



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



Présentation du LAPP

Jean-Pierre Lees

7 avril 2011



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

IN2P3

INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE
ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES



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

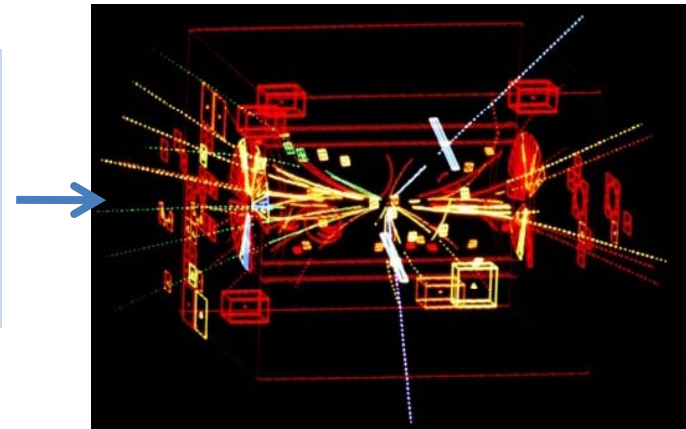
Historique (1)



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)

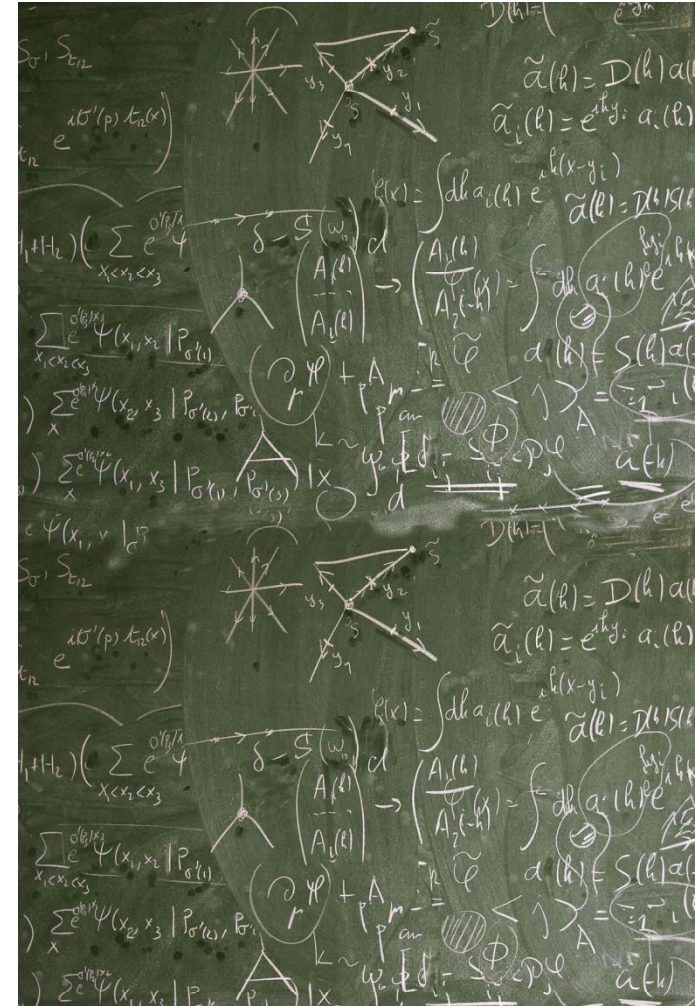
Aident à concevoir des détecteurs innovants et souvent situés à la limite de la technologie existante

- 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).

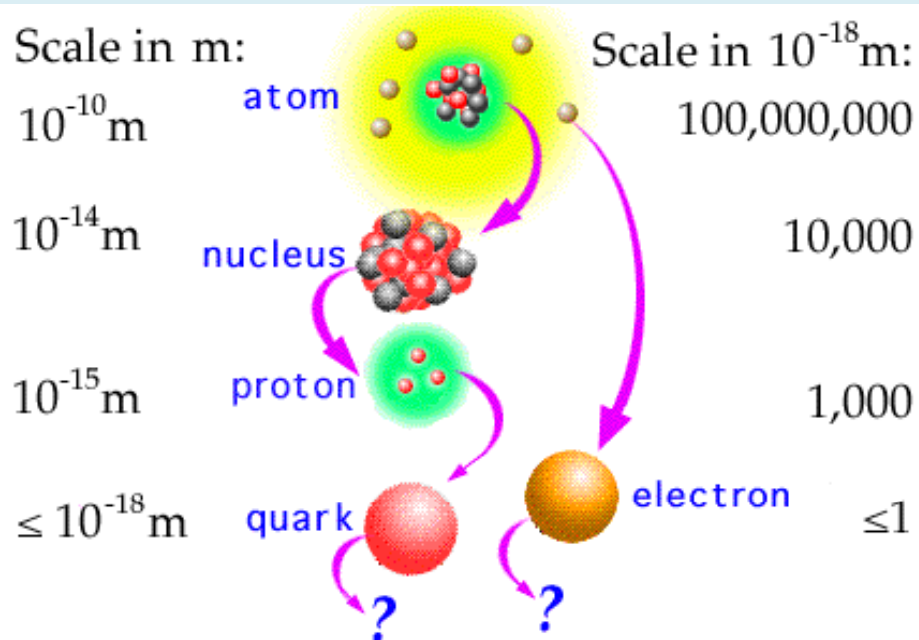
- *Les théoriciens élaborent de nouvelles théories et prédisent des effets que les expérimentateurs cherchent à mesurer*
- *Parfois c'est le contraire: les théoriciens font des calculs pour interpréter les résultats des expérimentateurs*



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...

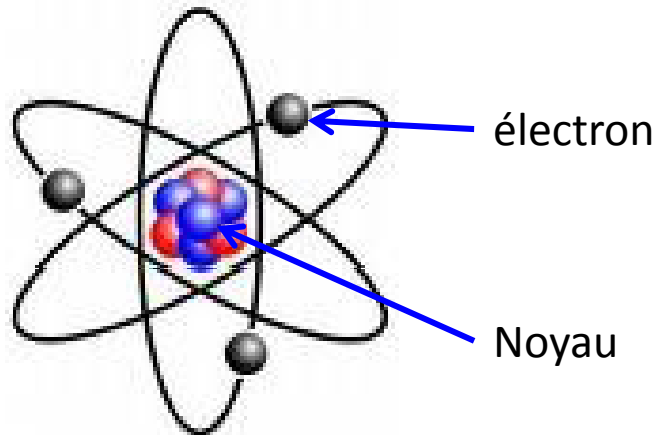
Mais la physique des particules

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 »)



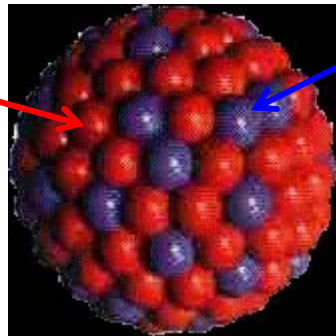
Atome

- 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 ?

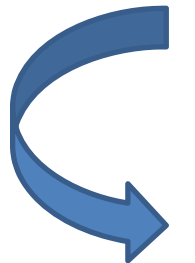
Composition du noyau

proton
charge positive



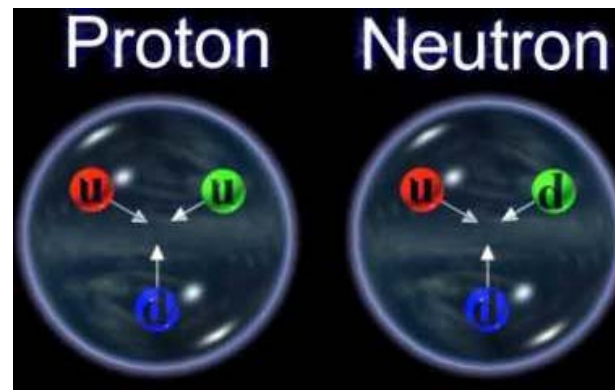
neutron
charge nulle
*découvert par
Chadwick en 1932*

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

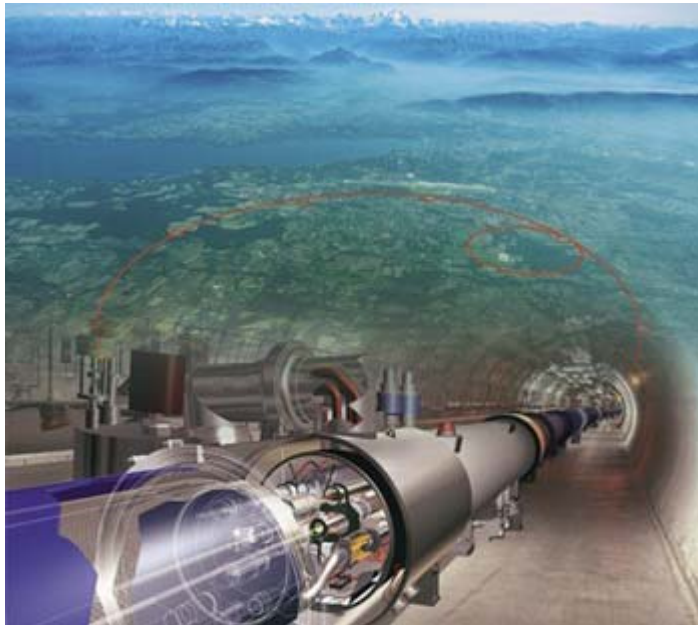
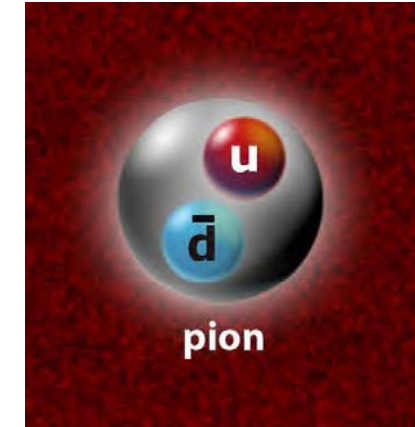
- quark u : $+2/3e$
- quark d : $-1/3e$

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).

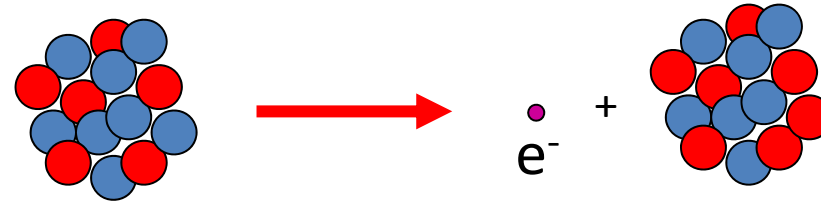
Malheureusement, les nouvelles particules sont rares dans les rayons cosmiques.

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

Une nouvelle particule élémentaire : le neutrino

La radioactivité β :

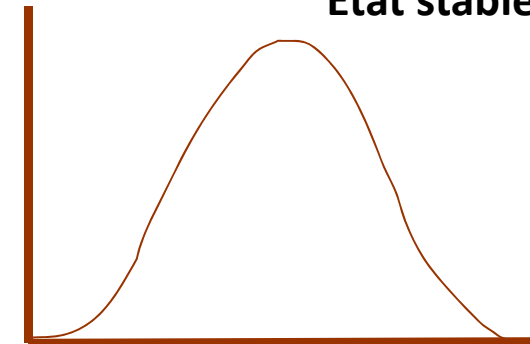
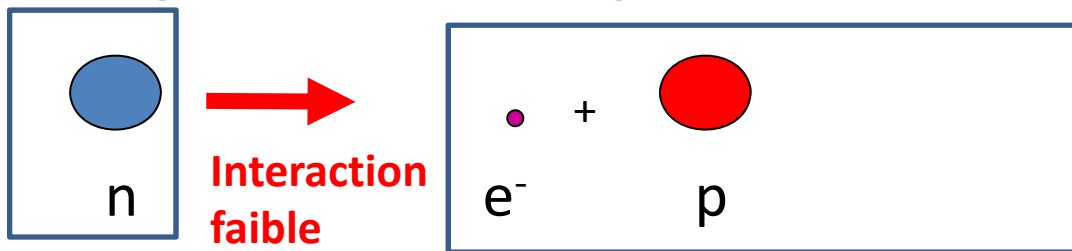
- Découverte par Becquerel en 1896
- Étudiée par Pierre et Marie Curie



^{14}C
État instable

^{14}N
État stable

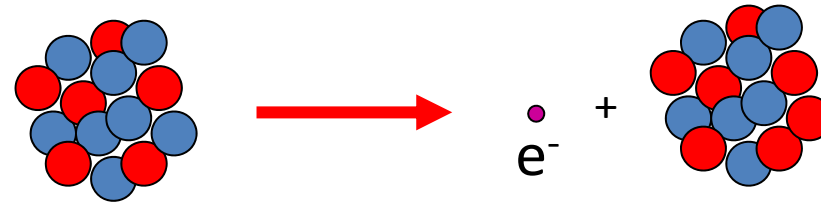
Energie initiale \neq Energie finale



Une nouvelle particule élémentaire : le neutrino

La radioactivité :

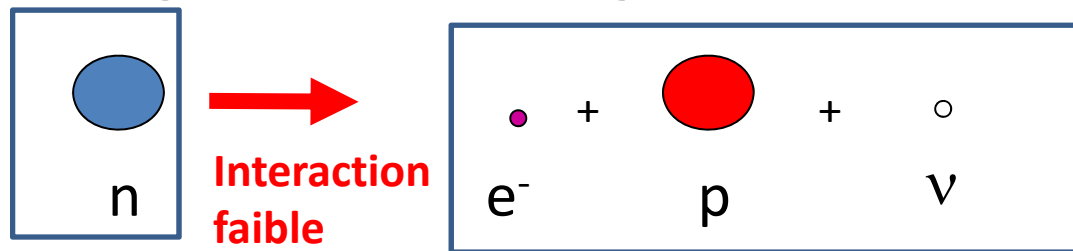
- Découverte par Becquerel en 1896
- Étudiée par Pierre et Marie Curie



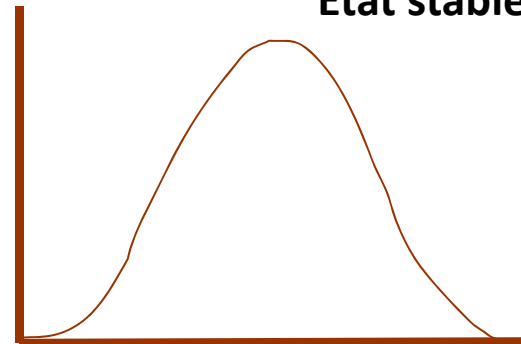
^{14}C
État instable

^{14}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 (ν)**

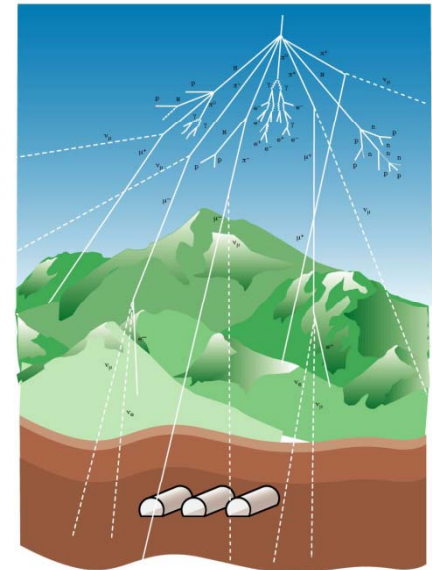
L'anti-matière

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 !!! »

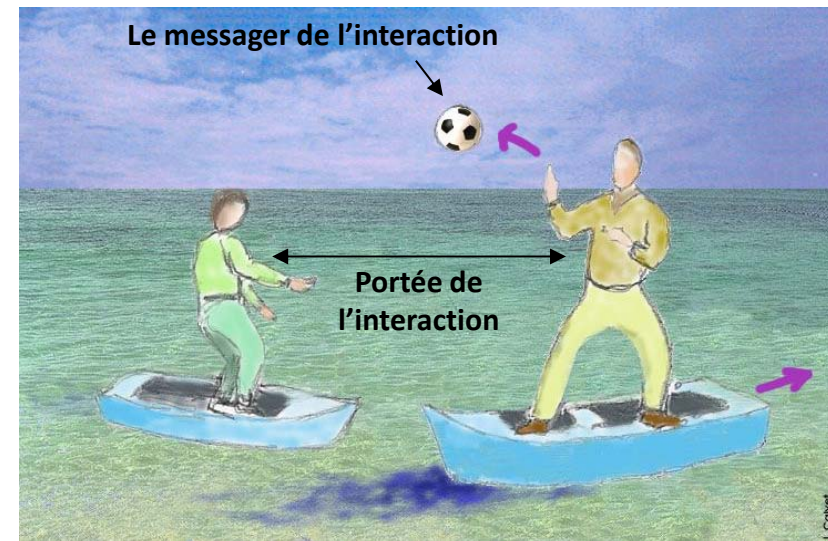
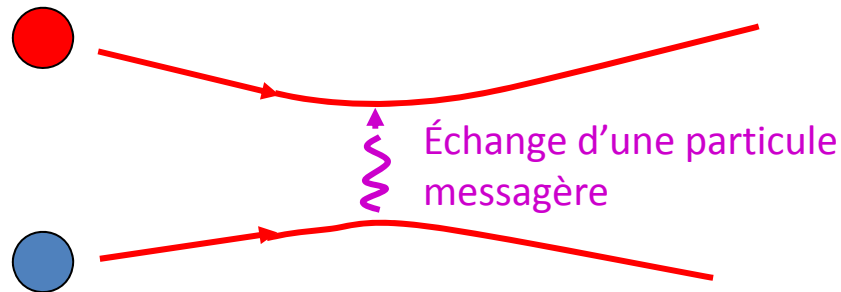


En 1932, Anderson découvre l'antiparticule de l'électron baptisée le positon
« J'ai découvert grâce à l'étude des rayons cosmiques un électron positif »

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

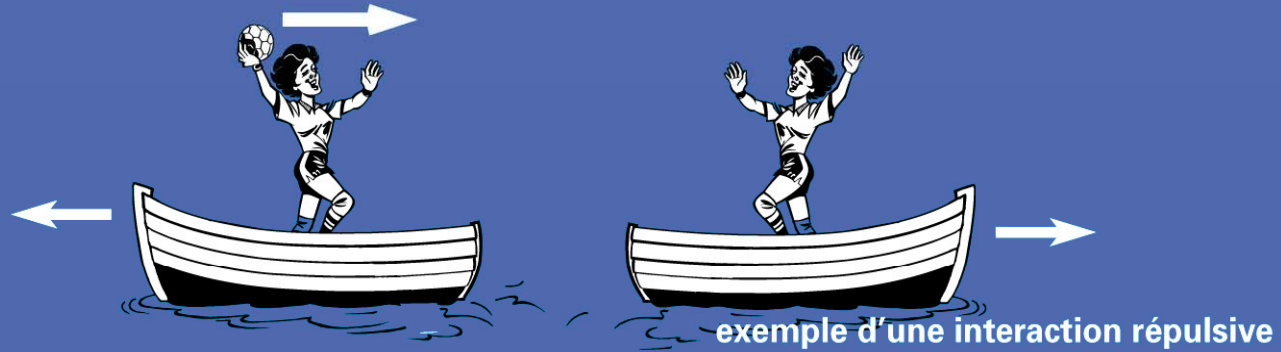
Les interactions fondamentales

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.



