



Laboratoire d'Anecy-le-Vieux
de Physique des Particules



Présentation du **LAPP** et de la **Physique des Particules**

Vincent Tisserand

Visite Lycée Arnaut Daniel (Ribérac)

le 17 Septembre 2012



Plan

- **Votre visite**
- **Présentation du laboratoire**
- **La physique des particules**
- **Le 4 juillet 2012 au CERN**

Votre visite:

A l'auditorium

9h15-09h40: VT : introduction des activités du LAPP et à la Physique des particules

Dans le patio exposition permanente

25' : Laurent Basara: les rayons cosmiques (chambre à brouillard et étincelles)

Dans la salle des fourmis (vieux bâtiment)

25' : Vincent Poireau et Sabines Elles: Simulation et informatique

Dans la salle du Parleman (vieux bâtiment)

25' : Stéphane Jézéquel et Nicolas Dumont-Dayot: ATLAS et électronique

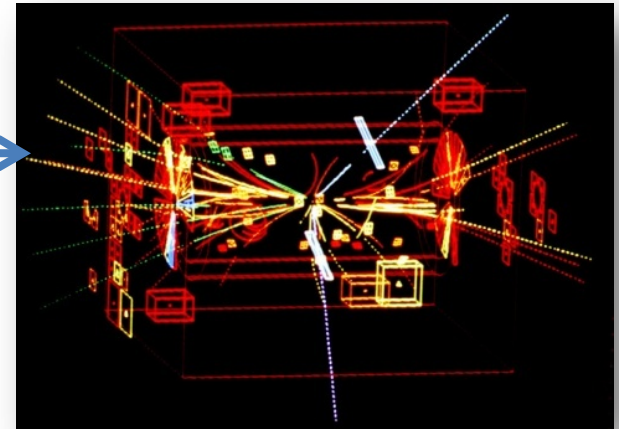
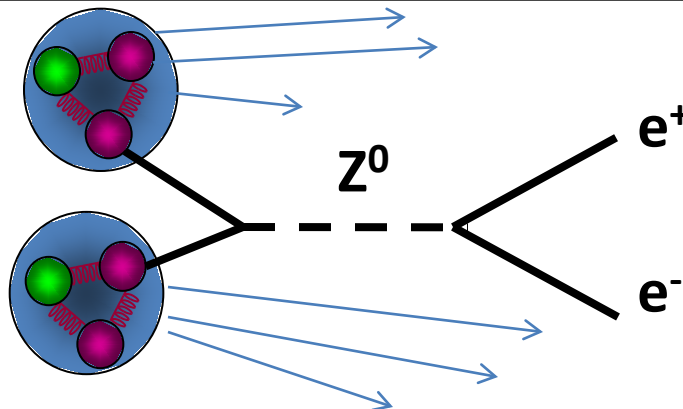
Historique du LAPP (1)



1976: création du LAPP par des physiciens de Paris désireux de se rapprocher du CERN.



Le LAPP participe à des expériences importantes de l'histoire de la physique des particules, dont UA1, qui permet en 1983 de découvrir les bosons W et Z [Prix Nobel de physique 1984]



Historique du LAPP (2)

1991: le LAPP s'agrandit...

- Expériences au LEP du CERN (collisionneur e^+e^-)

1995: le LAPP devient Unité Mixte de Recherche (CNRS et Université de Savoie).



- **Nouveau domaine des « astro-particules »**: ondes gravitationnelles, rayons cosmiques de très grande énergie (photons, neutrinos), matière noire, antimatière dans l'Univers.
- **Expériences sur des sites éloignés**: Suisse, Italie, Californie, Namibie, Japon, station spatiale internationale ISS

2008-2009: le LHC démarre au CERN

4 juillet 2012: ATLAS et CMS au CERN annoncent la découverte d'un boson de 125 GeV/c² → le HIGGS ???



*Deux Unités Mixtes de Recherche (UMR) du **CNRS** et de **l'Université de Savoie** sur le même site. **Près de 200 personnes** (chercheurs, doctorants, ingénieurs et techniciens) y **poursuivent des recherches** dans le but de mettre à jour **les constituants élémentaires de la matière**, et de comprendre les principes qui régissent leurs **interactions et l'évolution de l'univers** depuis ses premiers instants jusqu'à nos jours.*

