



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



# Présentation du LAPP

Jean-Pierre Lees

*7 avril 2011*



# Votre Visite

- Présentation: Le Lapp et la physique des particules (~1h30)  
J.P.Lees (Directeur adjoint)
- Visite en deux groupes:
  - Les expériences du LHC (~30mn) : V.Tisserand (LHCb), M.Lefebvre (ATLAS), N.Dumont Dayot (Service Electronique)
  - Les rayons cosmiques et les expériences d'astroparticules (~30mn) : A.Fiasson (HesS & AMS), L.Basara (AMS), B.Lieunard (Service mécanique)

# Plan

- Présentation du laboratoire
- La physique des particules aujourd'hui
- les accélérateurs et le LHC
- Les techniques de detection
- Quelques experiences sur accélérateur (LHC)
- Expériences d'astro-particules
- Les métiers de la recherche

# Présentation du laboratoire

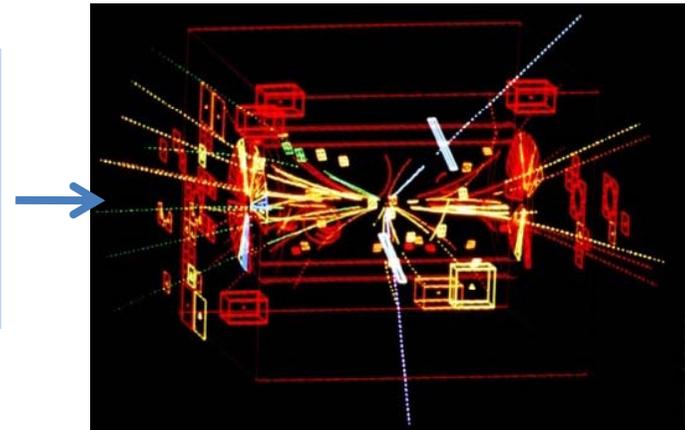
# Historique (1)



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



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



# Historique (2)

**1991:** le LAPP s'agrandit...

- Expériences au LEP (collisionneur  $e^+e^-$ )

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



- Nouveau domaine des **Astroparticules**: ondes gravitationnelles, rayons cosmiques de très grande énergie, matière noire, antimatière dans l'Univers.
- Expériences sur des sites éloignés: Italie, Californie, Namibie, station spatiale internationale ISS

**2009:** le LHC démarre au CERN

# Le Lapp: chiffres clés

- 71 chercheurs expérimentateurs (permanents [40], post doctorants [11] et étudiants [10])

*Au sein de grandes collaborations internationales, ils conçoivent et construisent les expériences, puis interprètent leurs résultats*

- 80 ingénieurs et techniciens CNRS (électronique, informatique, mécanique et administration)

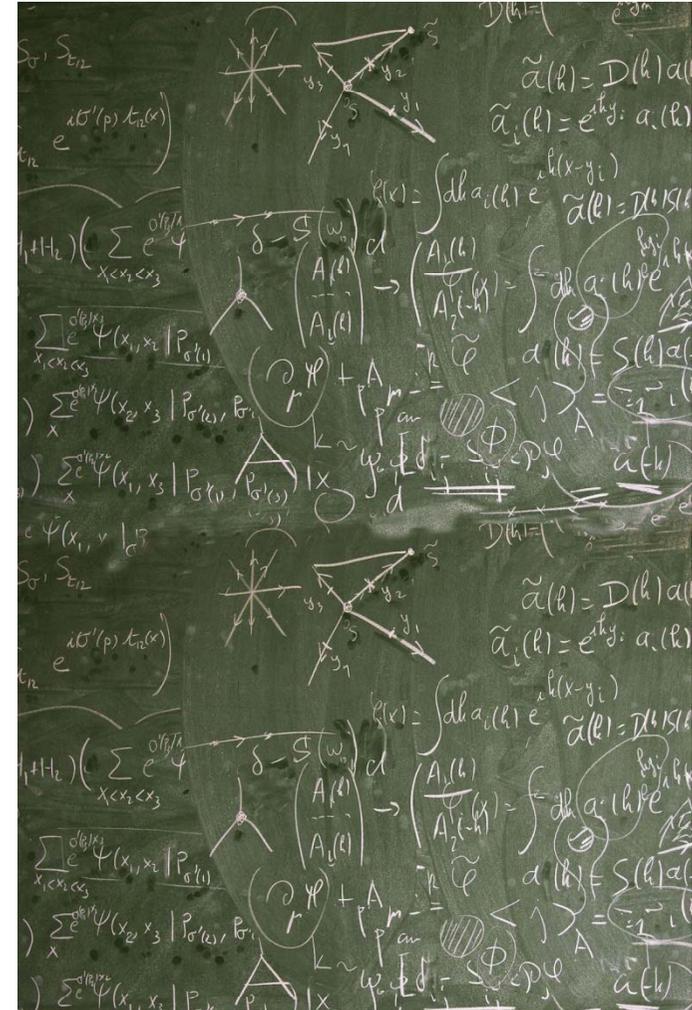
*Aident à concevoir des détecteurs innovants et souvent situés à la limite de la technologie existante*

- Budget annuel (hors salaires) :  $\approx$  2 M€
- 7 gros projets internationaux et plusieurs projets de R&D

# La physique théorique

Le LAPP abrite dans ses murs un important groupe de physique théorique, le LAPTh (~40 personnes).

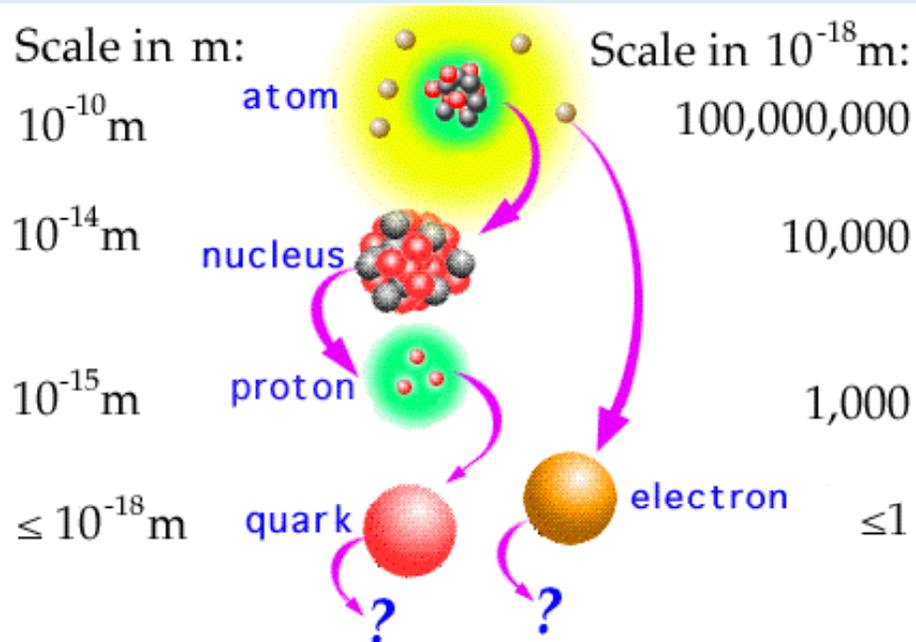
- *Les théoriciens élaborent de nouvelles théories et prédisent des effets que les expérimentateurs cherchent à mesurer*
- *Parfois c'est le contraire: les théoriciens font des calculs pour interpréter les résultats des expérimentateurs*



# La physique des particules aujourd'hui

# 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.



**Pas la physique atomique....**

**Ni la physique nucléaire...**

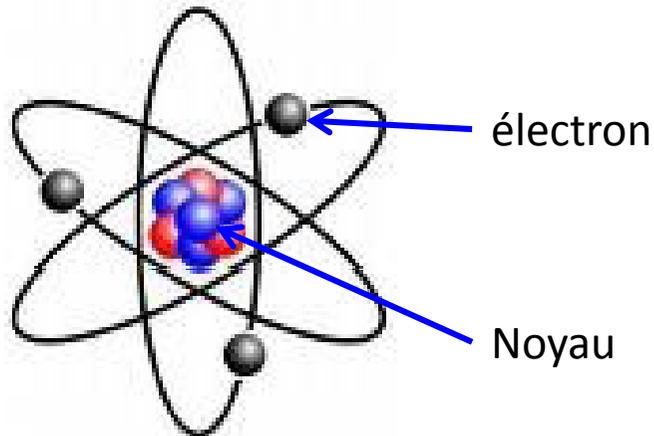
**Mais la physique des particules**

Une **particule élémentaire** est une particule de la matière que l'on ne peut diviser.

# la première particule élémentaire : l'électron



En 1897, J. J. Thomson découvre l'électron en étudiant les rayons cathodiques (tubes cathodiques dans les « anciennes télévisions »)



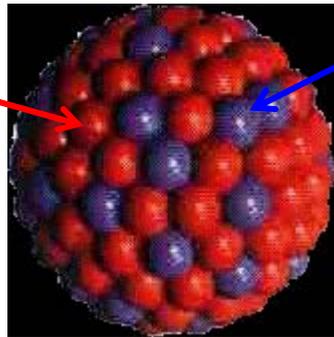
**Atome**

- Les électrons tournent autour du noyau.  
**interaction électromagnétique**
- Les électrons sont des particules ayant une charge électrique négative.

# Protons et neutrons sont-ils des particules élémentaires ?

## Composition du noyau

**proton**  
charge positive



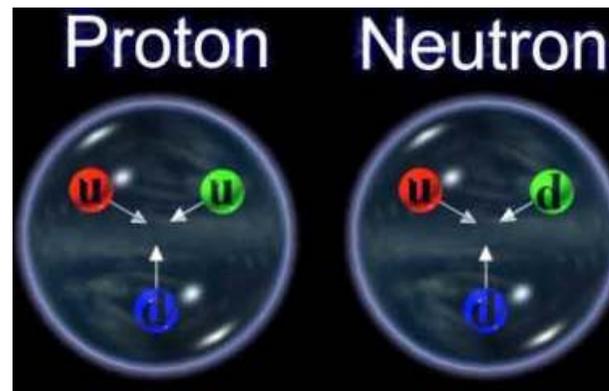
**neutron**  
charge nulle  
*découvert par  
Chadwick en 1932*

Qu'est ce qui maintient la cohésion des protons et des neutrons dans le noyau ?  
→ **Présence d'une nouvelle force : l'interaction forte**



1963

Manifestation de **l'interaction forte** entre les particules qui composent les nucléons :  
**les quarks**



Charge électrique

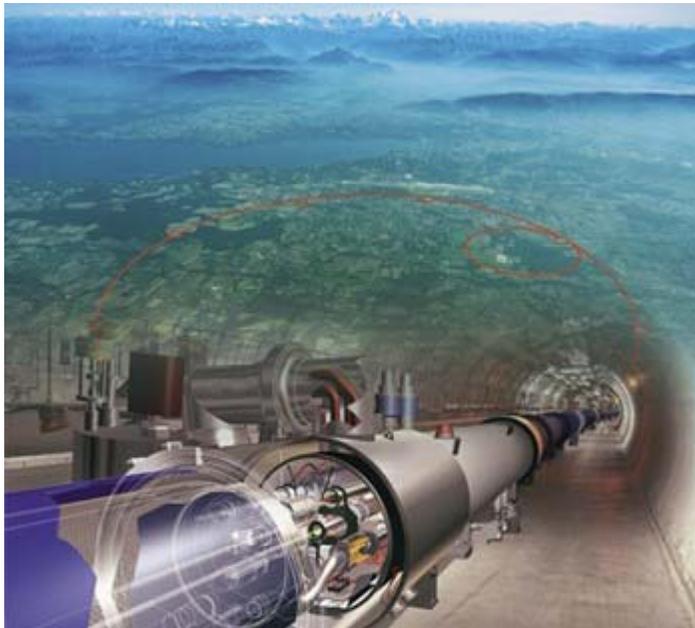
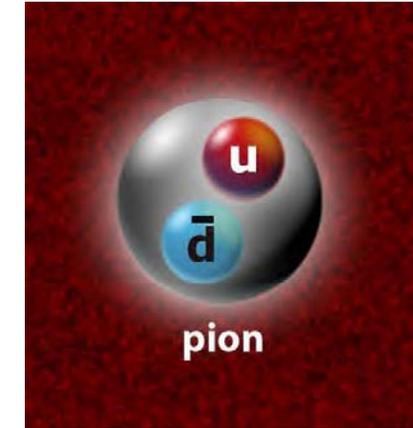
- quark u :  $+2/3e$
- quark d :  $-1/3e$

**Les quarks sont des particules élémentaires**

# La découverte des mésons

Les pions ont été découverts en 1947 en envoyant un ballon sonde à de très hautes altitudes pour étudier les rayons cosmiques (flux de particules venant de l'univers: explosion d'étoile, soleil...).

Depuis de nombreuses particules subatomiques ont été découvertes en associant les quarks et/ou les anti-quarks selon des règles bien précises.



Les nouvelles particules à découvrir sont très énergétiques (masse élevée).

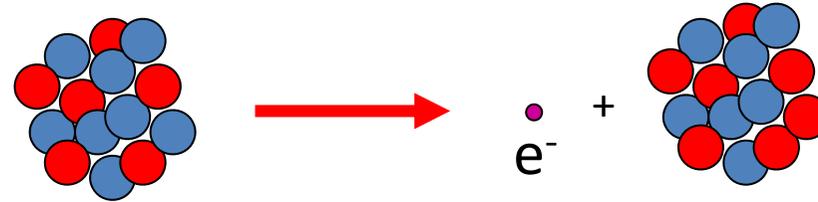
Malheureusement, les nouvelles particules sont rares dans les rayons cosmiques.

Il faut une nouvelle technologie : les **accélérateurs de particules.**

# Une nouvelle particule élémentaire : le neutrino

## La radioactivité $\beta$ :

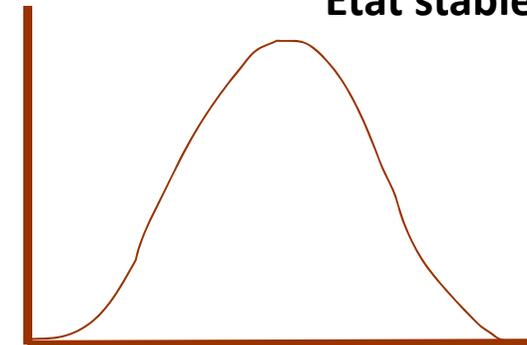
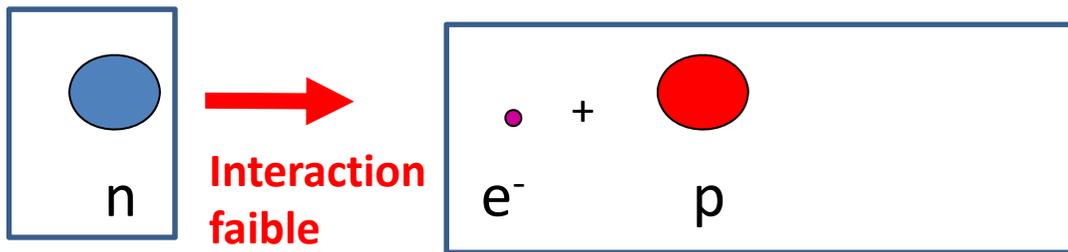
- Découverte par Becquerel en 1896
- Étudiée par Pierre et Marie Curie



$^{14}\text{C}$   
État instable

$^{14}\text{N}$   
État stable

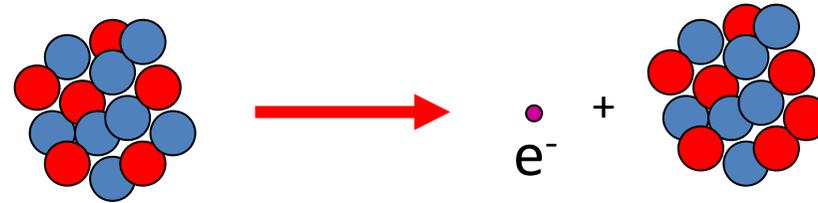
Energie initiale  $\neq$  Energie finale



# Une nouvelle particule élémentaire : le neutrino

## La radioactivité :

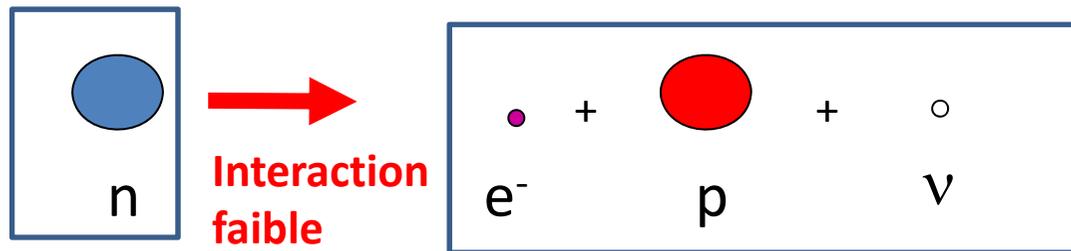
- Découverte par Becquerel en 1896
- Étudiée par Pierre et Marie Curie



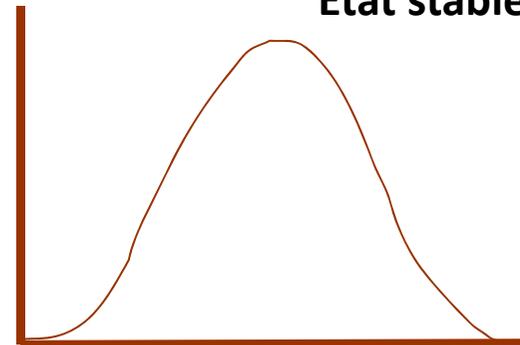
$^{14}\text{C}$   
État instable

$^{14}\text{N}$   
État stable

Energie initiale = Energie finale



Interaction  
faible



Energie de l'electron

Pour résoudre ce problème d'énergie manquante, Pauli postule en 1931 l'existence d'une nouvelle particule : **le neutrino ( $\nu$ )**

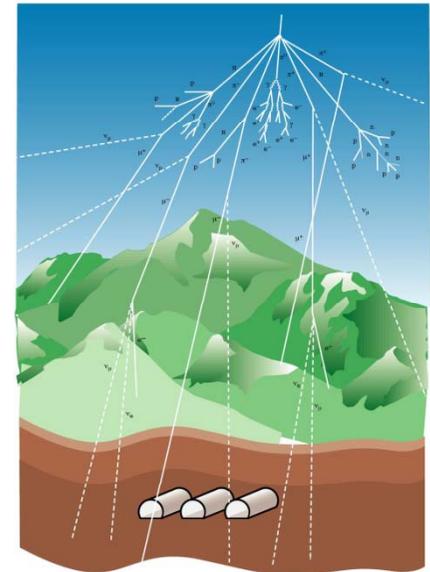
# L'anti-matière

A partir de la célèbre équation d'Einstein  $E^2 = (mc^2)^2$ , Dirac montre qu'il existe 2 solutions :

- $E = + mc^2$  : particule d'énergie positive comme un électron
- $E = - mc^2$  : particule d'énergie négative ?



En 1928, Dirac postule l'existence des antiparticules. A chaque particule correspond son antiparticule qui a la **même masse** mais qui a **une charge opposée** :  
« Avec mes formules, j'ai découvert un électron de charge positive !!! »

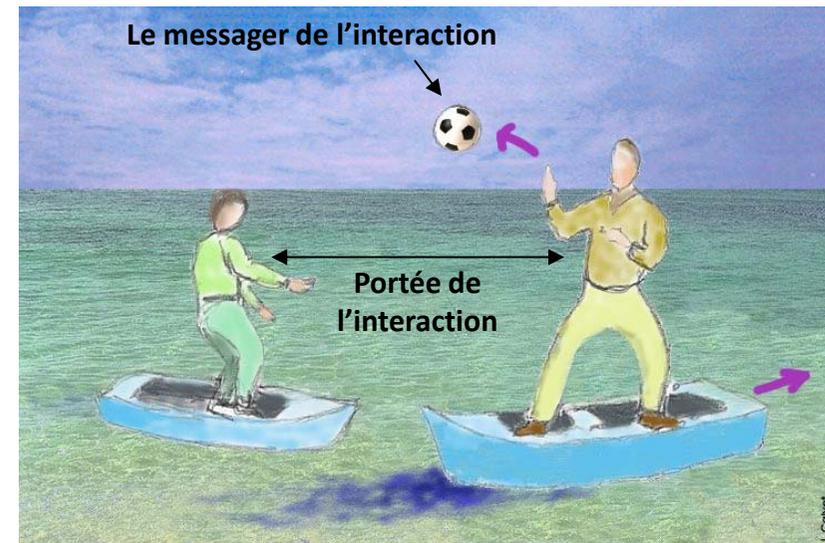
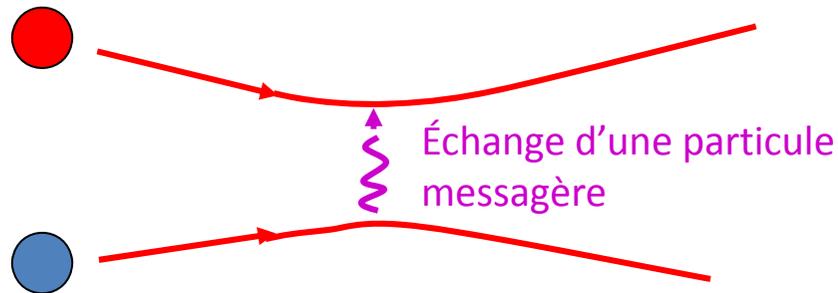


En 1932, Anderson découvre l'antiparticule de l'électron baptisée le positon  
« J'ai découvert grâce à l'étude des rayons cosmiques un électron positif »

EN 1995, le CERN fabrique en laboratoire le premier anti-atome : L'antihydrogène composé d'un anti-électron et d'un antiproton.

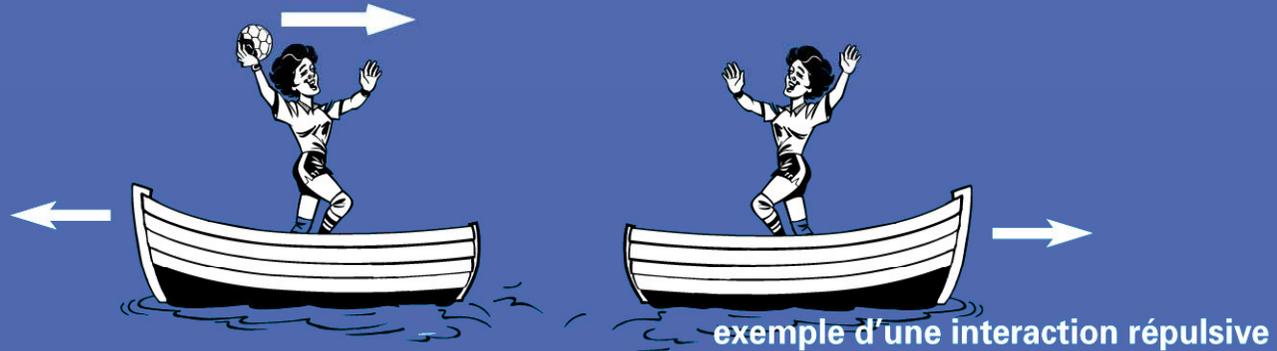
# Les interactions fondamentales

Les particules (électrons, protons, neutrinos, ...) interagissent par l'intermédiaire d'une force (l'interaction). Celle-ci est décrite comme l'échange entre ces particules d'une particule messagère.