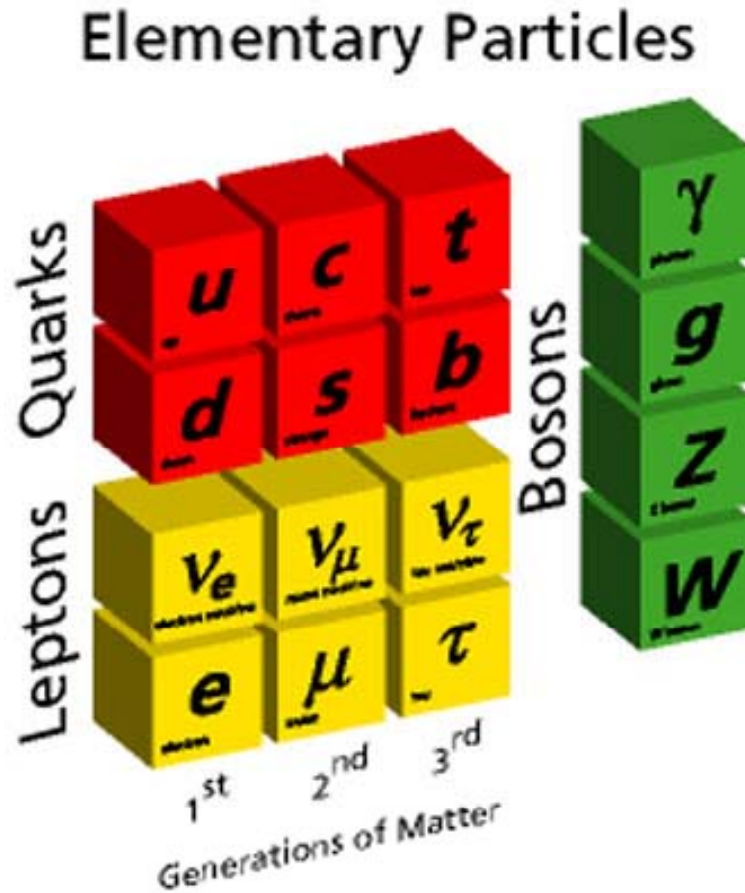
Les quatre interactions fondamentales

ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES



TYPE	FORCE RELATIVE	PARTICULES ÉCHANGÉES	EXEMPLE DE DOMAINE D'APPLICATION
FORTE	≈ 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

le modèle standard



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

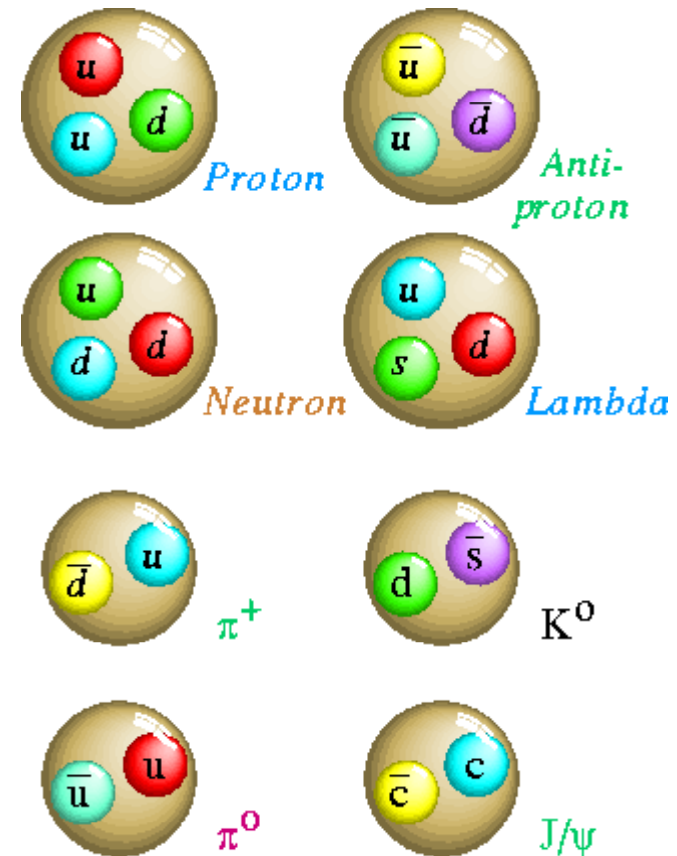
- Interactions électromagnétique, faible et forte
- 12 particules élémentaires classées en 3 familles. (+ *antiparticules associées*)

→ 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) ?

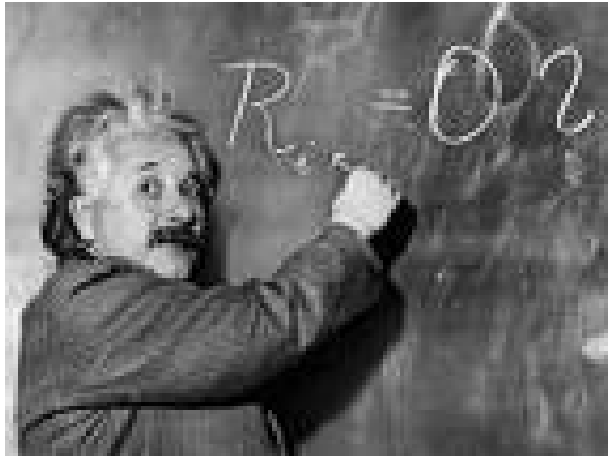
Avec de nouvelles particules expliquant la matière noire ?

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

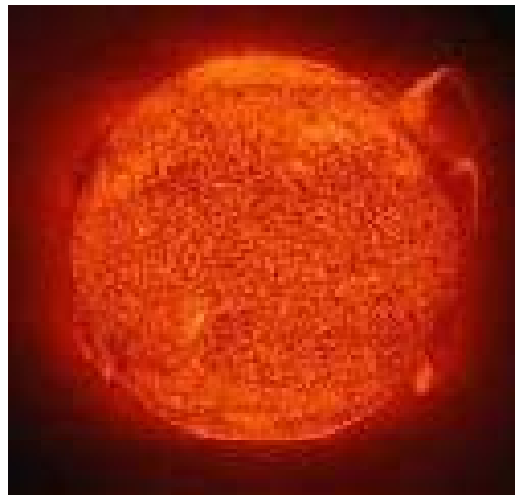
La fameuse équation $E = mc^2$



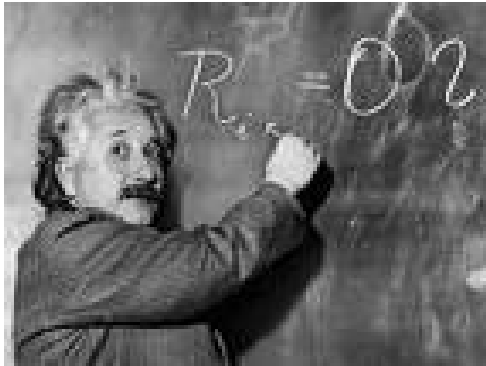
En 1905, Einstein montre l'équivalence masse-énergie par sa célèbre équation

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

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:

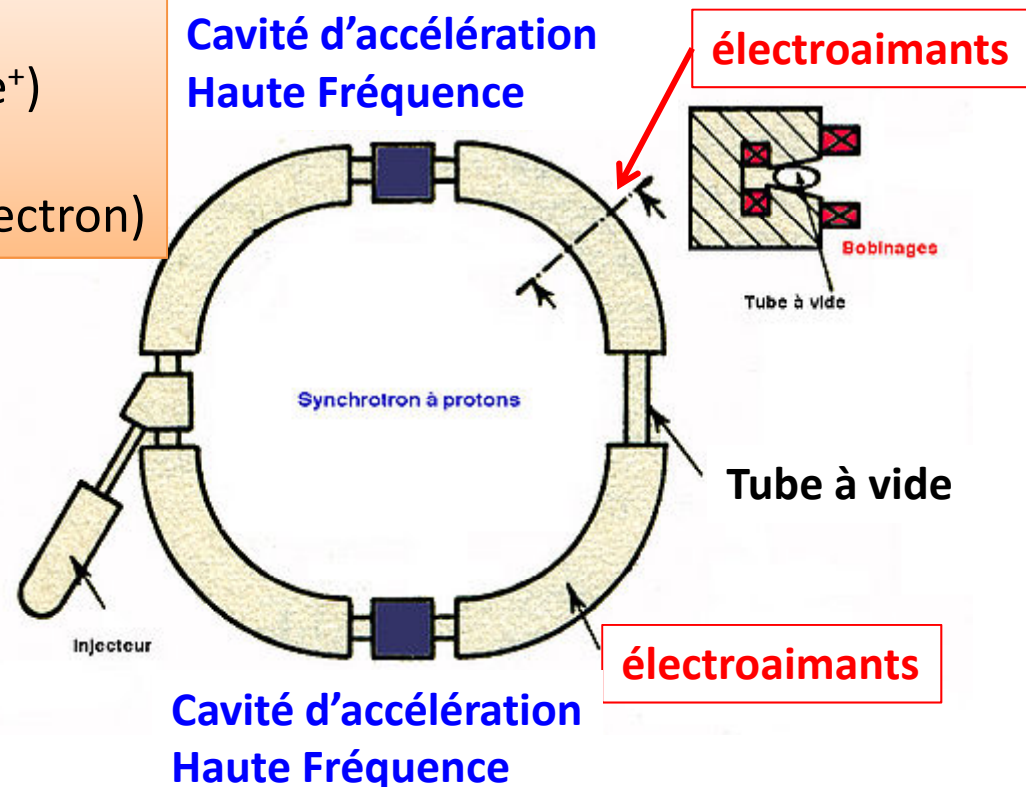
- Vitesse $v \cong c$ (300000km/s)

- Energie $E = \gamma mc^2$

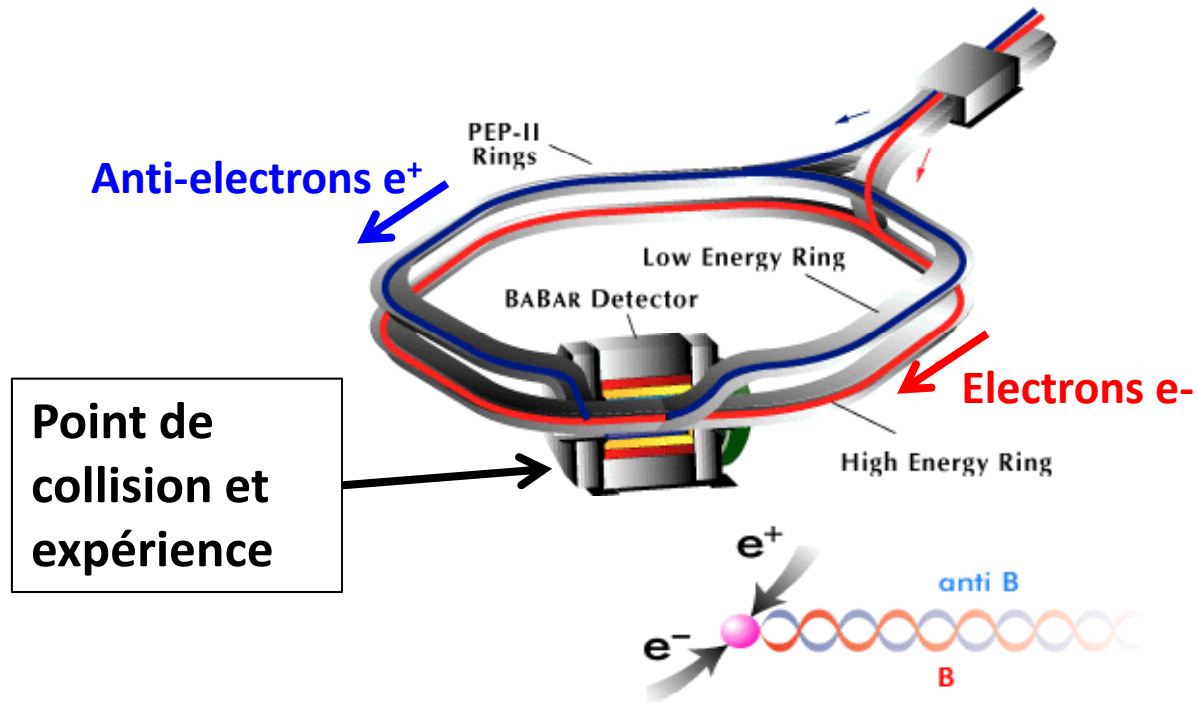
$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2/c^2} \gg 1$$

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

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



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

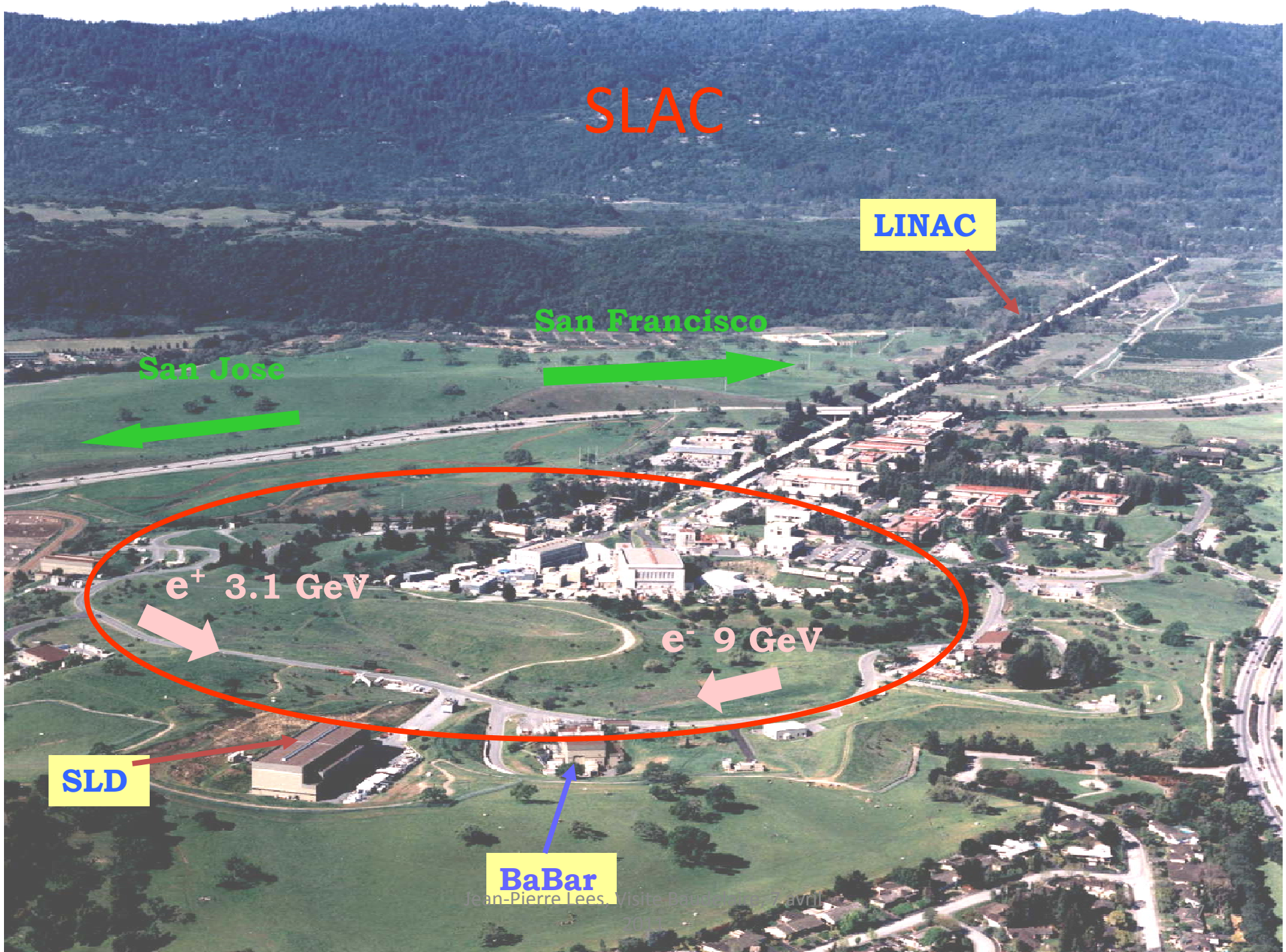
e^+ 3.1 GeV

e^- 9 GeV

SLD

BaBar

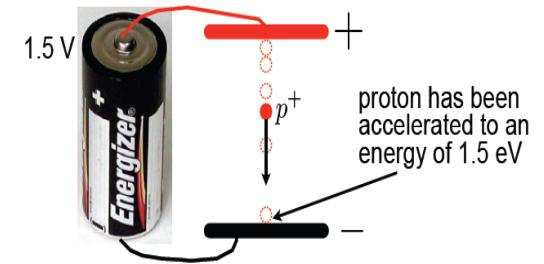
Jean-Pierre Lees, Visite BaBar, 27 avril 2011



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/c²** [$1,78 \times 10^{-36}$ kg] par exemple masse électron **0,511MeV/c²** masse proton **938 MeV/c²**



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

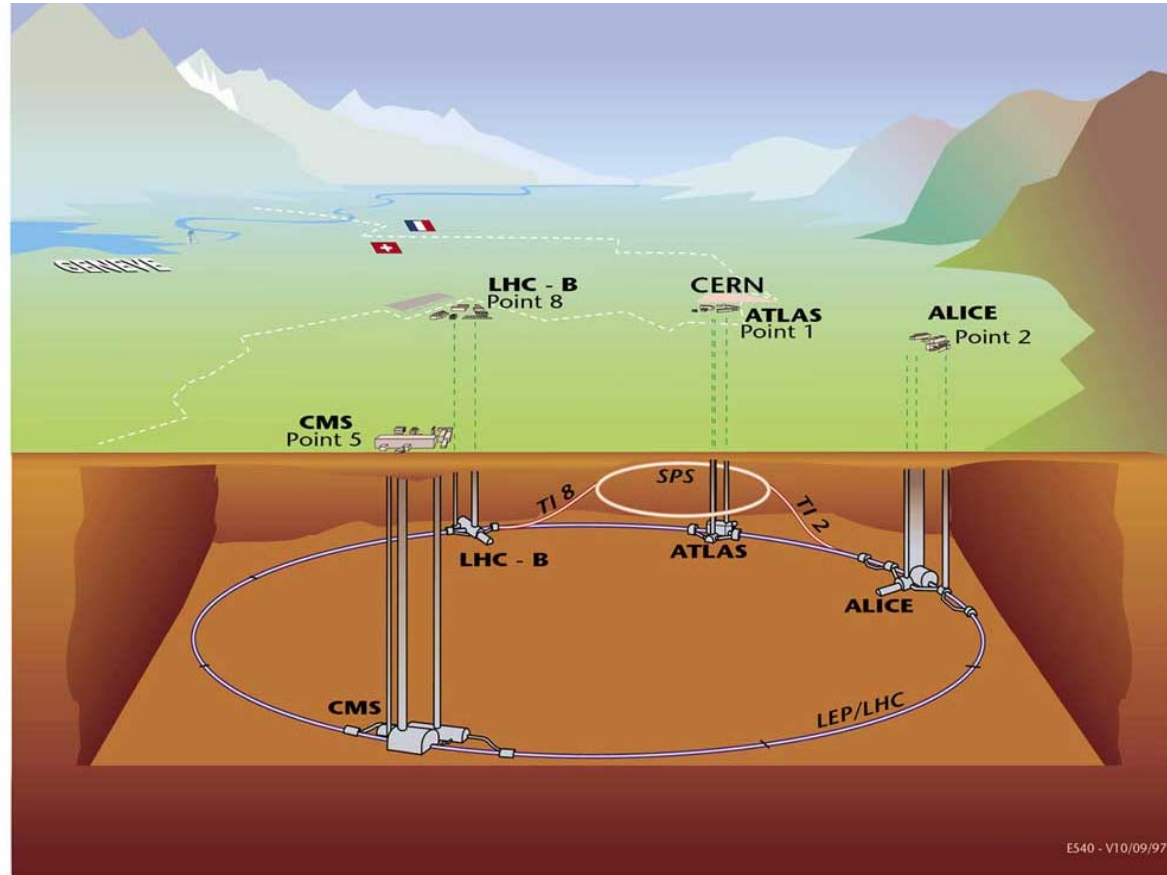
10,58 GeV
200 GeV
540 GeV
1,96 TeV
14 TeV