Les laboratoires de l'IN2P3

<http://www.in2p3.fr/>

Région Parisienne : IPNO, LAL, CSNSM, IMNC, LLR, APC, Siège IN2P3

Normandie

LPC Caen

SUBATECH

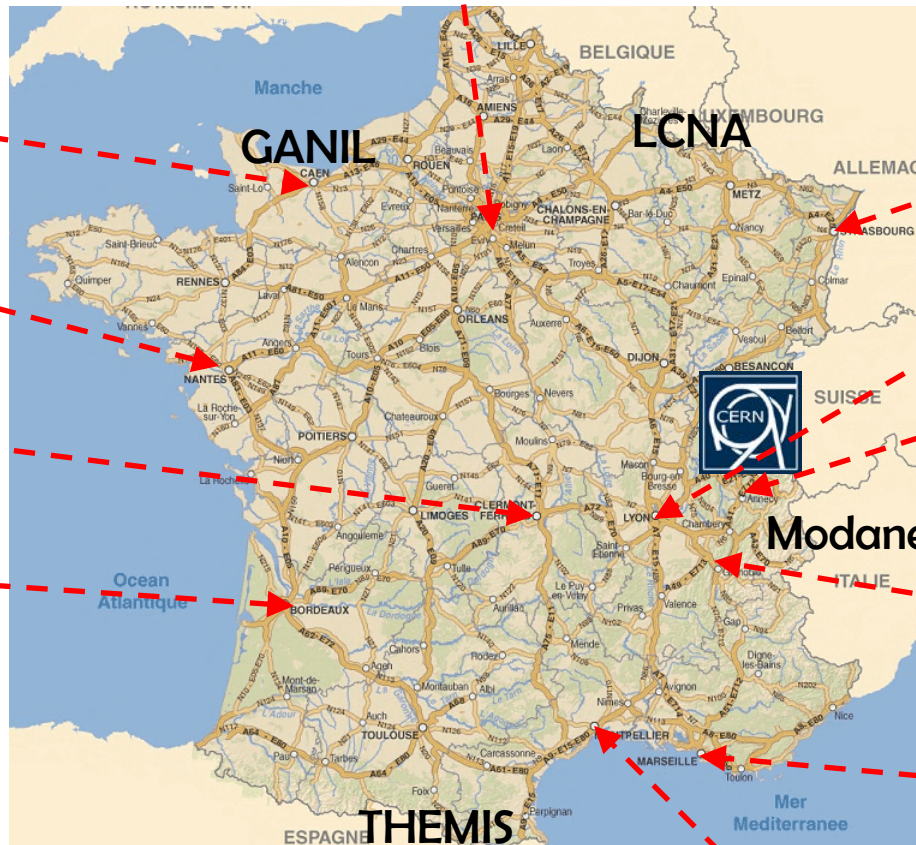
Pays de Loire

LPC Clermont

Ferrand Auvergne

CENBG

Aquitaine



Alsace

IPHC

IAPP, Ulisse

IPNL, LMA,

CCIN2P3

Rhône-Alpes

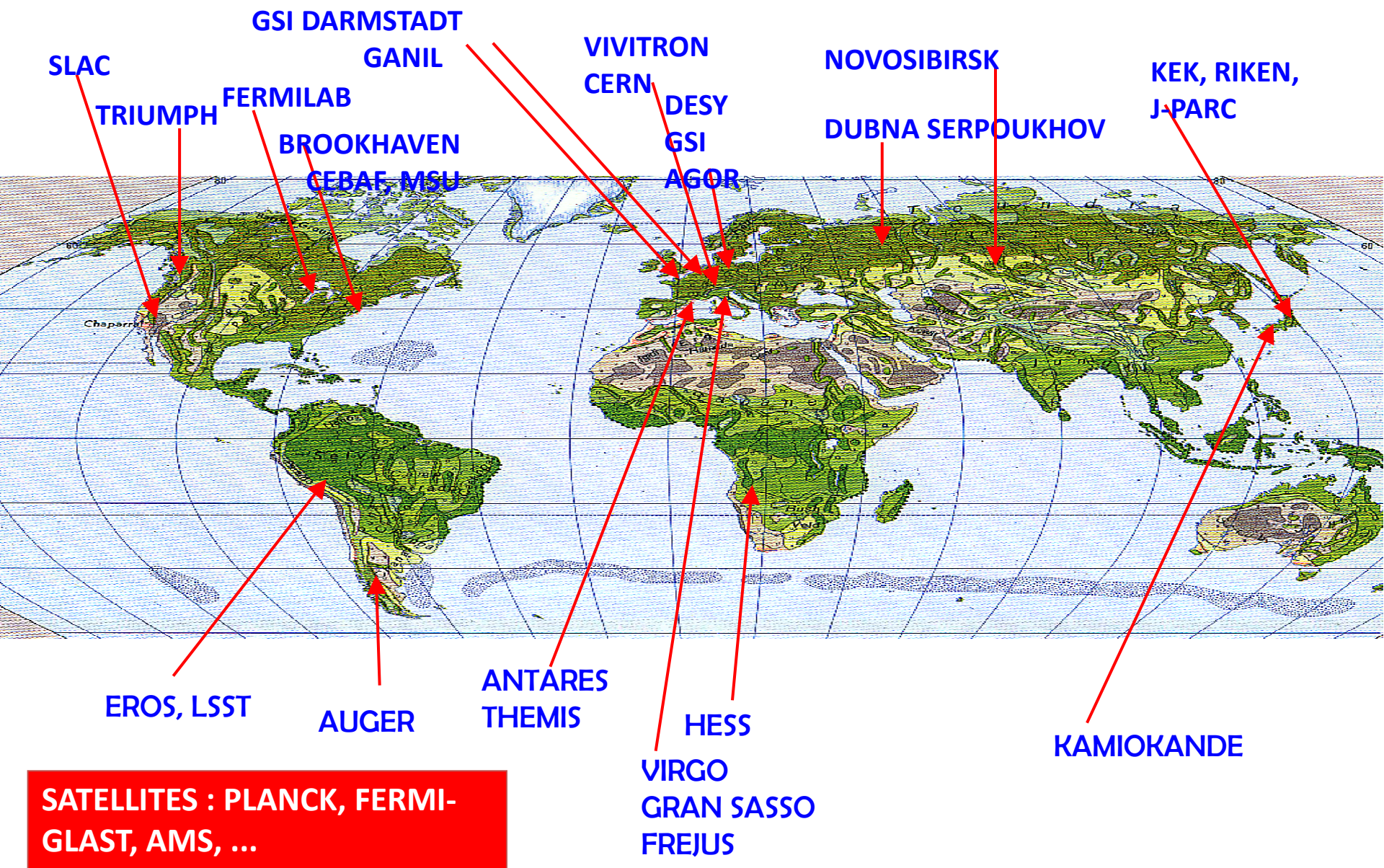
LPSC

CPPM

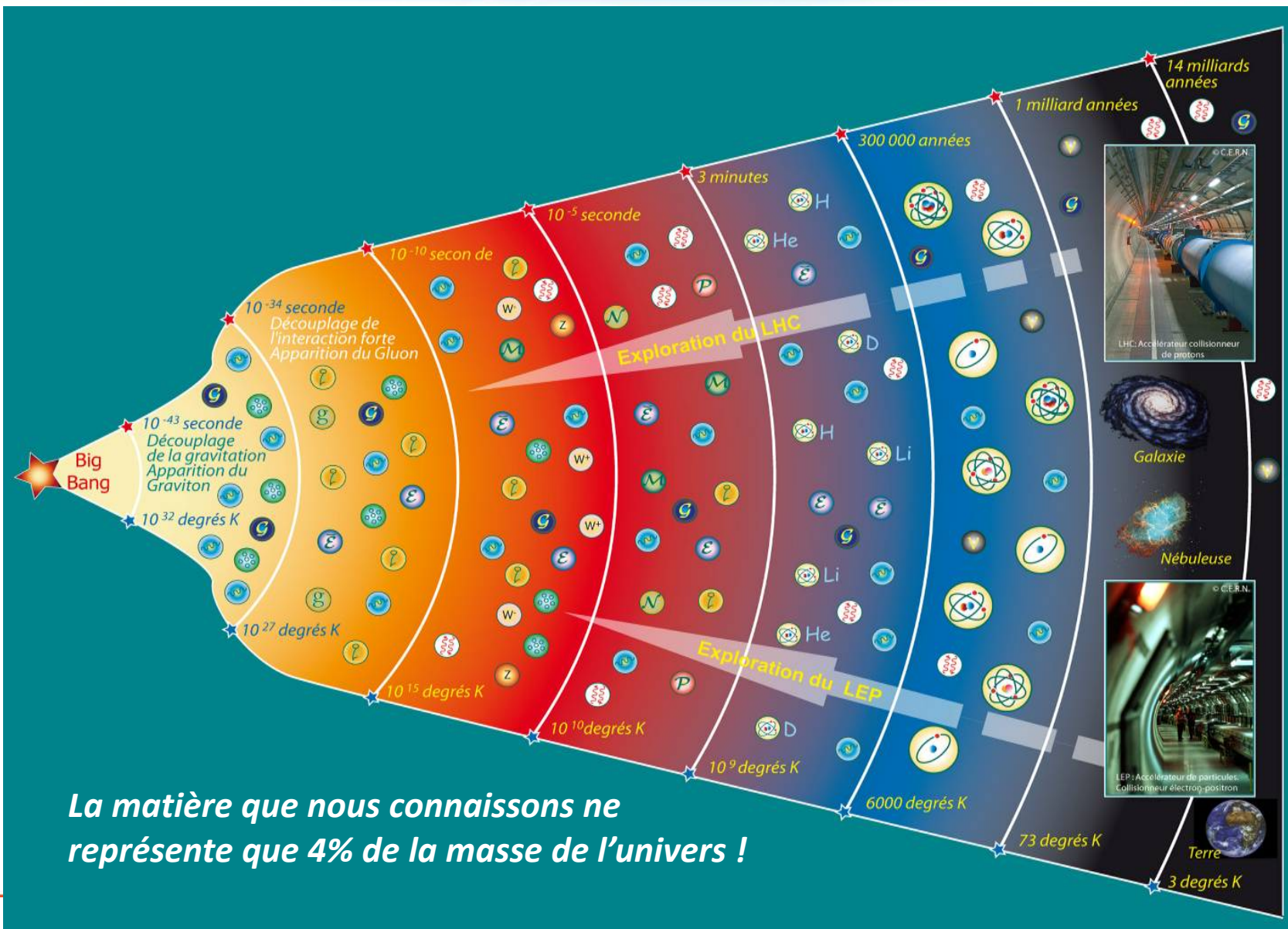
Provence,
Languedoc

LPTA

Les expériences dans le monde et l'espace



Comprendre l'univers, entre 2 infinis !



La matière que nous connaissons ne représente que 4% de la masse de l'univers !

Qui travaille au laboratoire?

-Des expérimentateurs [LAPP] [~40]

Au sein de grandes collaborations internationales , ils conçoivent, construisent et interprètent les résultats des expériences

-Des théoriciens [LAPTH] [~25]

Ils élaborent de nouvelles théories pour expliquer les observations des expérimentateurs [parfois c'est dans l'autre sens: ils demandent aux expérimentateurs de vérifier leurs prédictions]

-Des étudiants (en thèse ou en stage) [LAPP, LAPTH] [~20]

-Des ingénieurs et techniciens [LAPP] [~80]

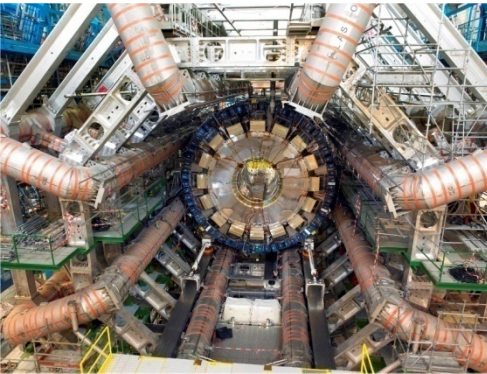
En informatique, électronique et mécanique : ils réalisent les détecteurs.

-Des administratifs [LAPP,LAPTH] [~10]

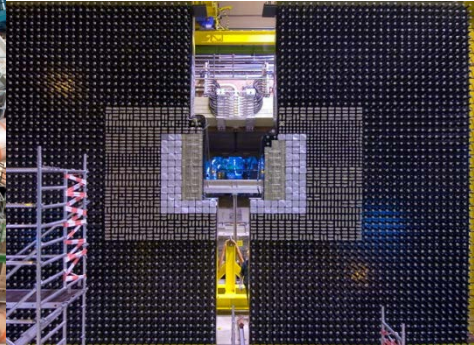
Pour effectuer les commandes, gérer et prévoir...

