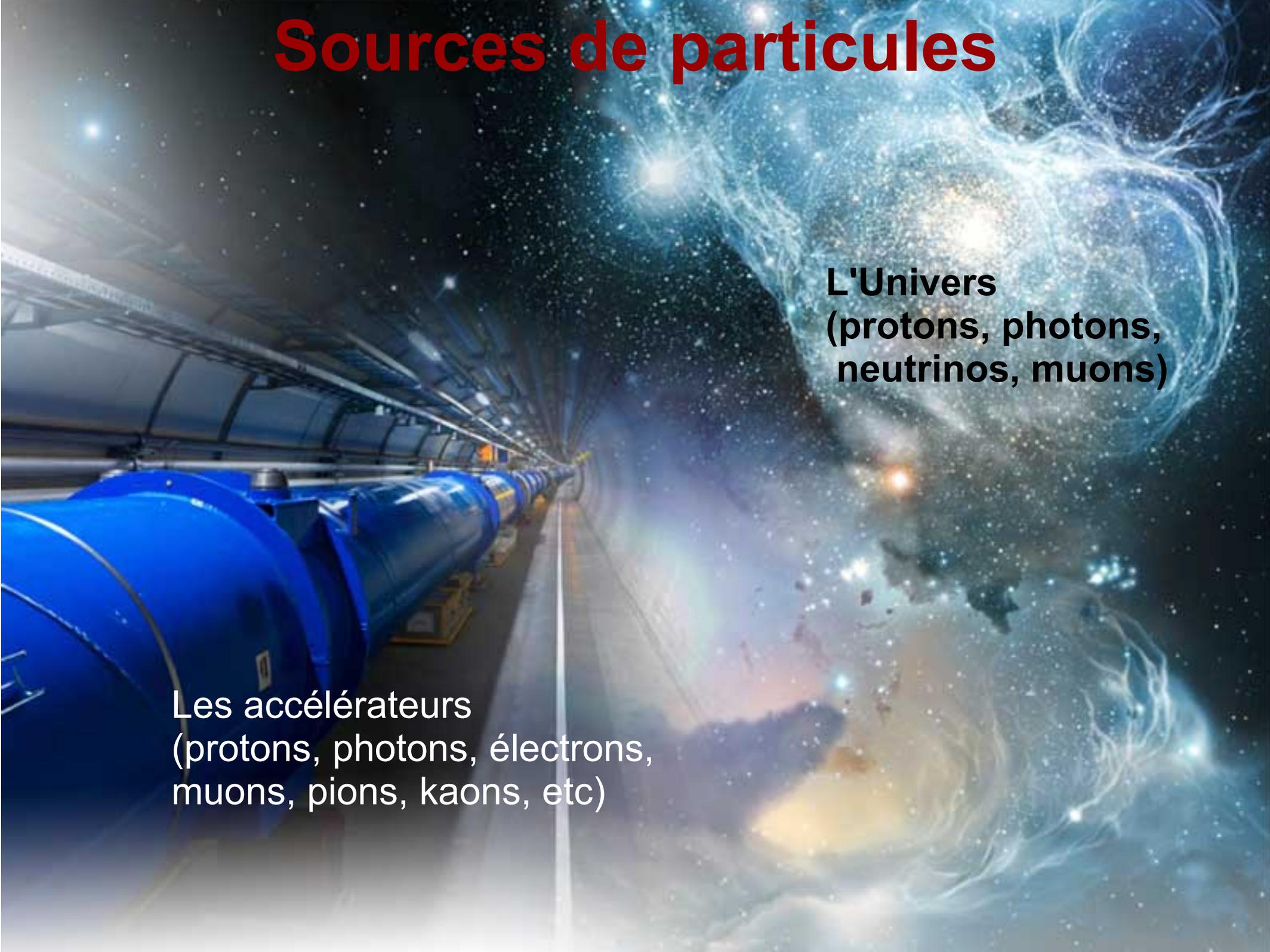
Pas la moindre idée de son origine !