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

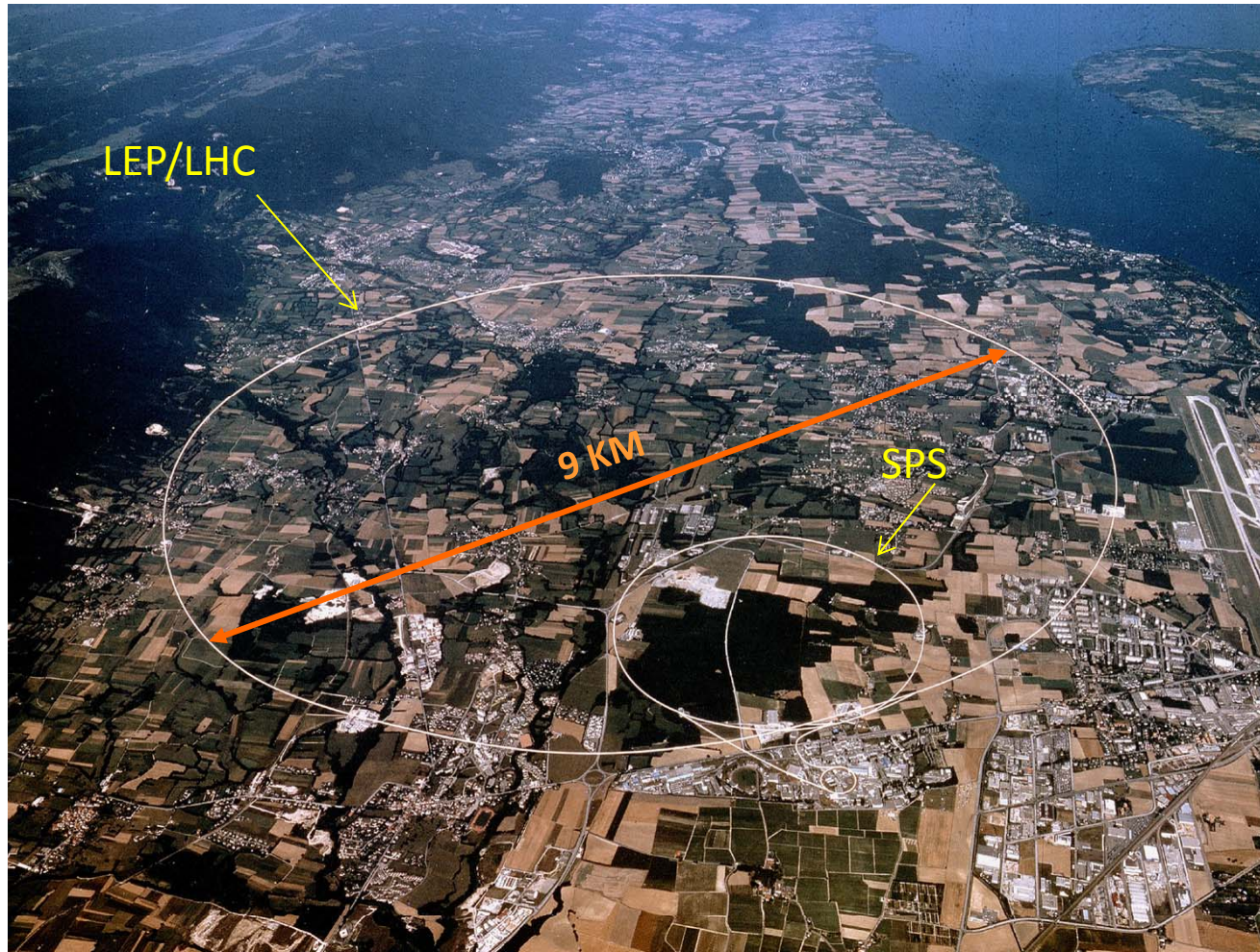
Protons de 7 TeV d'énergie



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

Jean-Pierre Lutz, Mistrô Boudlaine, 7 Sept 2011

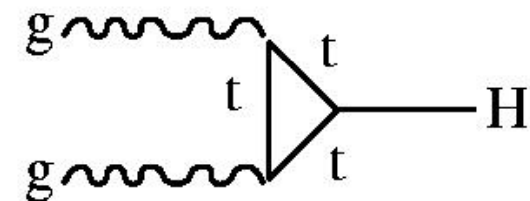
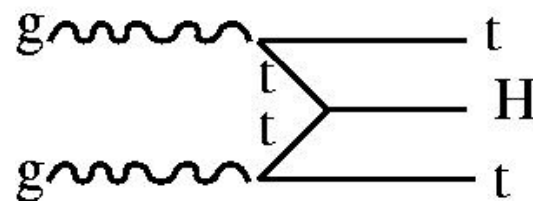
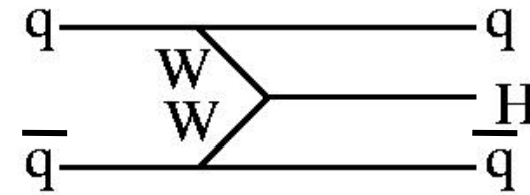
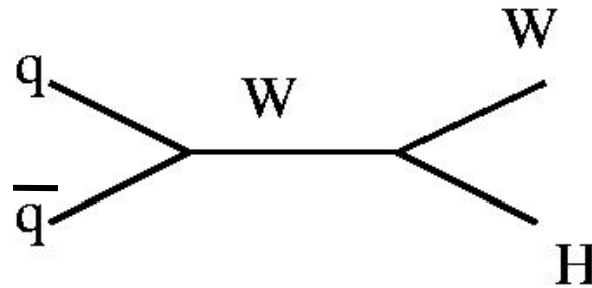
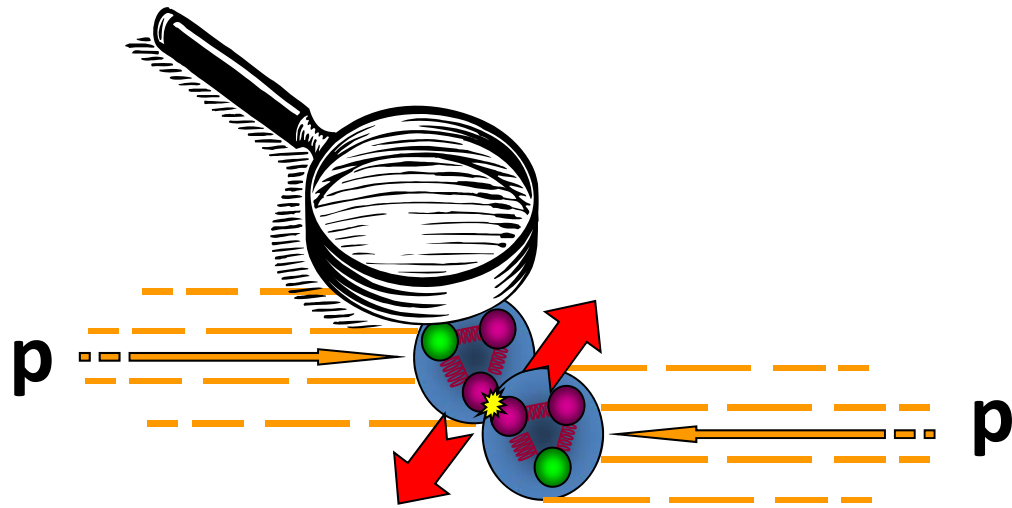
le LHC (2)





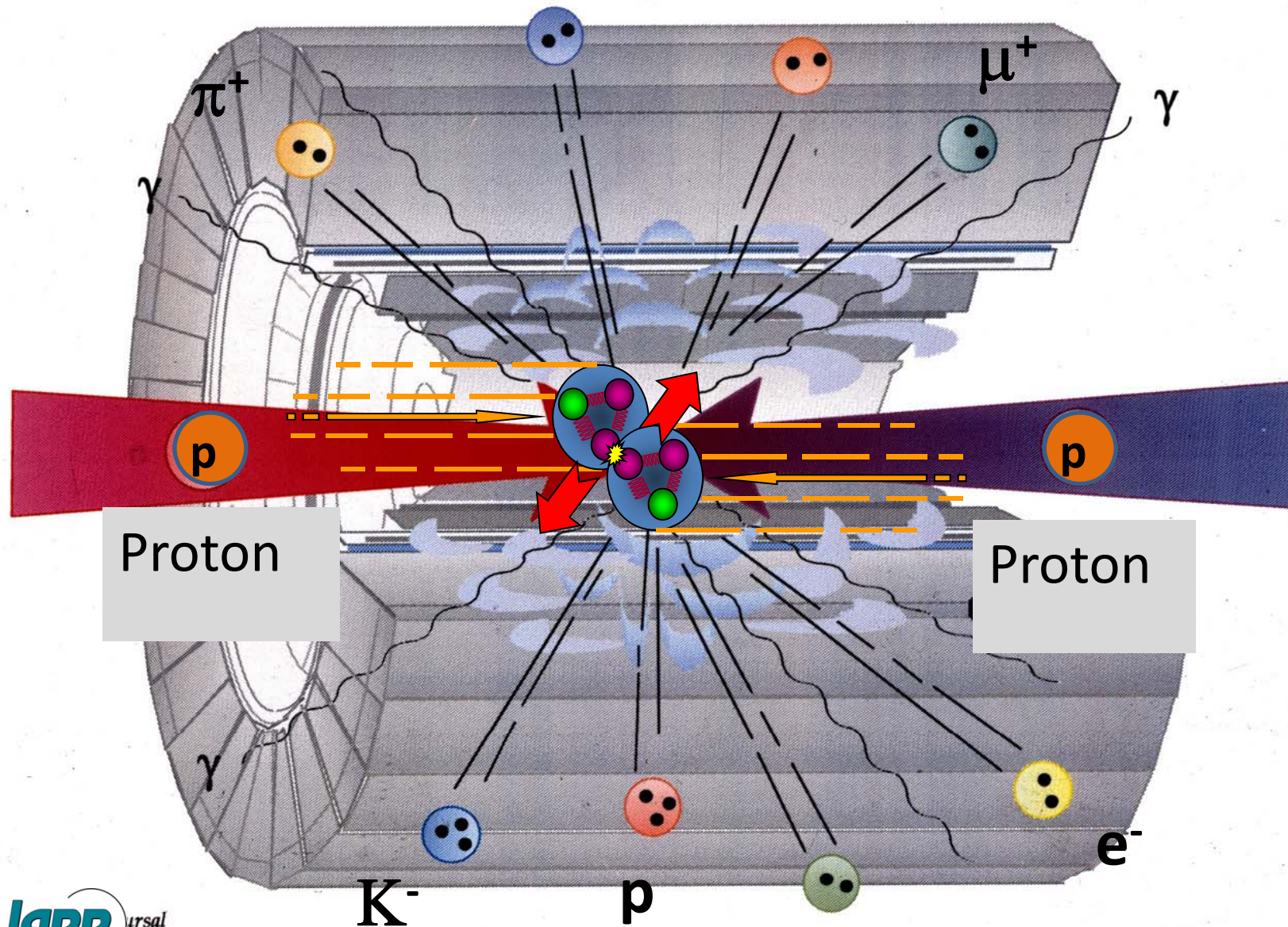
**2000 paquets contenant chacun une centaine de milliards de protons.
11000 tours en une seconde**

Exemple de la production du higgs au LHC



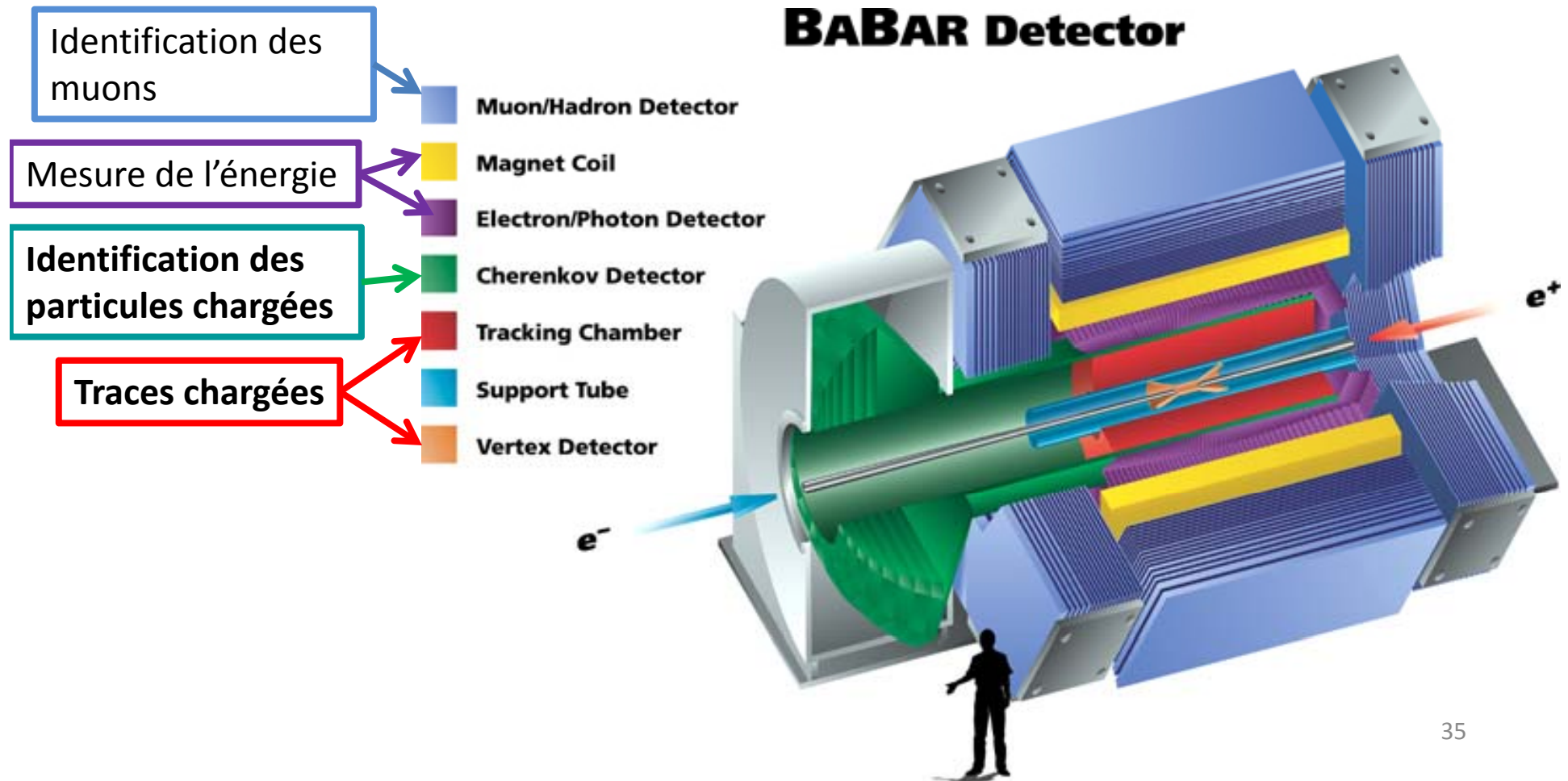
les techniques de détection

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), ...

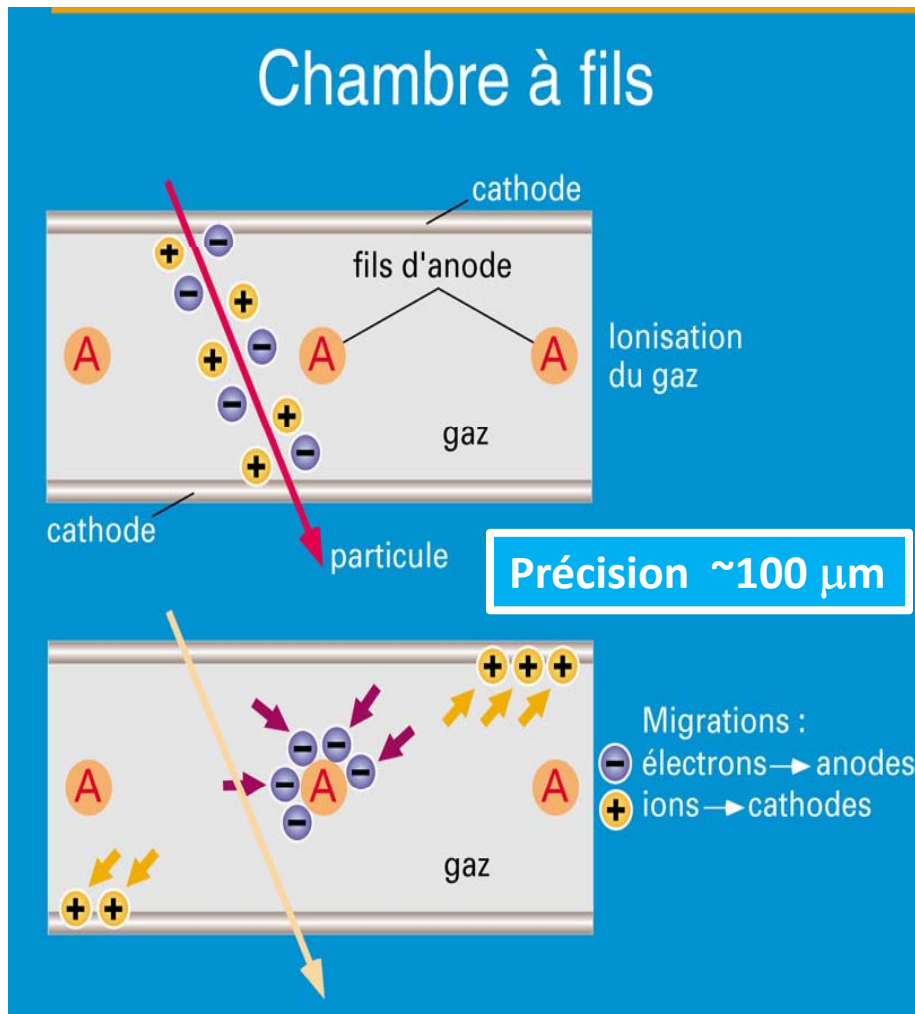


Propriétés des particules mesurées avec un détecteur

- **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/c²** [$1,78 \times 10^{-36}$ kg] par exemple masse électron **0,511MeV/c²** masse proton **938 MeV/c²**
- **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



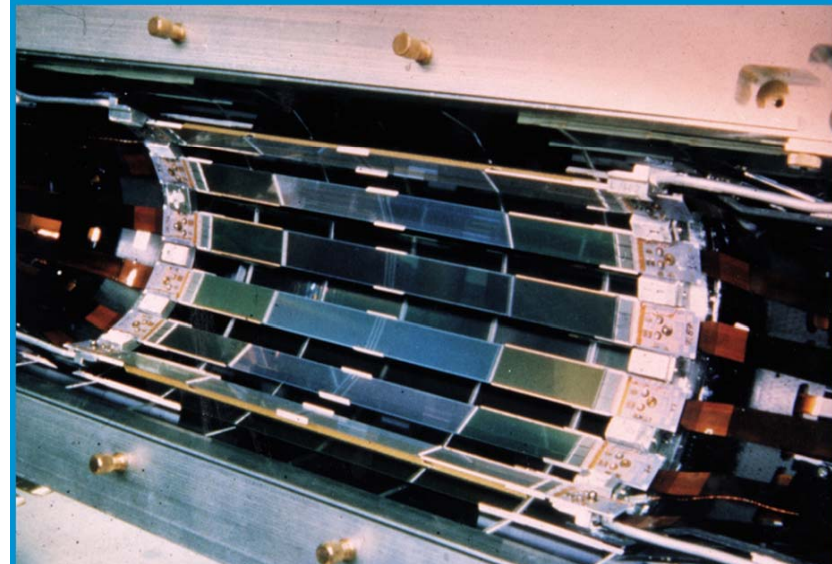
Détecteur au silicium

Implantation chaque 50 μm

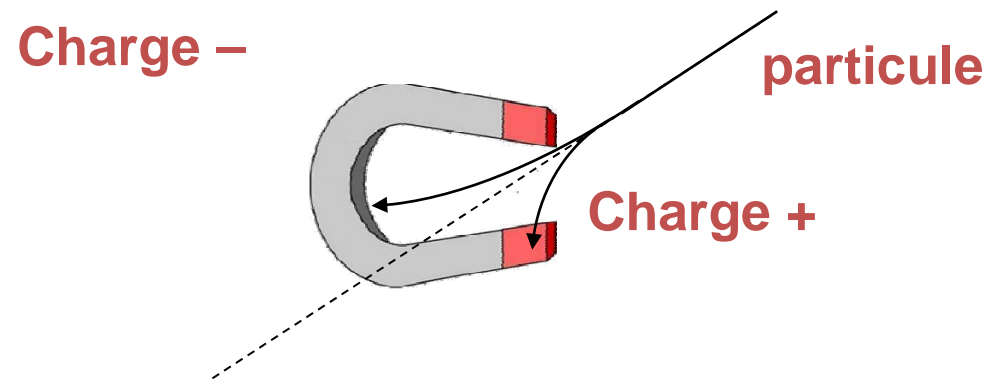
Précision ~10 μm

Diamètre = 20 cm

50 000 voies de détection



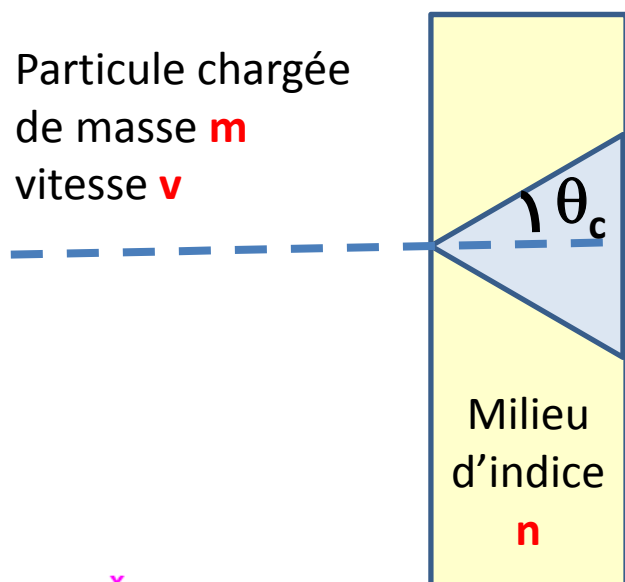
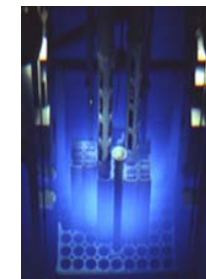
Mesurer la charge et la quantité de mouvement des particules chargées