-Budget annuel (hors salaires): ≈ 2 M€

© ATLAS/LHC/CERN



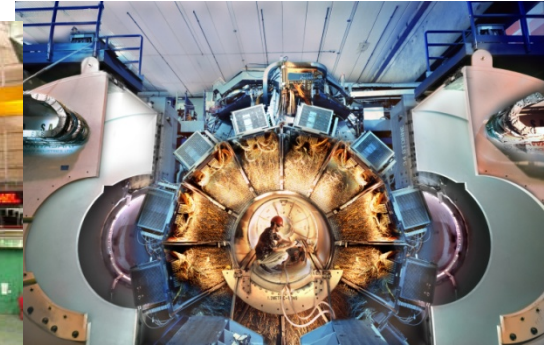
© LHCb/CERN



© OPERA/Gran Sasso



© BABAR/SLAC



© CMS/LHC/CERN



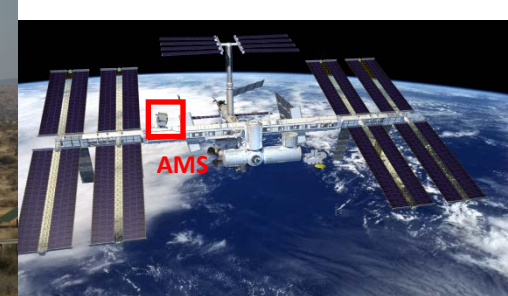
© VIRGO/Pise



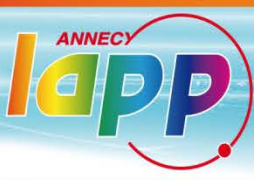
© HESS/IN2P3/Namibie



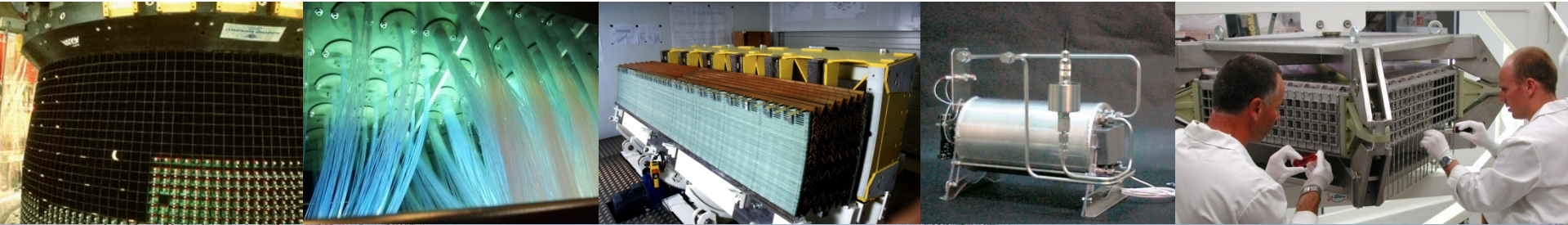
© AMS sur ISS-NASA



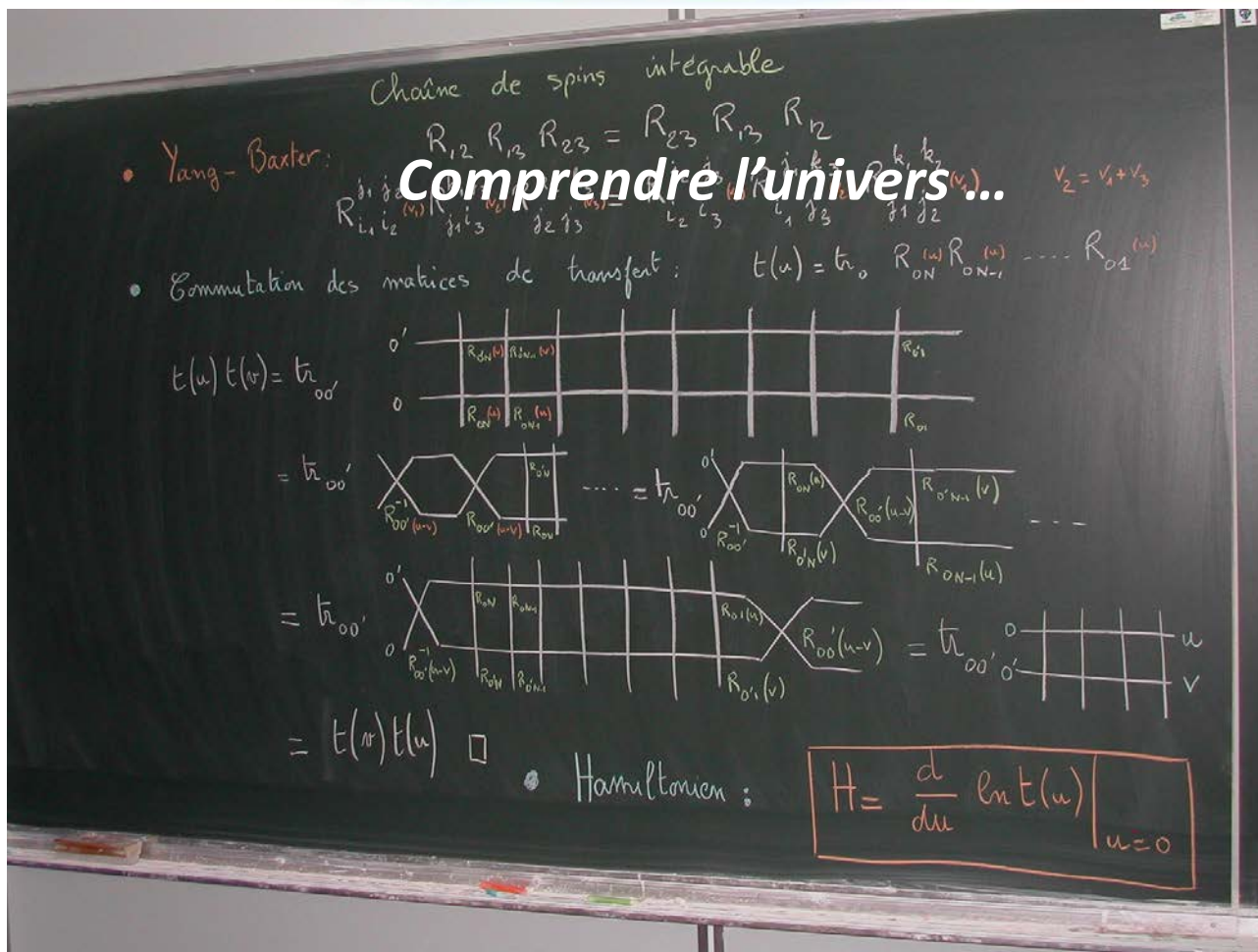
Depuis sa création en 1976, le LAPP, situé près du CERN à Genève, participe au sein de collaborations internationales tout autour de la planète (Europe, Etats-Unis, Namibie et jusque dans l'espace !) à des expériences de physique qui sondent l'infiniment petit et l'infiniment grand.



Le **LAPP** Sur le site d'Annecy le Vieux



Le laboratoire conçoit et réalise ses propres outils et instruments de très haute technologie :
les détecteurs pour la Physique des Particules.
→ recherche, innovation technologique, formation, enseignement...



Les travaux théoriques du LAPTh motivent et accompagnent les expériences auxquelles participent le LAPP. Mais concernent aussi d'autres disciplines : matière condensée, mathématiques, génomique ...

De quoi est faite la matière

Structure des atomes

Les particules élémentaires

Les interactions fondamentales

Physique des particules

Préjugé de simplicité et d'universalité

Tout l'univers est un assemblage (complexe) d'éléments simples

- Antiquité : 4 éléments eau, air, terre, feu
- 1800 -1850 : de plus en plus d'éléments simples



- Progrès décisif : classification " périodique " (D. Mendeleiev, 1869)
Ranger par poids atomique croissant. Colonne : ~ mêmes propriétés chimiques

Révéléateur de lois plus générales...

Tous les atomes ont la même structure :

Noyau (Z protons + N neutrons)

Z électrons qui " gravitent " autour du noyau

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Numéro atomique: Z Masse molaire atomique: $(g.mol^{-1})$

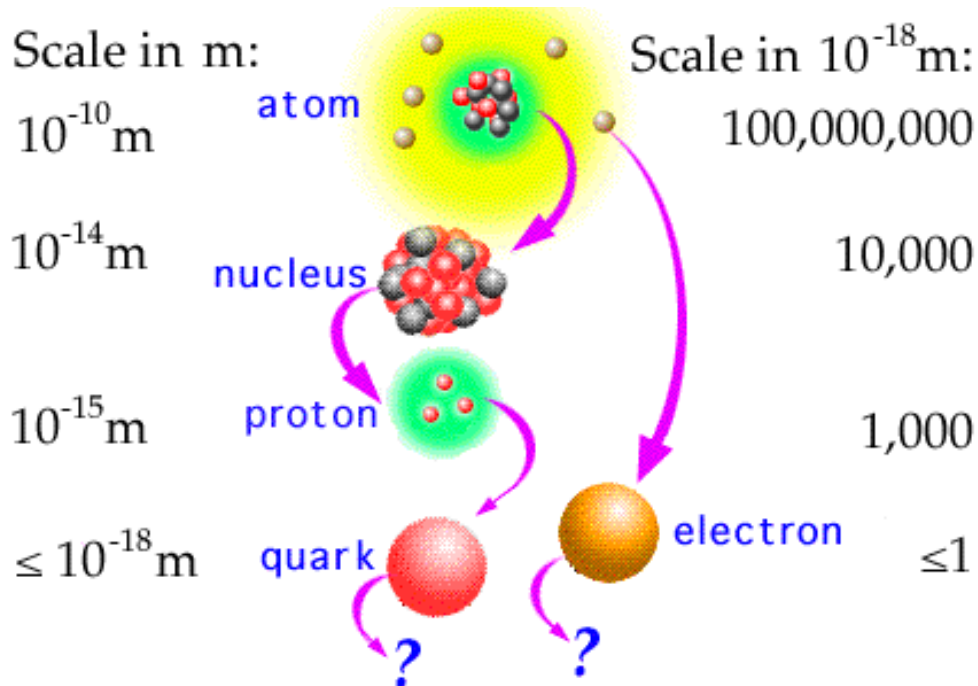
Symbole atomique: X Famille

Nom

The periodic table shows elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og). It includes the Lanthanide and Actinide series at the bottom. A small portrait of Dmitri Mendeleev is visible in the bottom left corner of the table.

Qu'étudie-t-on au LAPP?

- La vocation du LAPP est l'étude des **constituants fondamentaux de la matière (les briques les plus petites de notre monde)** et des **interactions fondamentales (les forces) auxquelles ils sont soumis.**



la physique atomique...

la physique nucléaire...

la physique des
particules

Composants élémentaires de la matière

10⁶ m TERRE

1 m OBJET

10⁻⁴ m CRISTAL

10⁻¹⁰ m ATOME

10⁻¹⁴ m NOYAU ATOMIQUE

10⁻¹⁵ m PROTON NEUTRON

ANTIMATIÈRE

1 ^{re} famille	2 ^e famille	3 ^e famille
<p>LEPTONS</p> <p>Les membres de la 1^{re} famille composent l'ensemble de la matière ordinaire (protons, neutrons, atomes...).</p>	<p>Réactive plus massive et instable de la 1^{re} famille. Le muon est 200 fois plus lourd que l'électron.</p>	<p>Réactive encore plus massive et instable de la 1^{re} famille. Le tauon est ainsi 3600 fois plus lourd que l'électron.</p>
<p>e électron $m_e = 9.109 \cdot 10^{-31}$ kg $q_e = -1.602 \cdot 10^{-19}$ C</p> <p>ν_e neutrino e $q = 0$</p>	<p>μ muon $q = -e$</p> <p>ν_μ neutrino muon $q = 0$</p>	<p>τ tau $q = -e$</p> <p>ν_τ neutrino tau $q = 0$</p>
<p>QUARKS</p> <p>S'assemblent en triplets ou en paires quark-antiquark pour former les nombreuses particules subatomiques.</p>	<p>u haut / up $q_u = +2/3 \cdot e$</p> <p>d bas / down $q_d = -1/3 \cdot e$</p>	<p>c charm / charm $q_c = +2/3 \cdot e$</p> <p>s étrange / strange $q_s = -1/3 \cdot e$</p> <p>t top $q_t = +2/3 \cdot e$</p> <p>b beau/beauy/bosom $q_b = -1/3 \cdot e$</p>

À chaque particule correspond une antiparticule aux propriétés quasi-identiques. La charge électrique d'une antiparticule est l'opposé de la particule correspondante.

<http://sfp.in2p3.fr/affiche>

Les interactions fondamentales

Il existe des **PARTICULES ASSOCIÉES** aux interactions fondamentales permettant leur propagation.

- Gravitation**
Attraction universelle, planètes, galaxies.
GRAVITON ?
- Interaction faible**
Désintégrations radioactives.
Z⁰, W⁺, W⁻
- Interaction électromagnétique**
Électricité, magnétisme, cohésion de l'atome et du cristal, chimie.
PHOTON
- Interaction forte**
Cohésion des protons et des noyaux.
GLUON

Affiche SFP
Année 2005
Mondiale de la
Physique.



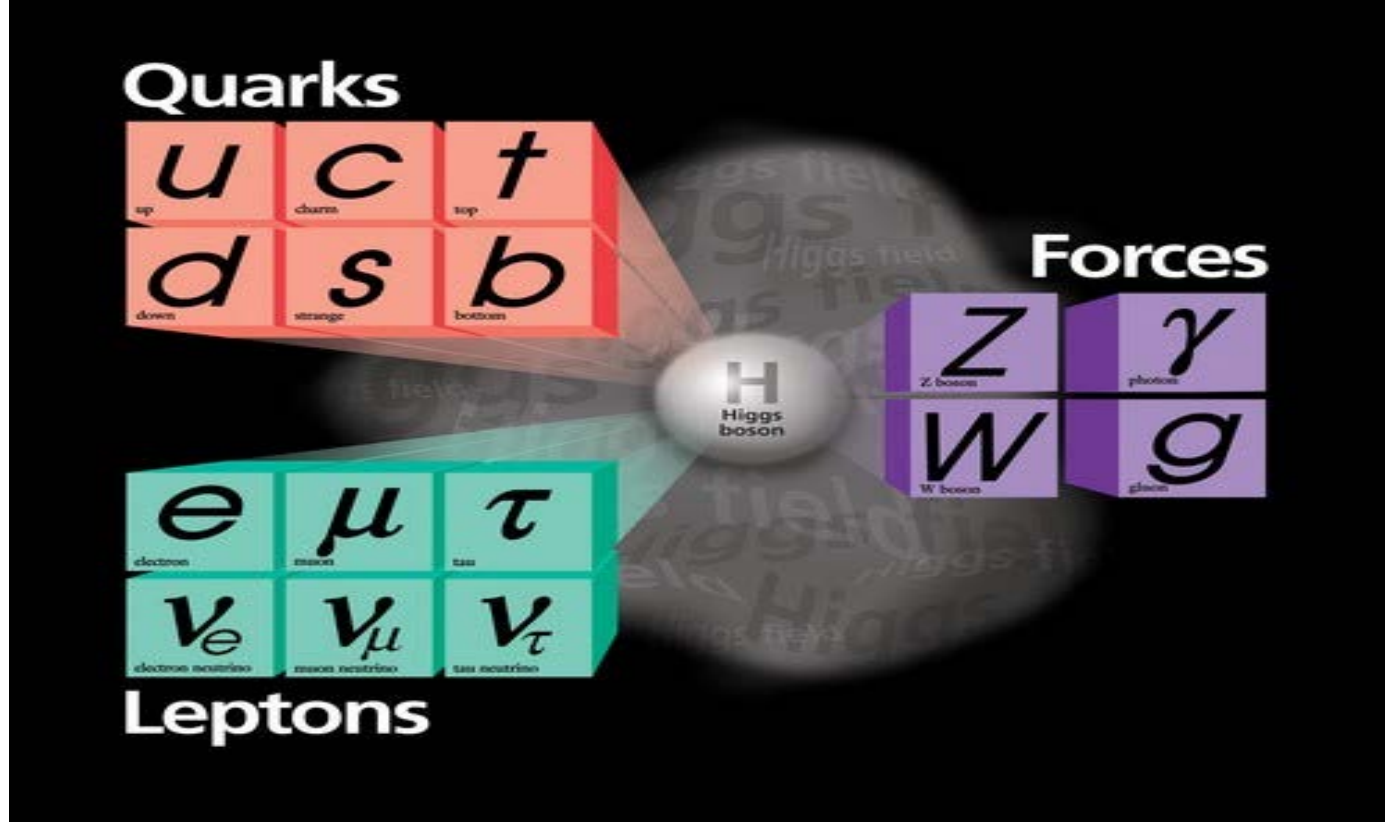
Les 4 forces fondamentales sont indispensables au fonctionnement de soleil (et des étoiles) :

- formation de l'étoile causée par la gravitation ;
- réactions de fusion nucléaire avec l'interaction faible et forte ;
- production de lumière : interaction électromagnétique.