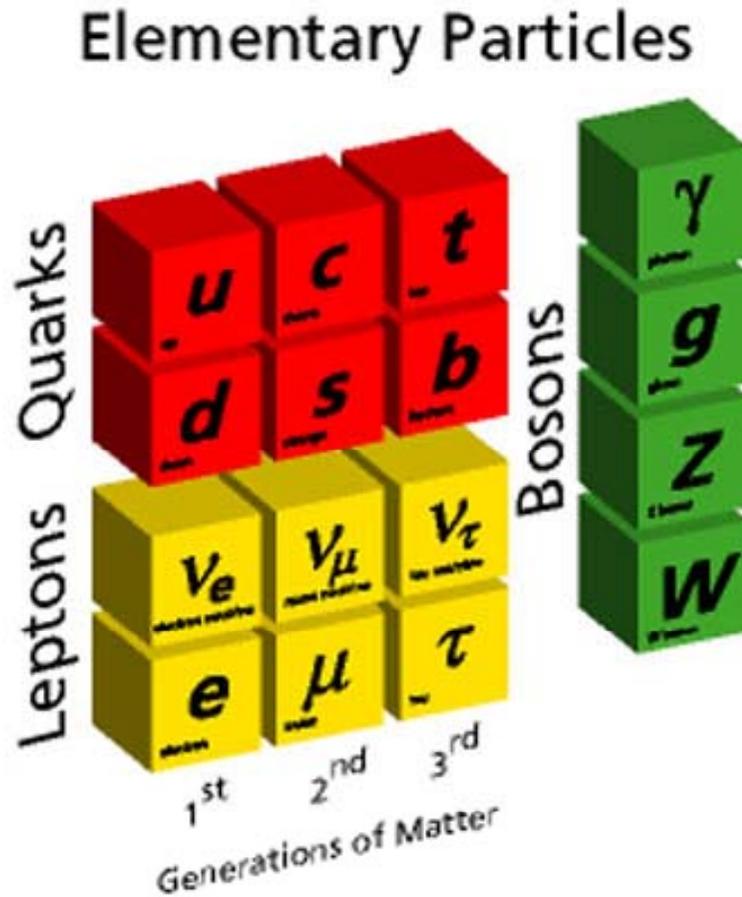
# Les quatre interactions fondamentales

ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES



TYPE	FORCE RELATIVE	PARTICULES ÉCHANGÉES	EXEMPLE DE DOMAINE D'APPLICATION
FORTE	$\approx 1$	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 $\beta$ énergie solaire
GRAVITATION	$\approx 10^{-38}$	graviton ?	pesanteur systèmes planétaires

# le modèle standard



Dans l'état actuel de nos connaissances, l'organisation de la matière est décrite par le **modèle standard**

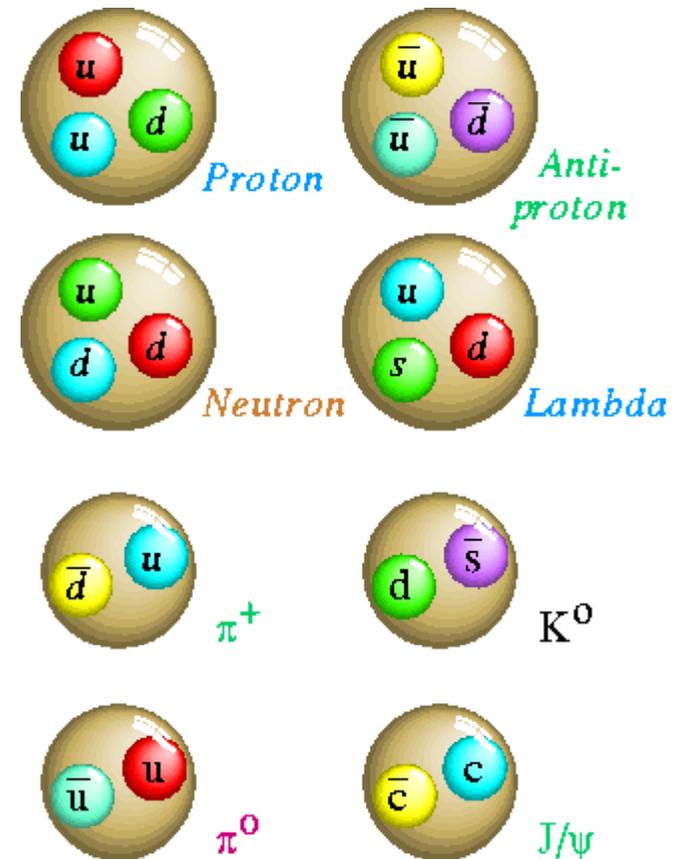
- Interactions électromagnétique, faible et forte
- 12 particules élémentaires classées en 3 familles. (+ *antiparticules associées*)

→ 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.

# Quarks et hadrons

Les quarks ont la particularité de ne pouvoir être observés que sous la forme d'un assemblage soit de **trois** quarks (**les baryons**), soit d'un **quark** et d'un **antiquark** (**les mésons**, comme le pion ou le kaon), ce qui a rendu leur mise en évidence longue et difficile. Baryons et mésons forment la famille des **hadrons**, les particules sensibles à l'interaction forte



couleurs  $\equiv$  charge pour l'interaction forte:  $\exists$  **3 couleurs r, v, b**  
Hadrons = objets **non colorés**: r+v+b ou couleur+anti-couleur

# Quelques grands mystères actuels

- Comment unifier la gravitation avec les autres forces ?
- Le nombre de familles.
- l'absence d'anti-matière dans l'univers.
- La masse des quarks et des leptons : le boson de Higgs
- La matière noire?

⇒ y a-t-il une théorie « meilleure » que le **Modèle Standard**

de nouvelles symétries (super symétries) ?

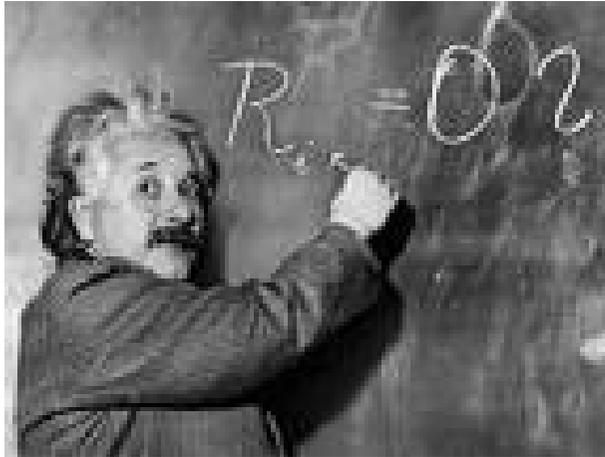
Avec de nouvelles particules expliquant la matière noire ?

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 et le LHC

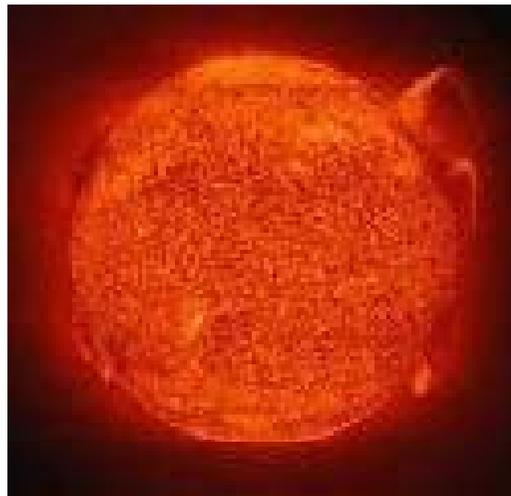
# La fameuse équation $E = mc^2$



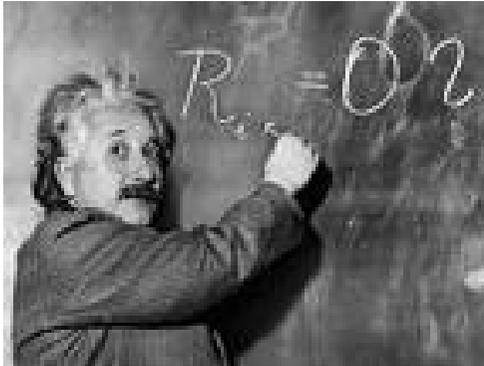
En 1905, Einstein montre l'équivalence masse-énergie par sa célèbre équation

$$\mathbf{E = mc^2}$$

On peut donc créer de l'énergie à partir de la masse :



# $E = mc^2$ à l'origine des accélérateurs de particules



A partir du principe d'équivalence  $E = mc^2$ , on peut donc aussi créer de la masse (particules) à partir de l'énergie :

C'est ce principe qui est à l'origine de la construction des accélérateurs de particules à travers le monde.

## Comment cré-t-on de nouvelles particules en laboratoire ?

- On accélère des particules pour augmenter leur énergie cinétique.
- On les fait entrer en collision.
- Dans ce flot d'énergie, de nouvelles particules émergent d'après  $E = mc^2$
- On détecte ces nouvelles particules avec les détecteurs adéquats.

# Accélérateurs de particules

Instruments qui utilisent des **champs électriques** (accélération) et **magnétiques** (guidage) pour accélérer des particules chargées et leur communiquer de l'énergie

En général on accélère:

- Des électrons  $e^-$  (antiélectrons  $e^+$ )
- Des protons  $p^+$  (anti-protons  $p^-$ )

Masse (proton)  $\cong$  **2000**  $\times$  masse (electron)

particules ultra relativistes:

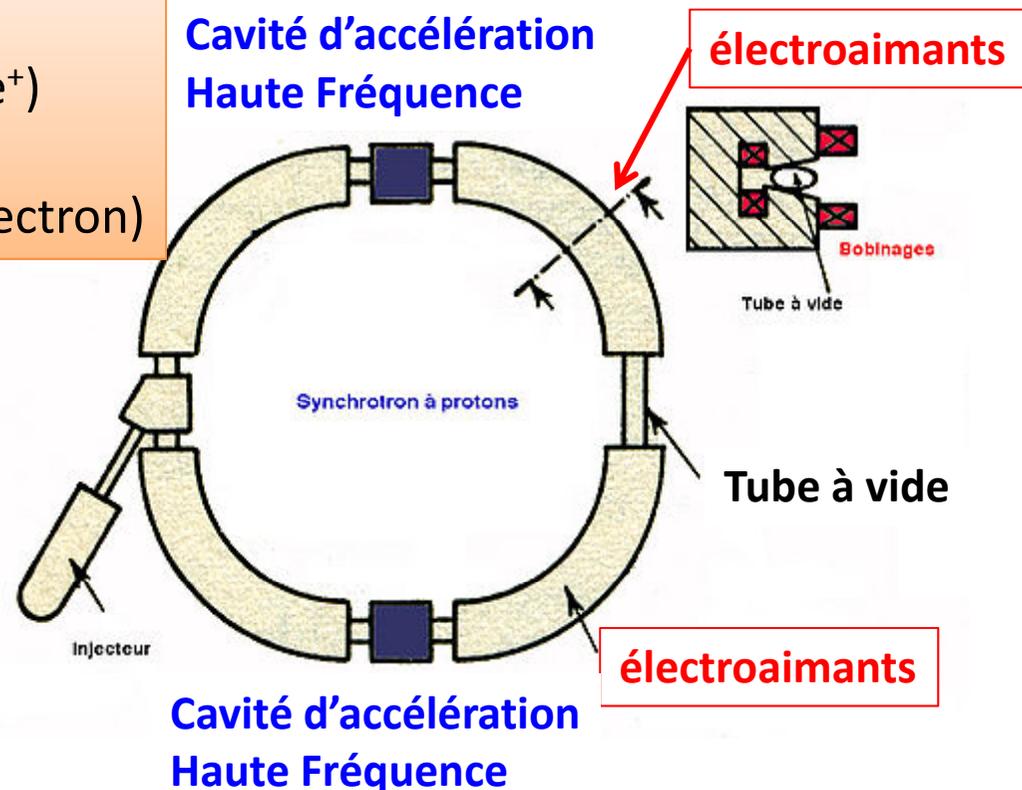
- Vitesse  $v \cong c$  (300000km/s)

- Energie  $E = \gamma mc^2$

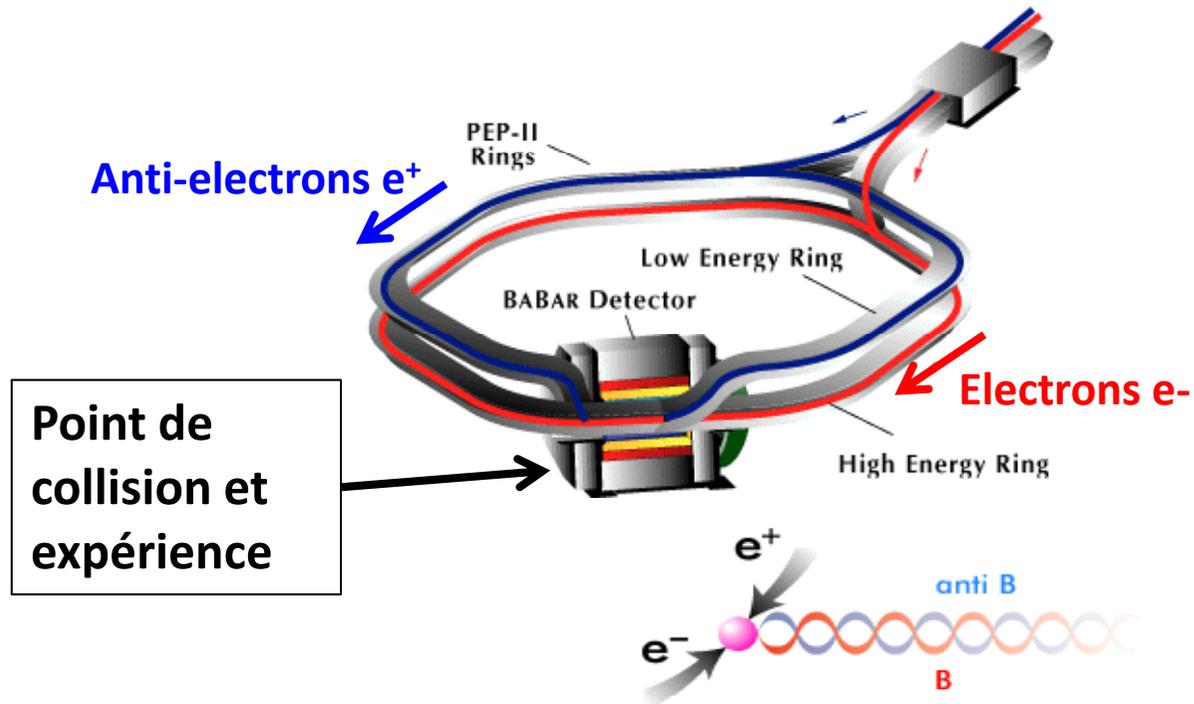
$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2/c^2} \gg 1$$

$$\gamma \cong 200000 \text{ (LEP, } e^+ e^-)$$

$$\gamma \cong 7000 \text{ (LHC, protons)}$$



# Anneau de collision



Equivalence énergie-masse:  $E = \gamma mc^2$ .

Energie de l'accélérateur → création de nouvelles particules massives

- Avant: deux particules légères de forte énergie cinétique
- Après: deux particules **lourdes** de faible énergie cinétique  
masse(B) = masse(anti-B)  $\cong$  **10000** × masse( $e^-$ )

SLAC

LINAC

San Francisco

San Jose

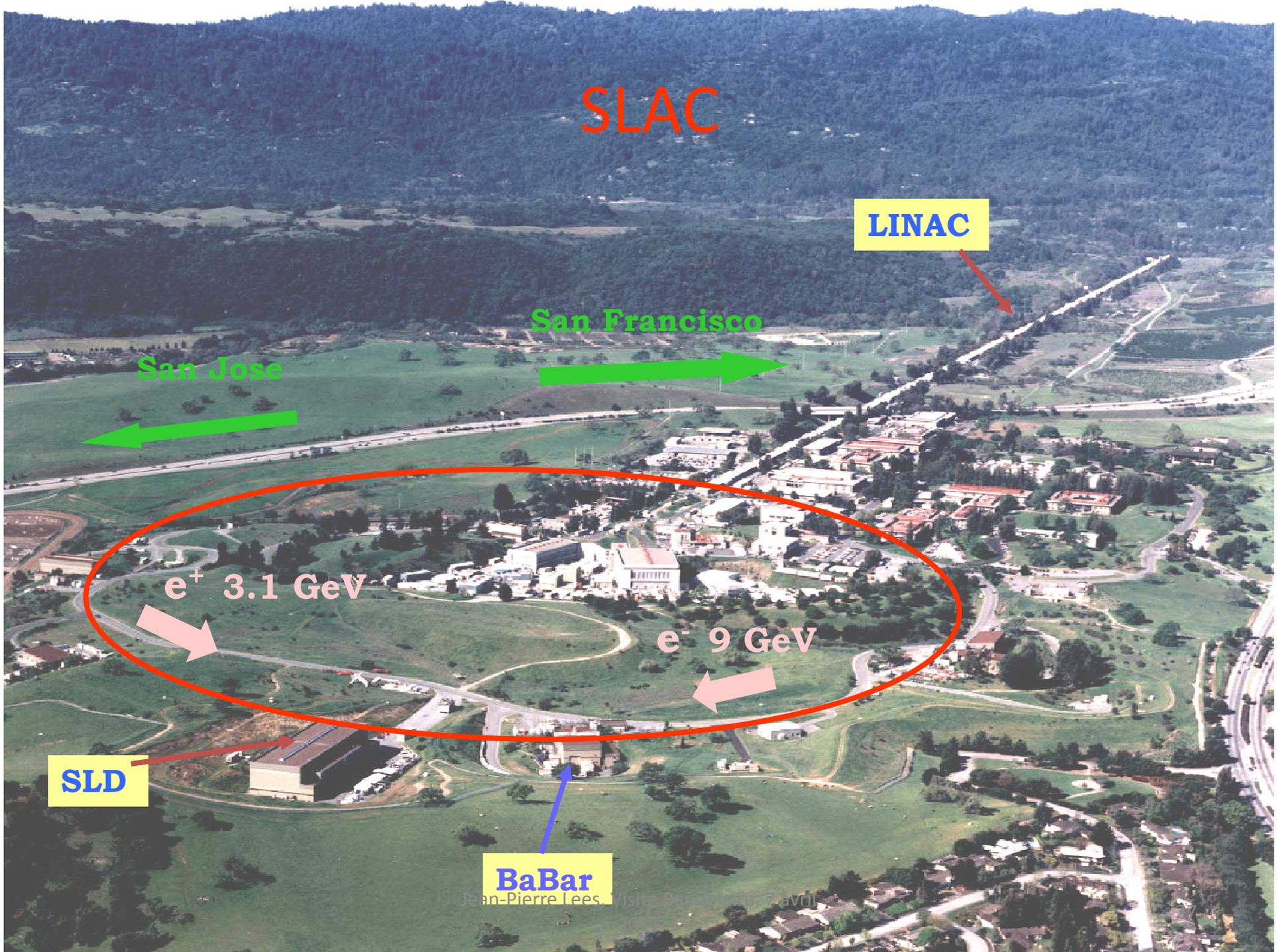
$e^+$  3.1 GeV

$e^-$  9 GeV

SLD

BaBar

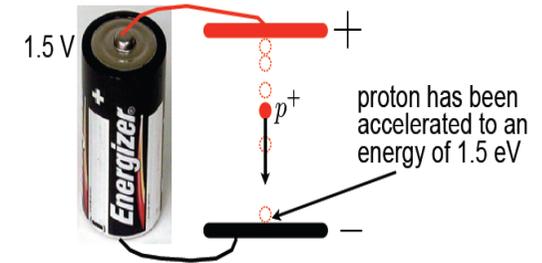
Jean-Pierre Lees, Visite BaBar, 27 avril 2011



# Les unités du physicien des particules

- **L'énergie:** les physiciens des particules la mesurent en **électron-volt (eV)** [ $1,6 \times 10^{-19}$  **Joules**] et ses dérivés keV, MeV, GeV, TeV: c'est l'énergie d'un électron accéléré sous une d.d.p. de 1 volt

- **La masse m** les physiciens des particules la mesurent en **électron-volt/c<sup>2</sup>** [ $1,78 \times 10^{-36}$  kg] par exemple masse électron **0,511MeV/c<sup>2</sup>** masse proton **938 MeV/c<sup>2</sup>**



## Energie de quelques accélérateurs connus:

PEP-II	e+e-	3,1GeV x 9 GeV
LEP	e+e-	100GeV x 100GeV
SPS	proton-anti proton	270GeV x 270GeV
Tevatron	proton-antiproton	980GeV x 980GeV
LHC	proton-proton	7000GeVx7000GeV

## Energie dans le centre de masse

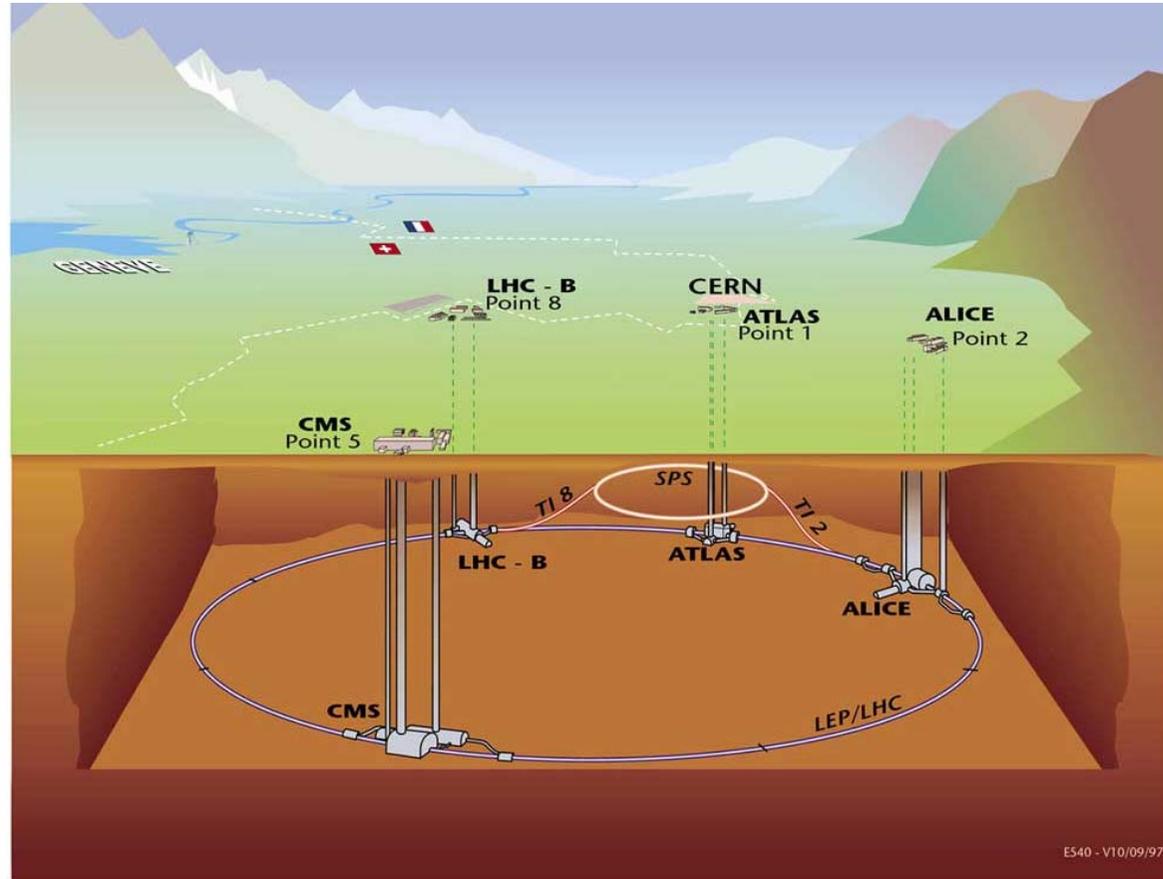
10,58 GeV  
200 GeV  
540 GeV  
1,96 TeV  
14 TeV