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

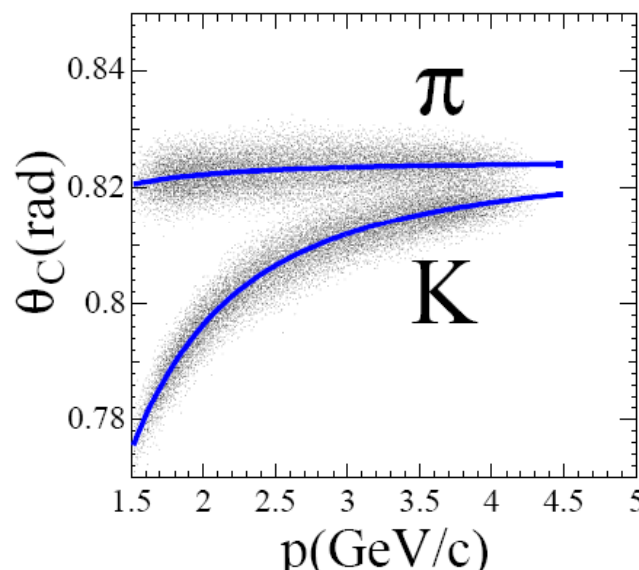
Identifier les particules chargées



Čerenkov angle

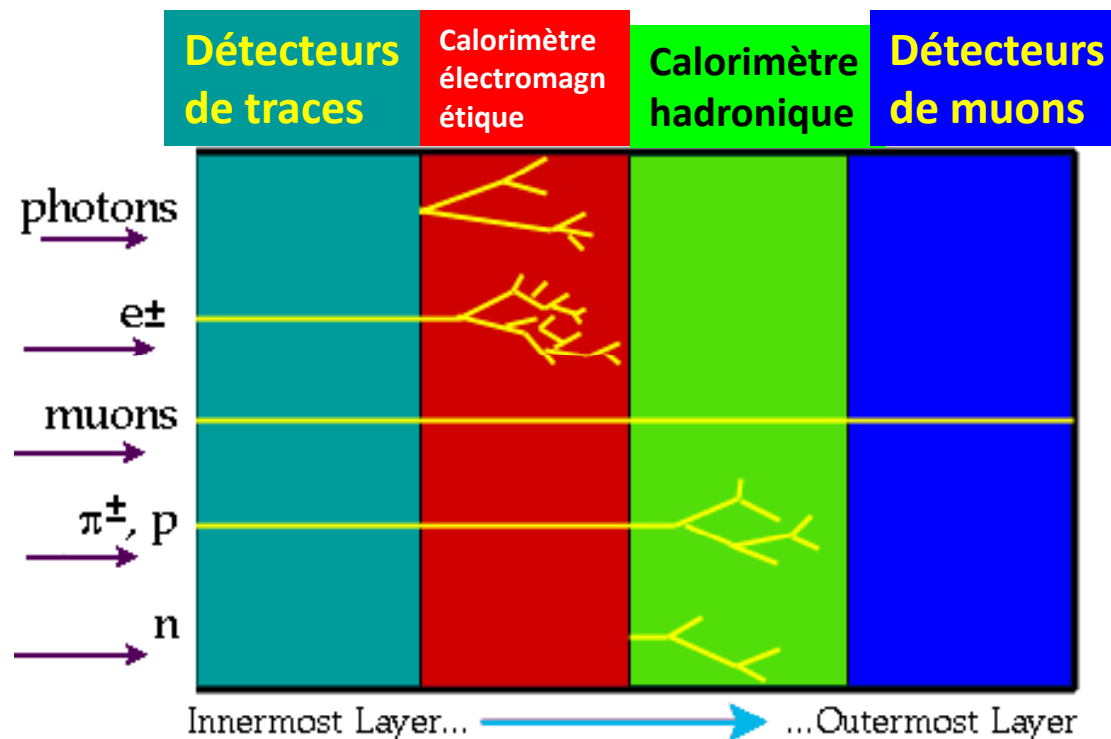
L'effet Čerenkov

- Si $v > c/n$ (vitesse de la lumière dans le milieu) émission de lumière selon un angle θ_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 θ_c , on peut savoir si on a affaire à un π ($m=138 \text{ MeV}/c^2$) ou à un K ($m=493 \text{ MeV}/c^2$)

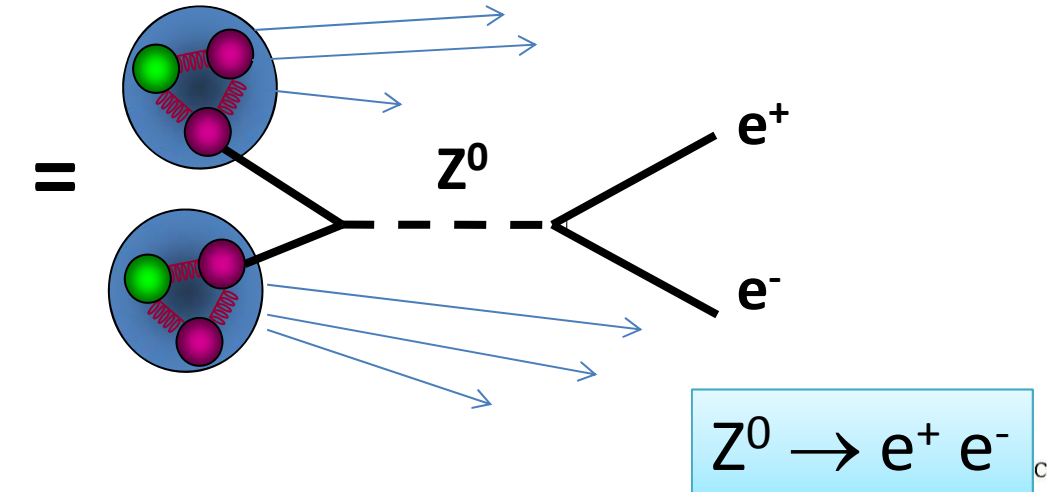
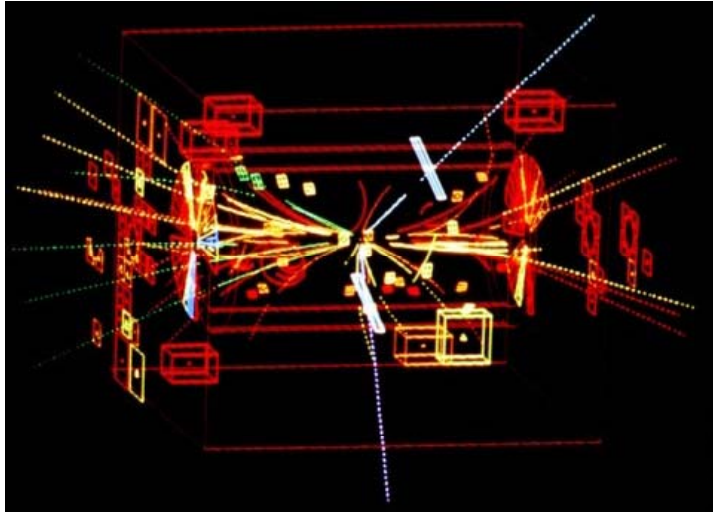
Mesurer l' énergie



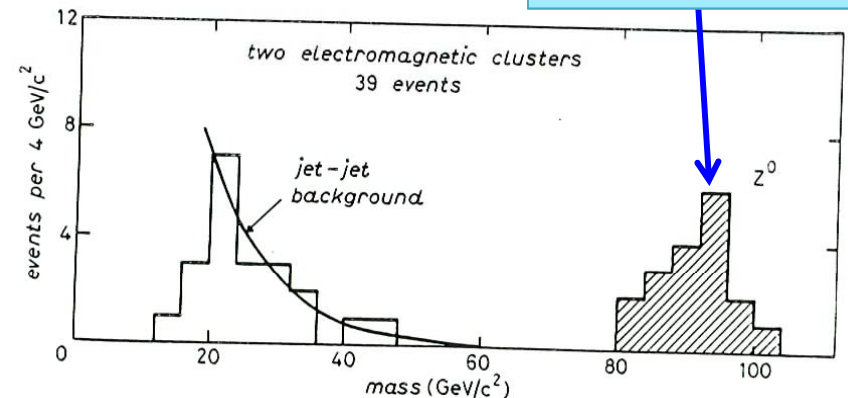
Calorimètre :

- 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

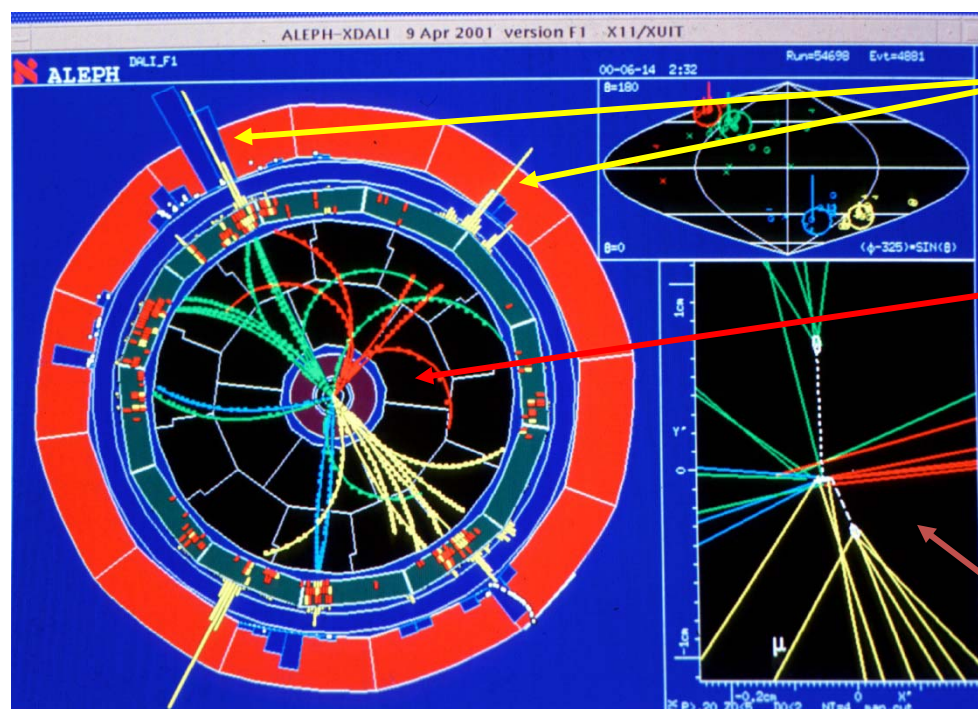


proton ($m=0.938\text{GeV}/c^2$, $E=270\text{GeV}$) +
 antiproton ($m=0.938\text{GeV}/c^2$, $E=270\text{GeV}$)
 $\rightarrow Z^0$ ($m=91.2\text{GeV}/c^2$) + particules
 résiduelles



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

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



Les calorimètres mesurent la valeur des énergies

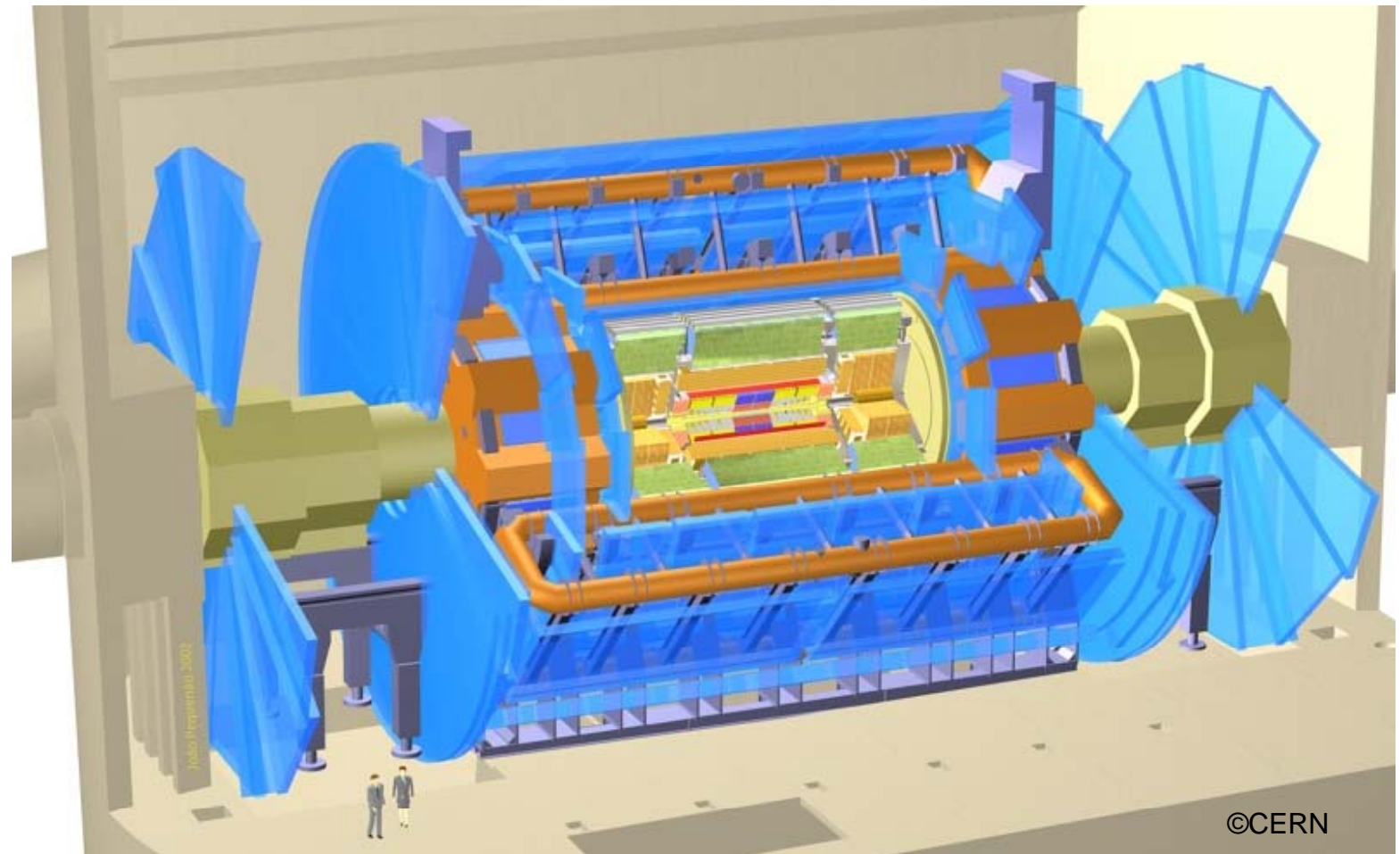
Le détecteur de traces (TPC) mesure les trajectoires que le champ magnétique a courbées : on reconstruit ainsi à l'aide d'un programme l'impulsion de la particule sa charge et ses angles d'émission.

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

Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril

2011

Quelques expériences sur accélérateurs (LHC)



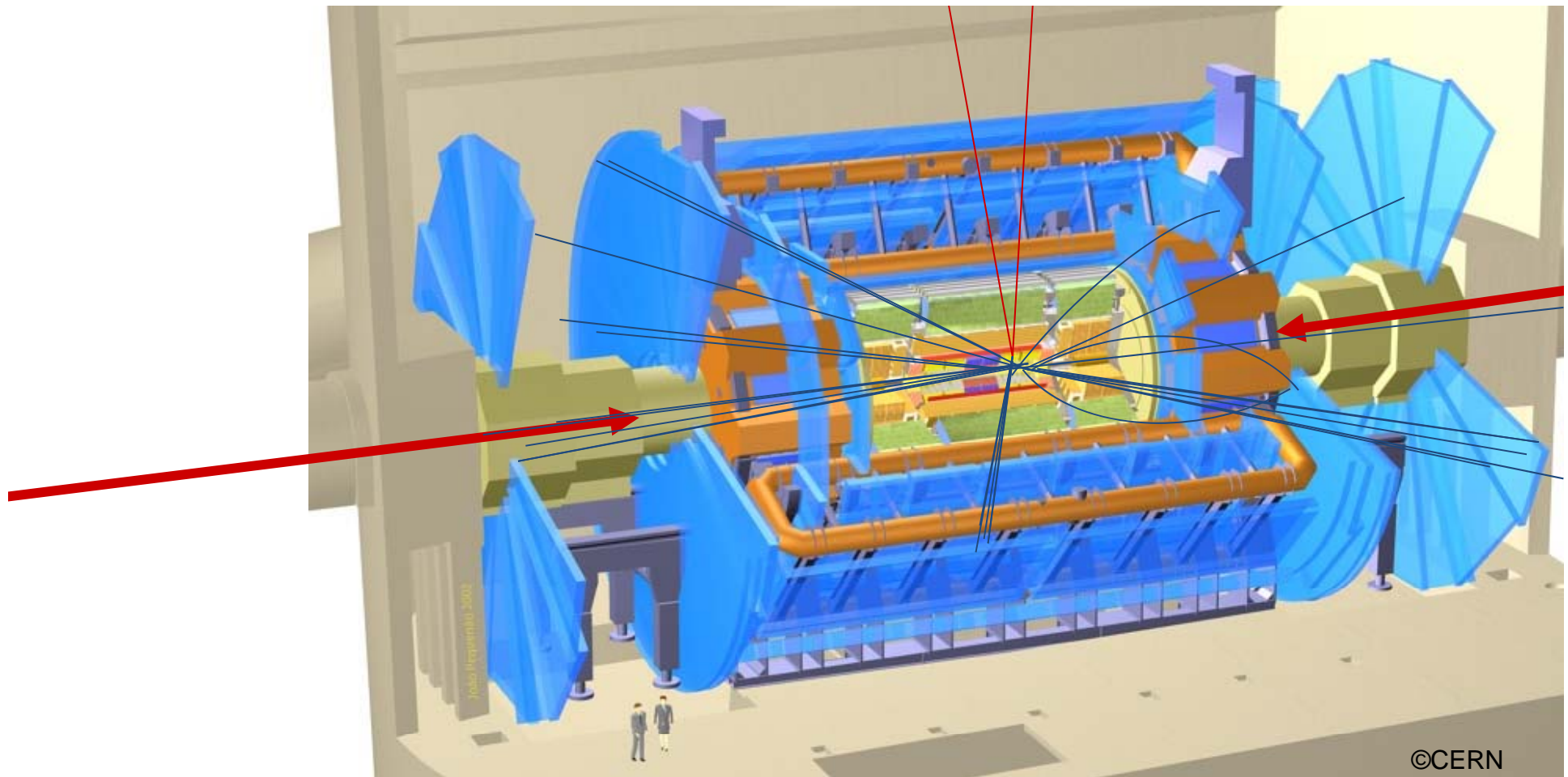
Le détecteur ATLAS au LHC

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**

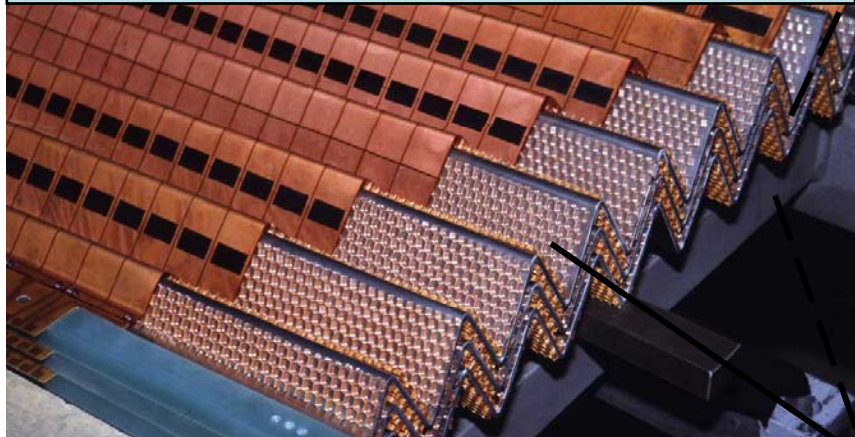
Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril
2011



Le détecteur ATLAS au LHC

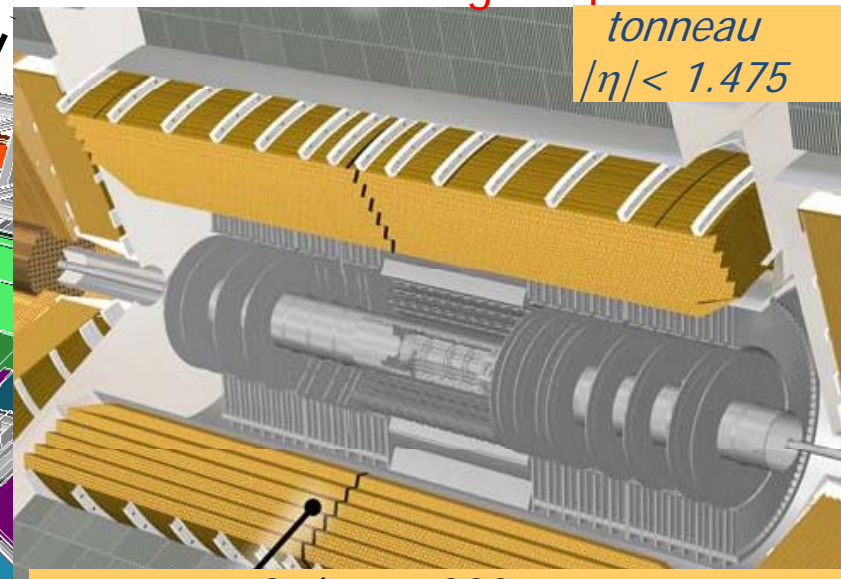
- Recherche du boson de Higgs?
- Découverte de nouvelles particules?