Les 4 particules de la première famille sont présentes dans le soleil qui envoie sur la terre un flux intense de photons et de neutrinos.

Conception graphique : Ecole Galilée

Depuis 1976 (naissance du LAPP) : 10 prix Nobels de Physique partagés par 24 chercheurs de la Physique des Particules et issus de la théorie, l'expérience, les accélérateurs et les détecteurs !



Dans l'état actuel de nos connaissances, l'organisation de la matière est décrite par le **Modèle Standard de la Physique des Particules**

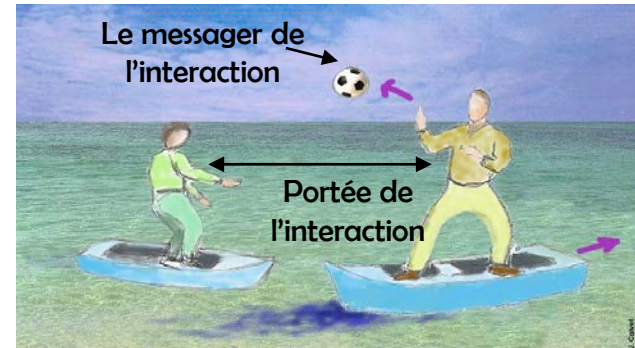
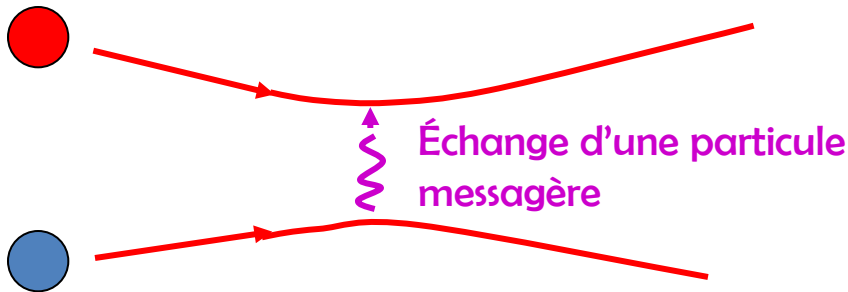
- Interactions électromagnétique, faible et forte.
- 12 particules élémentaires classées en 3 familles.

(+ antiparticules associées)

- La première famille rassemble les particules constitutives de la matière ordinaire.
- Deuxième et troisième familles : matière produite uniquement dans les grands accélérateurs ou bien issue des rayons cosmiques.

Les interactions fondamentales

En physique des particules, l'interaction qui s'exerce entre 2 particules élémentaires de matière est décrite comme l'échange entre ces 2 particules d'une particule messagère.



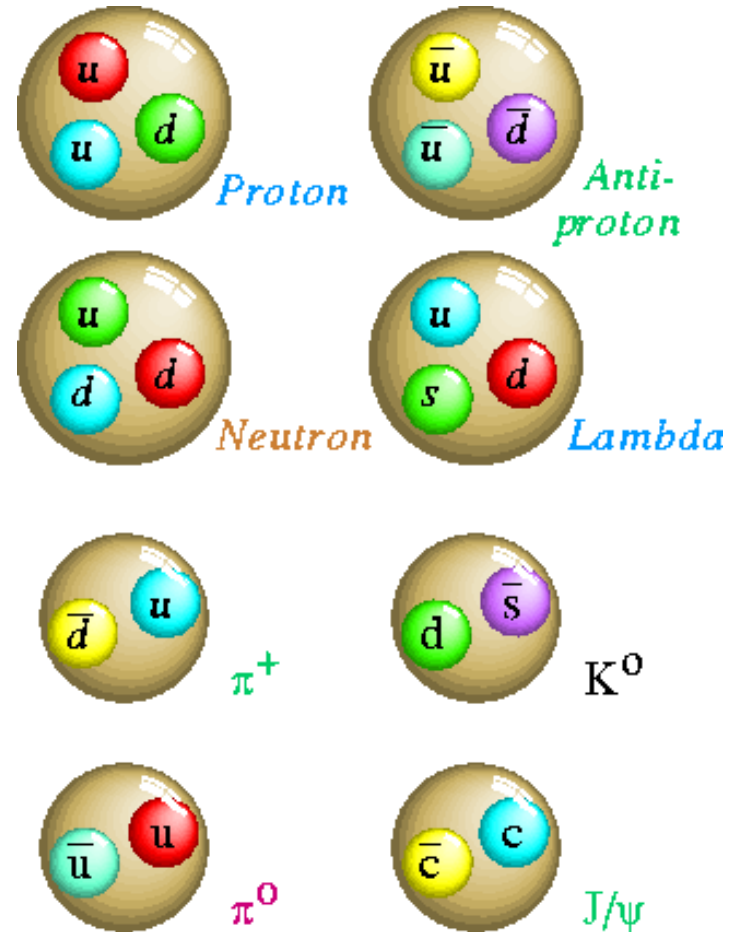
TYPE	FORCE RELATIVE	PARTICULES ÉCHANGÉES	EXEMPLE DE DOMAINE D'APPLICATION
FORTE	≈ 1	gluons	noyau, nucléons
ÉLECTROMAGNÉTIQUE	$\approx 10^{-2}$	photons	cortège électronique de l'atome, lumière, chimie
FAIBLE	$\approx 10^{-6}$	bosons Z^0, W^+, W^-	radioactivité β énergie solaire
GRAVITATION	$\approx 10^{-38}$	graviton ?	pesanteur systèmes planétaires

Quarks et hadrons

trois quarks =
les baryons

un quark +
un antiquark = les mésons

BARYONS+MESONS=
HADRONS → les
particules sensibles à
l'interaction forte



Quelques grandes questions actuelles

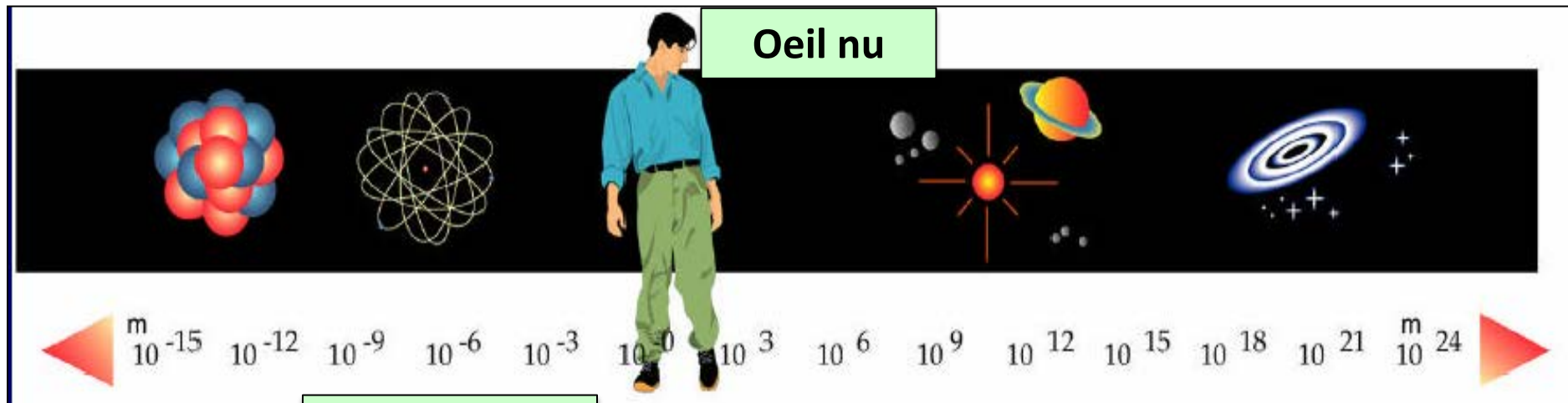
- Comment unifier la gravitation avec les autres forces ?
- Le nombre de familles.
- l'absence d'anti-matière dans l'univers.
- La masse des particules : le boson de Higgs
- pourquoi les particules élémentaires ont des masses si différentes ?
- La matière noire?
- Qu'y a t-il au delà du Modèle Standard
 - de nouvelles symétries (super symétries) ?
 - Avec de nouvelles particules expliquant la matière noire ?
 - Des dimensions d'espace temps supplémentaires ?

Avec son énergie colossale, le LHC pourrait nous permettre de découvrir de nouvelles particules massives expliquant certains de ces mystères...