# 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

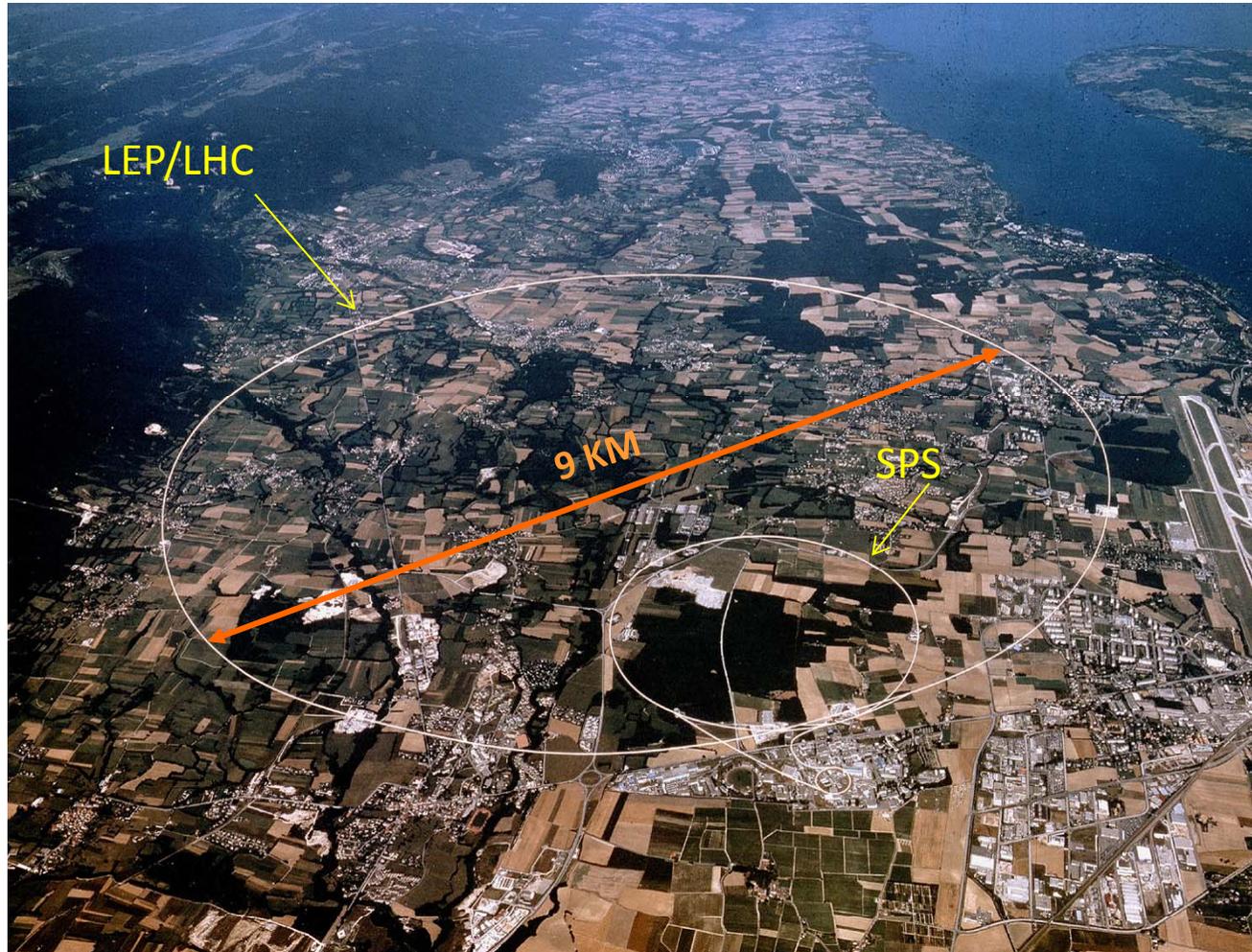
Protons de 7 TeV d'énergie



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

Jean-Pierre Lutz, Mistrô Boudlaine, 7 Sept 2011

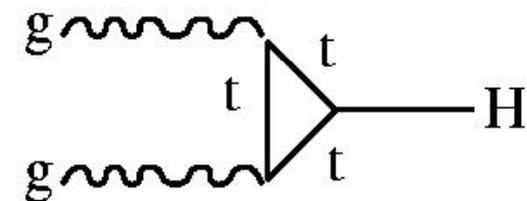
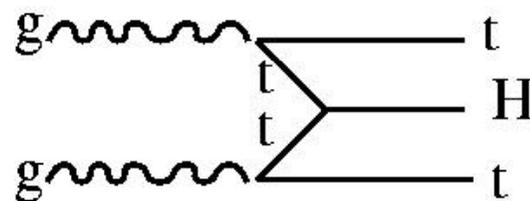
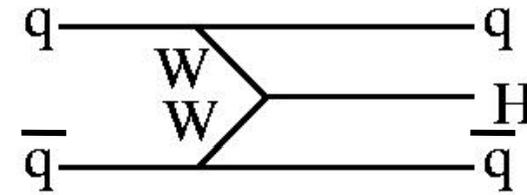
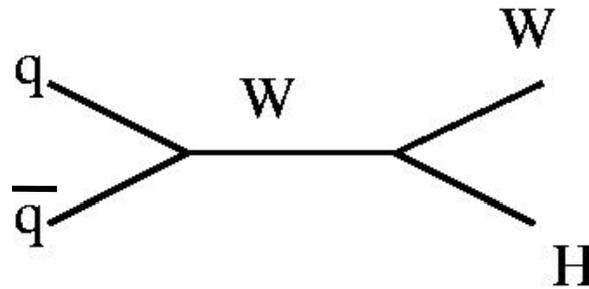
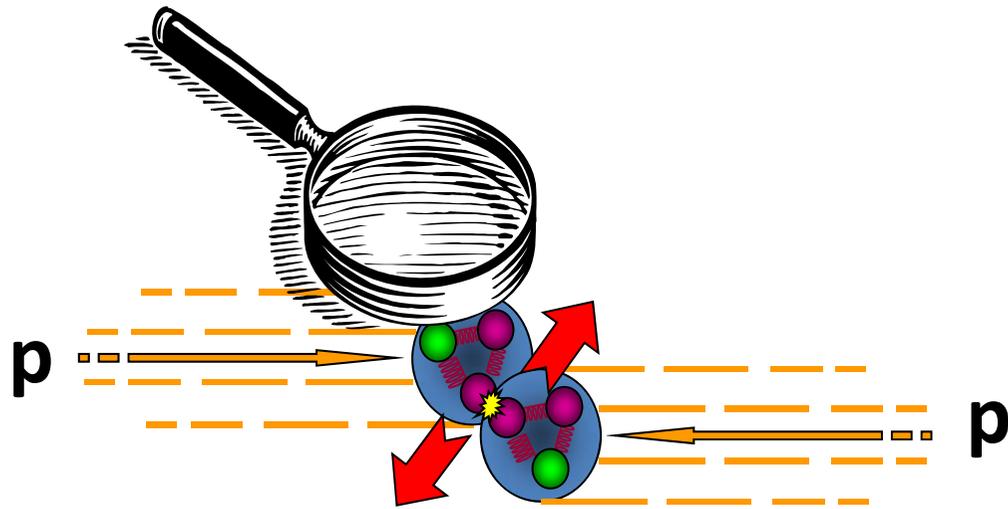
# le LHC (2)





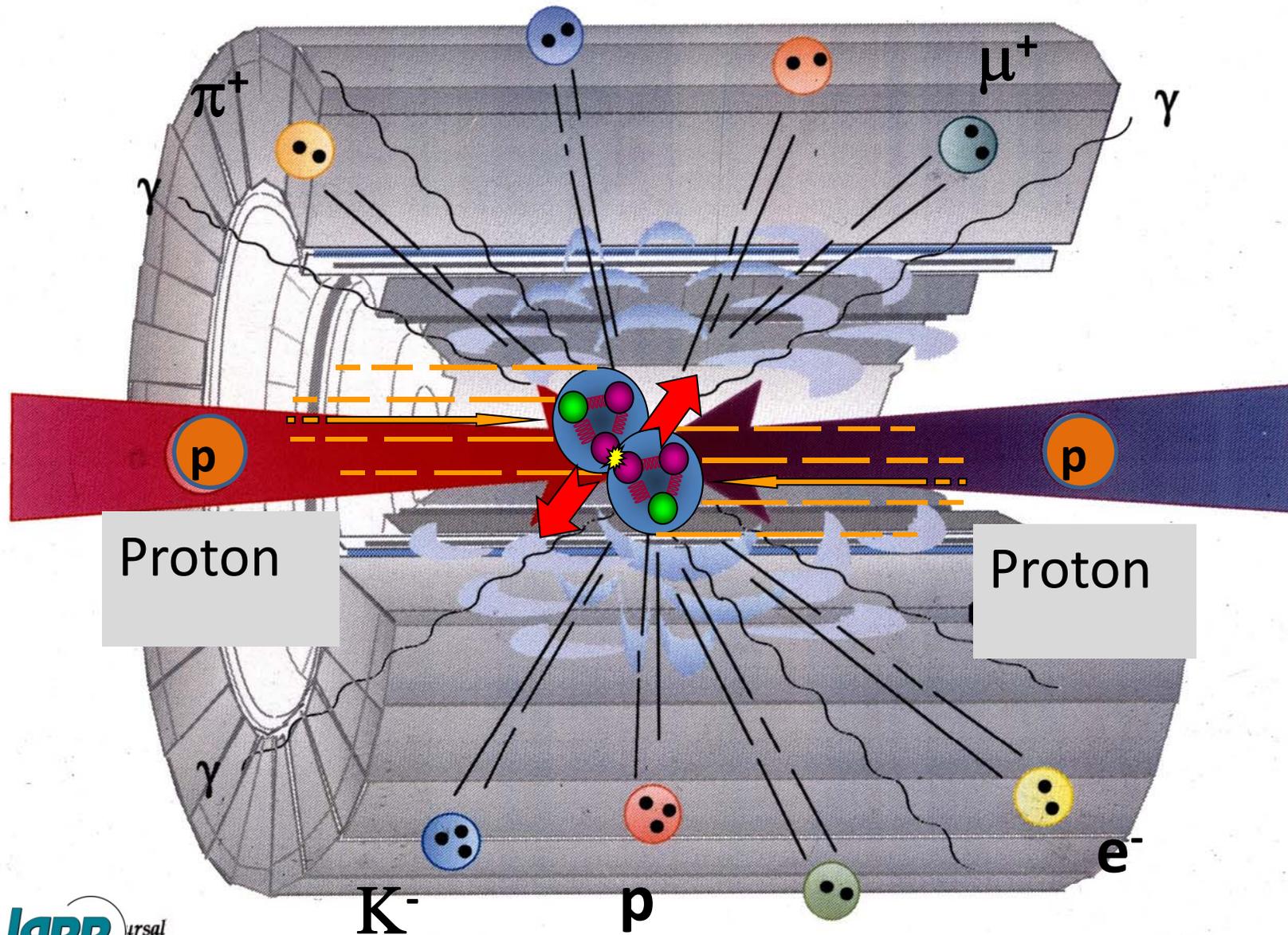
**2000 paquets contenant chacun une centaine de milliards de protons.  
11000 tours en une seconde**

# Exemple de la production du higgs au LHC



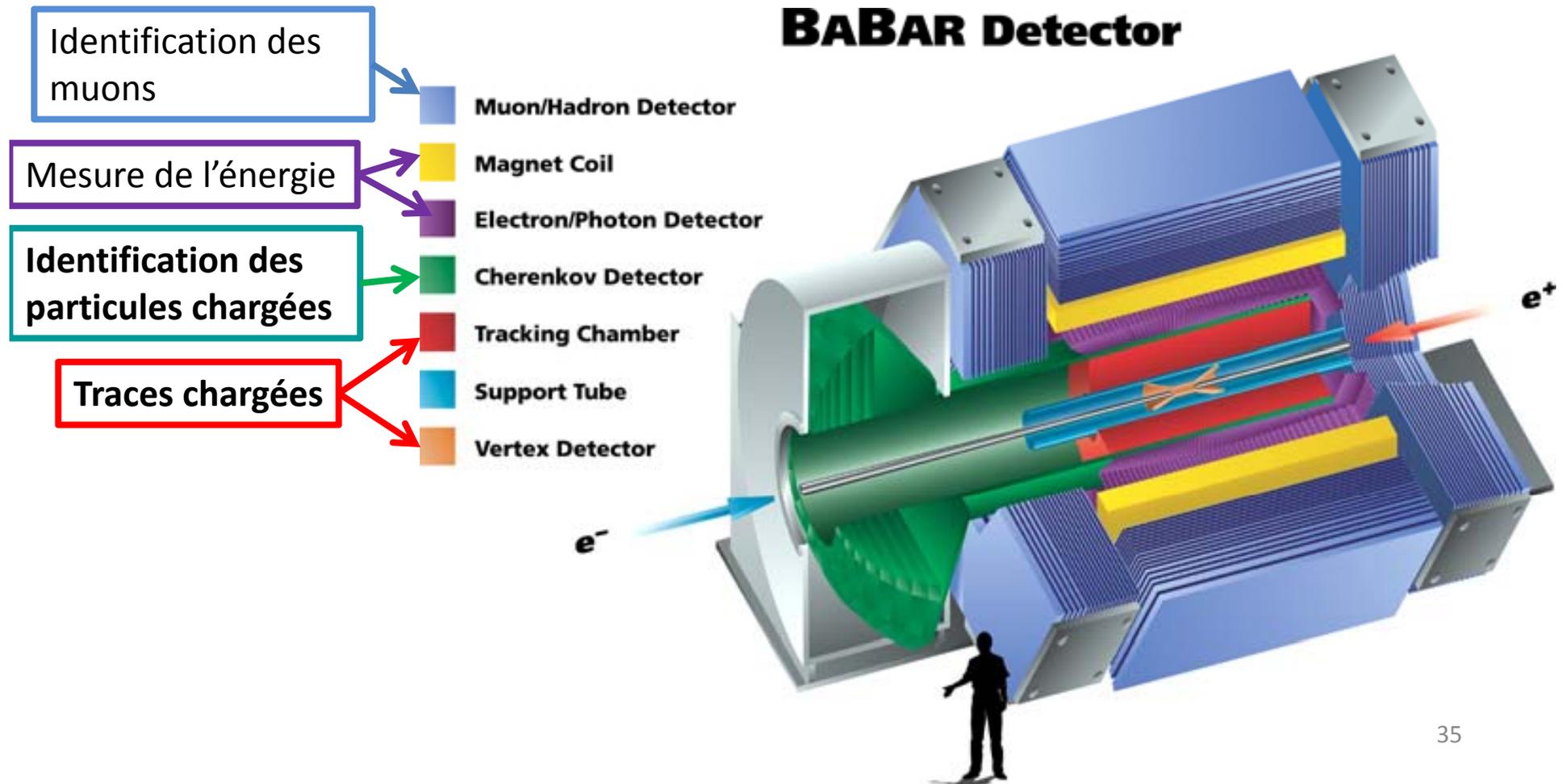
# les techniques de détection

# Comment détecter ces particules?



# Les détecteurs

- Ils sont constitués de couches successives comme un oignon
- Chaque couche = sous détecteur ayant un rôle spécifique :  
enregistrer le passage d'une particule (détecteur de traces),  
mesurer son énergie (calorimètre), ...

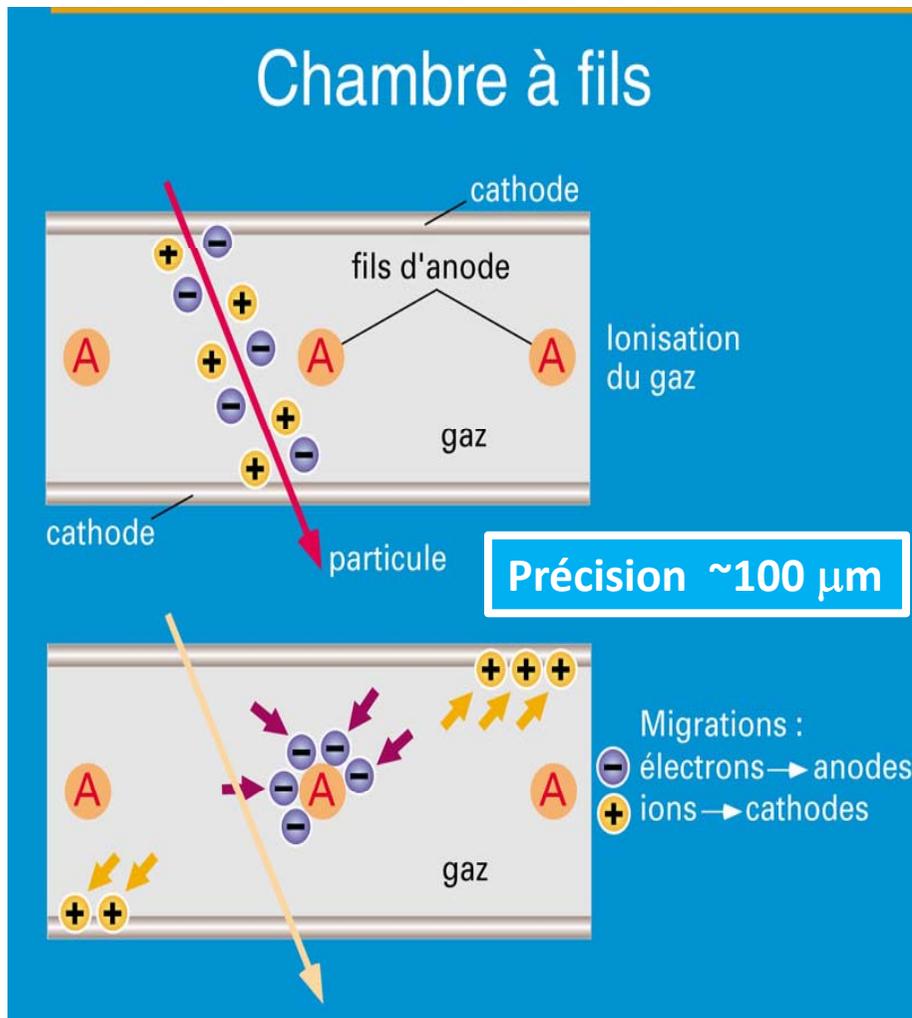


# Propriétés des particules mesurées avec un détecteur

- **L'énergie:** les physiciens des particules la mesurent en **électron-volt (ev)** [ $1,6 \times 10^{-19}$  Joules] et ses dérivés kev, Mev, GeV, TeV
- **La masse m** les physiciens des particules la mesurent en **électron-volt/c<sup>2</sup>** [ $1,78 \times 10^{-36}$  kg] par exemple masse électron **0,511MeV/c<sup>2</sup>** masse proton **938 MeV/c<sup>2</sup>**
- **La quantité de mouvement** ( $\gamma m \times v$ ) en **électron-volt/c**
- **La charge électrique** comptée en charge élémentaire [**+1**  $\equiv + 1,6 \times 10^{-19}$  C]
- **La stabilité** [temps de vie]: la plupart de ces particules sont instables et vivent un temps infime avant de se désintégrer en d'autres particule plus stables

# Détecter les traces chargées

## Chambre à fils



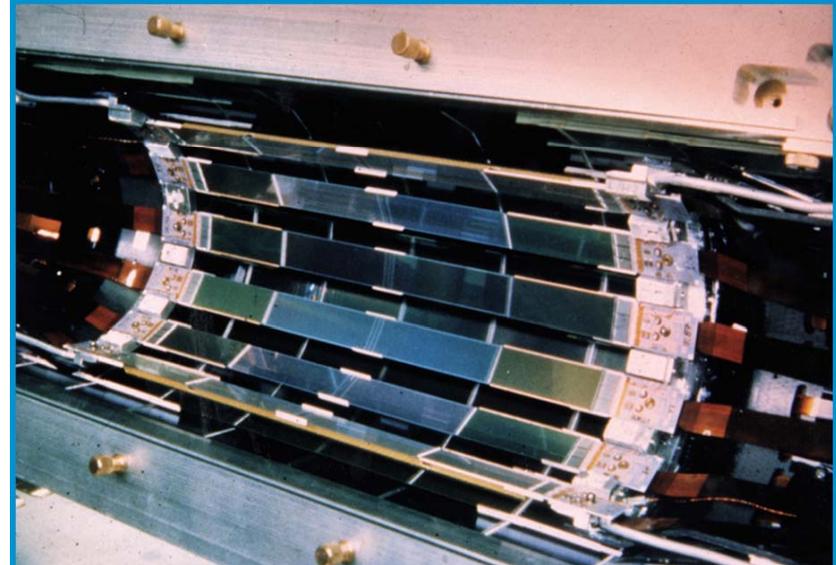
## Détecteur au silicium

Implantation chaque 50 μm

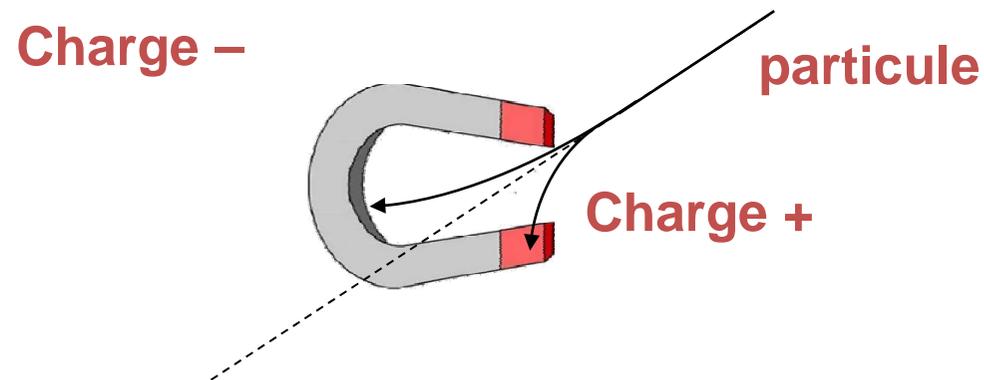
**Précision ~10 μm**

Diamètre = 20 cm

50 000 voies de détection



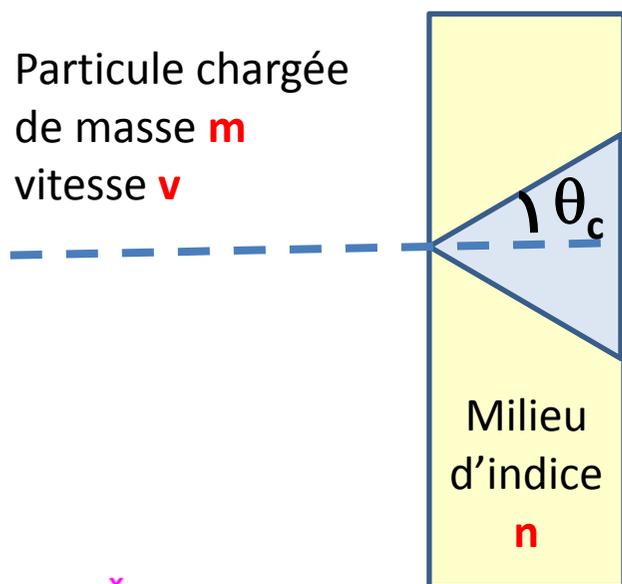
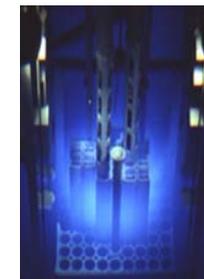
# Mesurer la charge et la quantité de mouvement des particules chargées



Un aimant nous renseigne sur la **charge** et la **quantité de mouvement** [masse x vitesse] des particules chargées

- Particule + courbée vers la droite, particule - courbée vers la gauche
- Une particule de masse donnée sera moins déviée si elle est très rapide et fortement déviée si elle est très lente

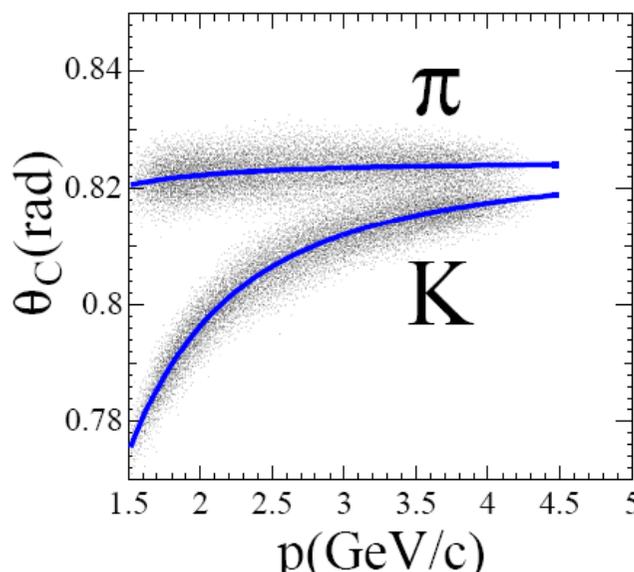
# Identifier les particules chargées



Čerenkov angle

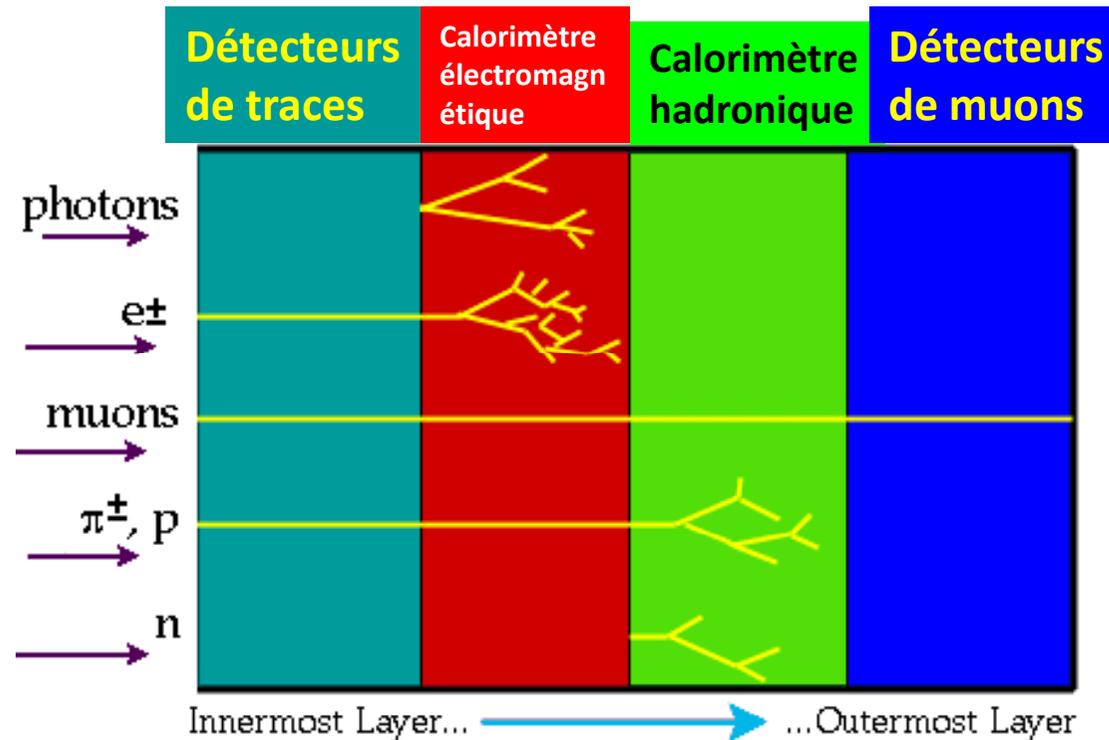
## L'effet Čerenkov

- Si  $v > c/n$  (vitesse de la lumière dans le milieu) émission de lumière selon un angle  $\theta_c$  tel que  $\cos(\theta_c) = c/(v n)$
- pas de lumière si  $v < c/n$
- Cet effet est utilisé dans les détecteurs **pour identifier la nature des particules** [il nous renseigne sur la **vitesse** des particules]