10/32 modules du calorimètre
électromagnétique tonneau
construit au LAPP



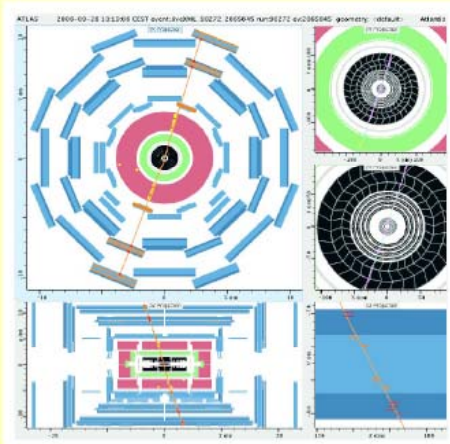
Calorimètre électromagnétique LAr

tonneau
 $|\eta| < 1.475$



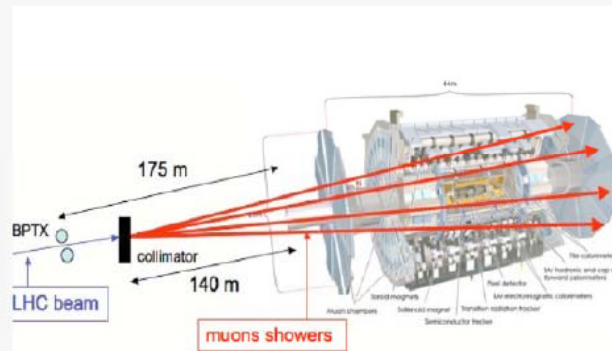
Cosmic muons
(since 2006)

Muon: Minimum Ionizing
Particle (MIP) in LAr calorimeter



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

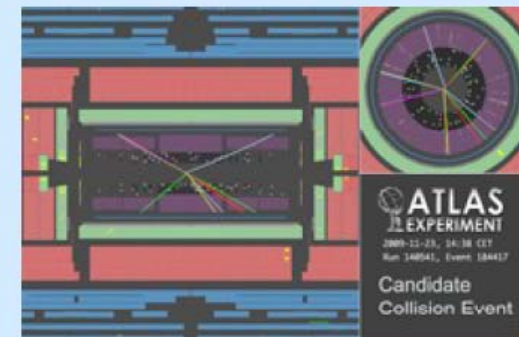
Very large energy deposited in
most of LAr cells !



Splash events

First Collisions
(Nov. 23, 2009)

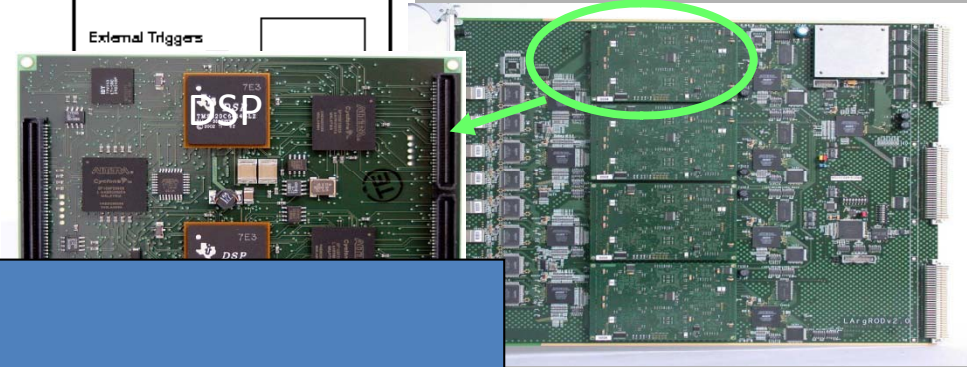
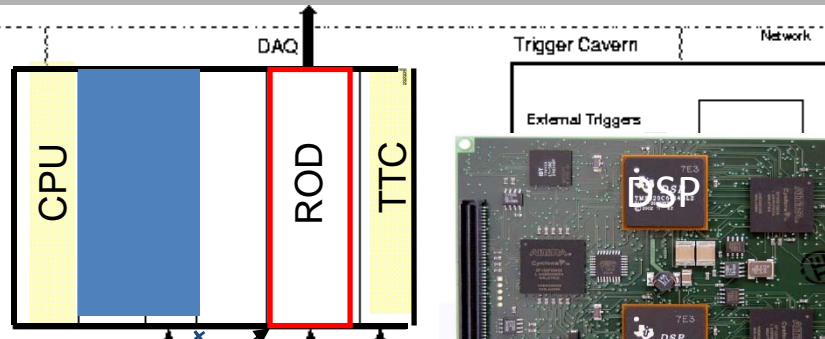
Real events !



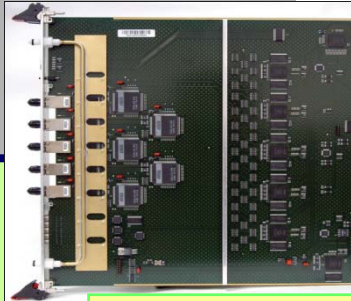
Electronique: réalisation LAPP

Chaîne de lecture de l'accordéon

Salle de comptage (Back-End)



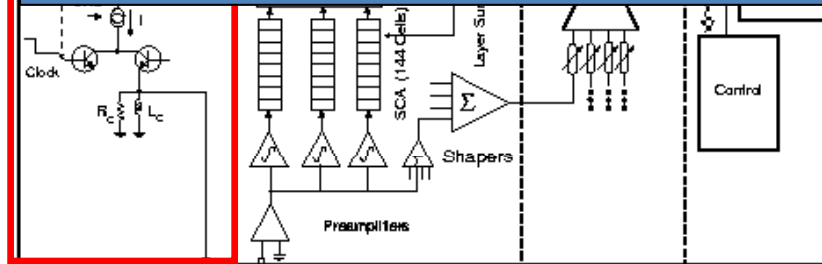
Carte ROD



Carte injecteur

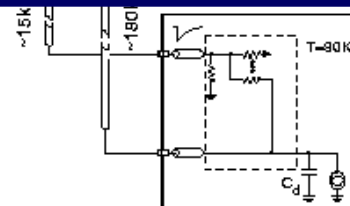
Sur le cryostat (Front-End)

+ mise en route de tout le Back-End

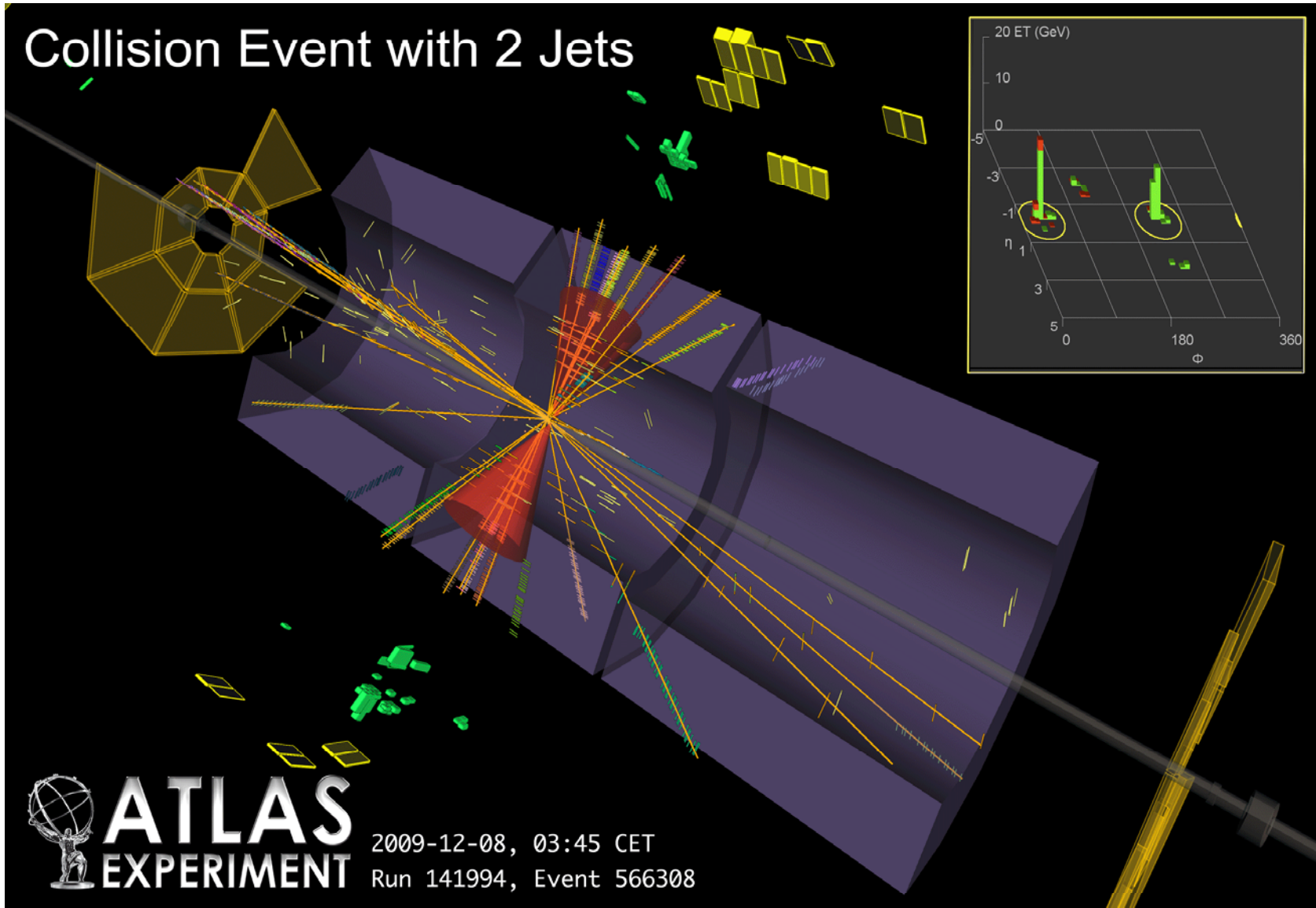


Carte calibration

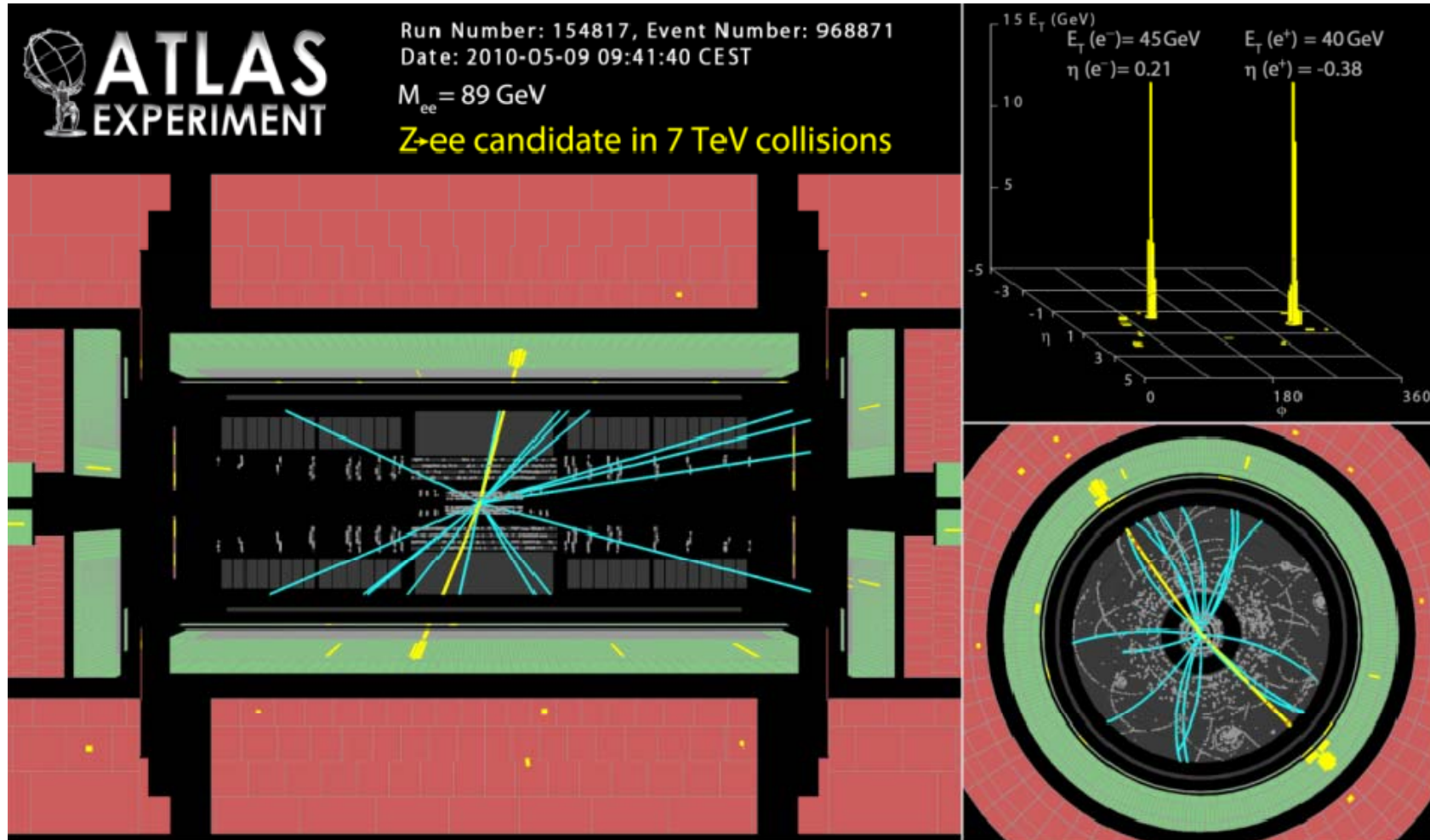
Argon liquide



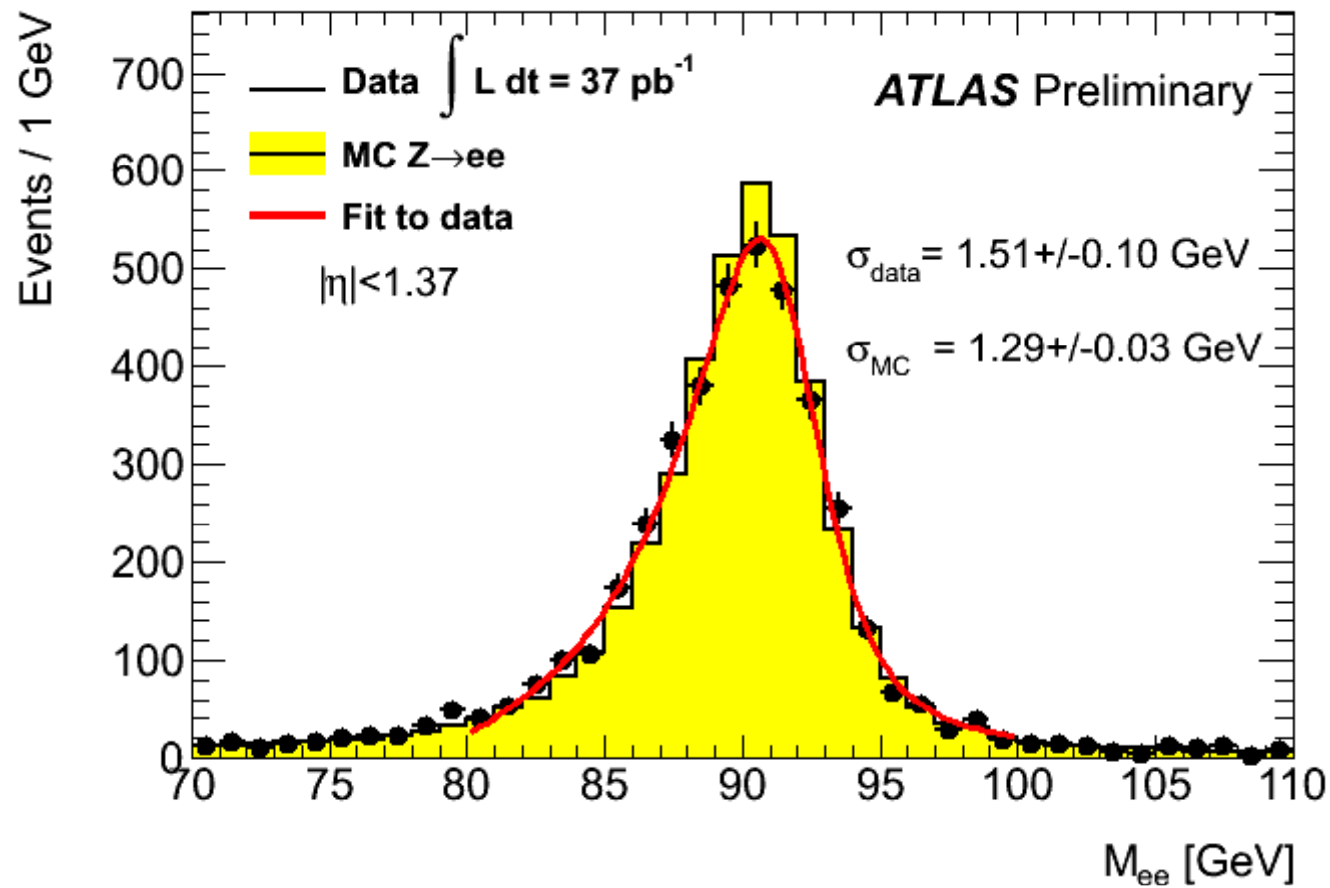
Two jet event at 2.36 TeV (Dec. 8th)



Un candidat Z^0 dans ATLAS

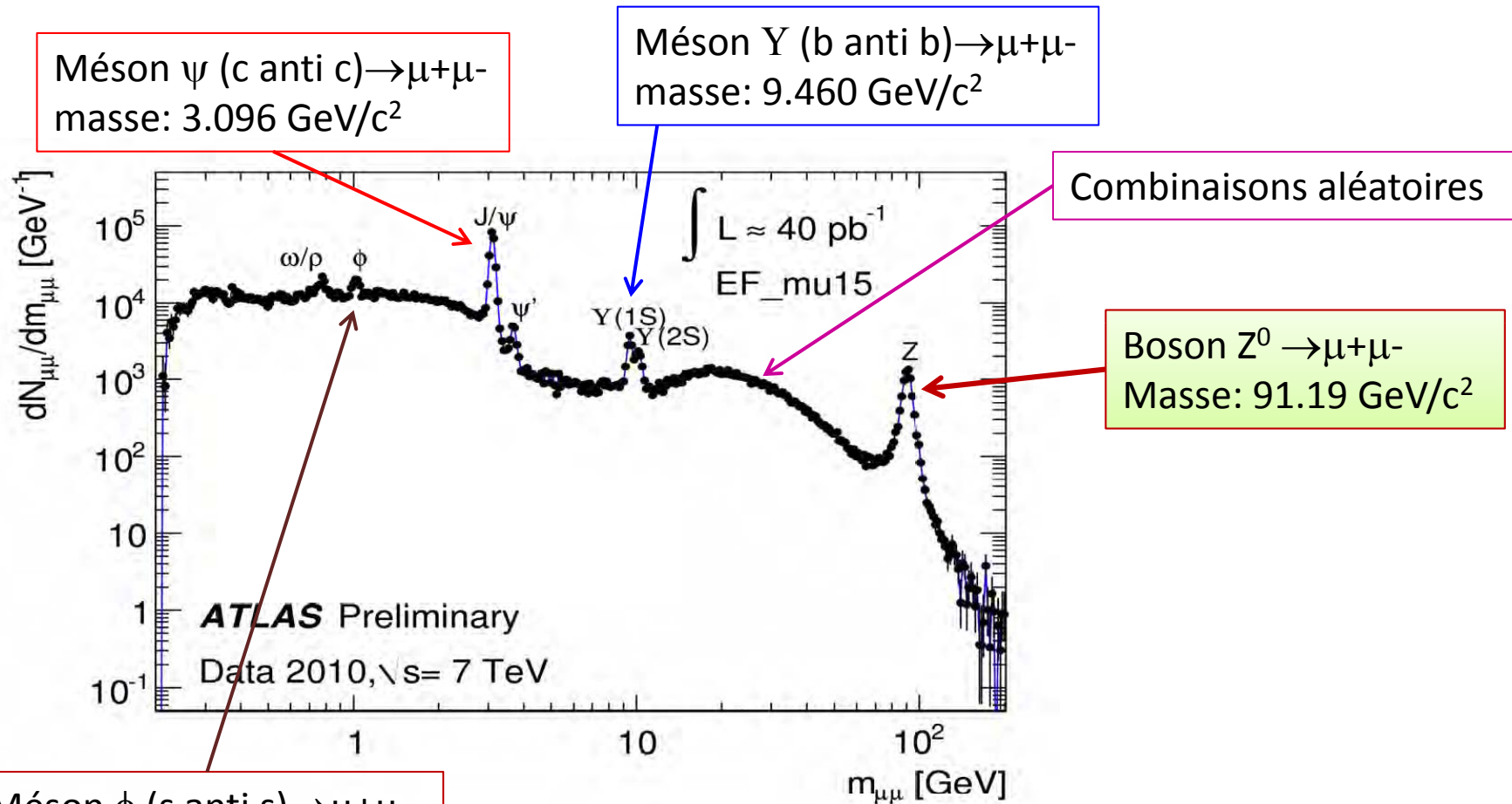


Masse des candidats $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ dans ATLAS