Les accélérateurs

Les détecteurs

La méthode expérimentale: **Observer** avec des télescopes ou des microscopes



accélérateurs
+ détecteurs

microscopes

jumelles

télescopes

La physique des particules étudie le cœur de la Matière vers
l'infiniment petit

La physique des astro-particules scrute les messages venus des confins de l'univers et de **l'infiniment grand**

Un accélérateur de particules cosmique ou construit sur terre

la cible de l'observation

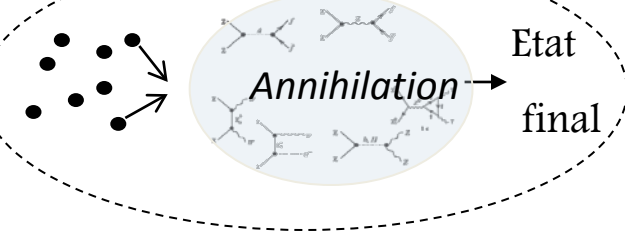
Un détecteur des particules résultant de l'expérience

Sources des rayons cosmiques galactiques et extra galactiques

messagers cosmiques: Particules chargées, neutres et ondes gravitationnelles

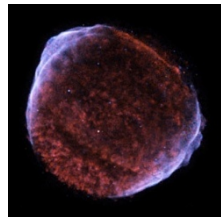
Identification et mesure de l'énergie des rayons cosmiques

Matiere noire

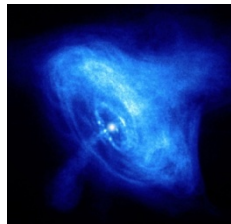


e^- , p^+ , ..., Fe
 e^+ , \bar{p} , \bar{D}

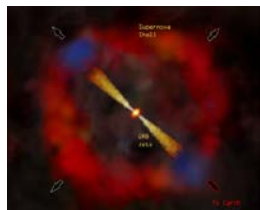
Restes de Supernovae



Nébuleuses de pulsar

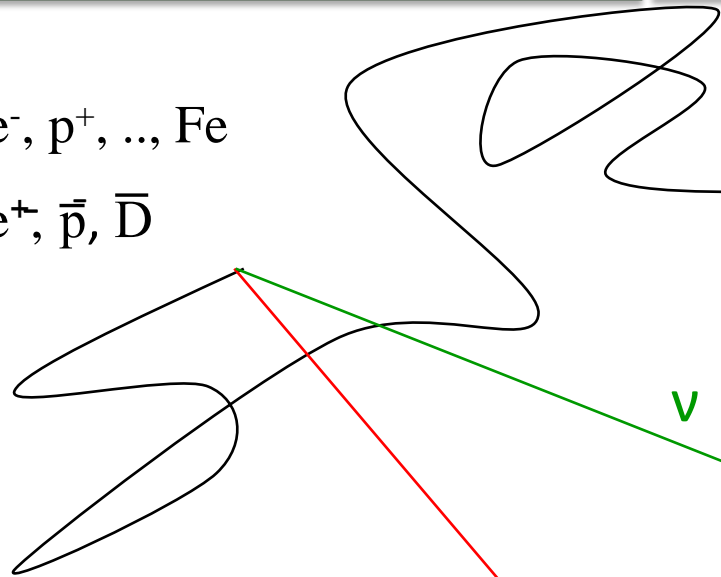
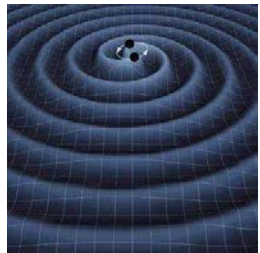


Sursaut Gamma associé

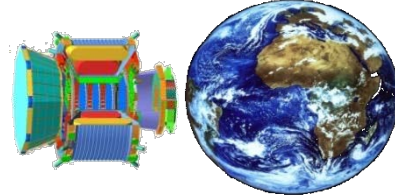


L' infiniment grand

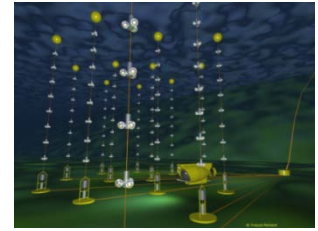
Ondes gravitationnelles



AMS02 (LAPP)



Antares: Telescope neutrinos



HESS: Telescope Gamma (LAPP)



Virgo: detection des ondes gravitationnelles (LAPP)



le LHC

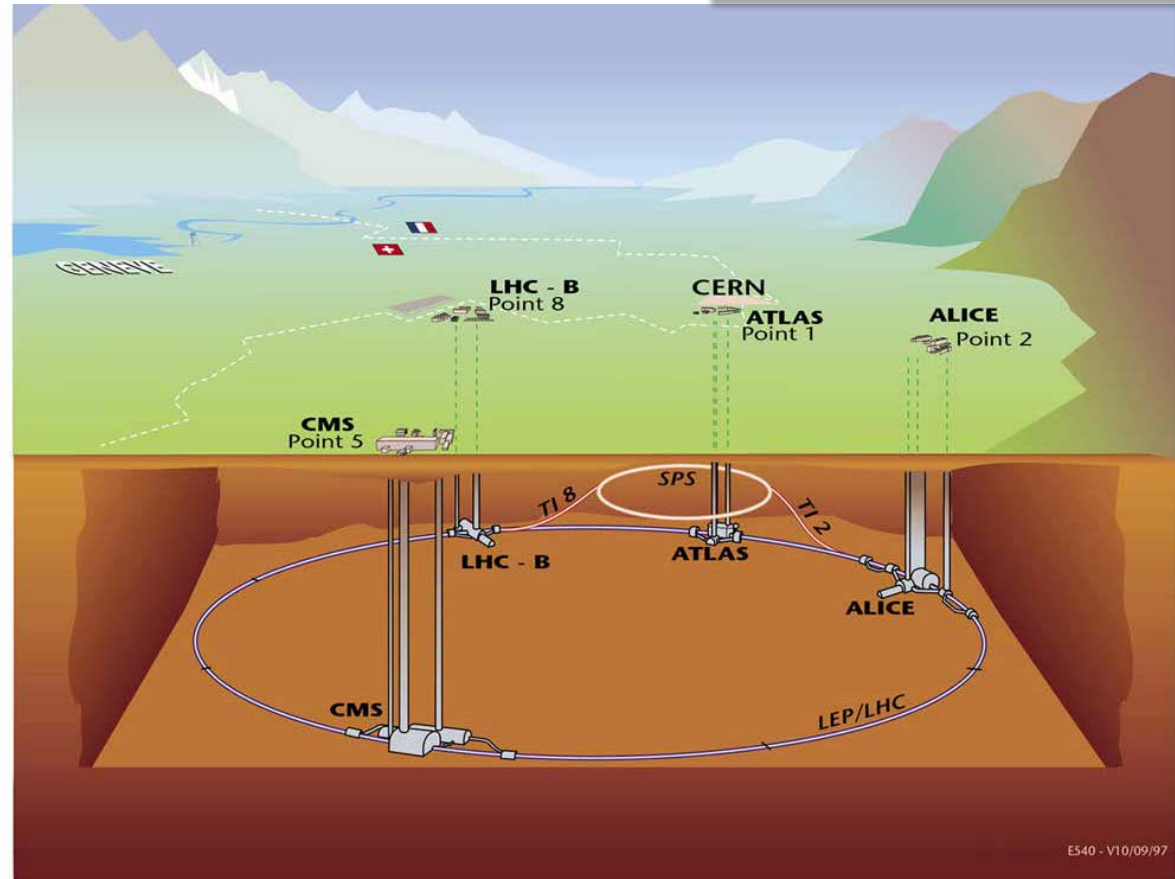
Lieu : CERN

Profondeur : 100 m

Circonférence : 27 km

LHC : Large
Hadron Collider
= grand
collisionneur
de hadrons

***Etudier les
particules
produites lors
de collisions
entre deux
faisceaux de
protons.***

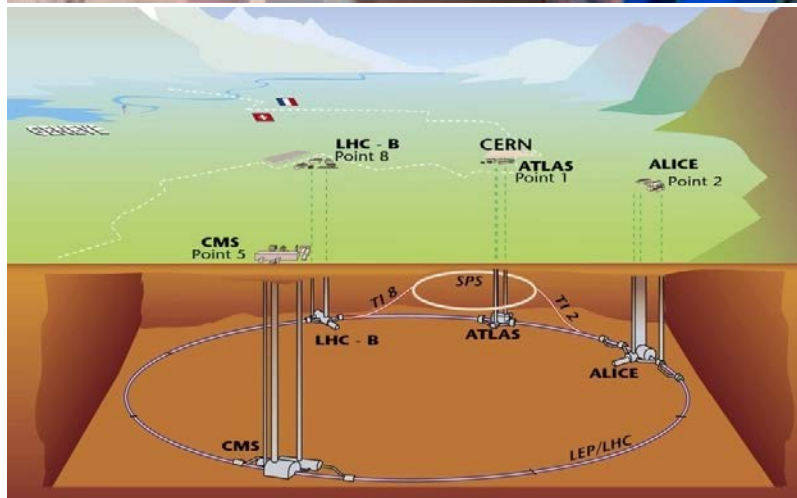
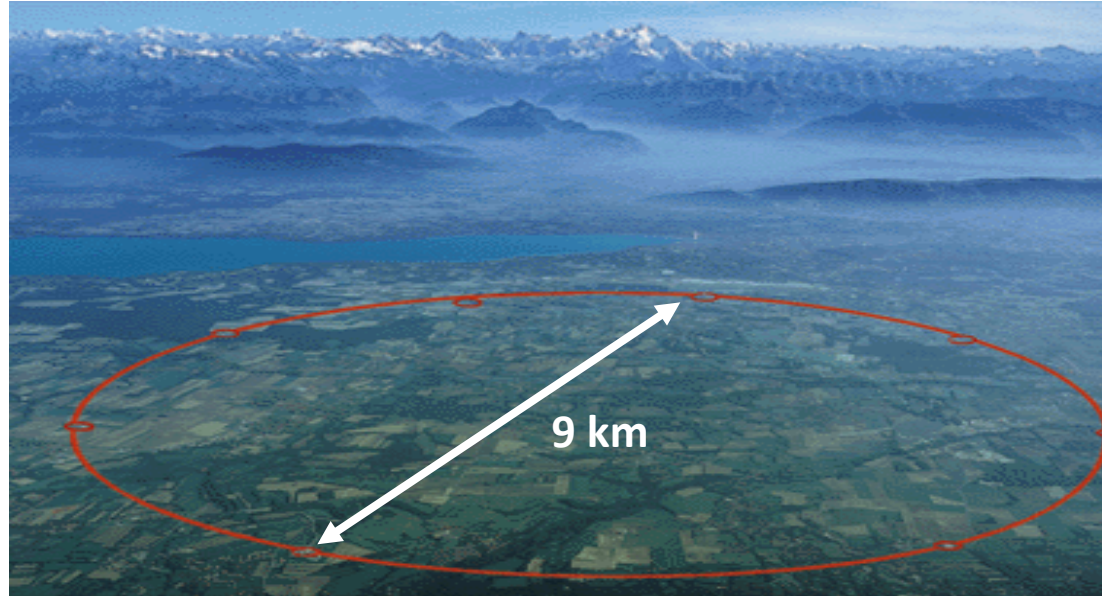