Ayant mesuré  $p$  et  $\theta_c$ , on peut savoir si on a affaire à un  $\pi$  ( $m=138 \text{ MeV}/c^2$ ) ou à un  $K$  ( $m=493 \text{ MeV}/c^2$ )

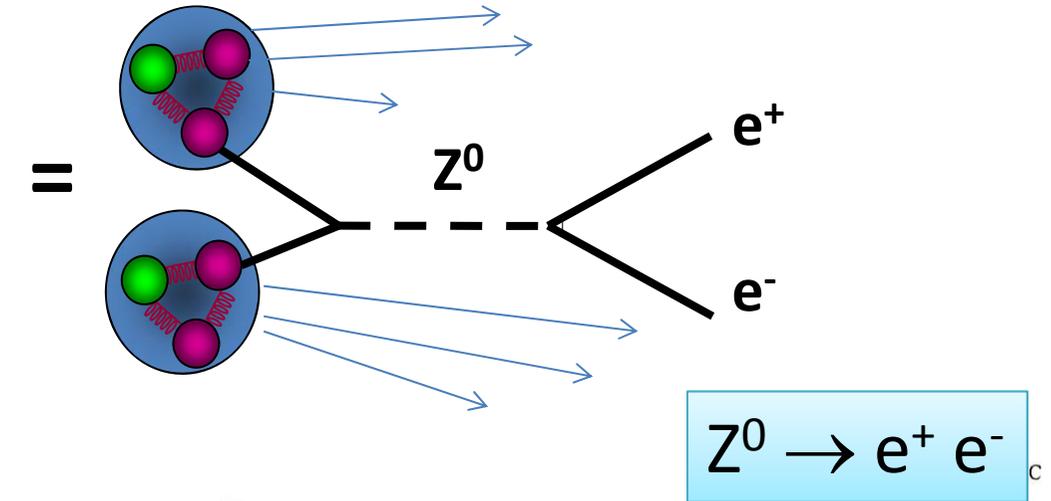
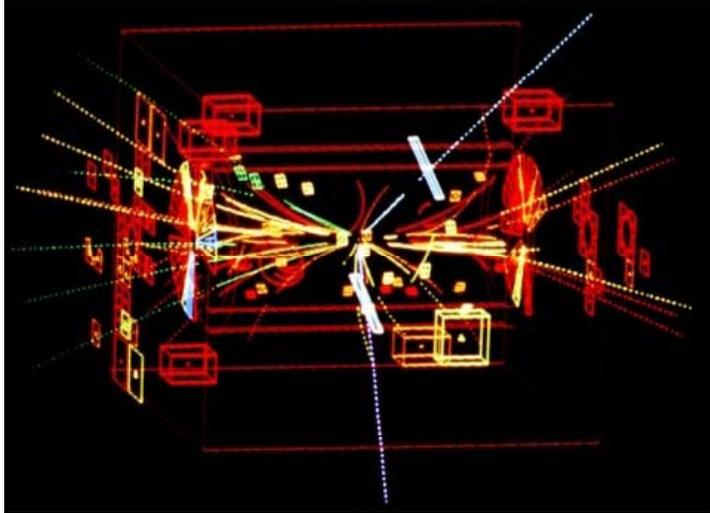
# Mesurer l' énergie



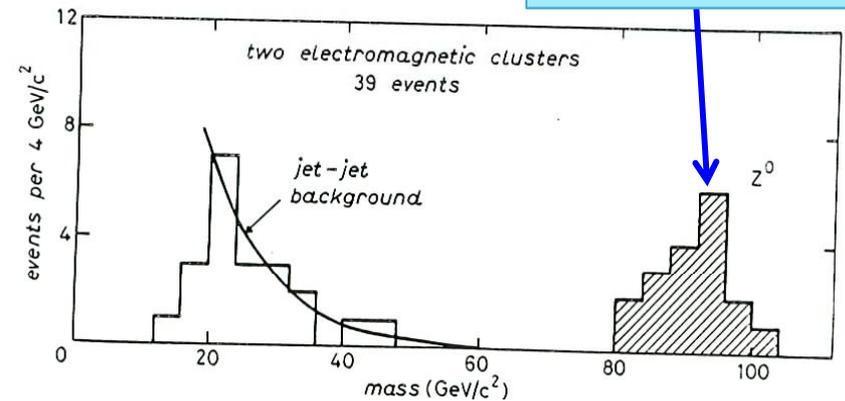
## Calorimètre :

- arrêter la particule, mesurer son énergie et son point d'impact
- la particule cède son énergie en interagissant avec le détecteur
- une fraction est cédée par ionisation  $\rightarrow$  signal électrique mesurable

# Un exemple: découverte du $Z^0$ par UA1

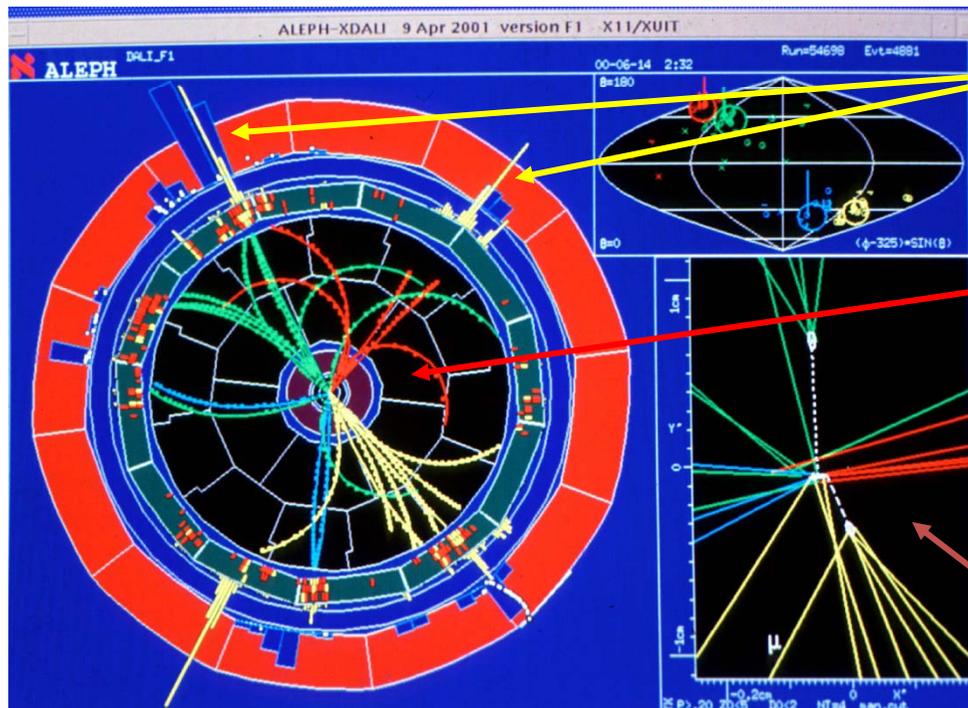


proton ( $m=0.938\text{GeV}/c^2$ ,  $E=270\text{GeV}$ ) +  
 antiproton ( $m=0.938\text{GeV}/c^2$ ,  $E=270\text{GeV}$ )  
 $\rightarrow Z^0$  ( $m=91.2\text{GeV}/c^2$ ) + particules  
 résiduelles



Spectre en masse des paires  $e^+ e^-$

# Exemple: un événement d'ALEPH (1989-2000, collisions e+e-)

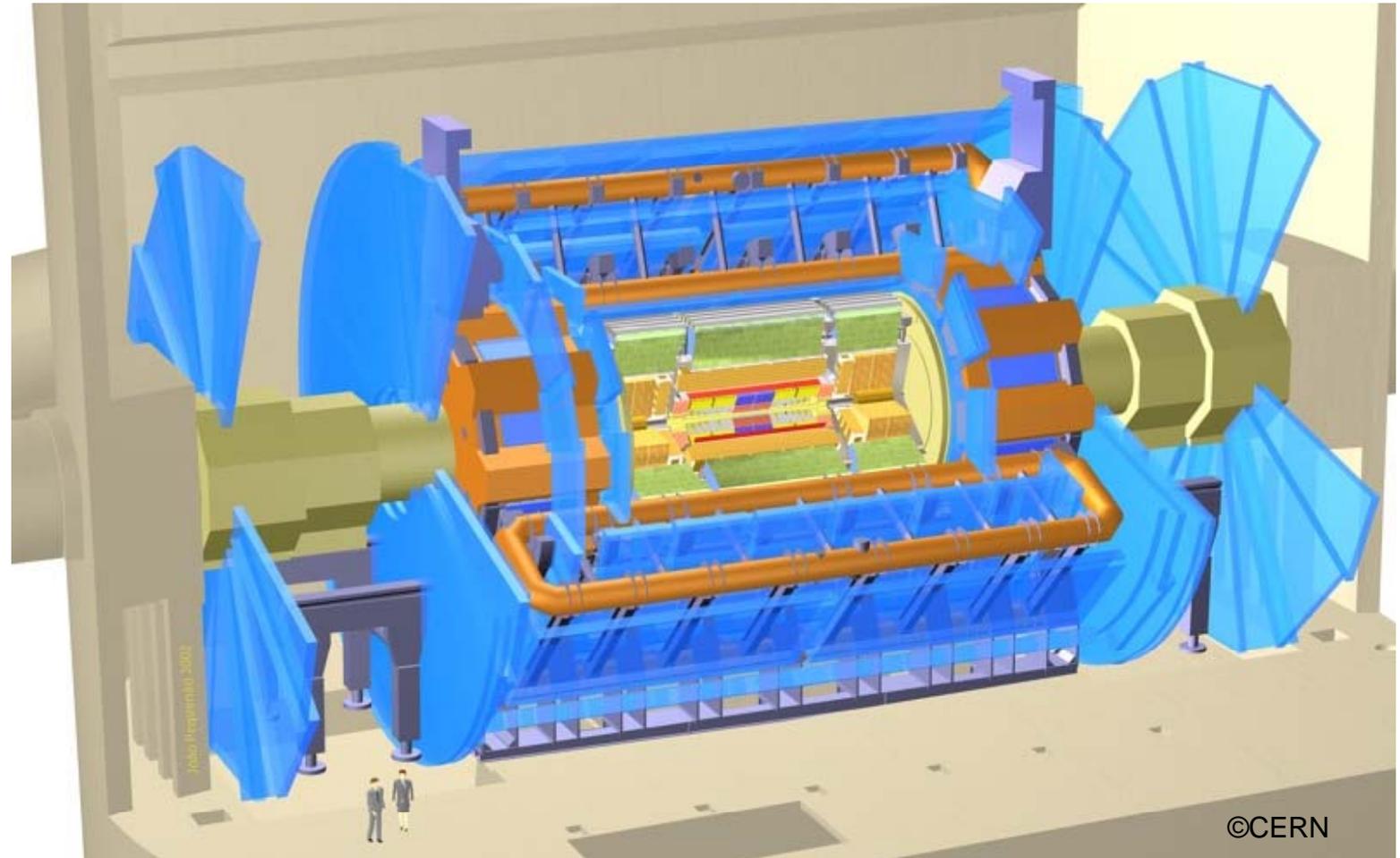


Les calorimètres mesurent la valeur des énergies

Le détecteur de traces (TPC) mesure les trajectoires que le champ magnétique a courbées : on reconstruit ainsi à l'aide d'un programme l'impulsion de la particule sa charge et ses angles d'émission.

Le détecteur de vertex mesure la durée de vie de certaines particules

# Quelques expériences sur accélérateurs (LHC)



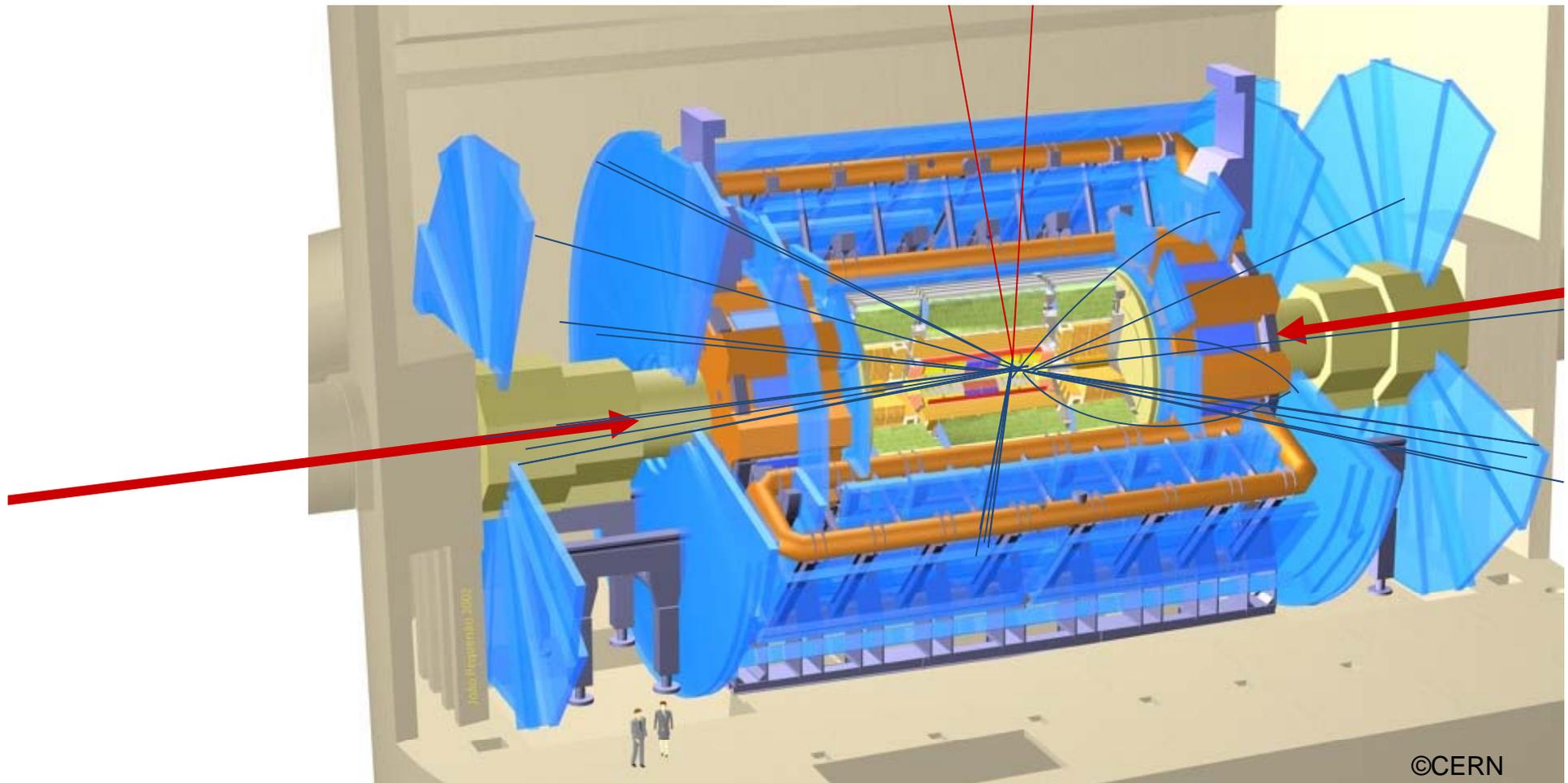
## ***Le détecteur ATLAS au LHC***

22 m de haut, 44 m de long, poids de 7000 tonnes, dans une caverne à 100m sous terre

Composé de plusieurs sous-détecteurs

Une des expériences phare du **LHC**

Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril  
2011



## ***Le détecteur ATLAS au LHC***

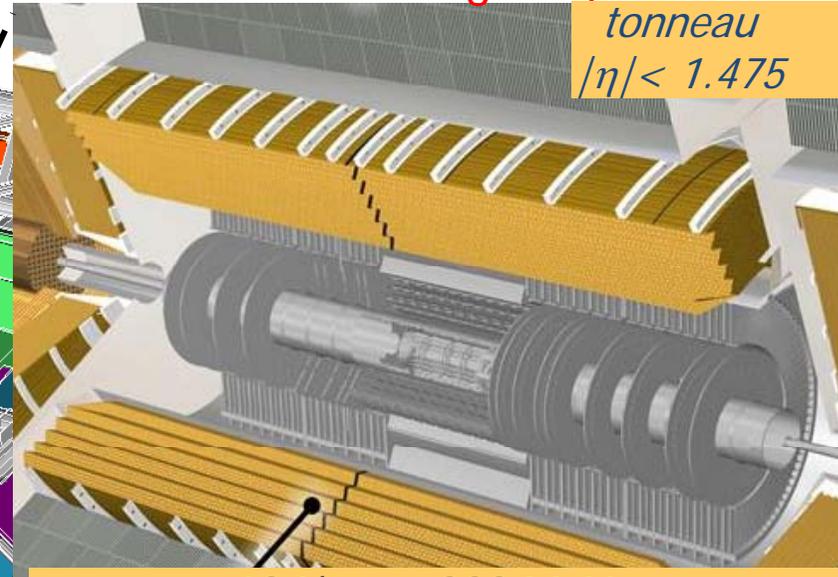
- Recherche du boson de Higgs?
- Découverte de nouvelles particules?

10/32 modules du calorimètre  
électromagnétique tonneau  
construit au LAPP



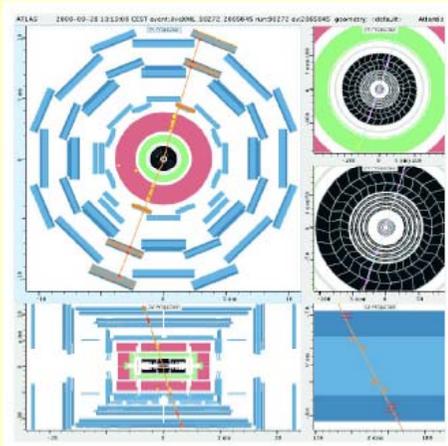
Calorimètre électromagnétique LAr

tonneau  
 $|\eta| < 1.475$



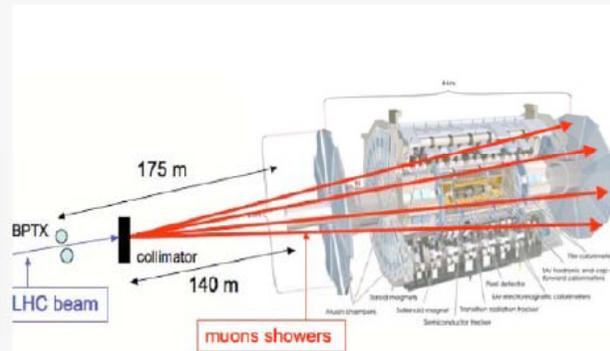
Cosmic muons  
(since 2006)

Muon: Minimum Ionizing  
Particle (MIP) in LAr calorimeter



First LHC Beams  
(Sept. 10-12, 2008)

Very large energy deposited in  
most of LAr cells !



Splash events

First Collisions  
(Nov. 23, 2009)

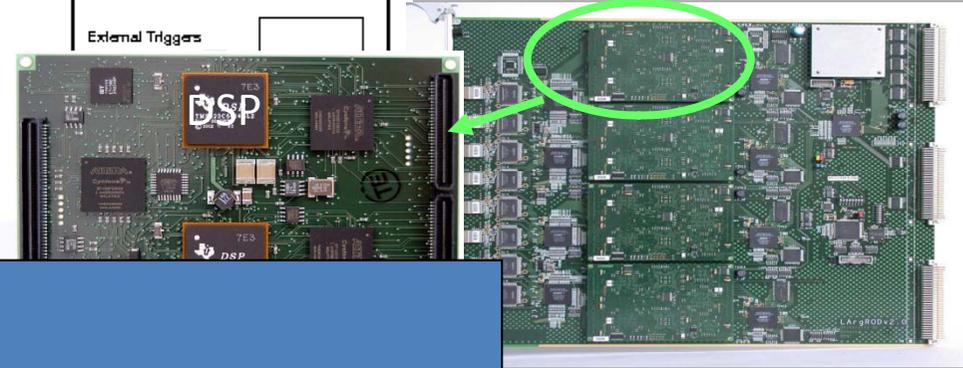
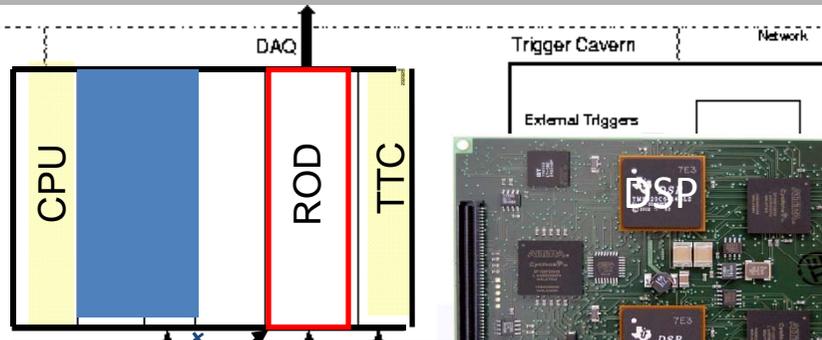
Real events !