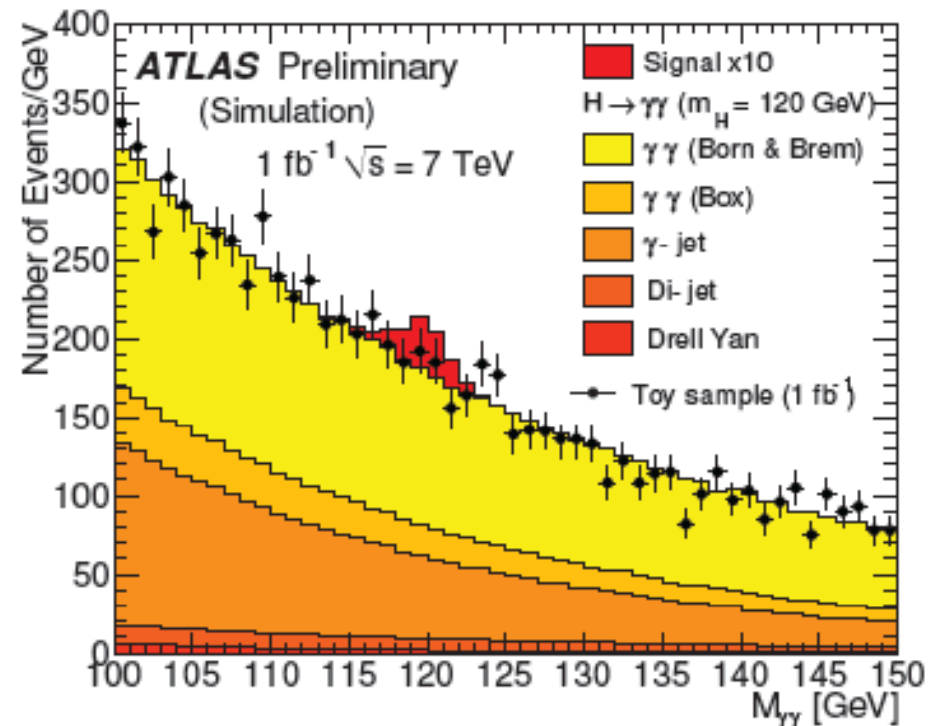
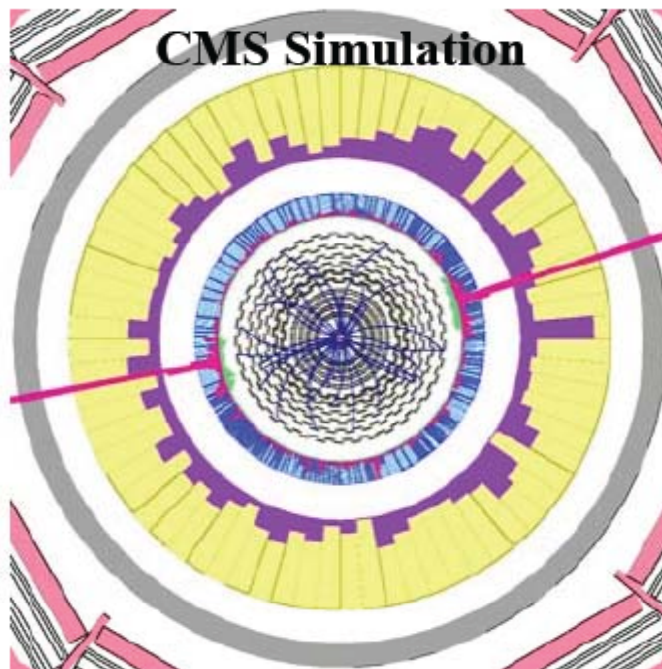
Exemple de désintégrations dans Atlas

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



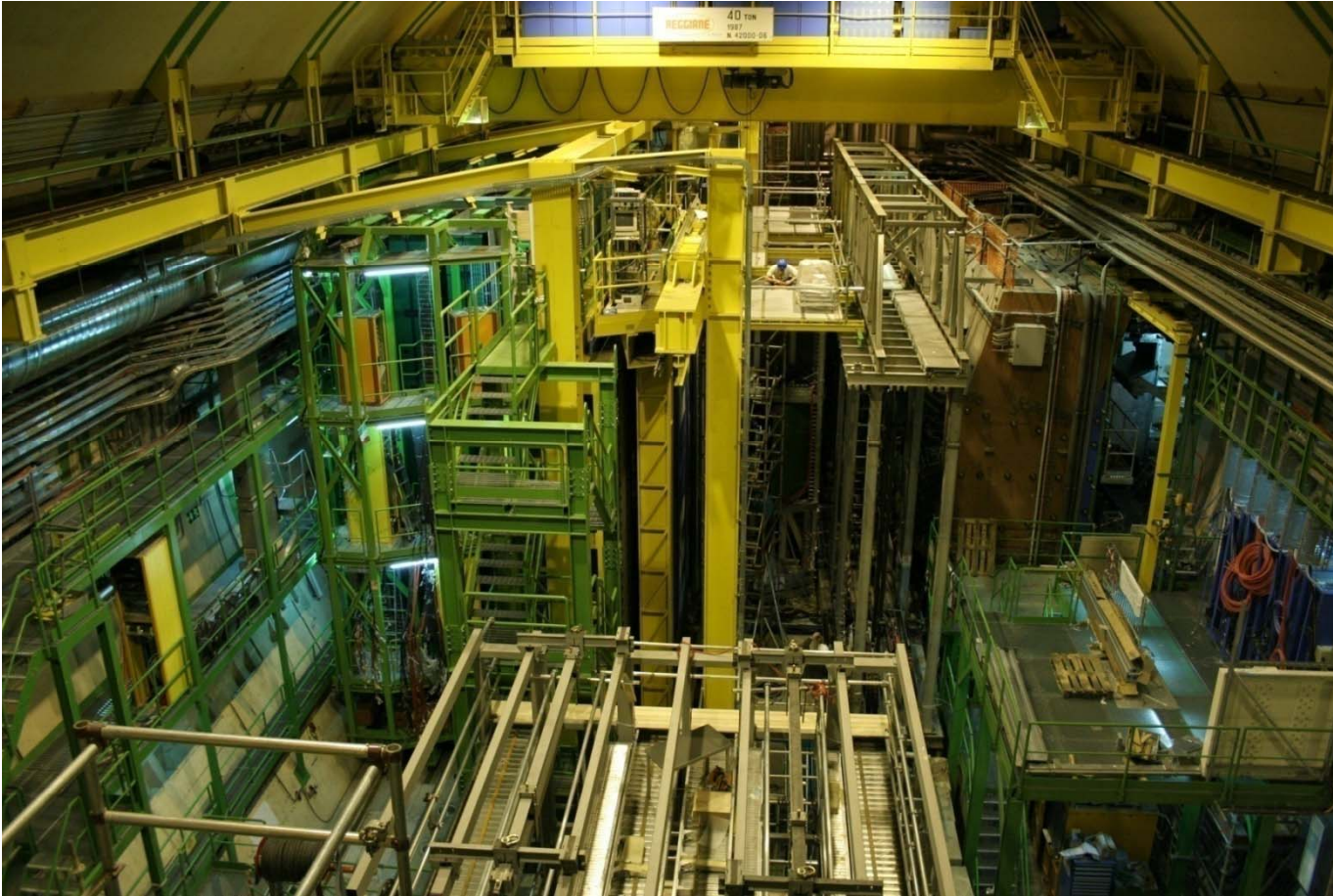
La recherche du Higgs $H \rightarrow \gamma\gamma$

- 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

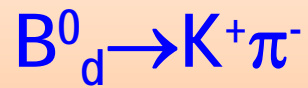
B^0_d : anti b – d

B^0_s : anti b – s

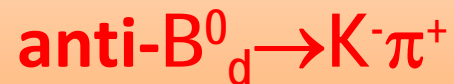
Pour
Etudier
l'asymétrie
matière -
anti-
matière

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

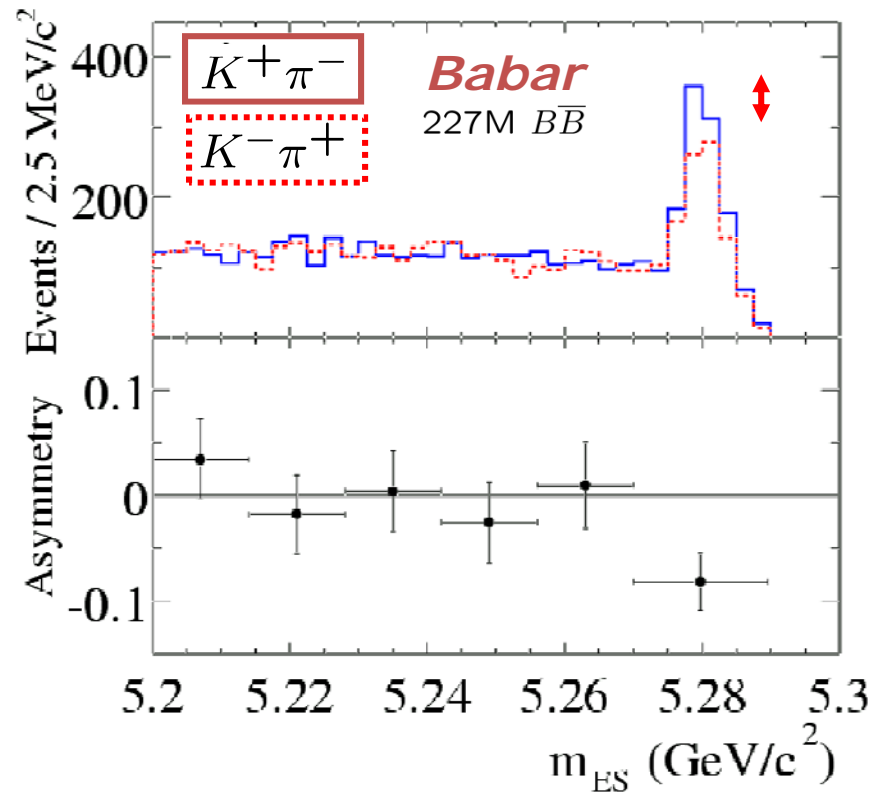
On observe plus de



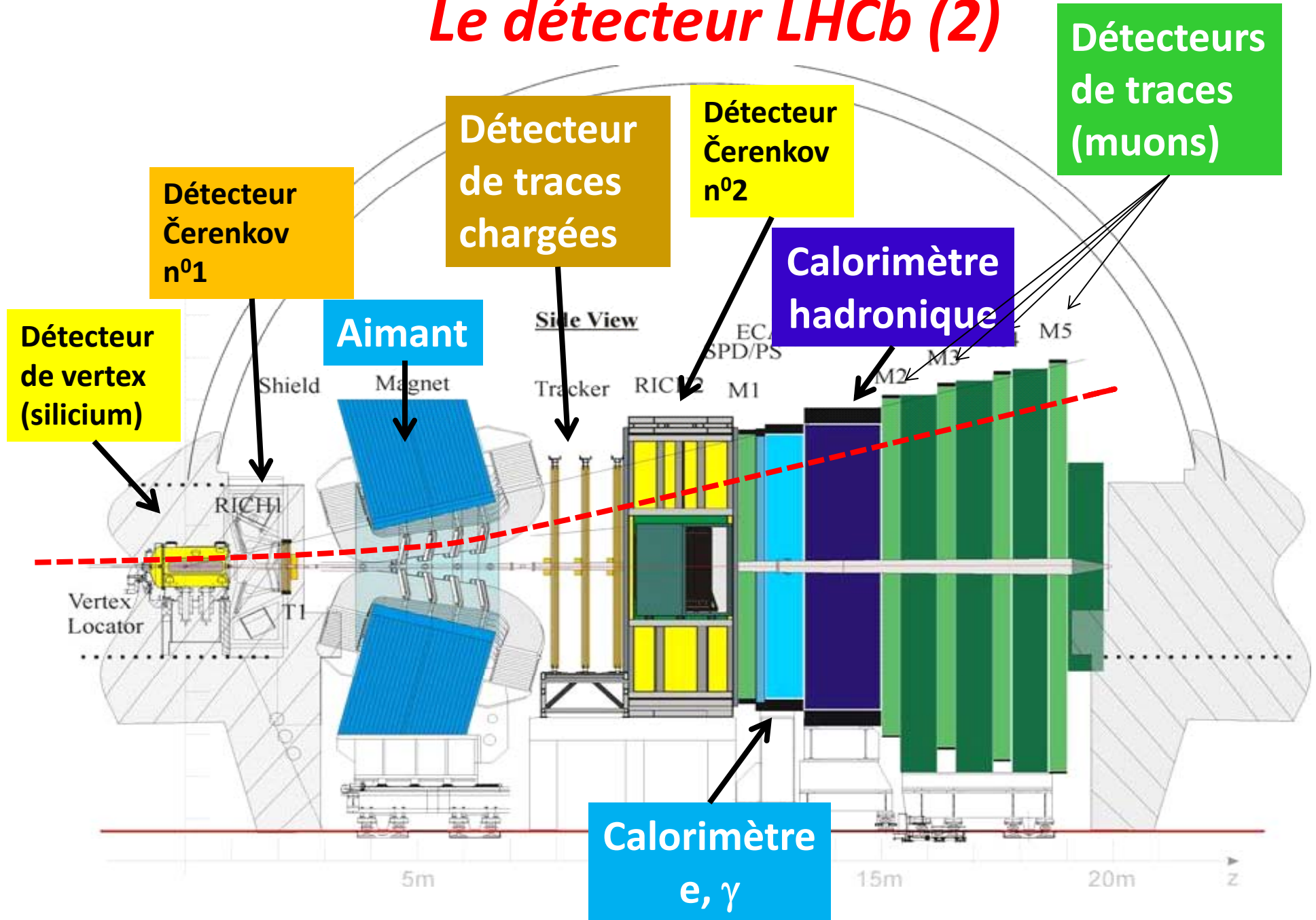
que de



- 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)

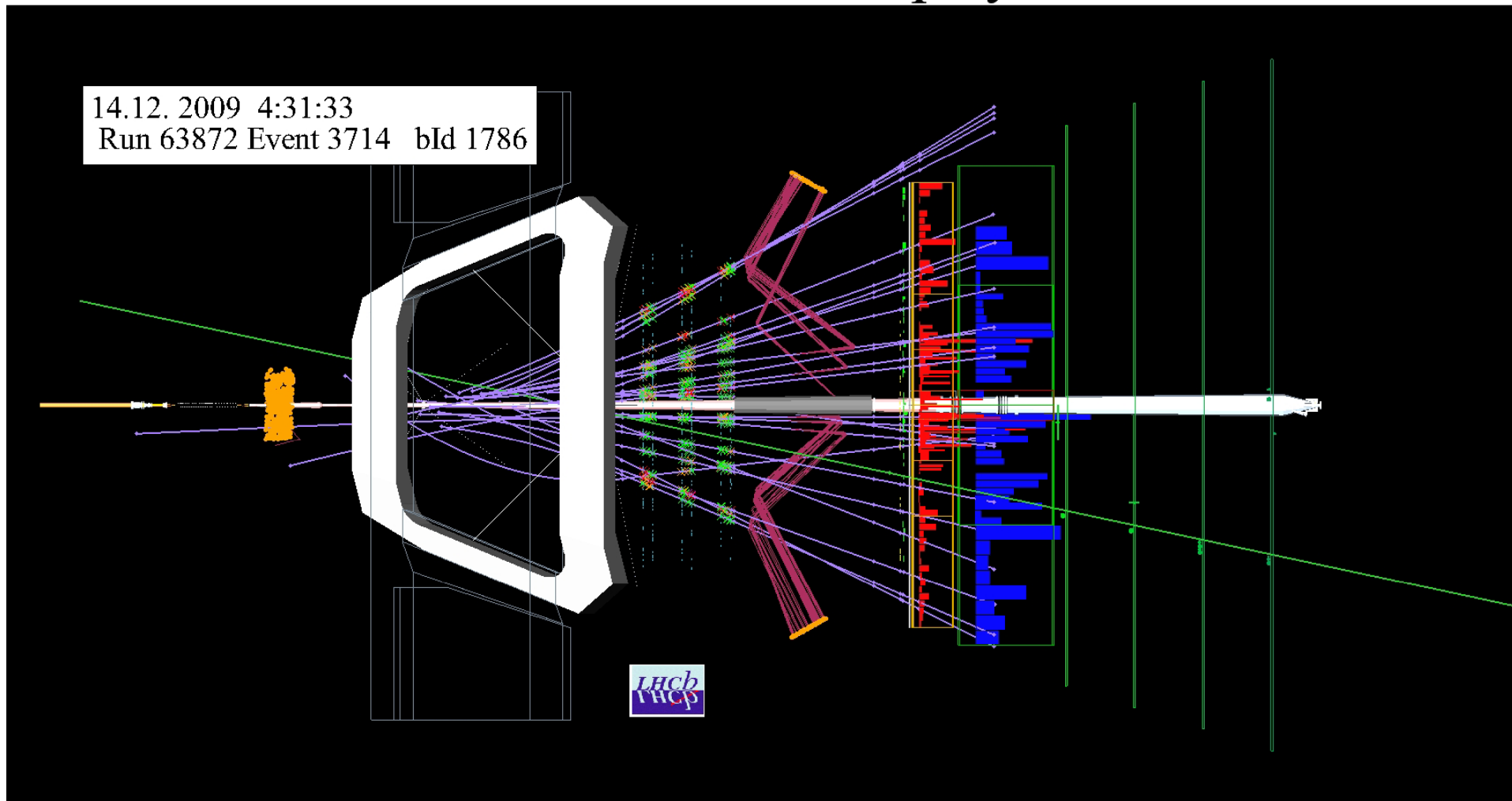


Le détecteur LHCb...