Protons de 7 TeV d'énergie **Protons de 7 TeV d'énergie**

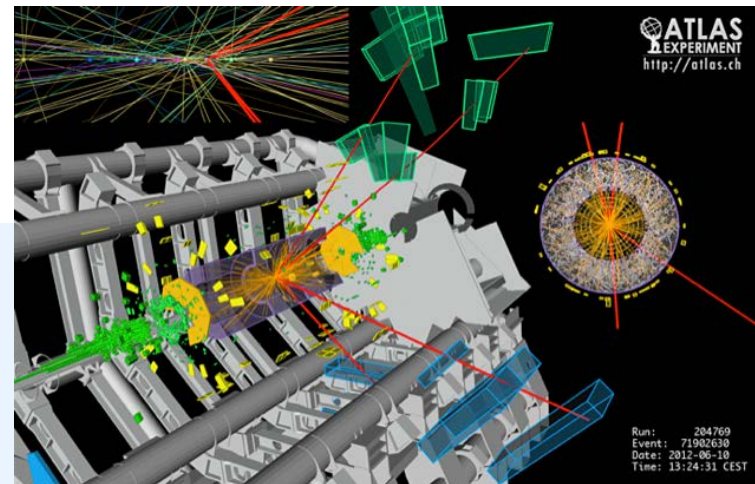


**$E = mc^2 = 14 \text{ TeV}$ à terme en 2014 (énergie équivalente
à environ 14000 fois la masse du proton)**

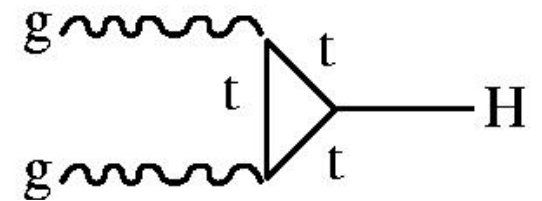
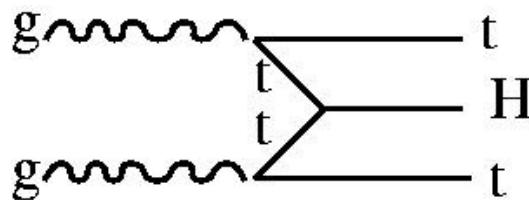
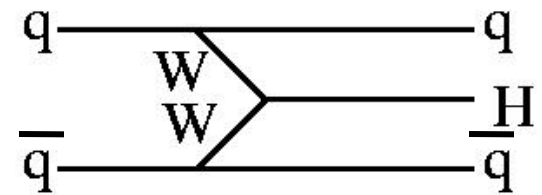
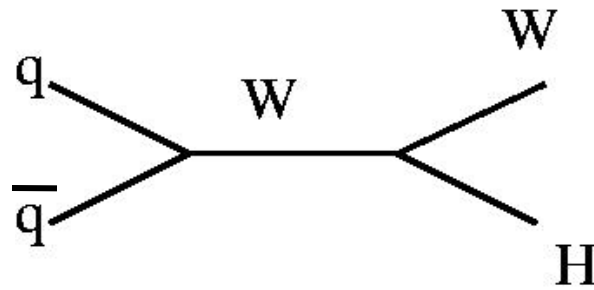
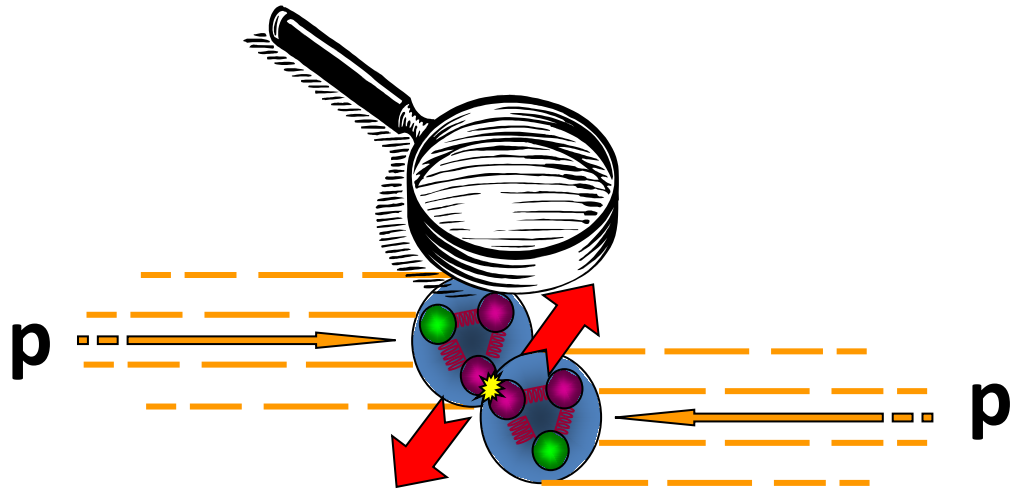
Sonder l'infiniment petit auprès des accélérateurs ...



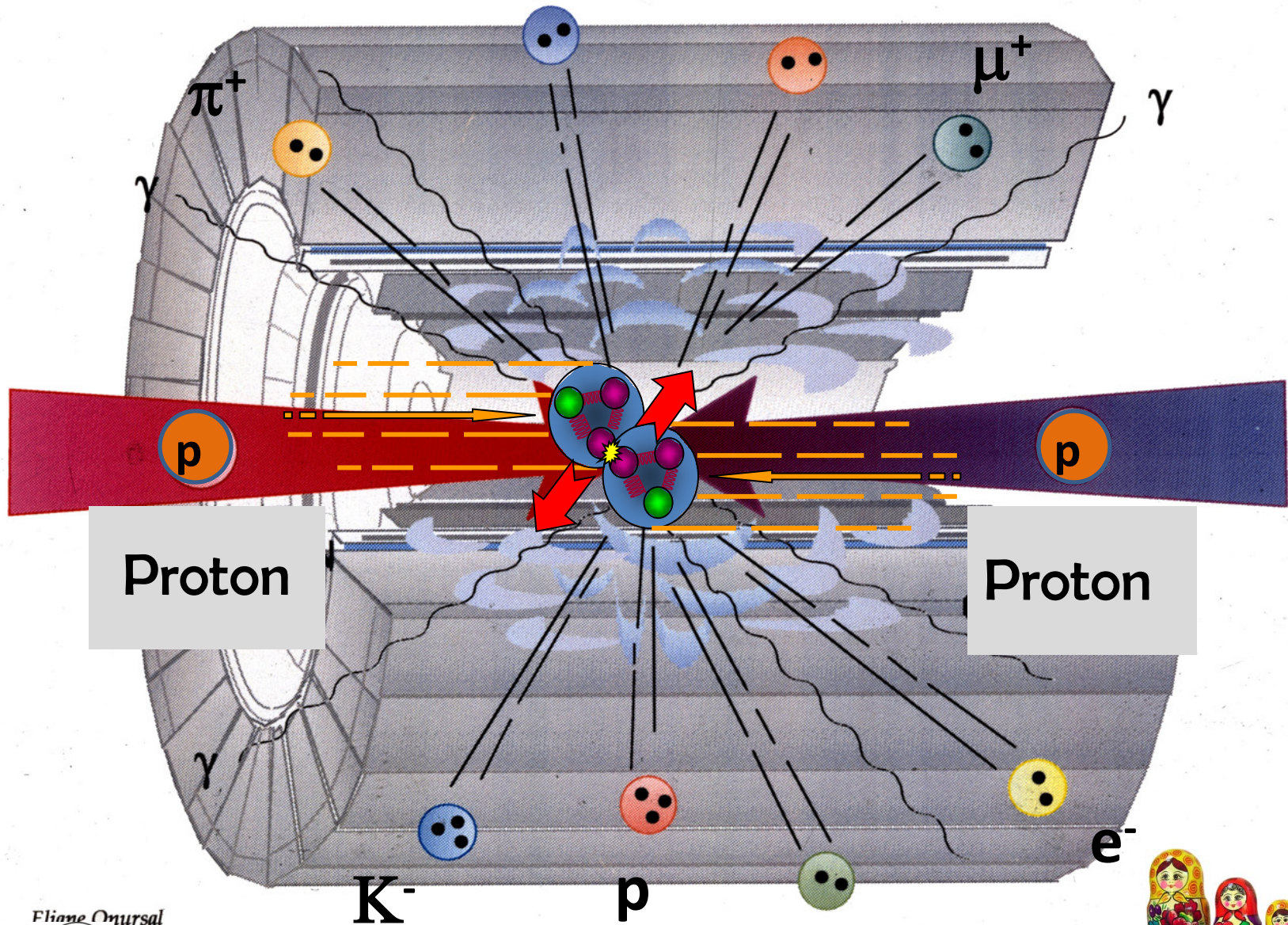
Le **LHC** le plus grand instrument scientifique jamais construit !
démarrage en 2008



Exemple de la production du Higgs au LHC



Comment détecter ces particules?