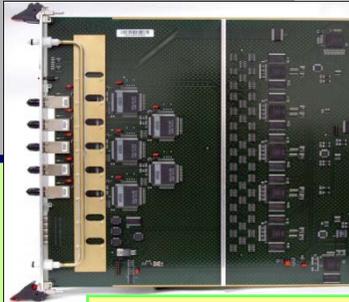
# Electronique: réalisation LAPP

Chaîne de lecture de l'accordéon

Salle de comptage (Back-End)



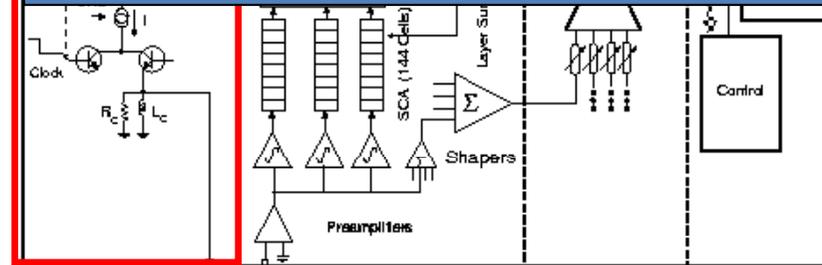
Carte ROD



Carte injecteur

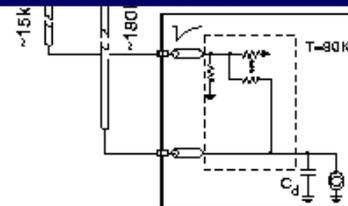
Sur le cryostat (Front-End)

+ mise en route de tout le Back-End

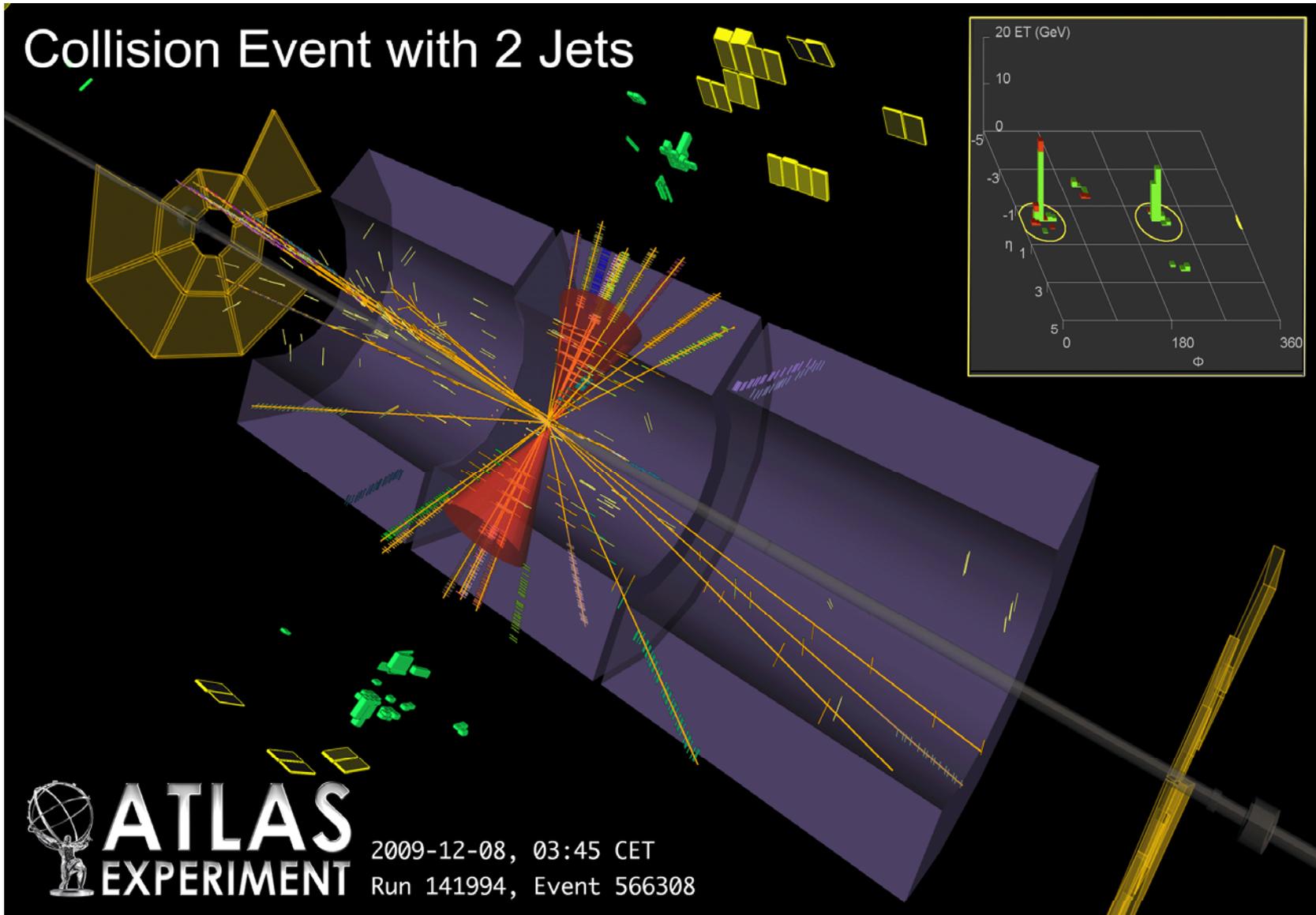


Carte calibration

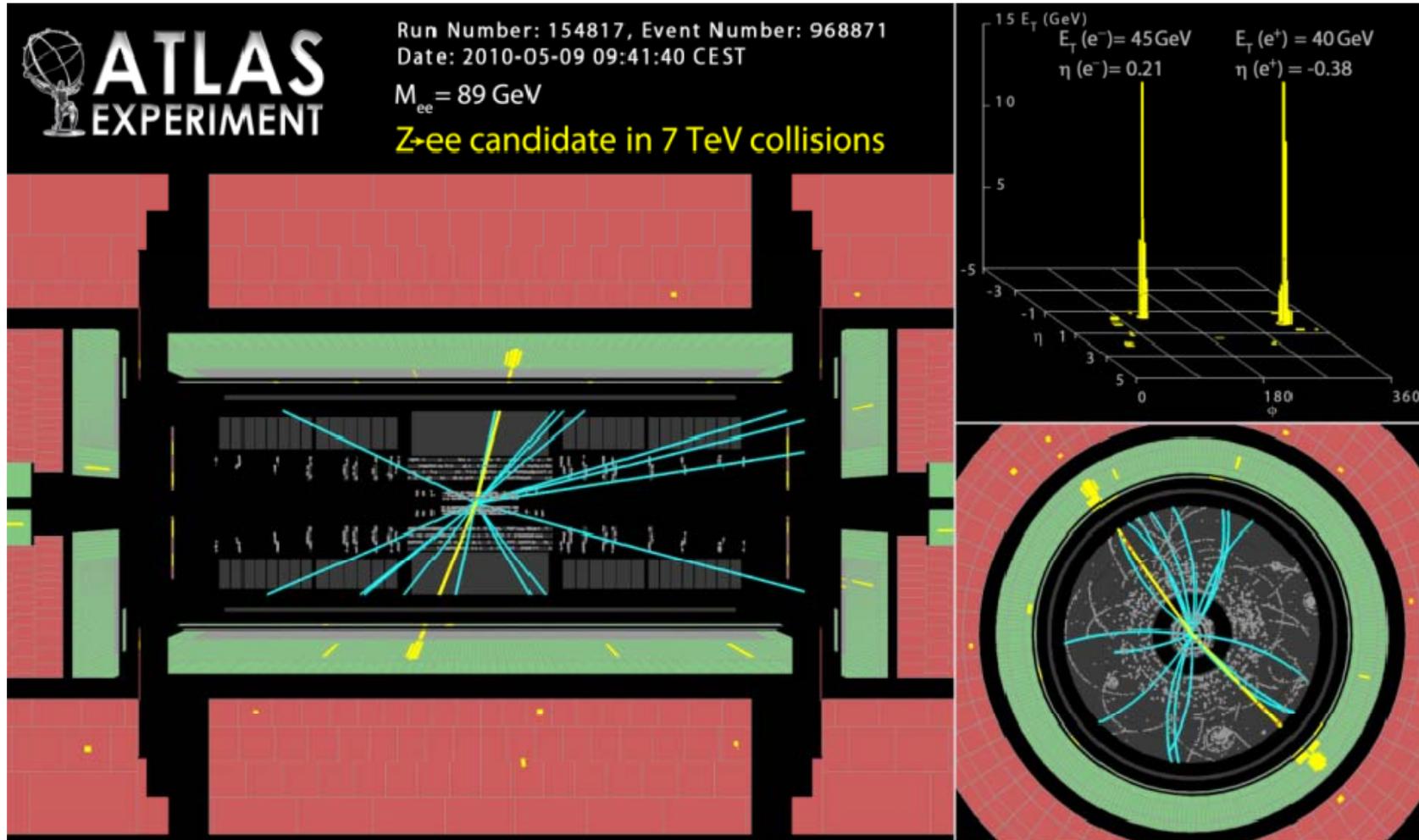
Argon liquide



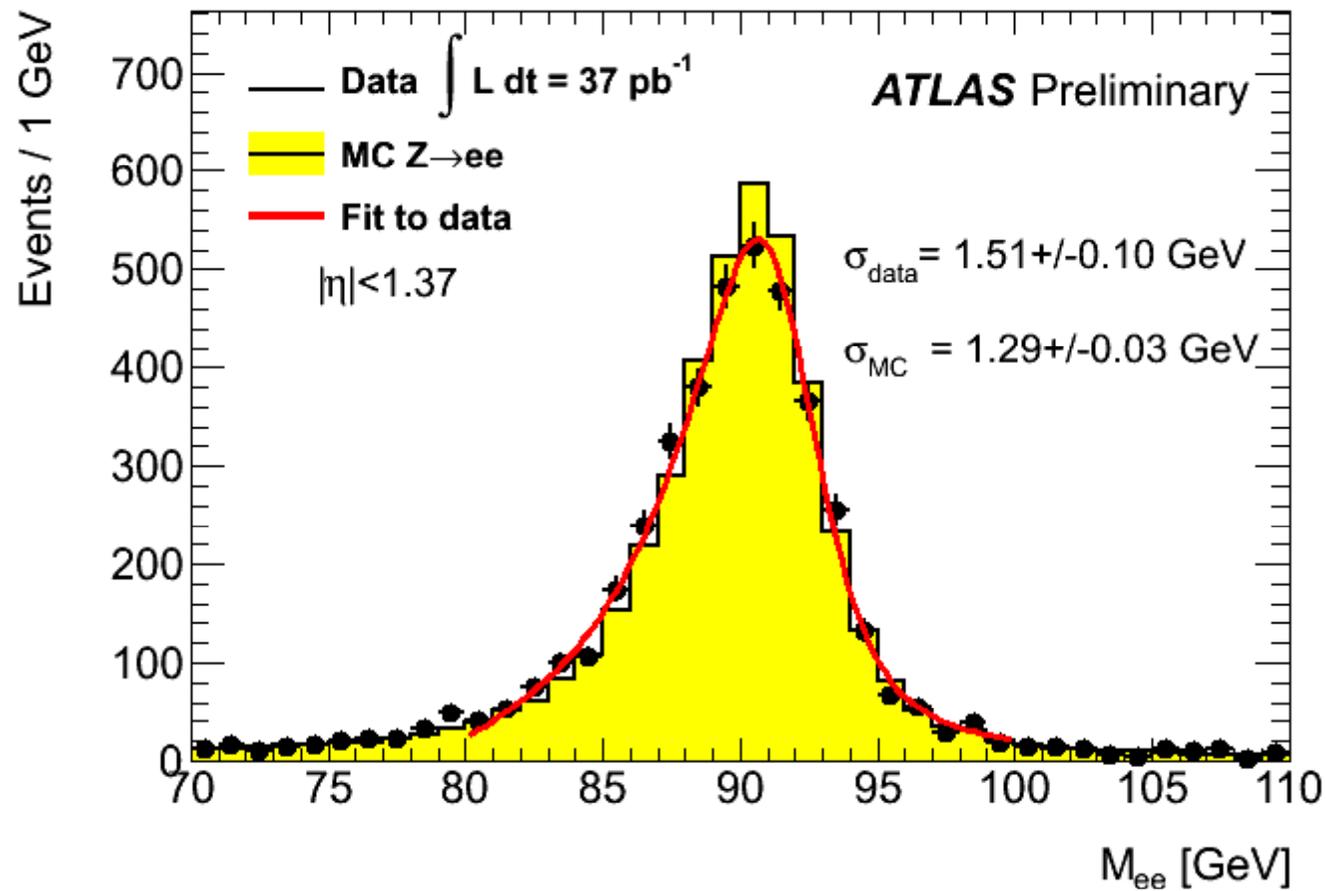
# Two jet event at 2.36 TeV (Dec. 8<sup>th</sup>)



# Un candidat $Z^0$ dans ATLAS

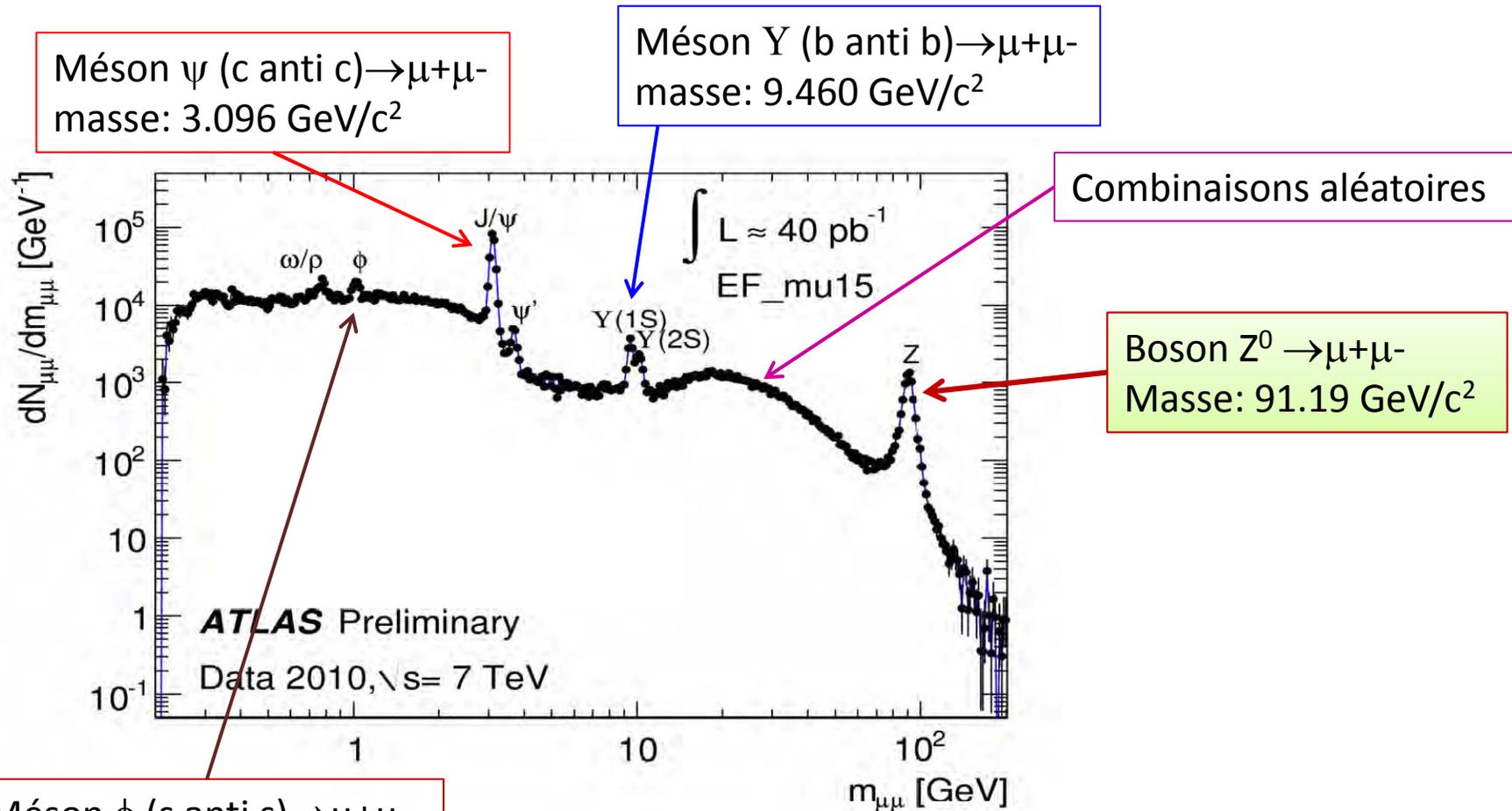


# Masse des candidats $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ dans ATLAS



# Exemple de désintégrations dans Atlas

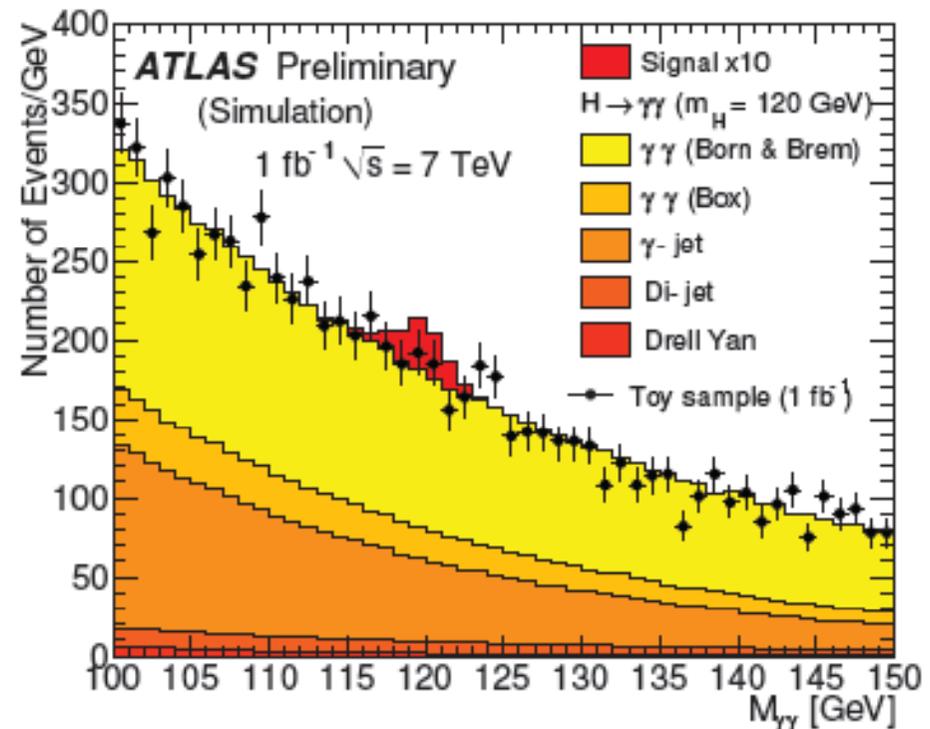
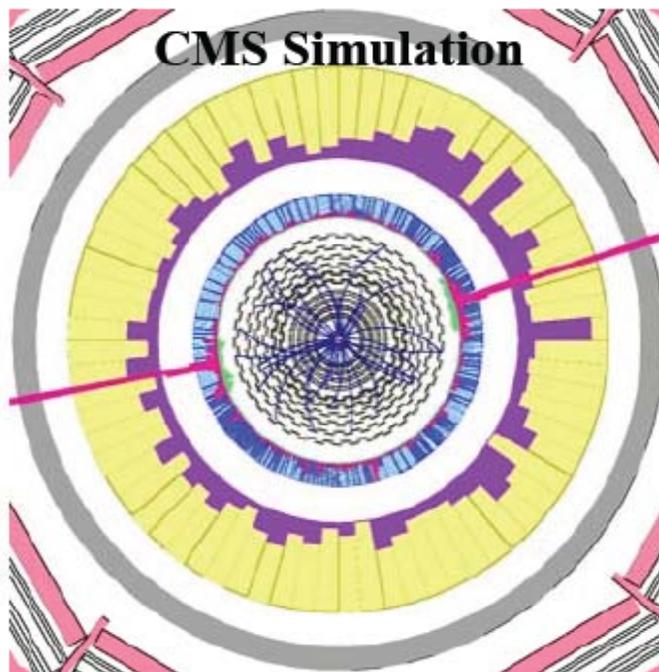
Masse de toutes les combinaisons  $\mu+\mu-$



Méson  $\phi$  (s anti s)  $\rightarrow \mu+\mu-$   
masse: 1.020 GeV/c<sup>2</sup>

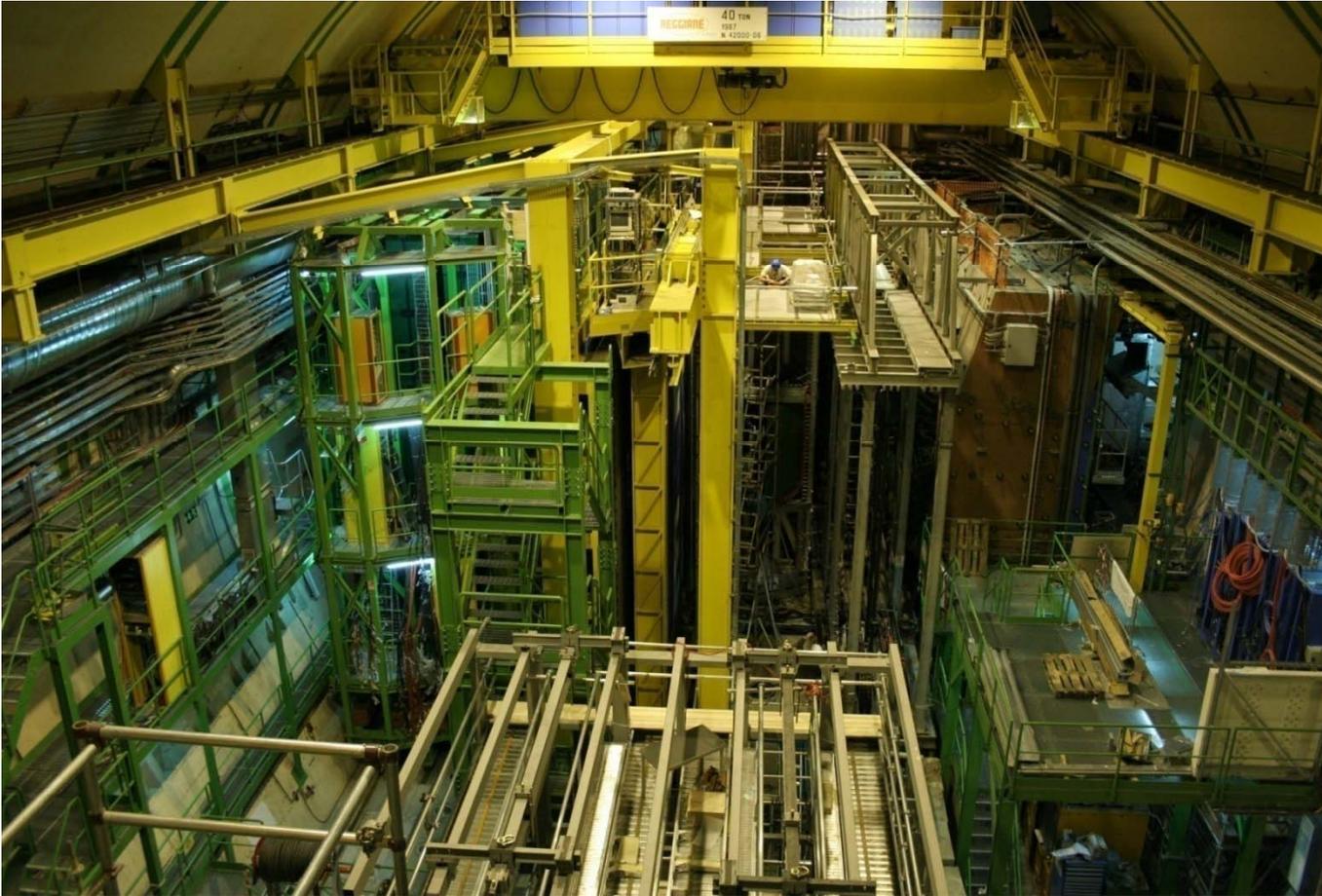
# La recherche du Higgs $H \rightarrow \gamma\gamma$

- Recherche de deux photons de haute énergie
- Masse de toutes les combinaisons  $\gamma\gamma$
- Important bruit de fond



# *Le détecteur LHCb...*

## *Etudie les hadrons « beaux »*



$B^+$  : anti b – u

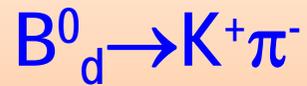
$B^0_d$  : anti b – d

$B^0_s$  : anti b – s

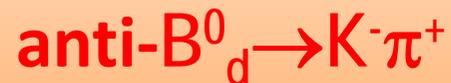
Pour  
Etudier  
l'asymétrie  
matière -  
anti-  
matière