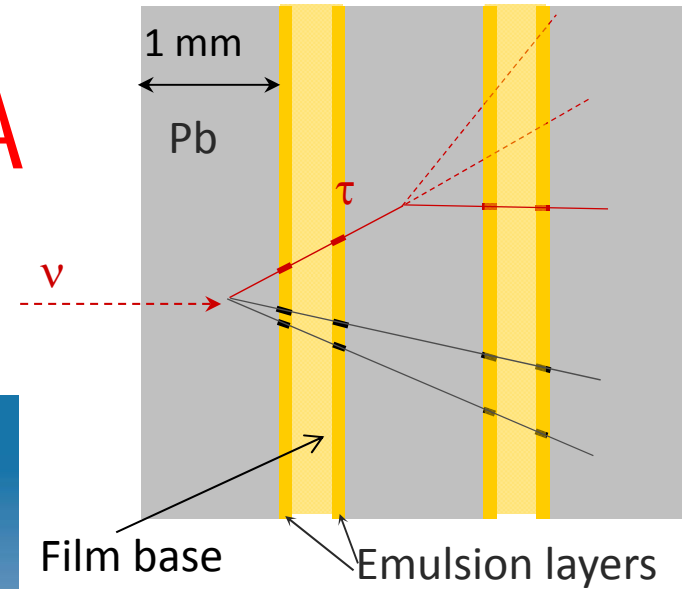
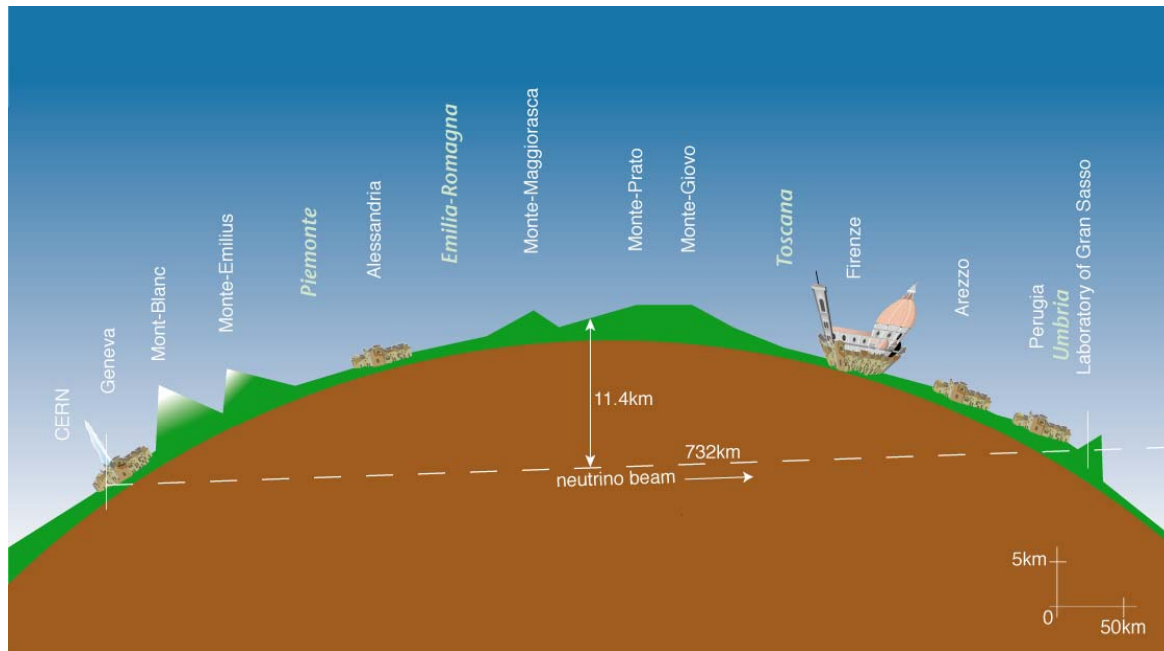
Etudie les hadrons « beaux »



LHCb Event Display



Les neutrinos: OPERA



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

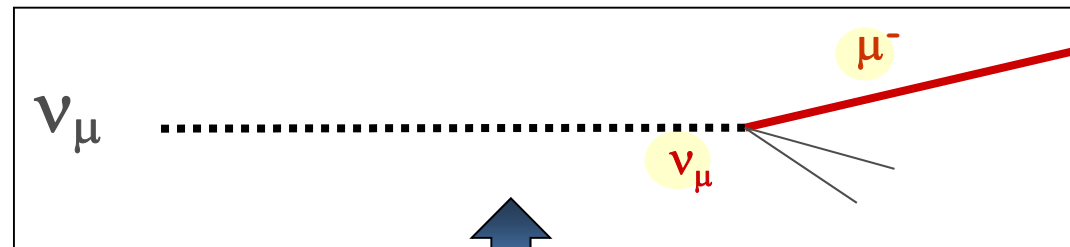
Principe de la mesure

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

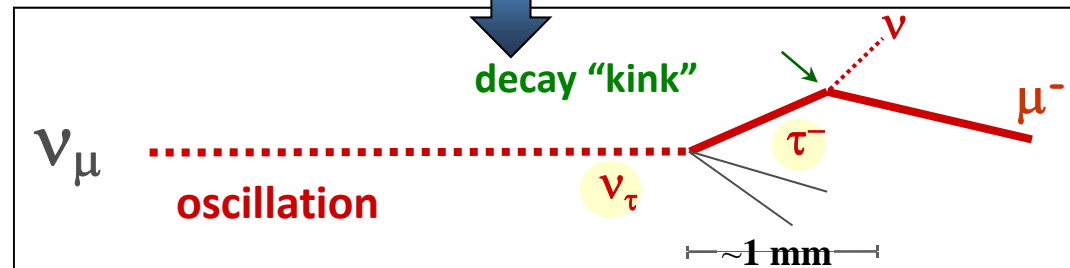
$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) \sim \sin^2(\Delta m_{23}^2 L/4E)$$

L Longueur parcourue, E énergie du neutrino

Faisceau pur de neutrinos de type μ



Interaction d'un neutrino de type μ

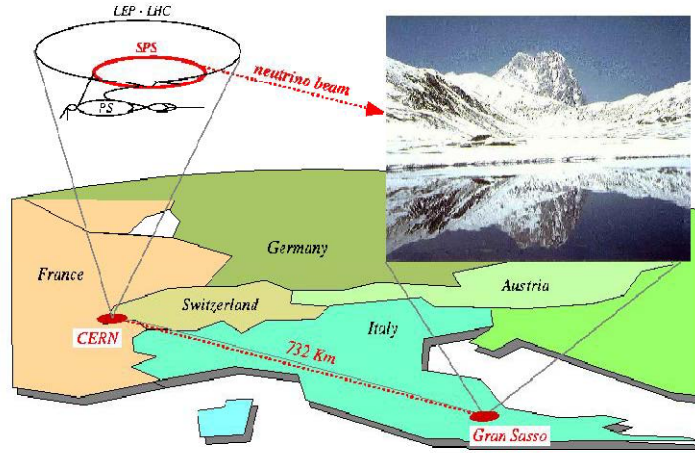


Interaction d'un neutrino de type τ

plus 3-prong decay modes

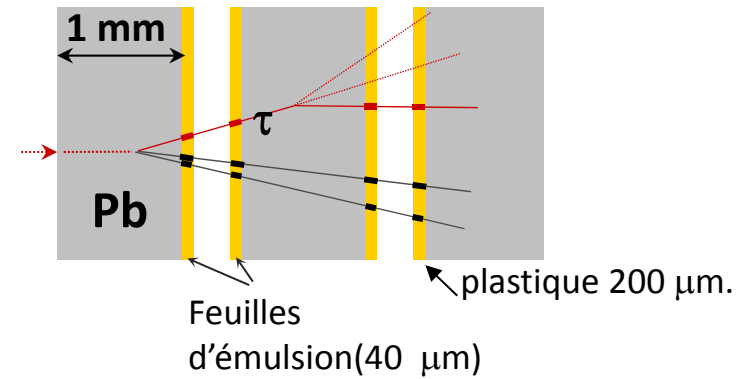


CERN to Gran Sasso Neutrino Beam

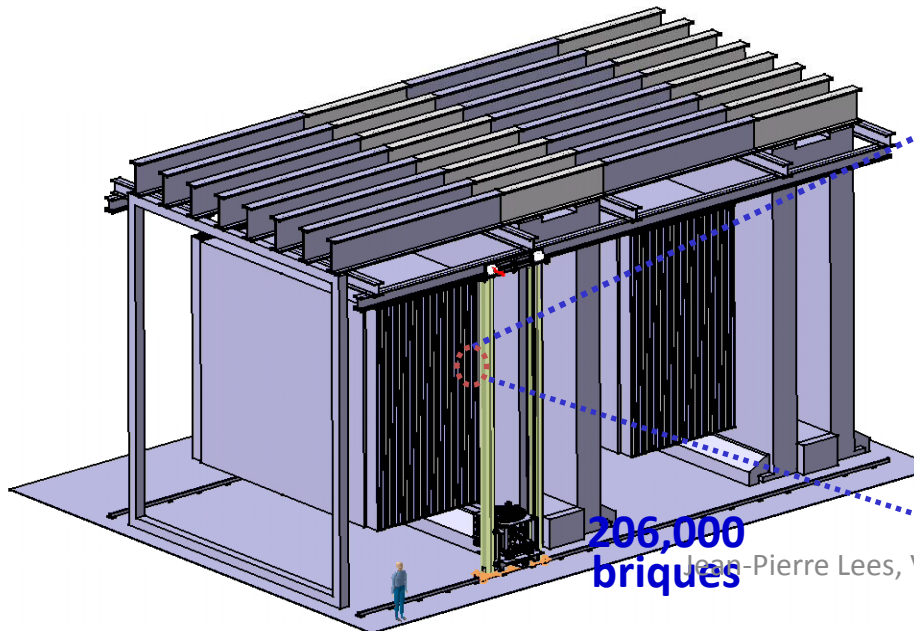


Oscillation de neutrinos, détection par interaction de courant chargé:

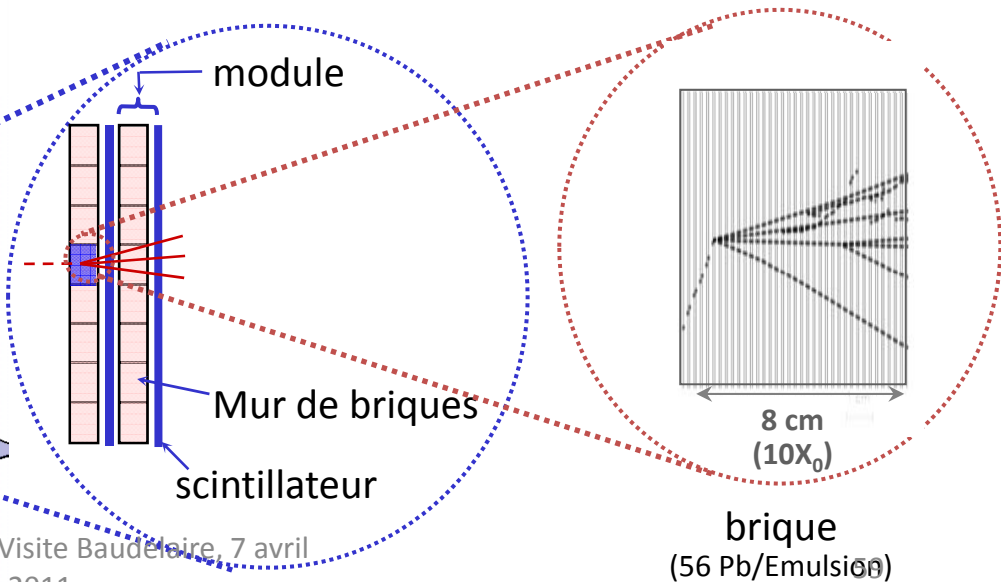
$$\nu_{\mu} \leftrightarrow \nu_{\tau} \rightarrow \tau^{-} + X$$



Observation directe des évènements ν_{τ}
 Emulsions nucléaires + détecteurs électroniques
 (trigger, localisation de l'interaction, analyse)



206,000 briques

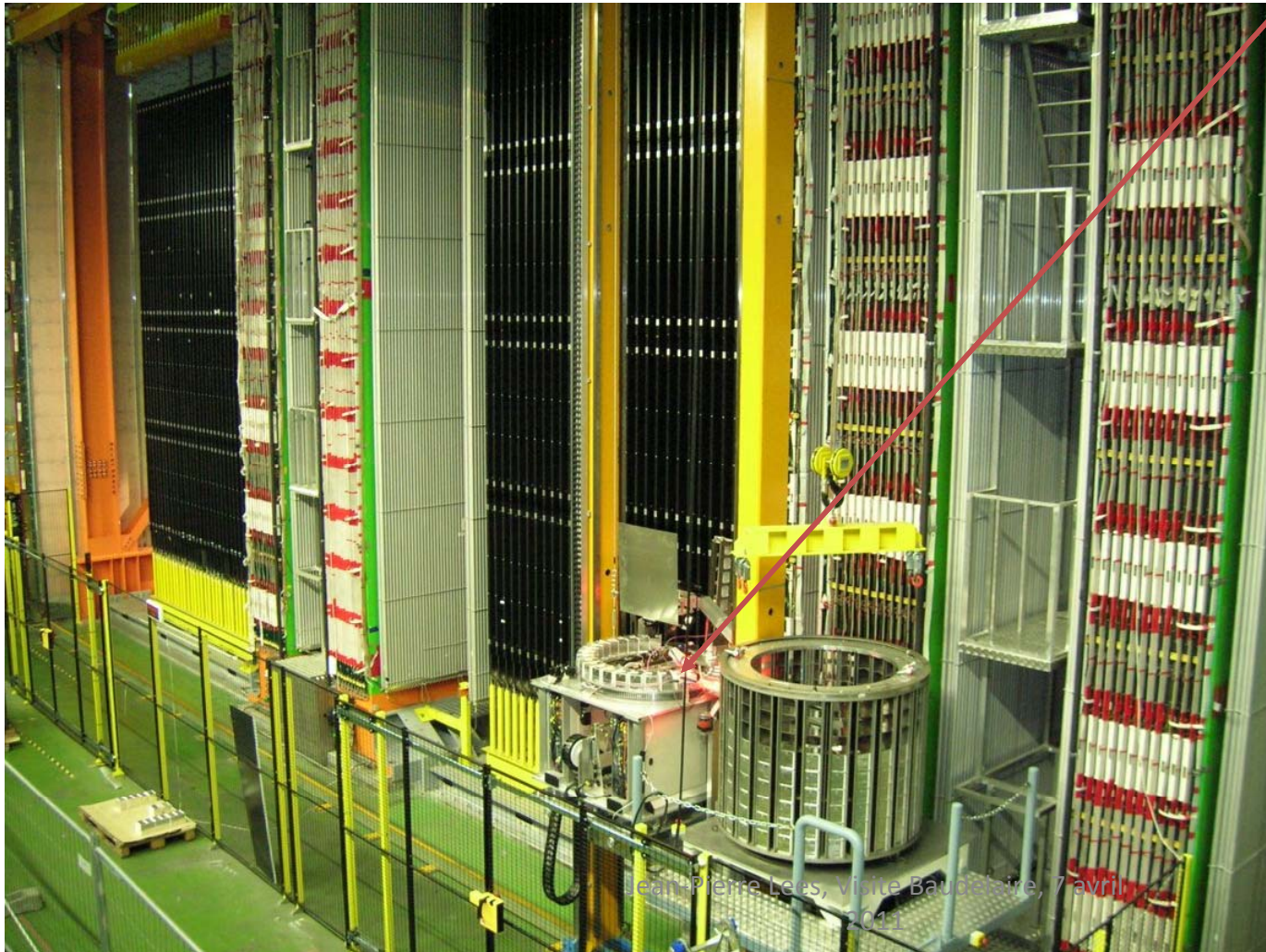
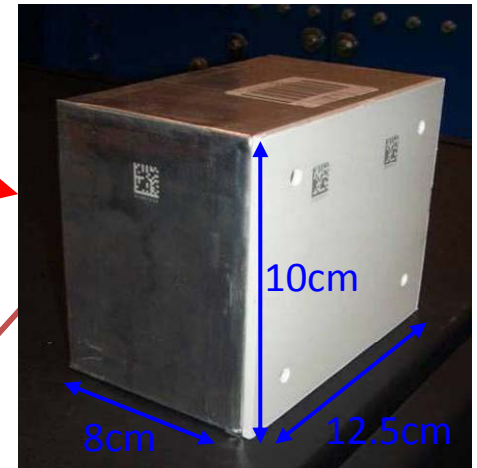


Jean-Pierre Lees, Visite Baudouire, 7 avril 2011

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

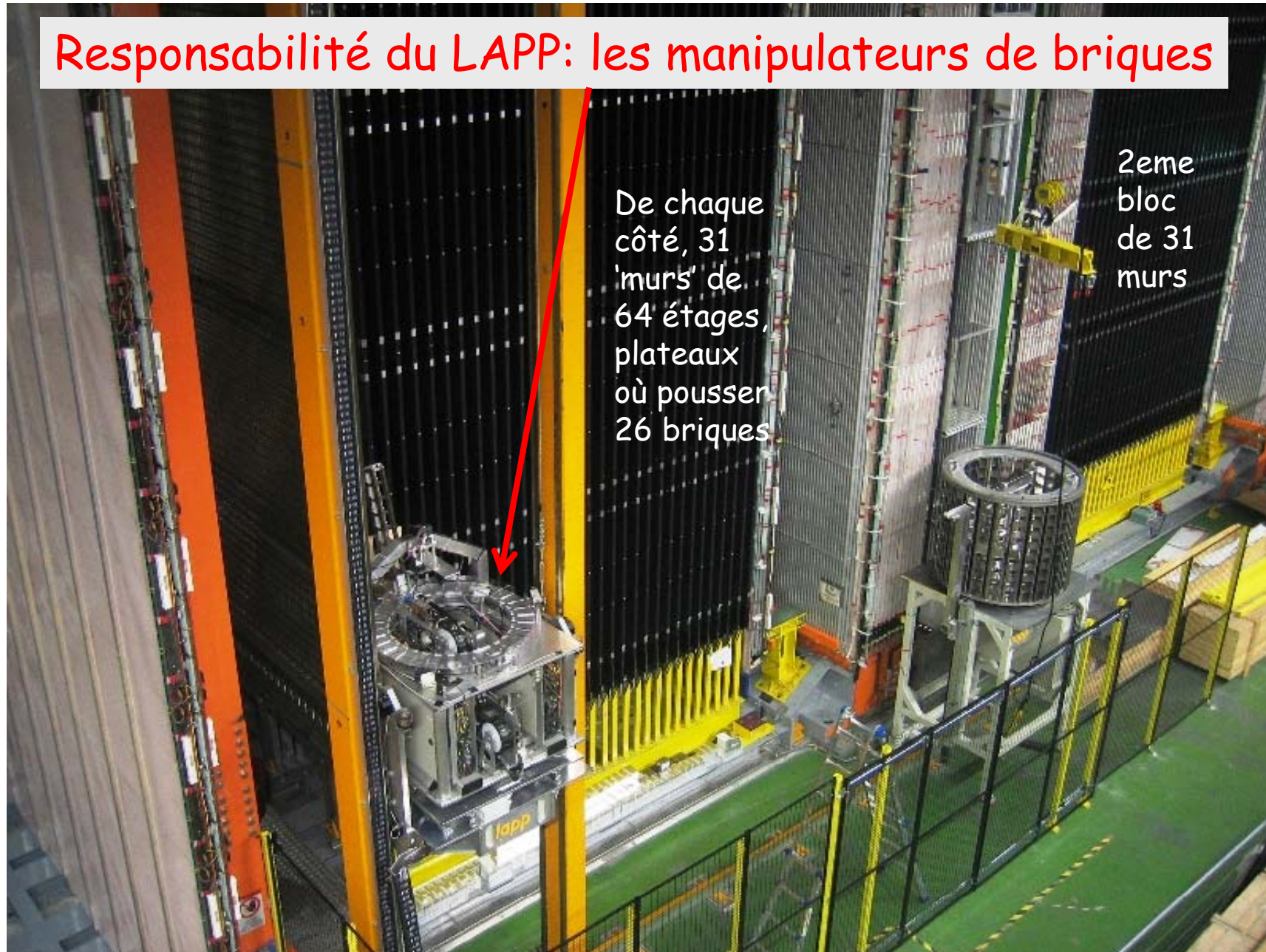
❑ Chargement de 150 000 « briques » de 8,3kg chacune (128x103x81mm³) dans le detecteur en 1,5 an.