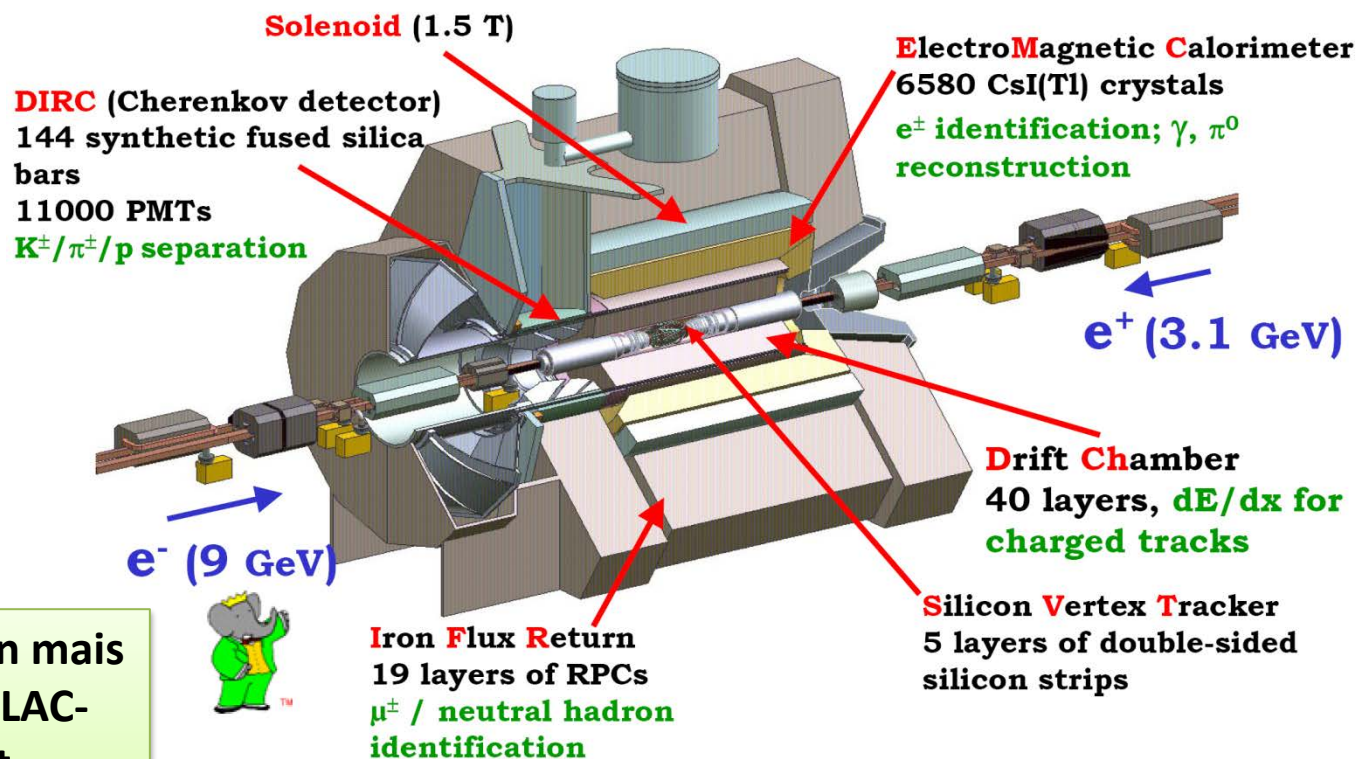


Les détecteurs

- Ils sont constitués de couches successives comme la peau d'un oignon

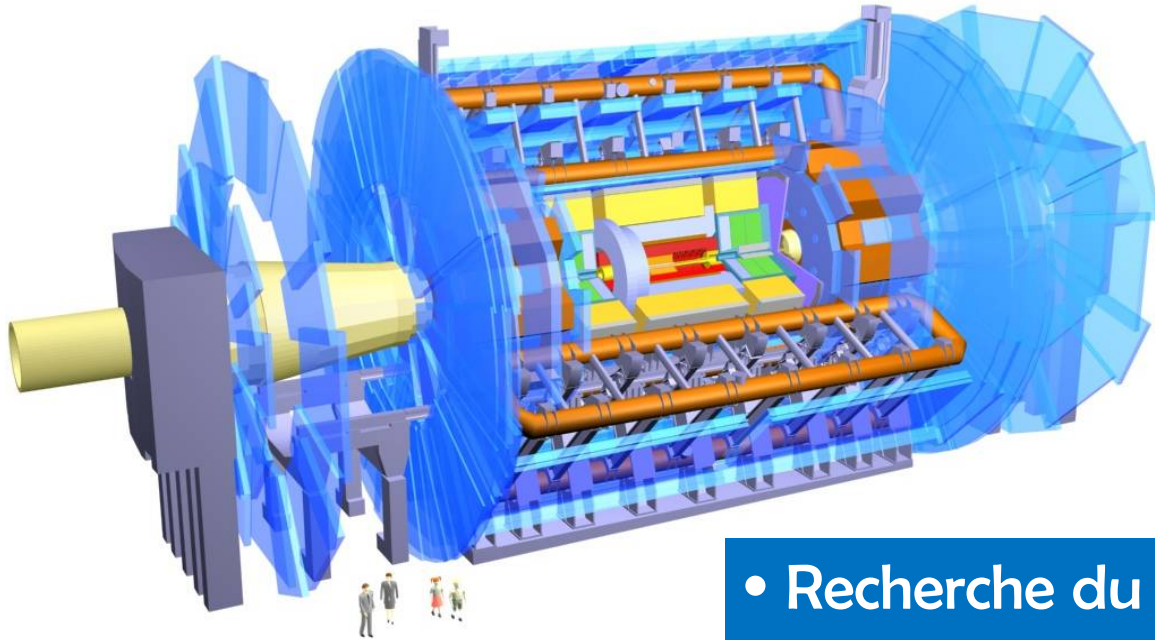
- Chaque couche = sous détecteur ayant un rôle spécifique :

enregistrer le passage d'une particule (détecteur de traces), mesurer son énergie (calorimètre), ...



N'est pas dans l'exposition mais c'était une expérience à SLAC-Californie ou le LAPP était présent

Le détecteur ATLAS au LHC



22 m de haut, 44 m de long, poids de 7000 tonnes

Composé de plusieurs sous-détecteurs

- Recherche du boson de Higgs
- Découverte de nouvelles particules au delà du Modèle Standard ?

Le plus grand microscope du monde

FILM ATLAS

Le LHC a redémarré le 20 novembre 2009 !

Salle de contrôle
de l'accélérateur LHC



© CERN Salle de contrôle du CERN, le 20 novembre 2009, lors du redémarrage du LHC

Salle de contrôle
Expérience ATLAS



Salle de contrôle
Expérience LHCb



Le 4 juillet 2012: découverte d'un nouveau boson de 125GeV/c² au CERN par ATLAS et CMS

Est-ce le fameux boson de Higgs (1964) ?? :



Il y a du prix Nobel dans l'air ...

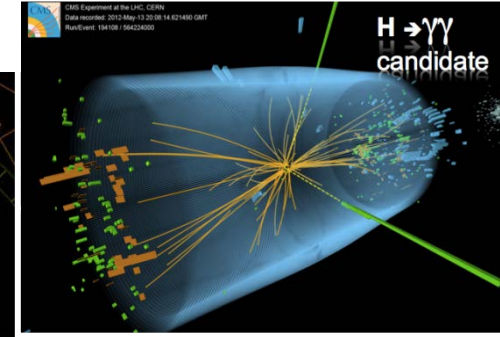
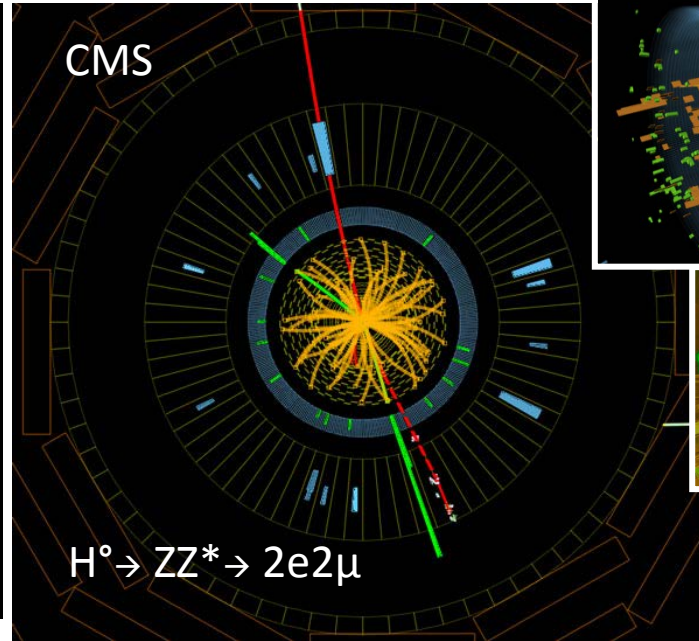
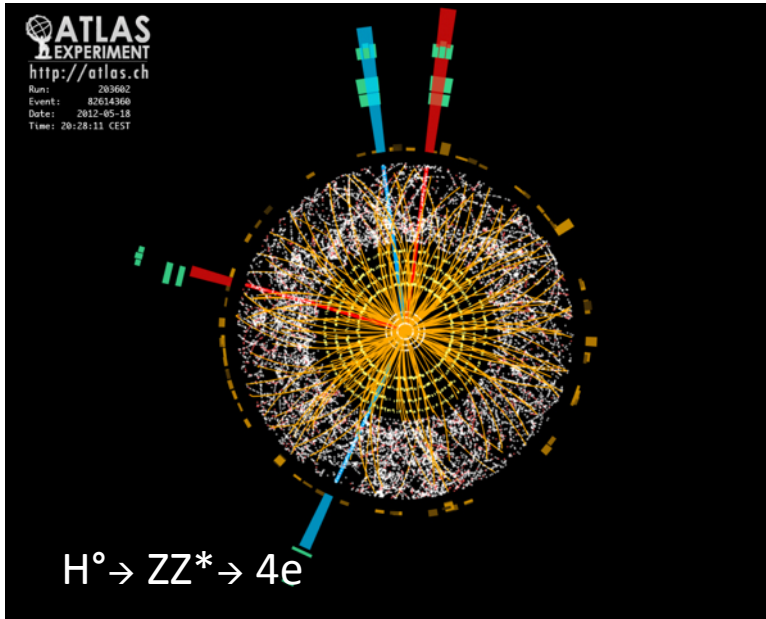


ATLAS



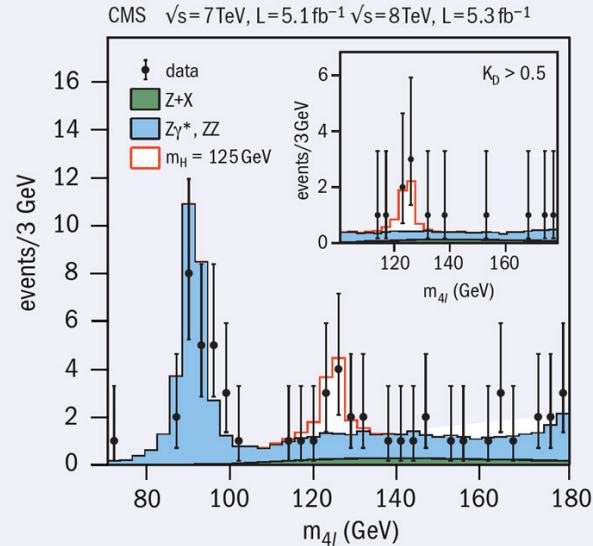
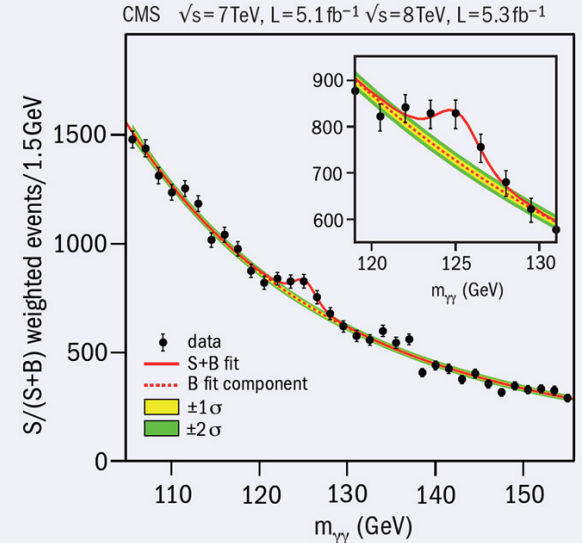
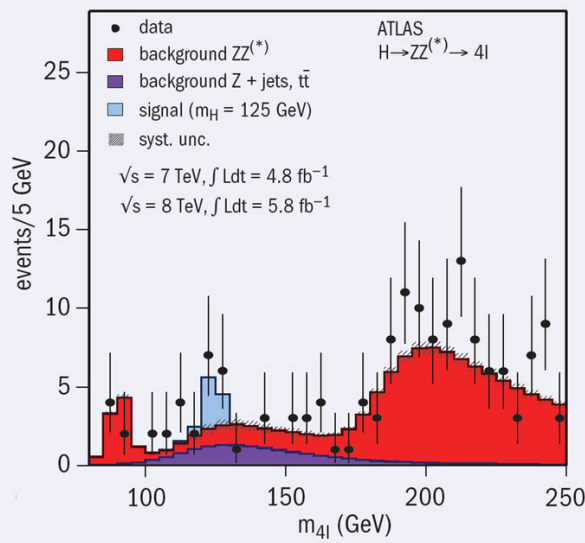
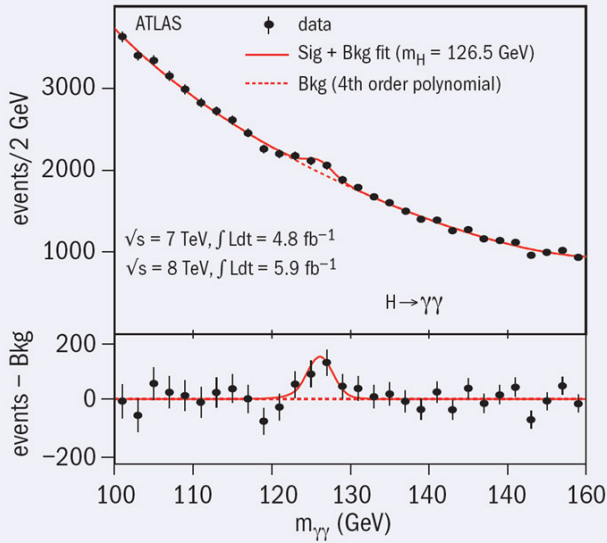
CMS