# Sources de particules

**L'Univers**  
(protons, photons,  
neutrinos, muons)

**Les accélérateurs**  
(protons, photons, électrons,  
muons, pions, kaons, etc)





# Le CERN



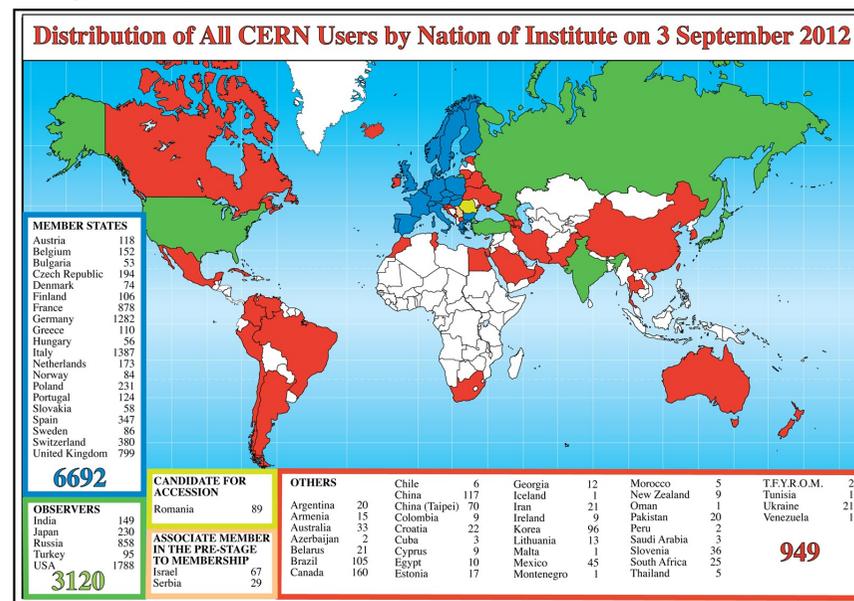
*Organisation européenne pour la recherche nucléaire*

Le laboratoire européen pour la physique des particules

- Organisation internationale
- Créée en 1954 (festivités pour ses 60 ans cette année)
- 21 états membres
- emploie ~2500 personnes
- ~10000 utilisateurs

- 500 instituts
- 80 pays

Formidable lieu de collaboration internationale  
... et d'incubation pour les technologies de l'information



# Le LHC : la machine à superlatifs

Longueur des câbles supraconducteurs :  
assez pour 5 aller-retours Terre-soleil

1232 dipôles.  
Un dipôle :  
15 m de long  
35 tonnes

Vide presque parfait ( $10^{-13}$  atm) et  
pression 10 fois plus faible  
que sur la Lune

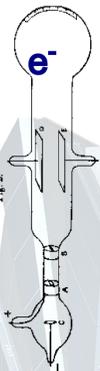
Le plus grand congélateur : 1,9 K (-271 °C),  
à l'échelle de 100 K

Énergie du faisceau : TGV à 150 km/h.  
Chaque proton a l'énergie d'un moustique en vol,  
mais il y en a 2800 paquets de 100 milliards !