## Exemple d'asymétrie entre mésons $B^0_d$ et anti-mésons $B^0_{\bar{d}}$

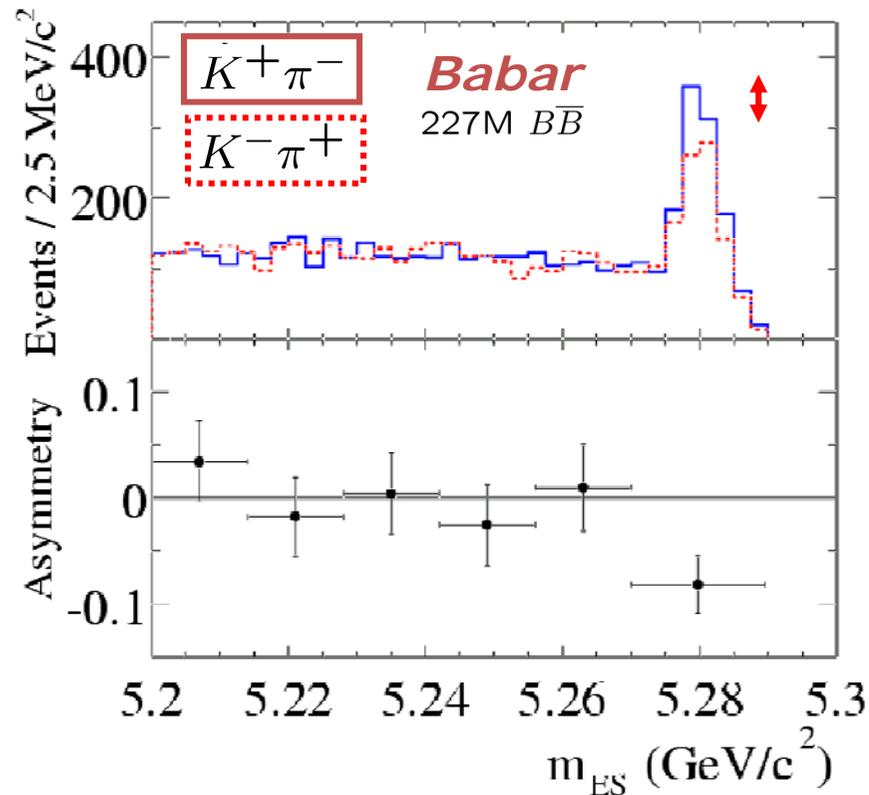
On observe plus de



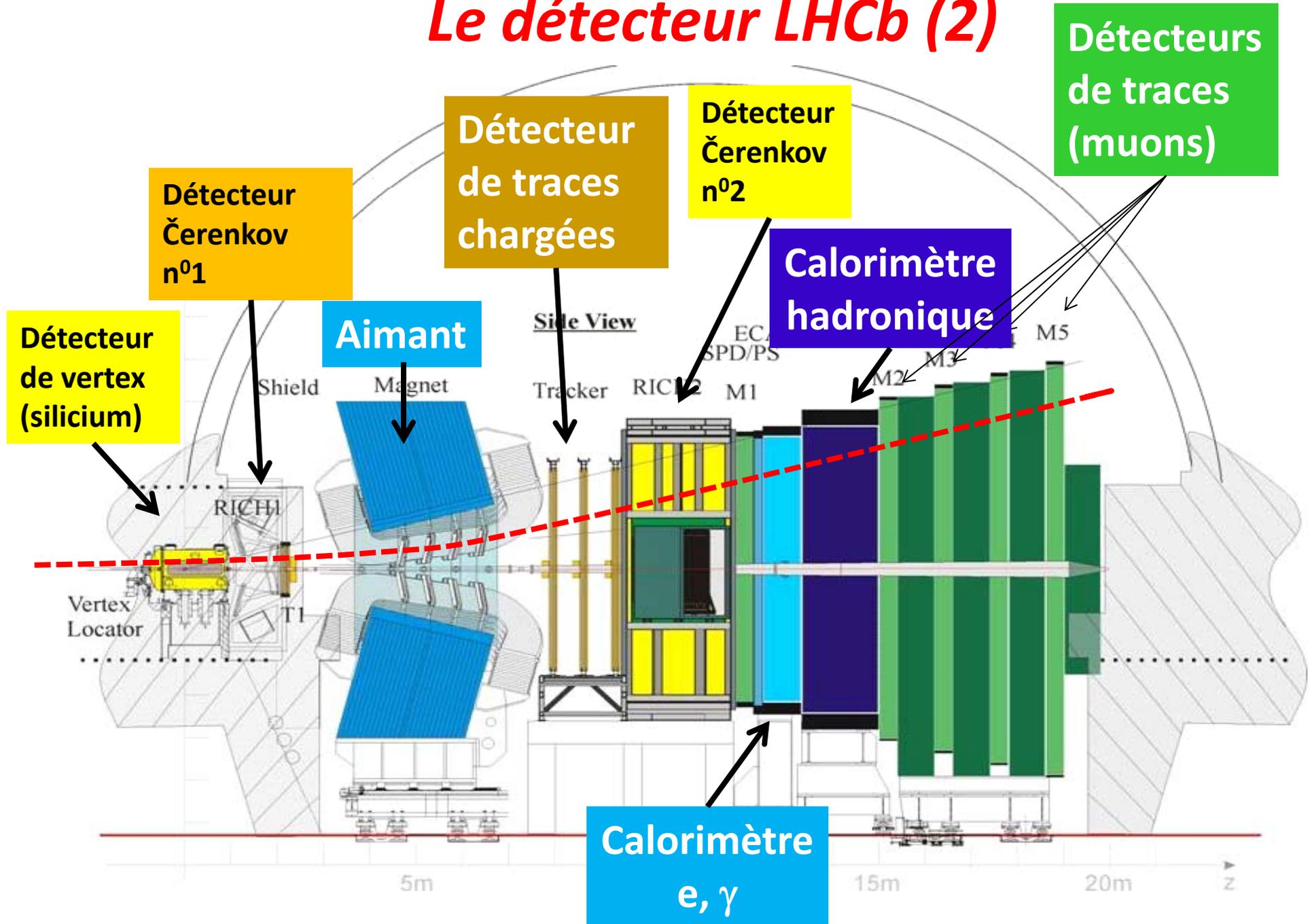
que de



- De telles asymétries sont étudiées dans les désintégrations des **mésons B**
- Essayer de comprendre **l'absence d'antimatière** dans l'univers

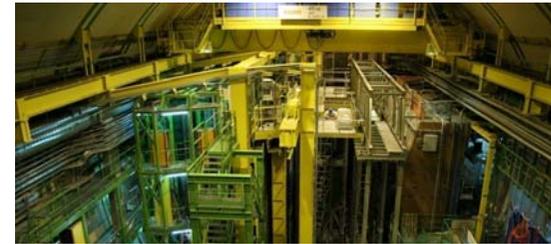


# Le détecteur LHCb (2)

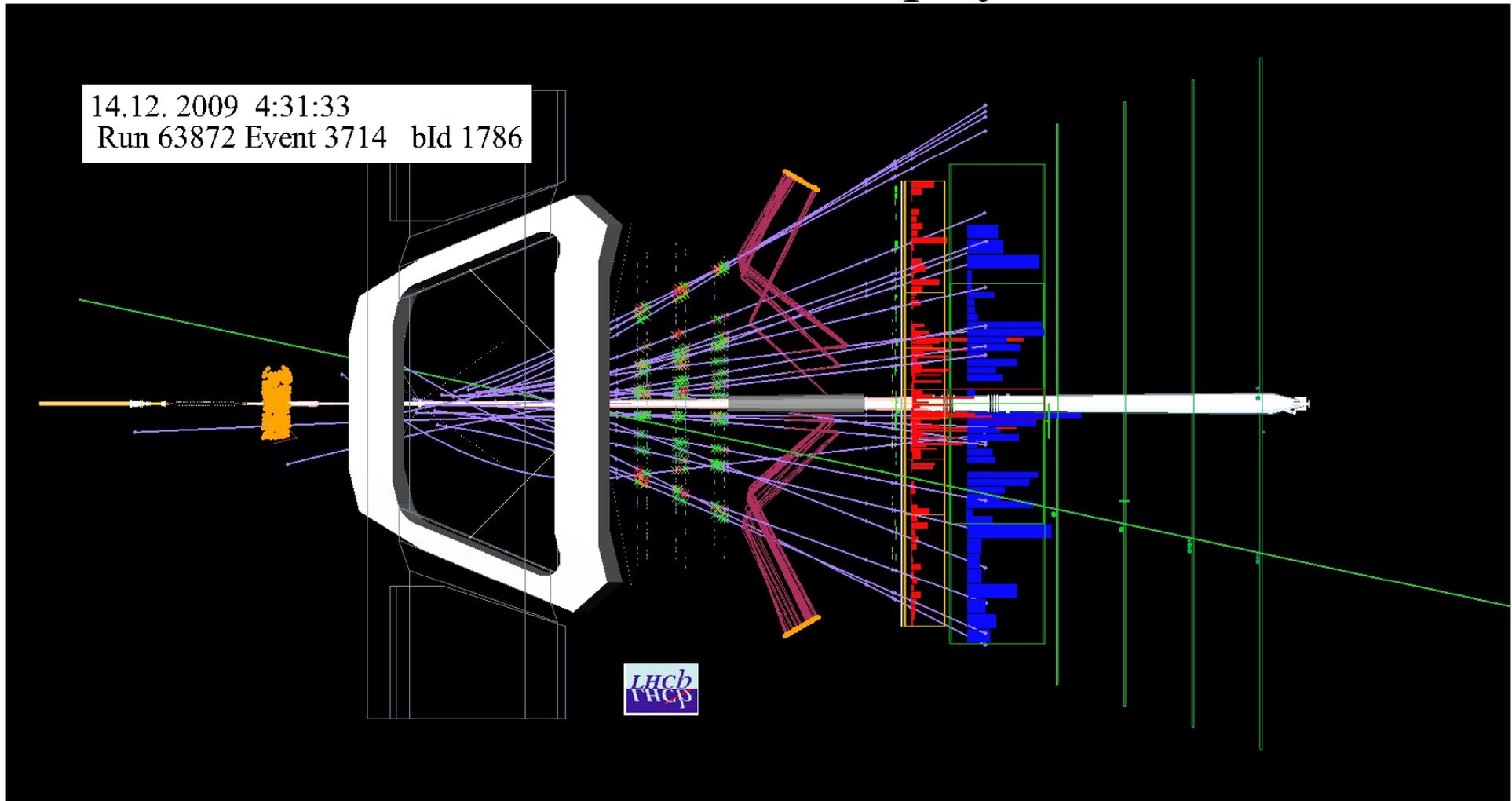


# *Le détecteur LHCb...*

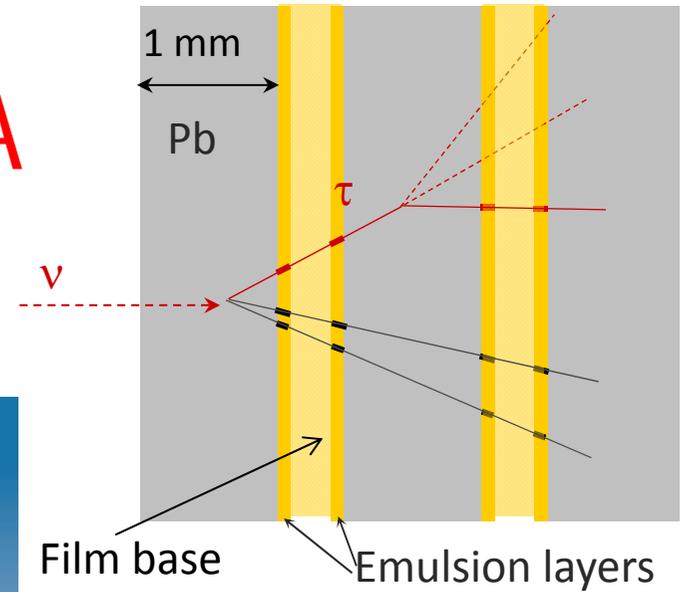
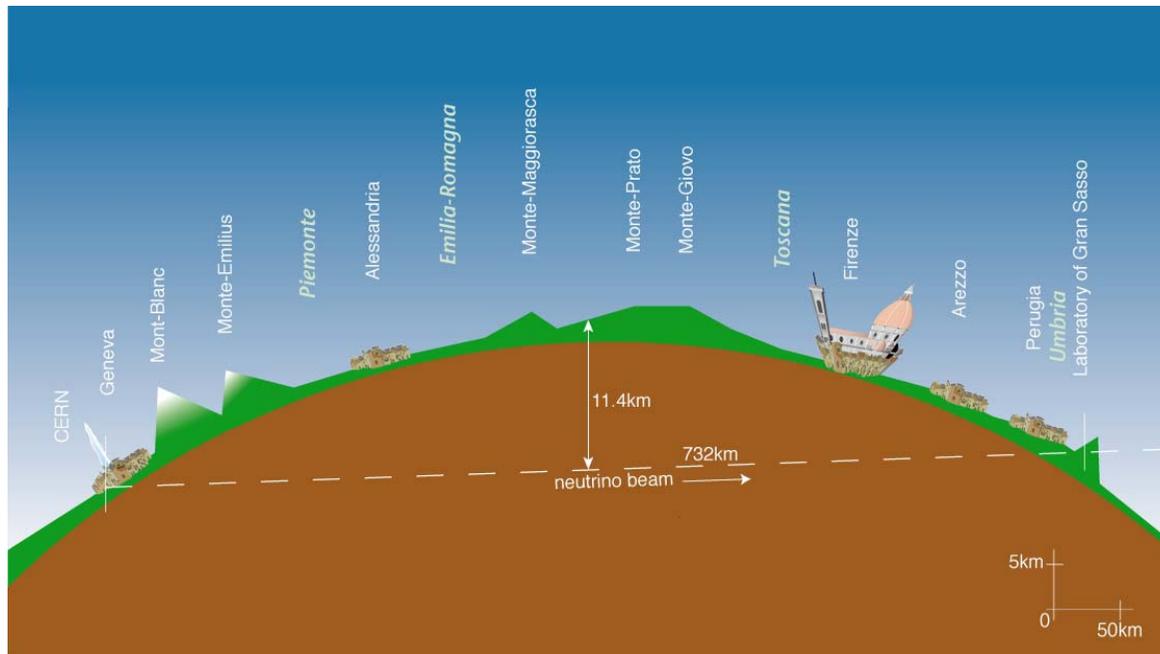
## *Etudie les hadrons « beaux »*



### LHCb Event Display



# Les neutrinos: OPERA



Brique de base:  
56 feuilles de plomb  
57 films (émulsions)

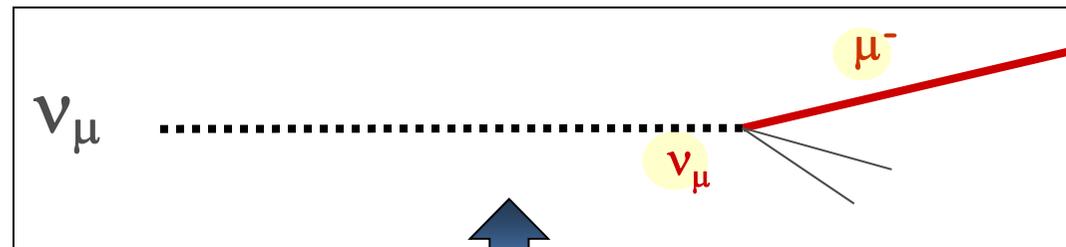
# Principe de la mesure

Si les neutrinos possèdent une masse ils peuvent « osciller » d'un type à un autre avec une probabilité d'oscillation proportionnelle à la différence entre les masses des deux espèces de neutrinos

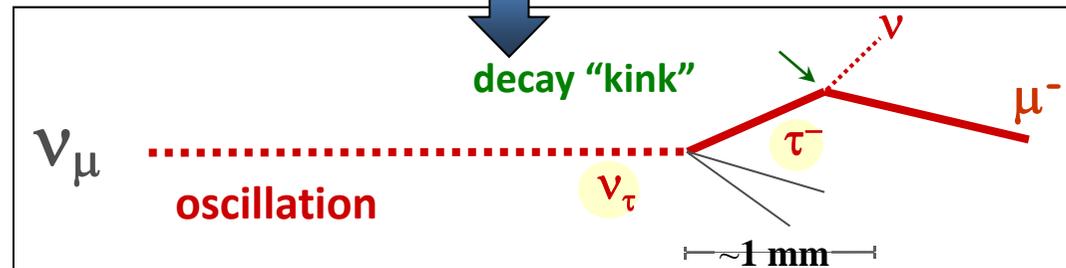
$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) \sim \sin^2(\Delta m_{23}^2 L/4E)$$

L Longueur parcourue, E énergie du neutrino

Faisceau pur de neutrinos de type  $\mu$



Interaction d'un neutrino de type  $\mu$

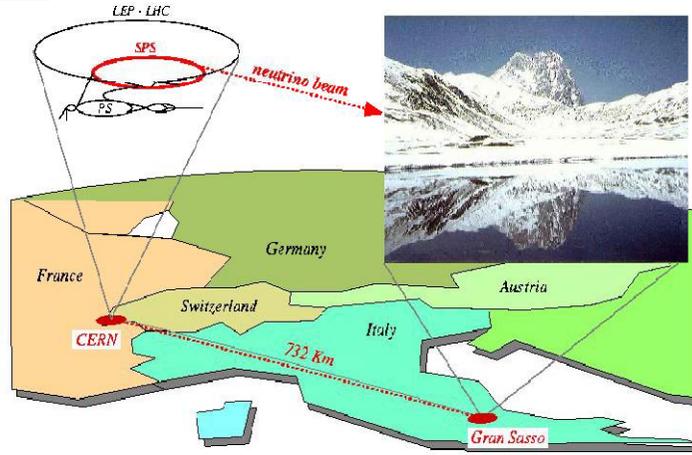


Interaction d'un neutrino de type  $\tau$

plus 3-prong decay modes

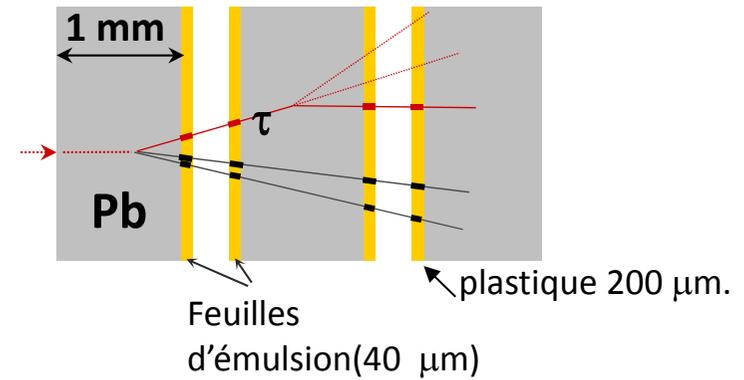


# CERN to Gran Sasso Neutrino Beam

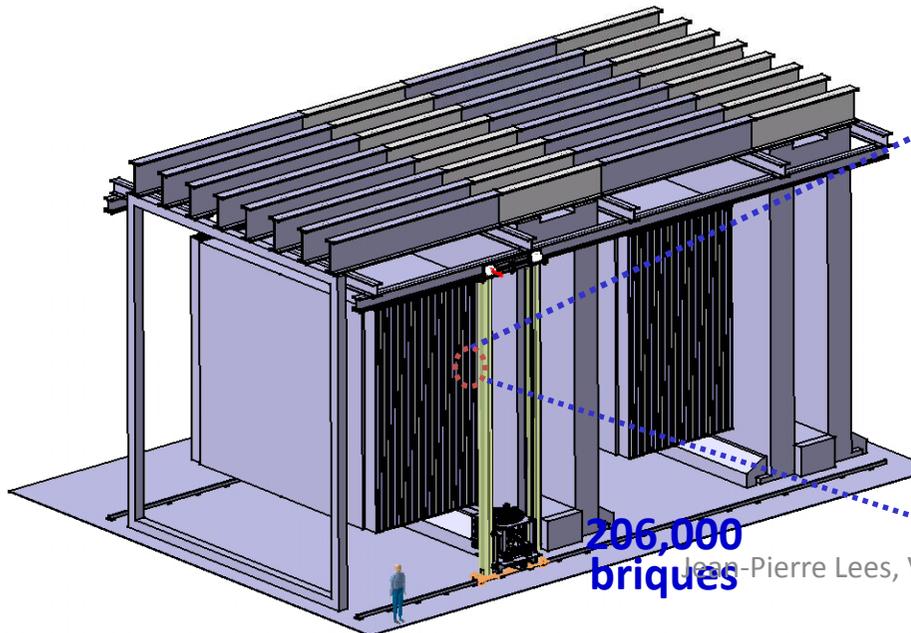


## Oscillation de neutrinos, détection par interaction de courant chargé:

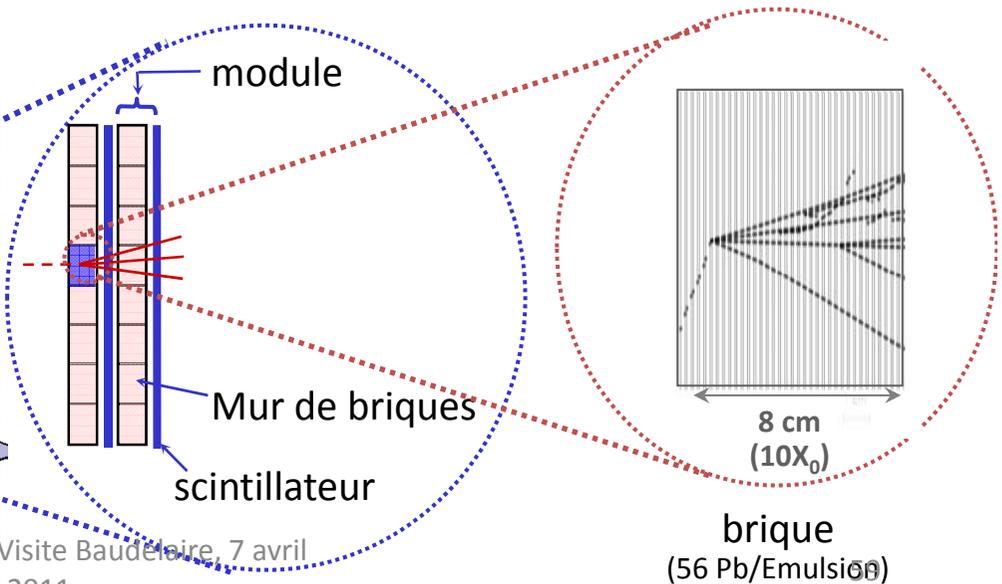
$$\nu_{\mu} \leftrightarrow \nu_{\tau} \rightarrow \tau^{-} + X$$



Observation directe des évènements  $\nu_{\tau}$   
 Emulsions nucléaires + détecteurs électroniques  
 (trigger, localisation de l'interaction, analyse)



206,000  
briques

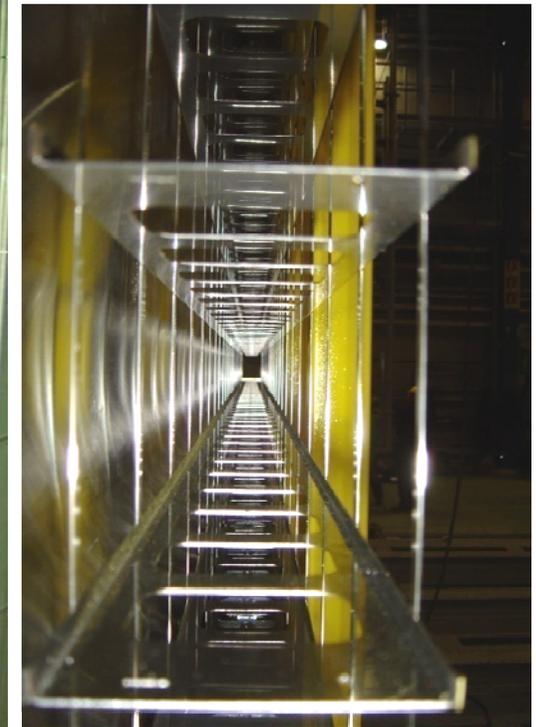
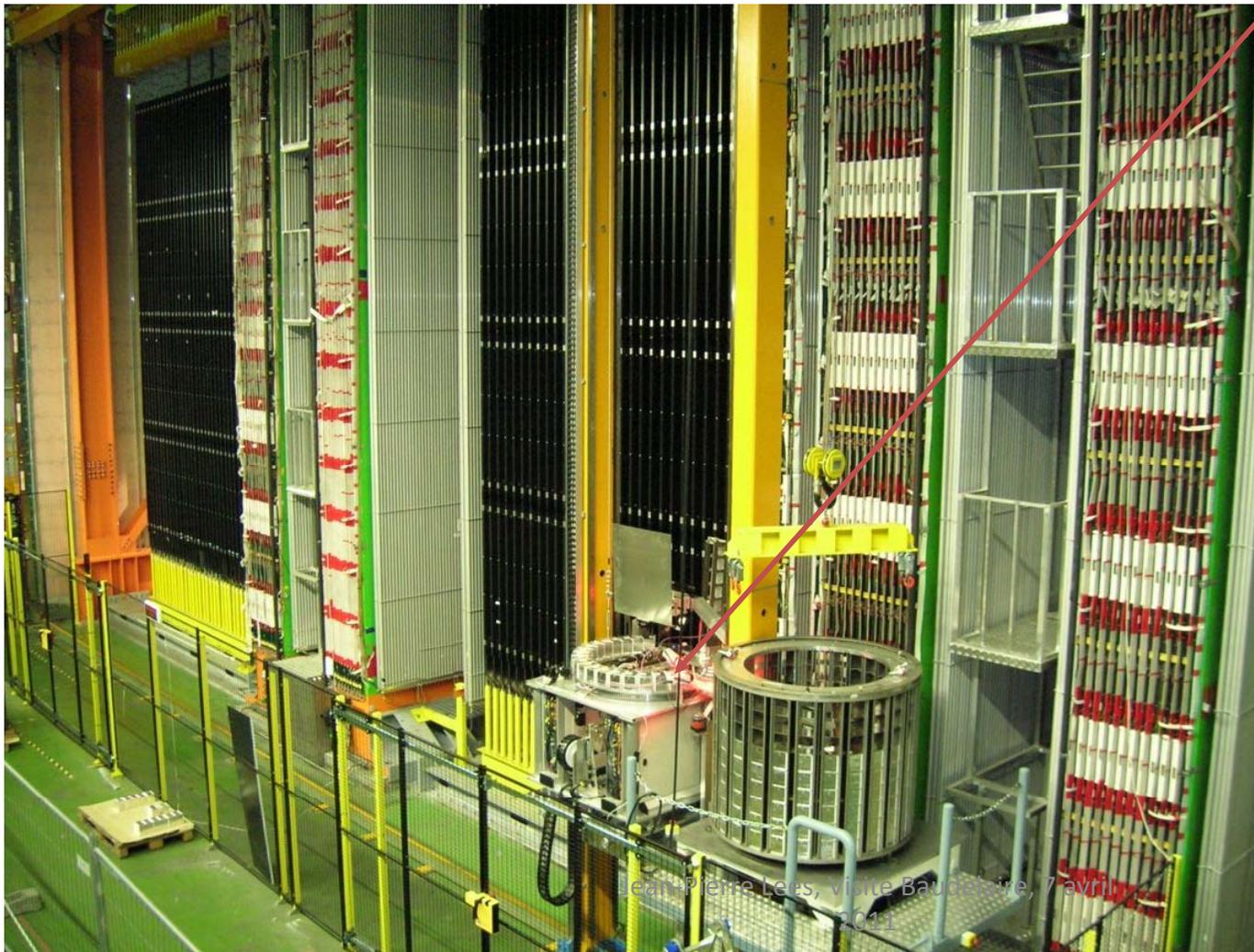
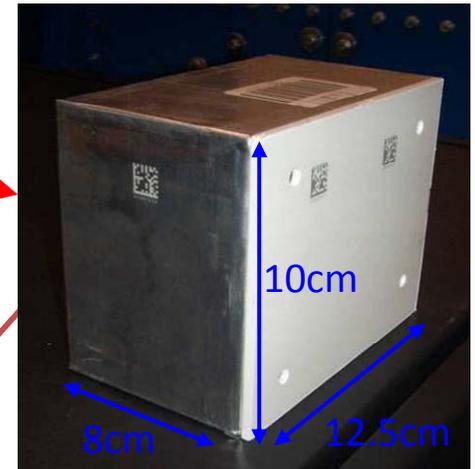