Le 4 juillet 2012: découverte d'un nouveau boson de 125GeV/c² au CERN par ATLAS et CMS

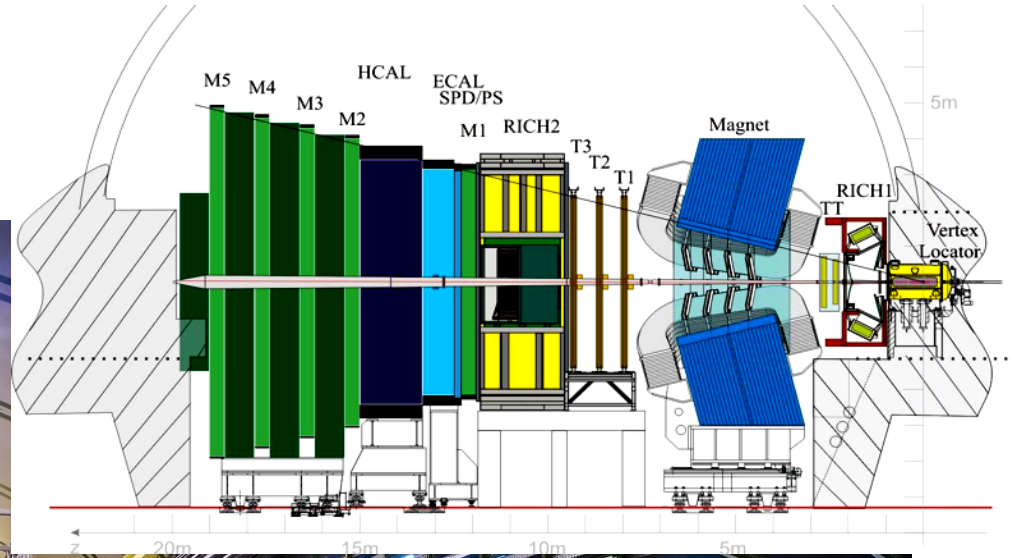
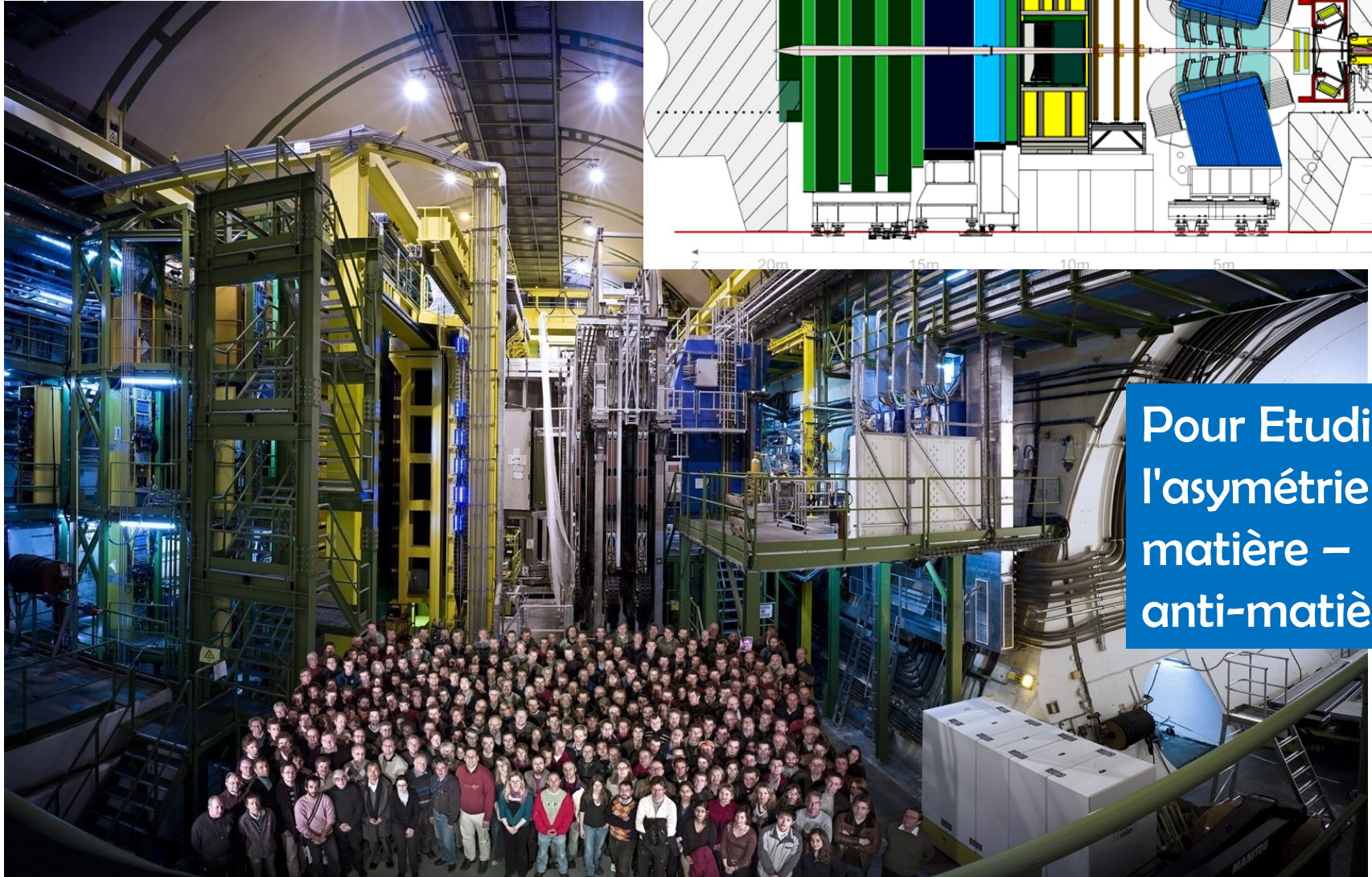


Feux d'artifice à
New-York et à
Genève!

Le 4 juillet 2012: découverte d'un nouveau Boson de 125 GeV/c² au CERN par ATLAS et CMS



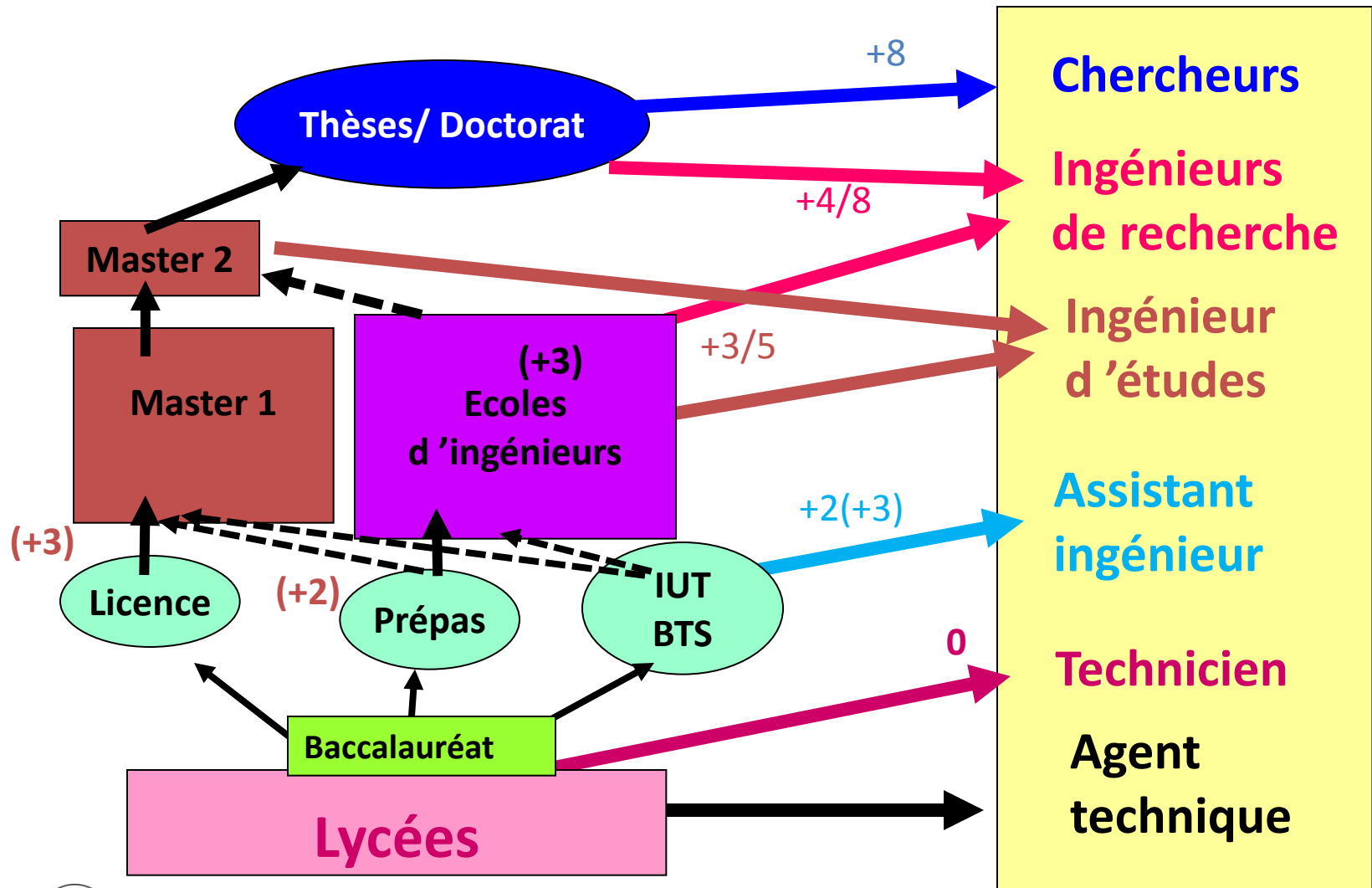
Le détecteur LHCb



Pour Etudier
l'asymétrie
matière –
anti-matière

Les métiers de la recherche

Les métiers de la Recherche



Pour en savoir plus...

<http://lapp.in2p3.fr/>