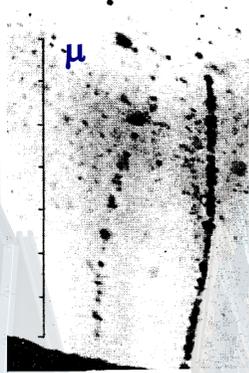
# Le modèle standard redécouvert

## LHC 2010 : un siècle en un an

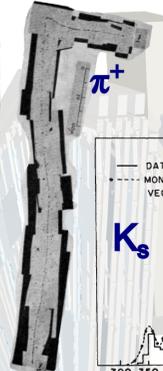
Découverte historique



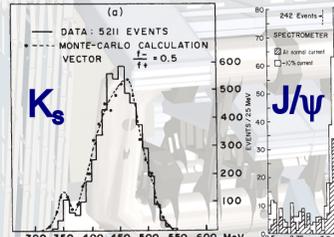
1897



1937



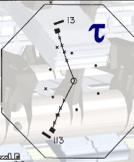
1947



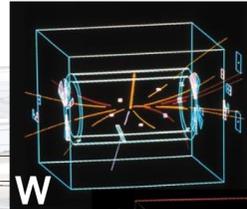
1964



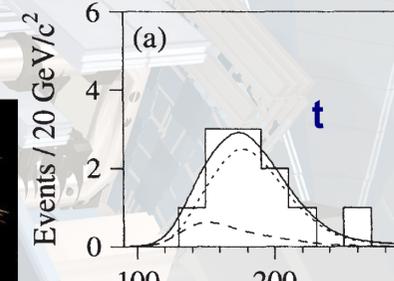
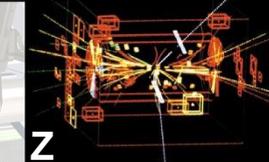
1974



1976



1983

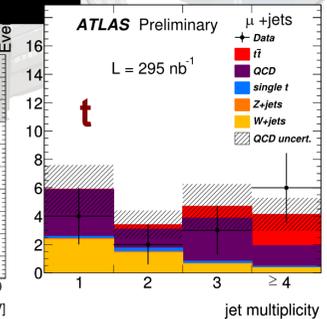
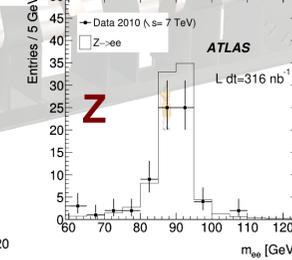
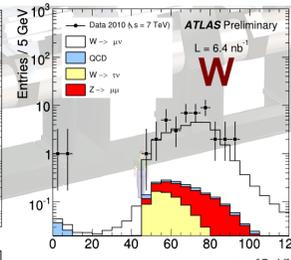
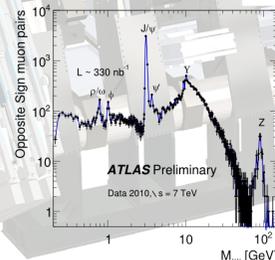
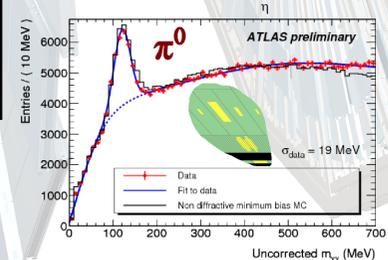
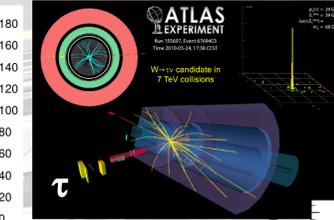
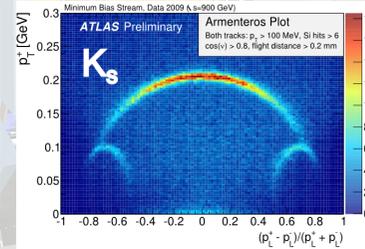
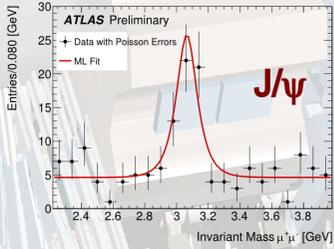
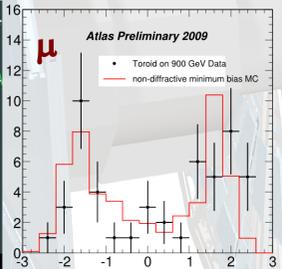
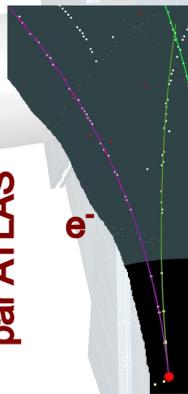