Jean-Pierre Lees, Visite Baudouire, 7 avril 2011

# Systeme de manipulations des briques: 8.3 kg $10X_0$

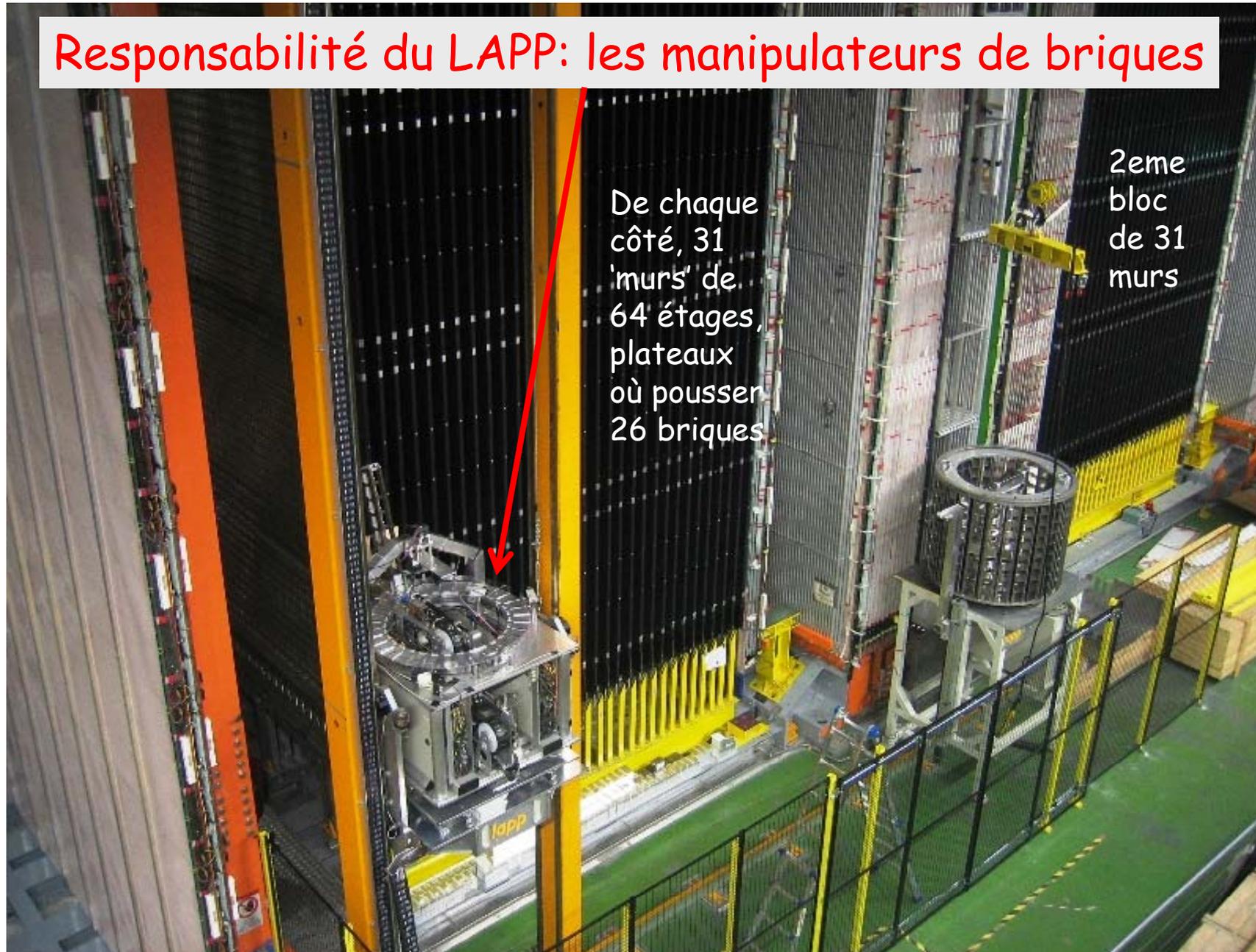
❑ Chargement de 150 000 « briques » de 8,3kg chacune (128x103x81mm<sup>3</sup>) dans le detecteur en 1,5 an.

❑ Echange de 30 « briques » par jour pendant 5 ans durant le fonctionnement.



Mur: plateaux suspendus par des rubans d'acier

## Responsabilité du LAPP: les manipulateurs de briques



Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril 2011

# Activités du LAPP liées aux manipulateurs d'OPERA

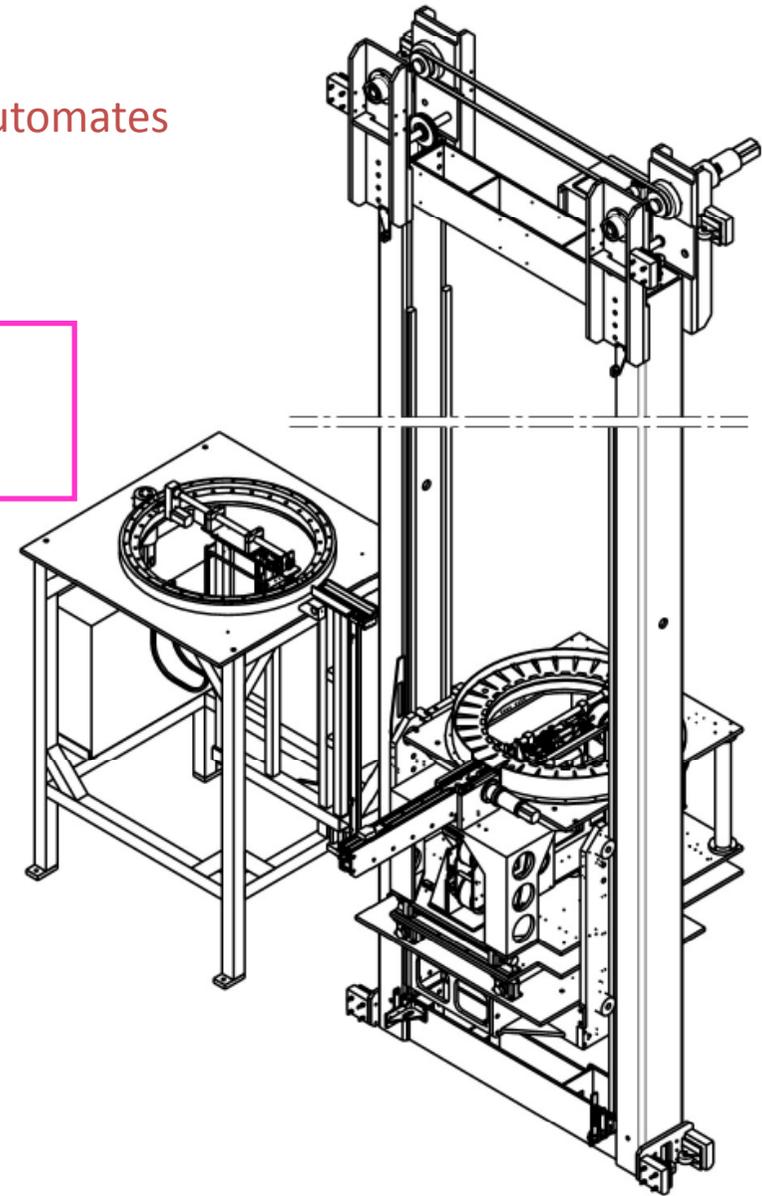
- Conception et réalisation mécanique au LAPP
- Automatisation du système et programmation des automates



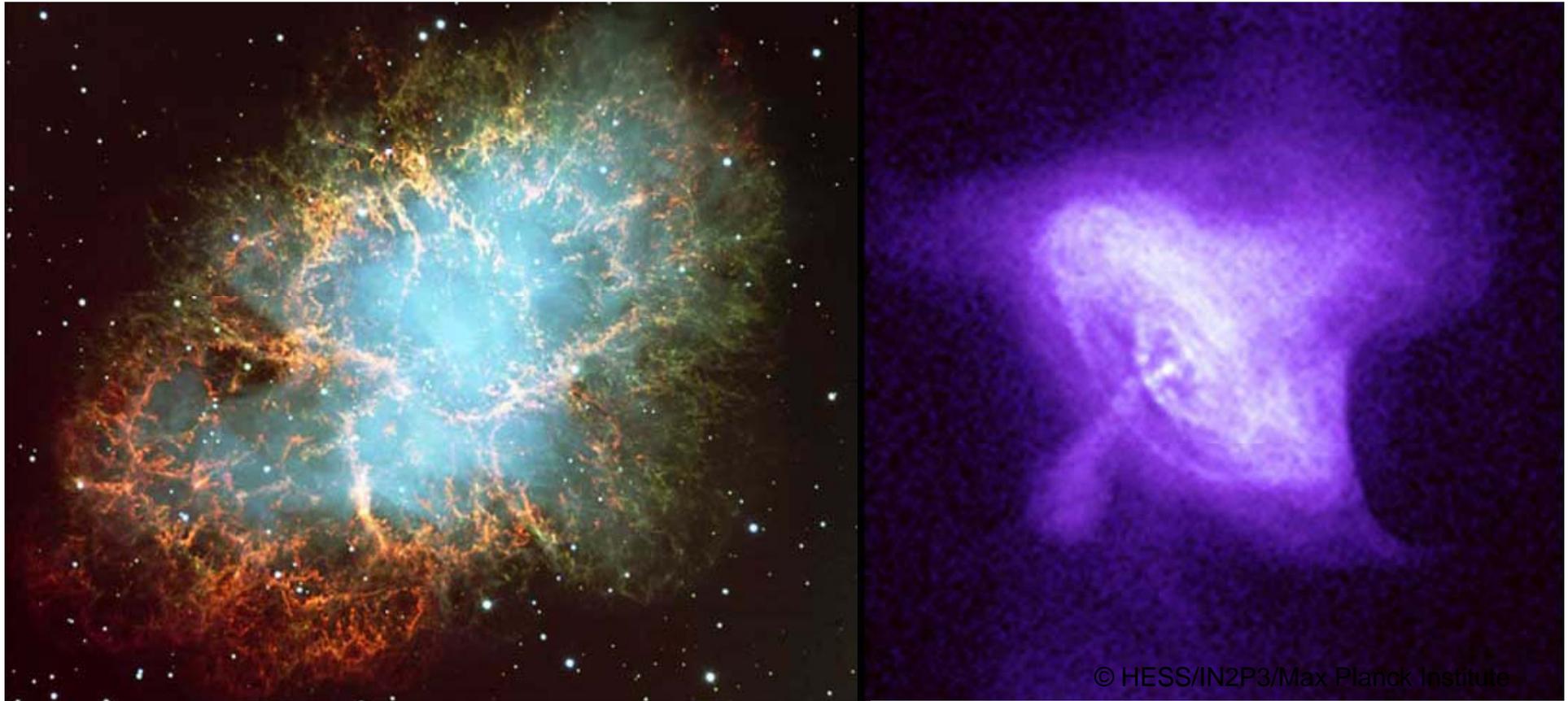
Automate Programmable  
Industriel: Schneider TSX  
Premium

BMS en quelques chiffres:

- ✓ plateforme + portique: 5000 kg
- ✓ 11 + 3 (station de chargement) moteurs
- ✓ plusieurs dizaines de capteurs
- ✓ 1 camera CCD pour positionnement
- ✓ Amplitudes des mouvements: 20 m grand axe, 7m vertical
- ✓ précision 1/10 mm dans les 3 coordonnées



# les "astro particules"



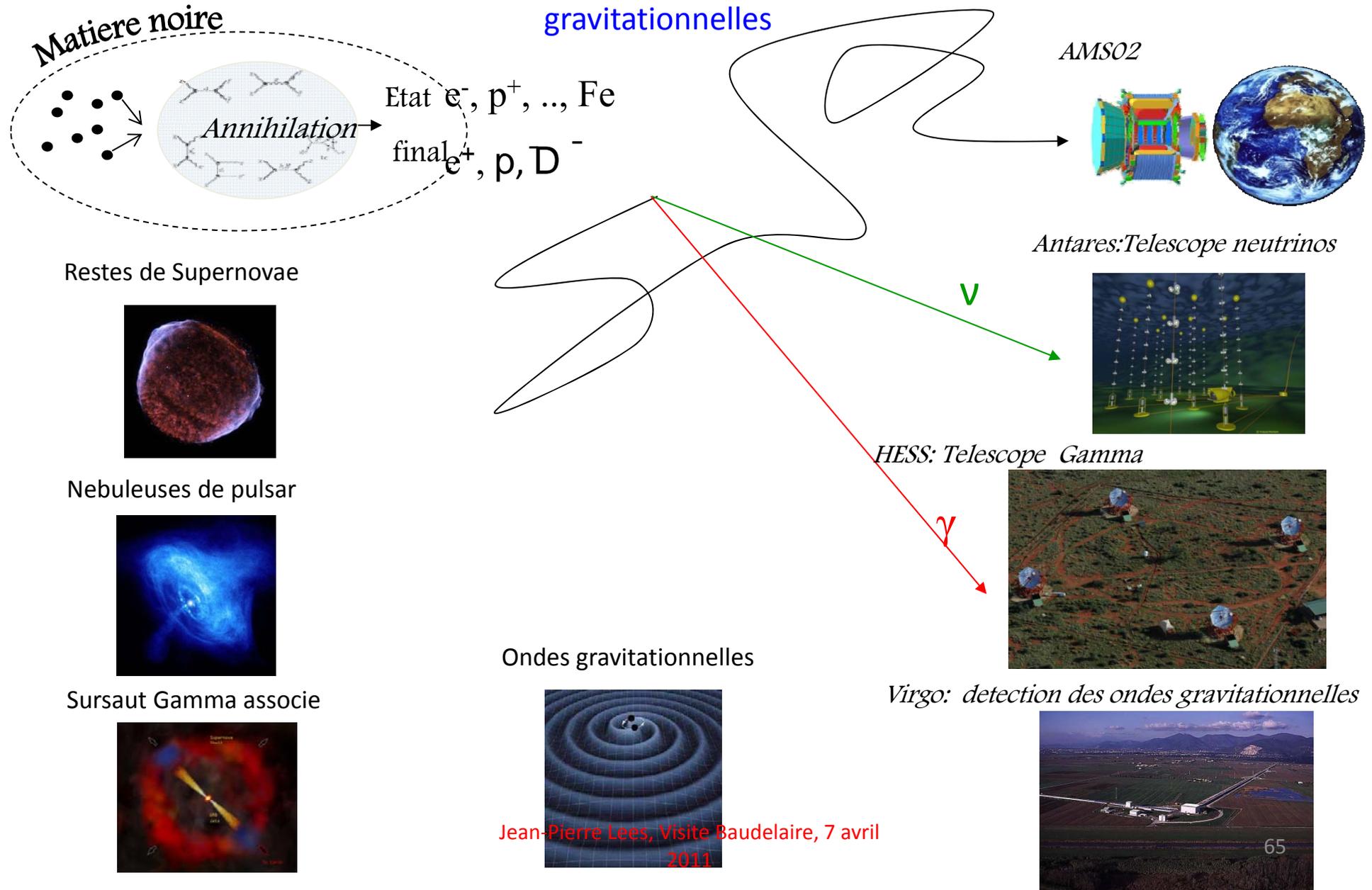
*Image optique et Image en rayons X de la nébuleuse du Crabe  
(reste d'une explosion de supernova)*

*L'espace contient aussi des  
accélérateurs naturels  
extrêmement puissants*

Sources des rayons cosmiques galactiques et extra galactiques

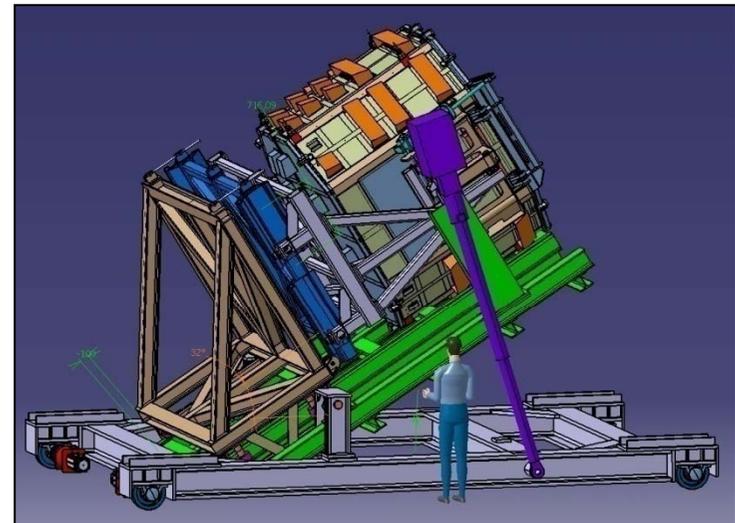
messagers cosmiques: Particules chargées, neutres et ondes gravitationnelles

Identification et mesure de l'énergie des rayons cosmiques



# l'expérience H.E.S.S

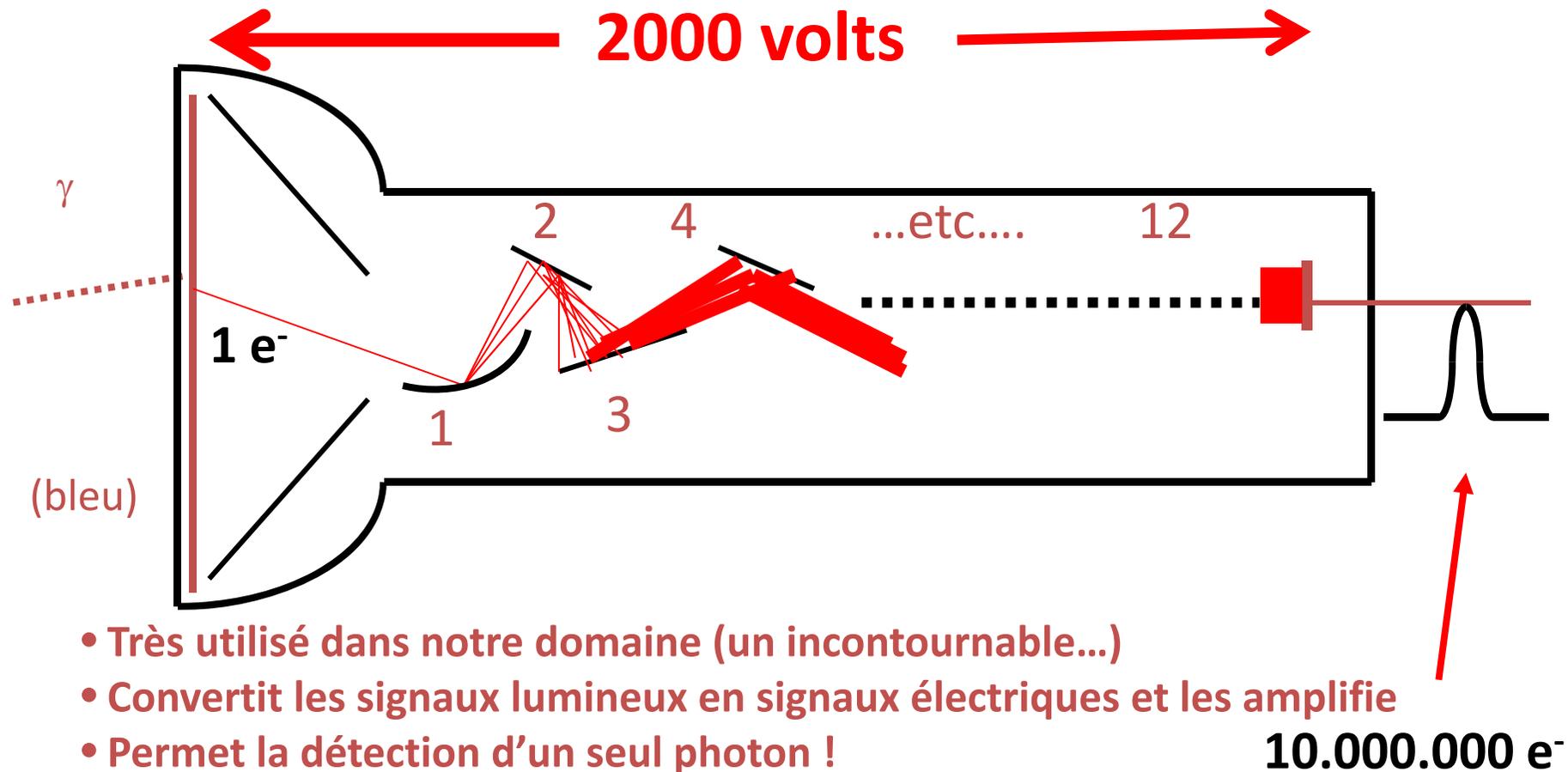
étudie les sources de rayons cosmiques  
au pied du Gamsberg,  
(Namibie)



**Stand HESS/ astroparticules  
et mécanique**

Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril  
2011

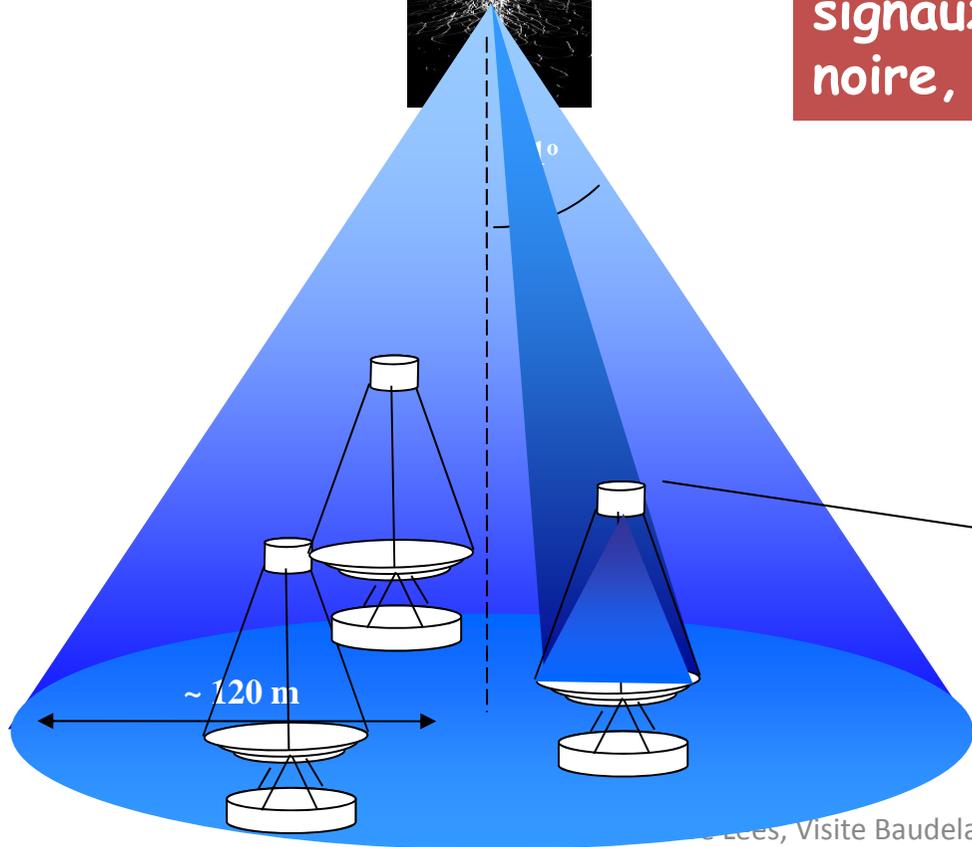
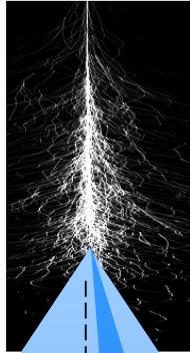
# La caméra est formée de centaines de photomultiplicateurs(P.M.)