1995

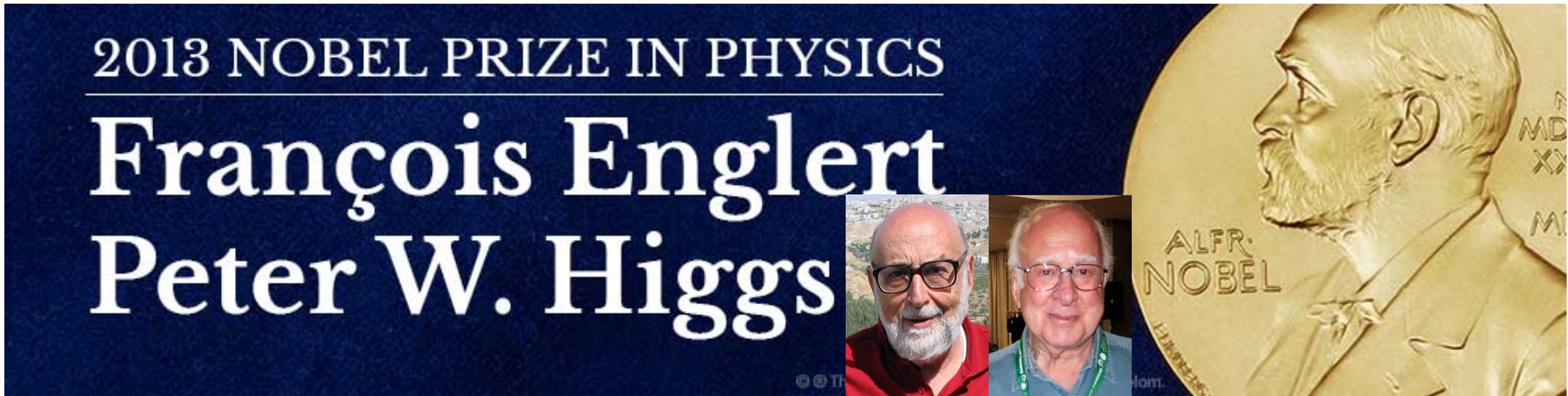
déc 2009

août 2010

Redécouverte par ATLAS



# Prix Nobel de physique 2013



« 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 du CERN ?

Raison d'être : curiosité humaine pour comprendre le monde qui nous entoure

Applications :

- Concepts théoriques comme l'antimatière utilisés dans les scanners TEP
- Technologie des détecteurs utilisée en médecine
- Faisceaux utilisés en hadronthérapie

Plus inattendu :

- Grille de calcul
- Isolation des panneaux solaires de l'aéroport de Genève

► **Le Web a été inventé au CERN !**



# Programme de la journée

## La parole aux doctorant(e)s

- Sébastien Kahn : ATLAS (recherche de la supersymétrie)
- Aurore Mathieu : ANTARES (astronomie neutrinos)
- Margaux Hamonet : imXgam (imagerie médicale)

## 10 h 30: Pause café

- Walaa Kanso : LHCb (violation de CP)
- Benoît Serra : EUCLID (cartographie de la géométrie de l'univers sombre)
- Raymond Noel: SuperNemo (purification du Radon)

## 12 h: Pause de midi

# Programme de l'après-midi

## 14 h: Visites du CPPM (4 groupes, 1/2 h par poste)

- EUCLID: Aurélia Secroun (IR)
- MEUST: Sylvain Henry (IR)
- Salle d'imagerie: Margaux Hamonet (doctorante)
- DAQ LHCb: Jean-Pierre Cachemiche (IR)

## 16 h: Pause café

- Film sur l'histoire et les retombées sociétales de l'expérience ATLAS (20 min)
- Emargement, discussion et conclusions

## 17 h: Fin de la journée

# Thèmes pour les rapports

- **Astronomie neutrino : des télescopes par grands fonds**
- **Recherche de particules supersymétriques dans l'expérience ATLAS**
- **Tomographie par émission de positons : une application de la physique des particules**
- **Cartographie de la géométrie de l'univers sombre : qui sont les messagers ?**
- **Etude de la symétrie matière-antimatière : la violation de CP**
- **Purification du Radon dans l'expérience SuperNemo : une affaire de chimiste**