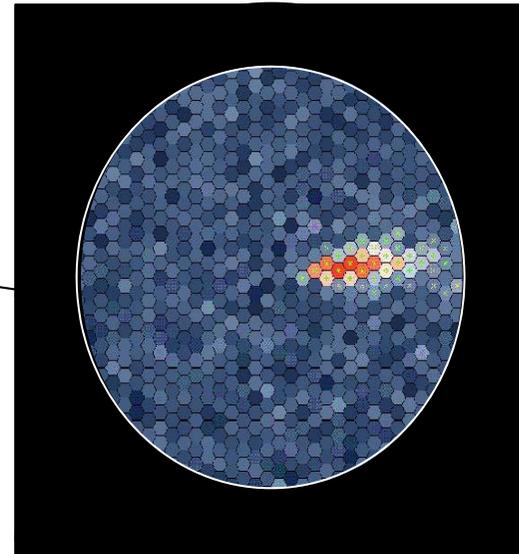
Stand HESS/ astroparticules

# Principe de l'expérience H.E.S.S.

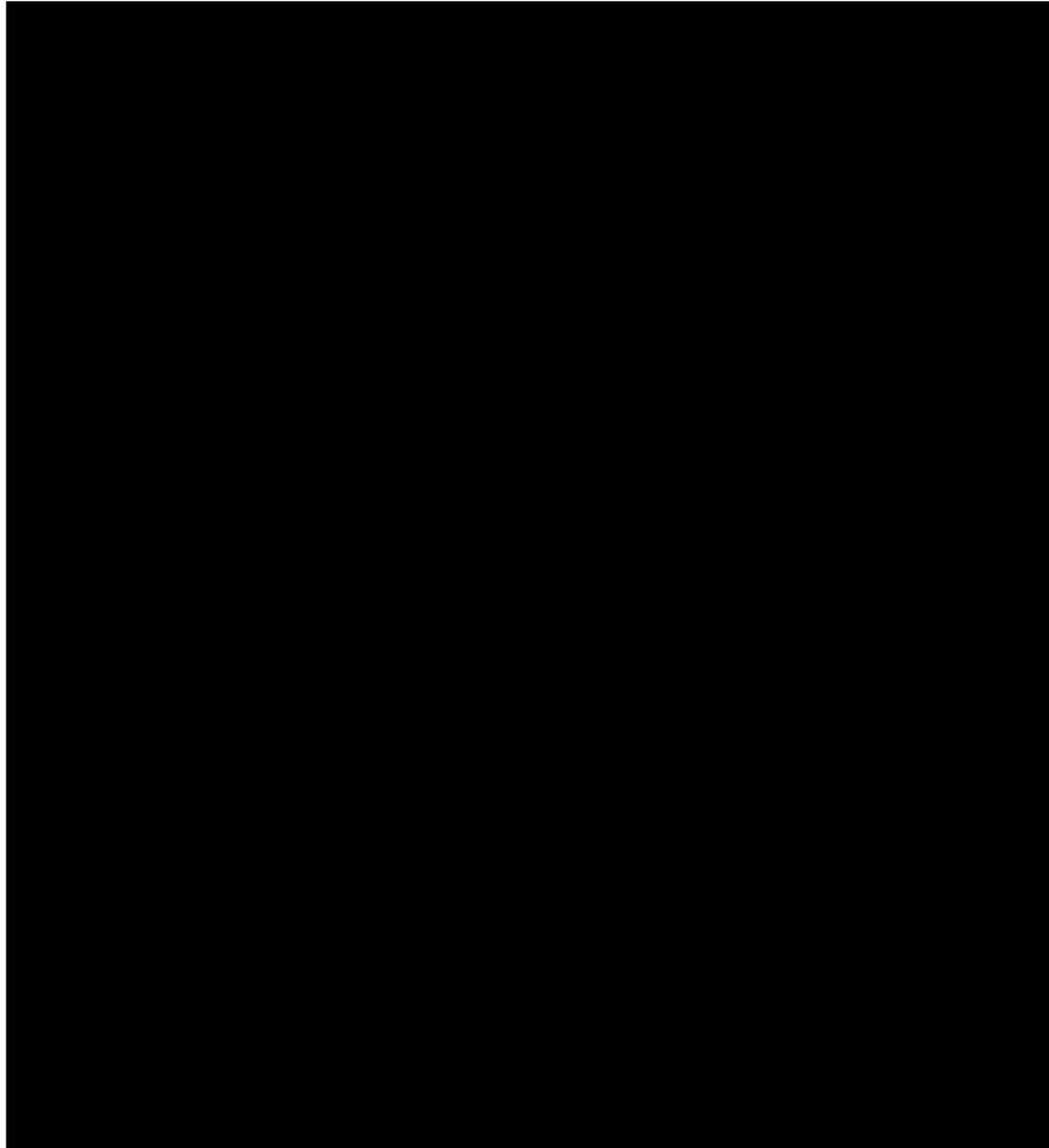
**Gerbe  
Atmosphérique**



- Pour étudier les accélérateurs cosmiques à travers les sources de photons de haute énergie
- Et peut être observer des signaux inattendus? (matière noire, super symétrie...)



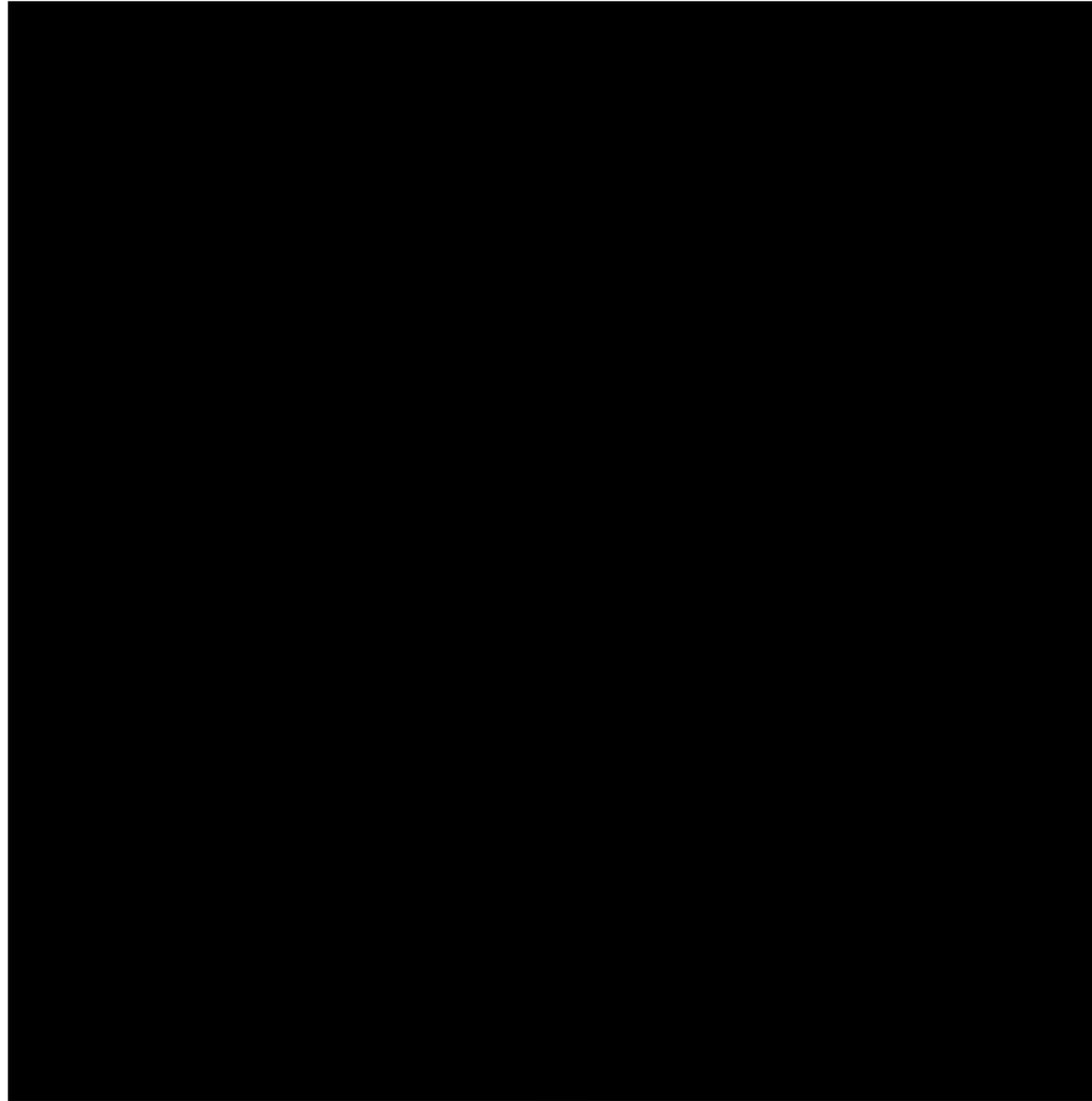
# Une gerbe de photon (vue laterale)



# Une gerbe de photon (vue transverse)



# Une gerbe de proton (vue transverse)

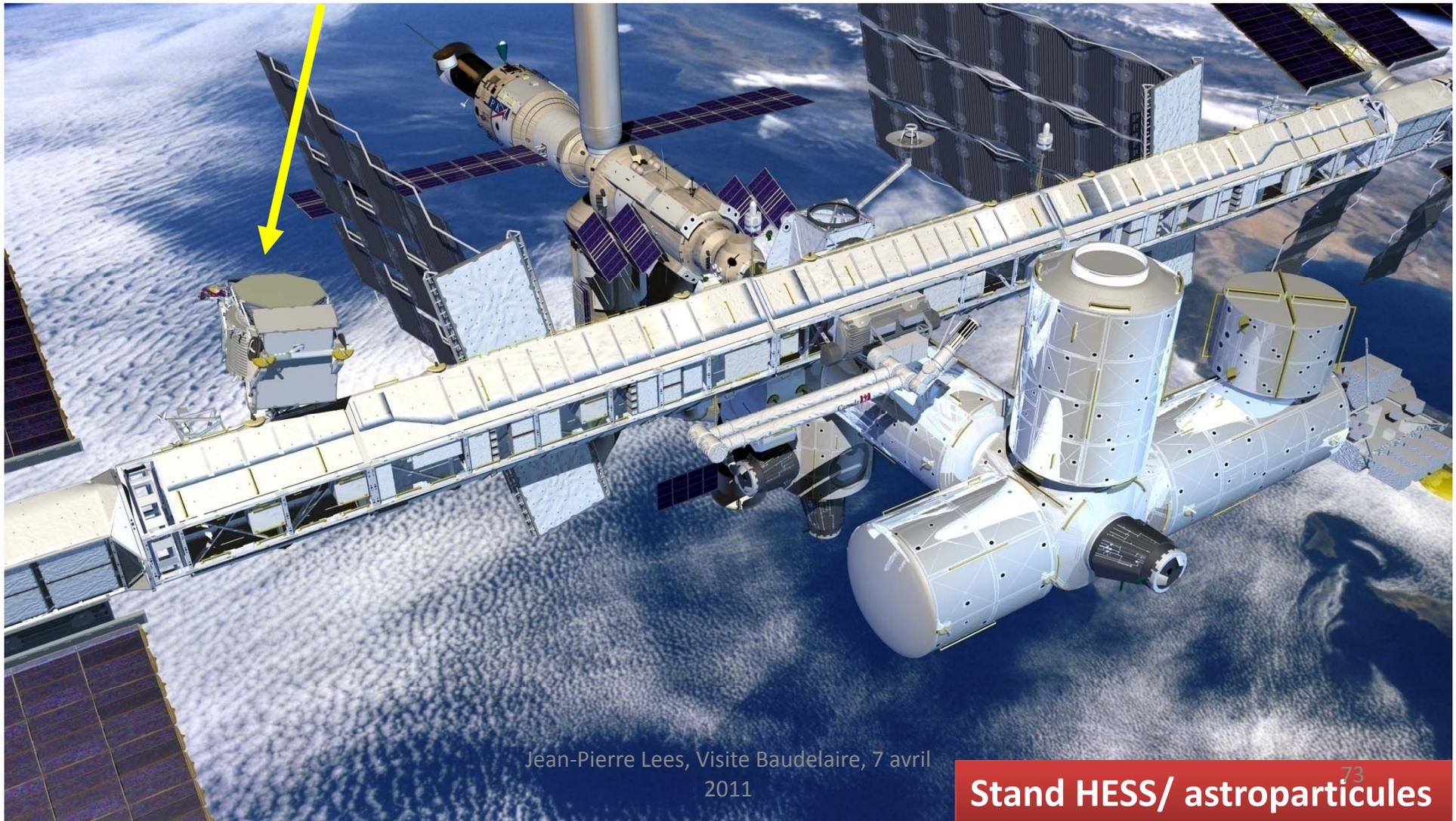


# HESS au LAPP



Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril  
2011

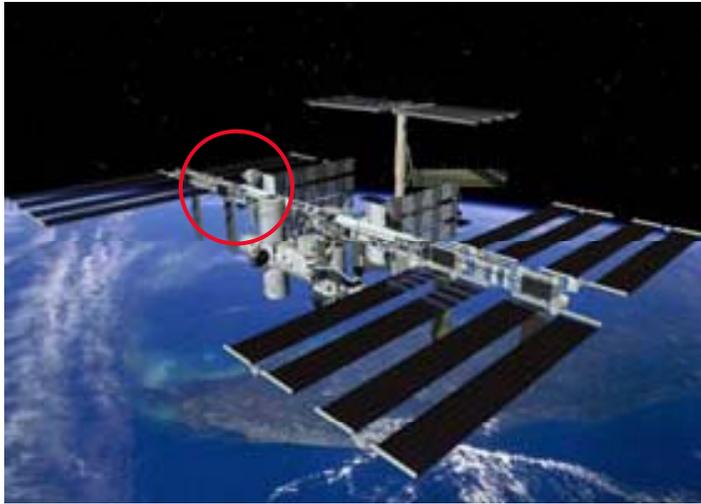
# L'expérience AMS: bientôt sur la station spatiale !



Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril  
2011

Stand HESS/ astroparticules <sup>73</sup>

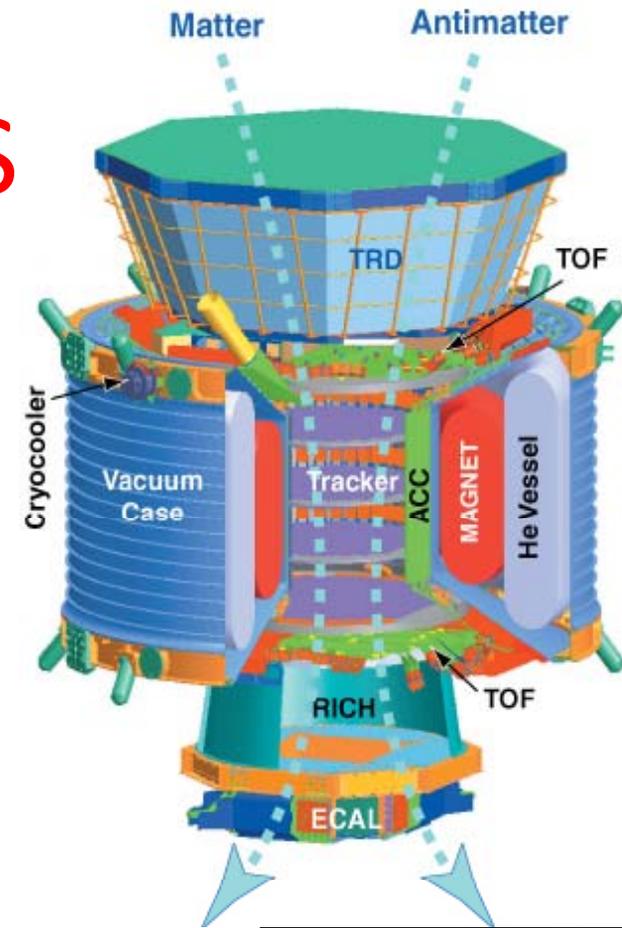
# L'expérience AMS



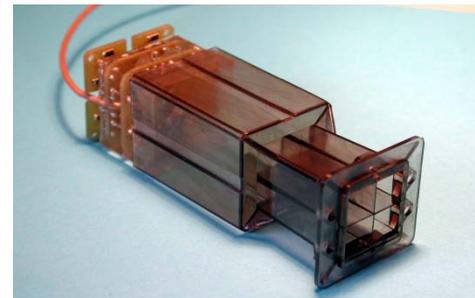
International Space Station et AMS

Alpha  
Magnetic  
Spectrometer

Pour  
rechercher  
de  
l'antimatière  
dans  
l'espace...



Calorimètre Plomb-Scintillateur. Poids:  $\leq 630$  kg



Boîtier des photo-  
multiplicateurs (PM)



Electronique front-end  
des PM

# Les caractéristiques d'AMS

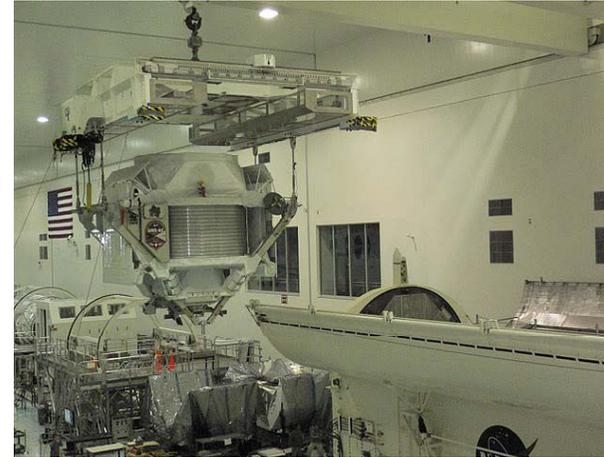
$\Delta t = 100 \text{ ps}$ ,  $\Delta x = 10 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $\Delta v/v = 0.001$

	$e^-$	P	He, Li, Be, ... Fe	$\gamma$	$e^+$	$\bar{P}$ , $\bar{D}$	$\bar{\text{He}}$ , $\bar{\text{C}}$
TRD							
TOF							
Tracker							
RICH							
ECAL							
Physics example	<b>Cosmic Ray Physics</b>				<b>Dark matter</b>		<b>Antimatter</b>

Chargement d'AMS à Genève Cointrin



Transfert dans le canister



AMS dans le canister



Transfert de la navette Endeavor au VAB (Vehicle Assembly Building)

# Assemblage de la navette Endeavor dans le VAB (Vehicle Assembly Building)



# Kennedy Space Center, mars 2011



19 avril 2011...



Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril  
2011

# L'expérience VIRGO

Détection d'ondes gravitationnelles de source cosmique

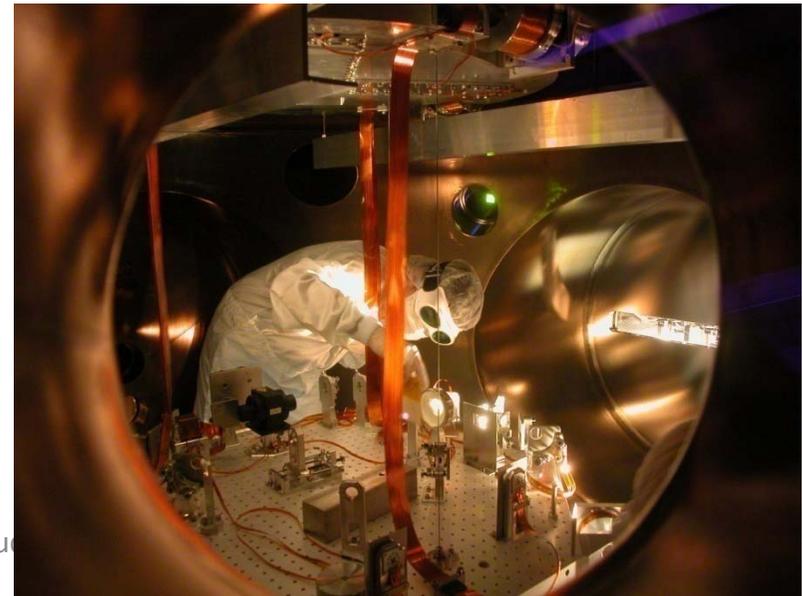


Interféromètre suspendu de Michelson avec ses bras de 3km



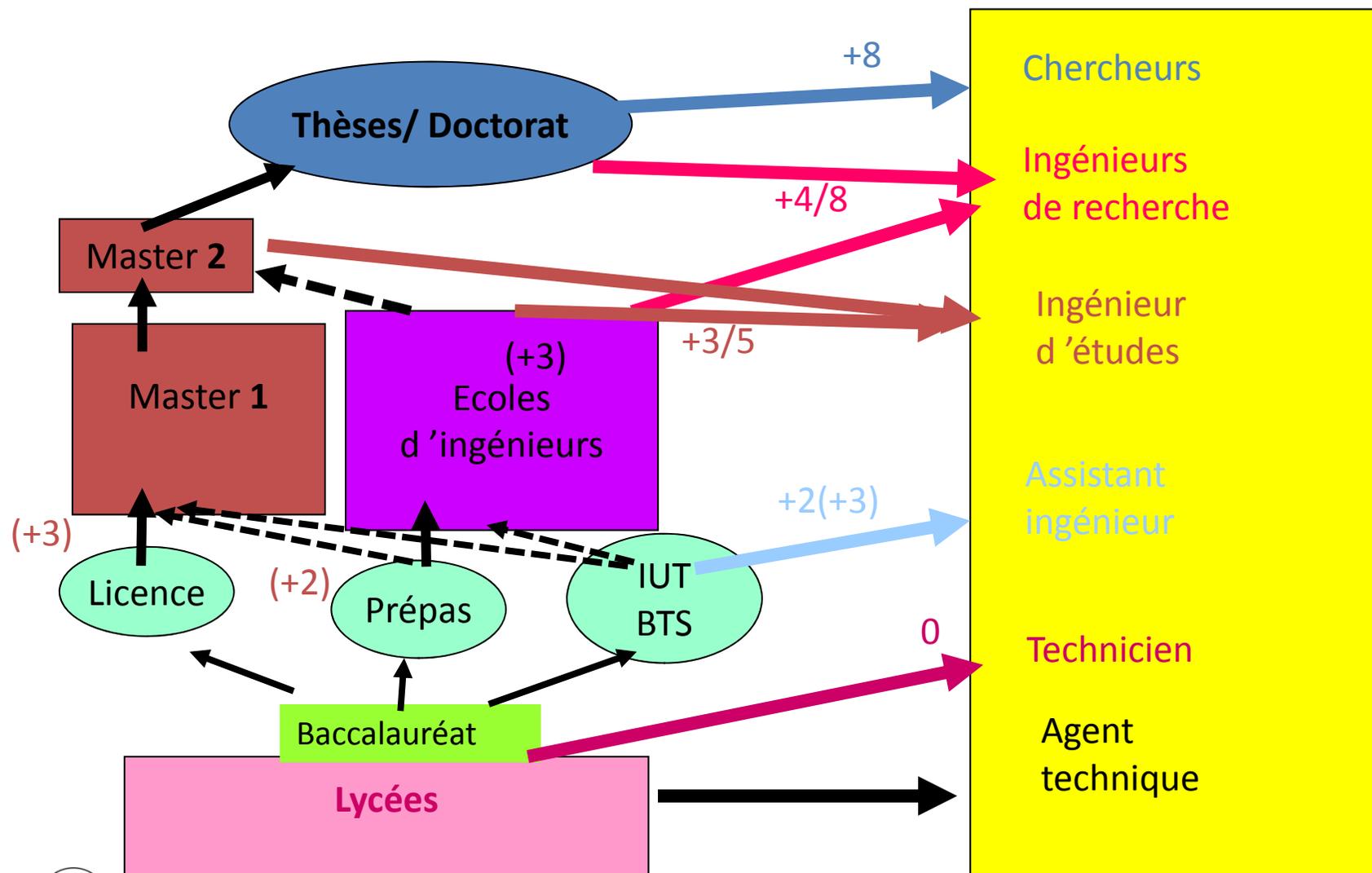
Banc de détection et électronique -Pierre Lees, Visite Bau

2011



# Les métiers de la recherche

# Les métiers de la Recherche



Pour en savoir plus...

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