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



Mur: plateaux suspendus par des rubans d'acier

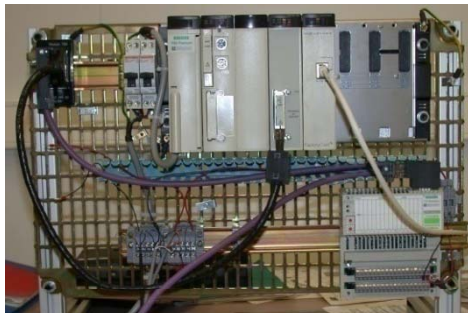
Responsabilité du LAPP: les manipulateurs de briques



Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril 2011

Activités du LAPP liées aux manipulateurs d'OPERA

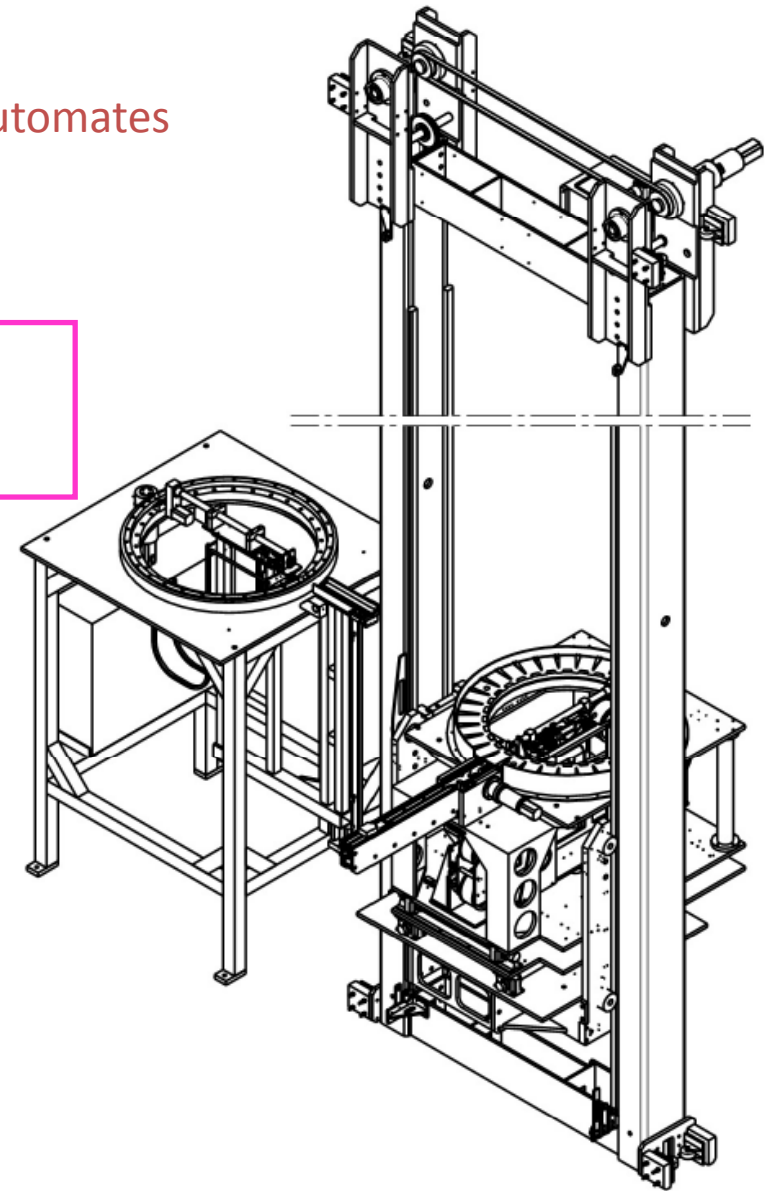
- Conception et réalisation mécanique au LAPP
- Automatisation du système et programmation des automates



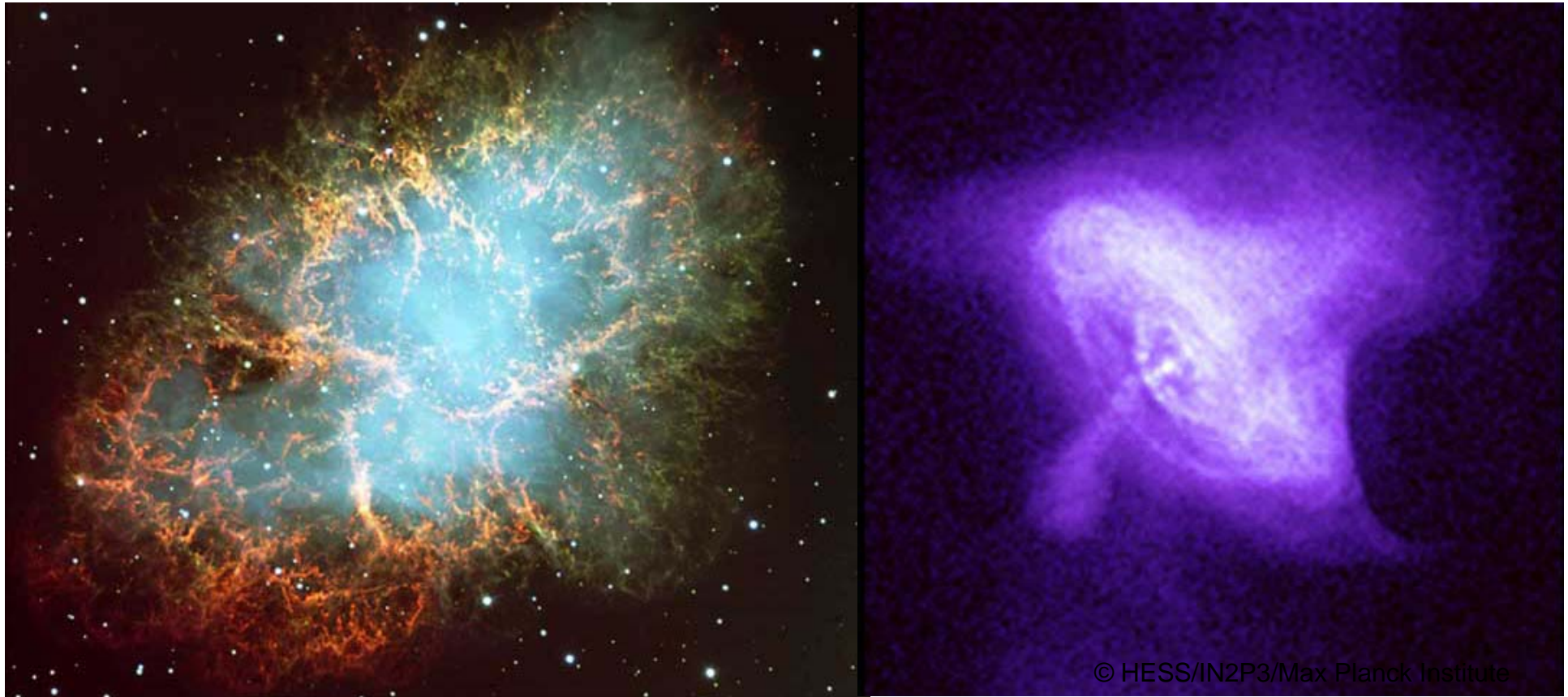
Automate Programmable
Industriel: Schneider TSX
Premium

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"



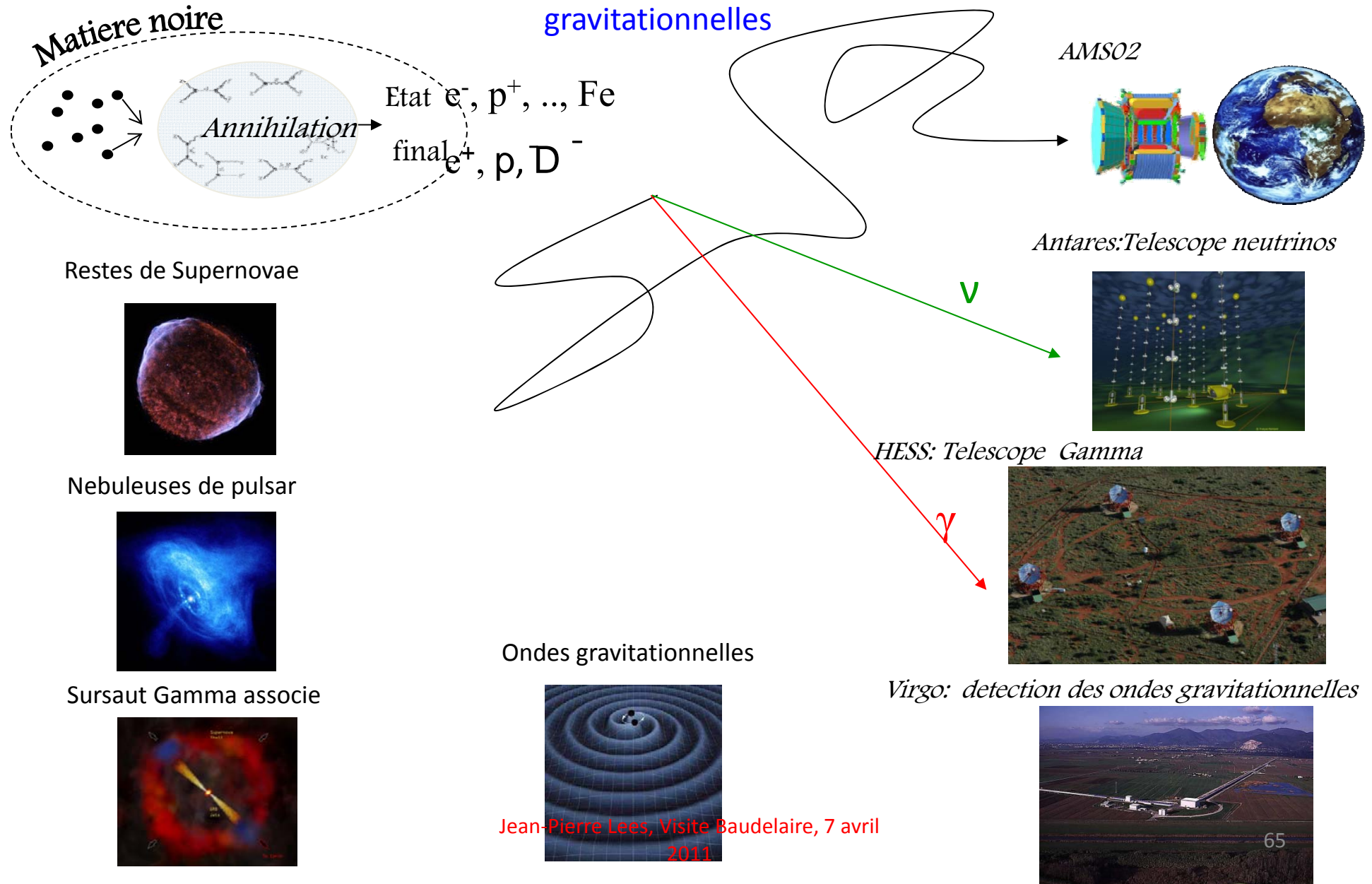
*Image optique et Image en rayons X de la nébuleuse du Crabe
(reste d'une explosion de supernova)*

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

Sources des rayons cosmiques galactiques et extra galactiques

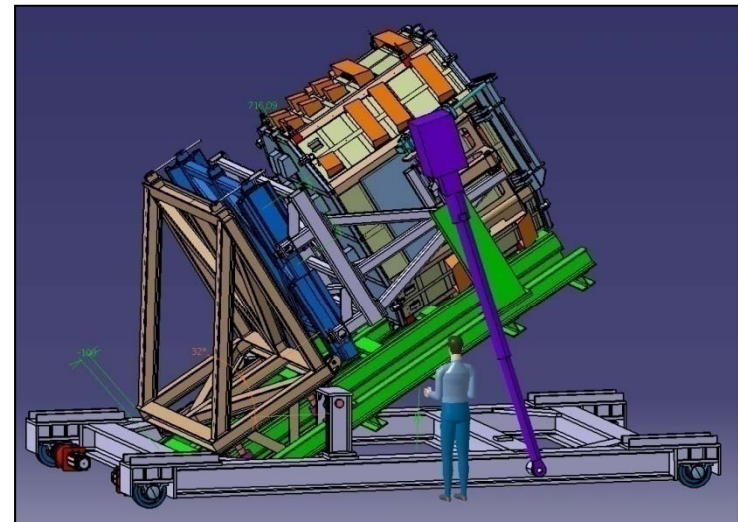
messagers cosmiques: Particules chargées, neutres et ondes gravitationnelles

Identification et mesure de l'énergie des rayons cosmiques



l'expérience H.E.S.S

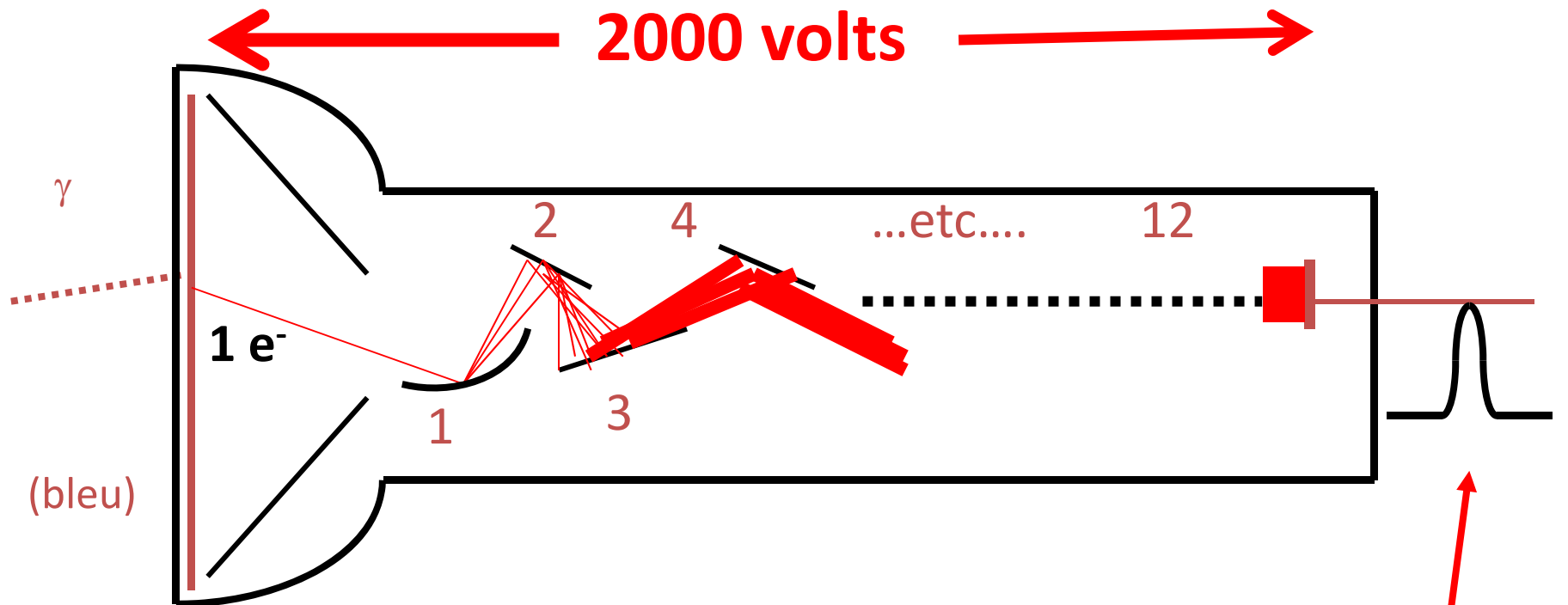
étudie les sources de rayons cosmiques
au pied du Gamsberg,
(Namibie)



**Stand HESS/ astroparticules
et mécanique**

Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril
2011

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



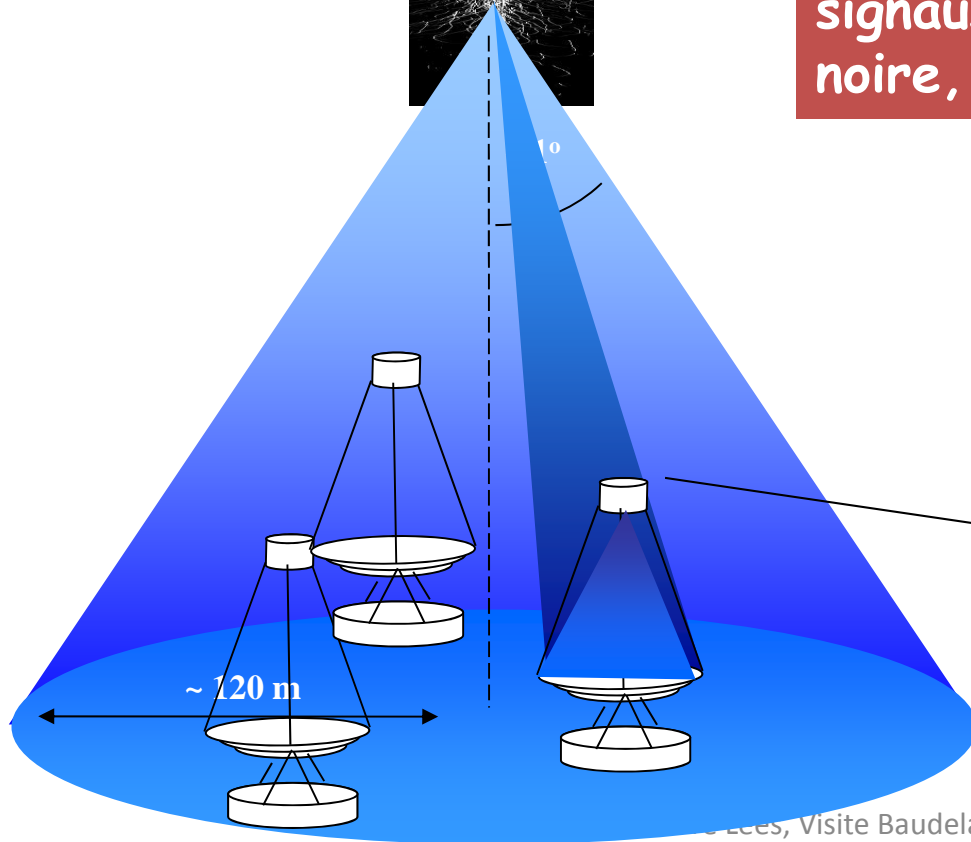
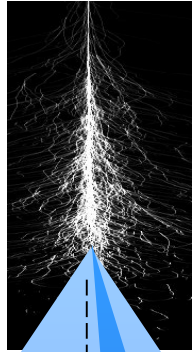
- Très utilisé dans notre domaine (un incontournable...)
- Convertit les signaux lumineux en signaux électriques et les amplifie
- Permet la détection d'un seul photon !

10.000.000 e⁻

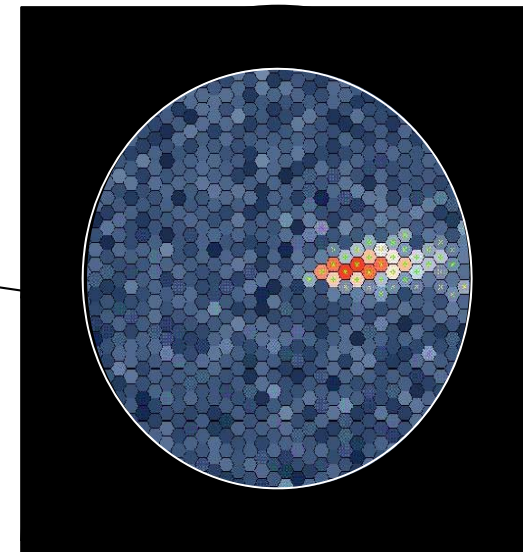
Stand HESS/ astroparticules

Principe de l'expérience H.E.S.S.

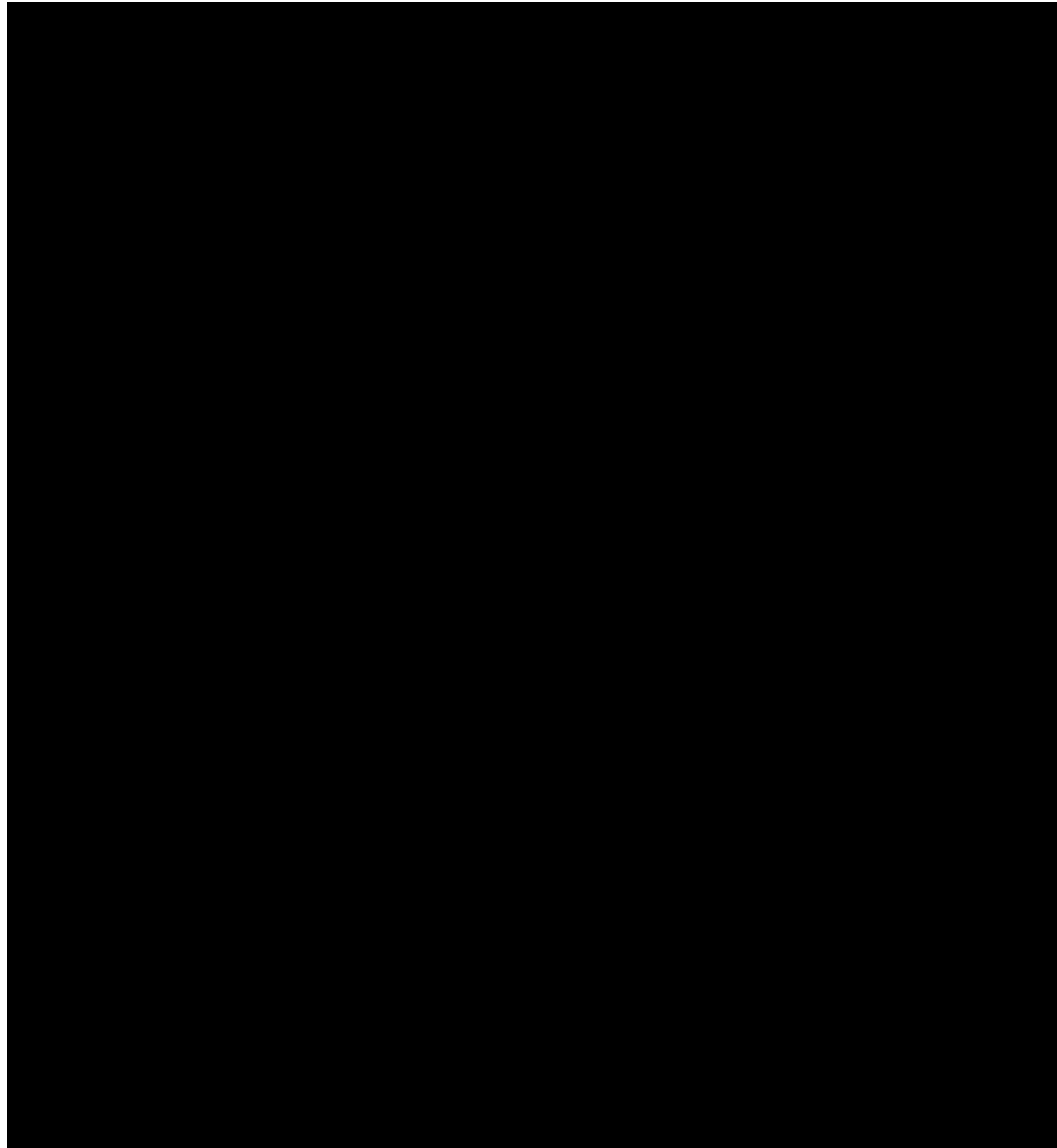
**Gerbe
Atmosphérique**



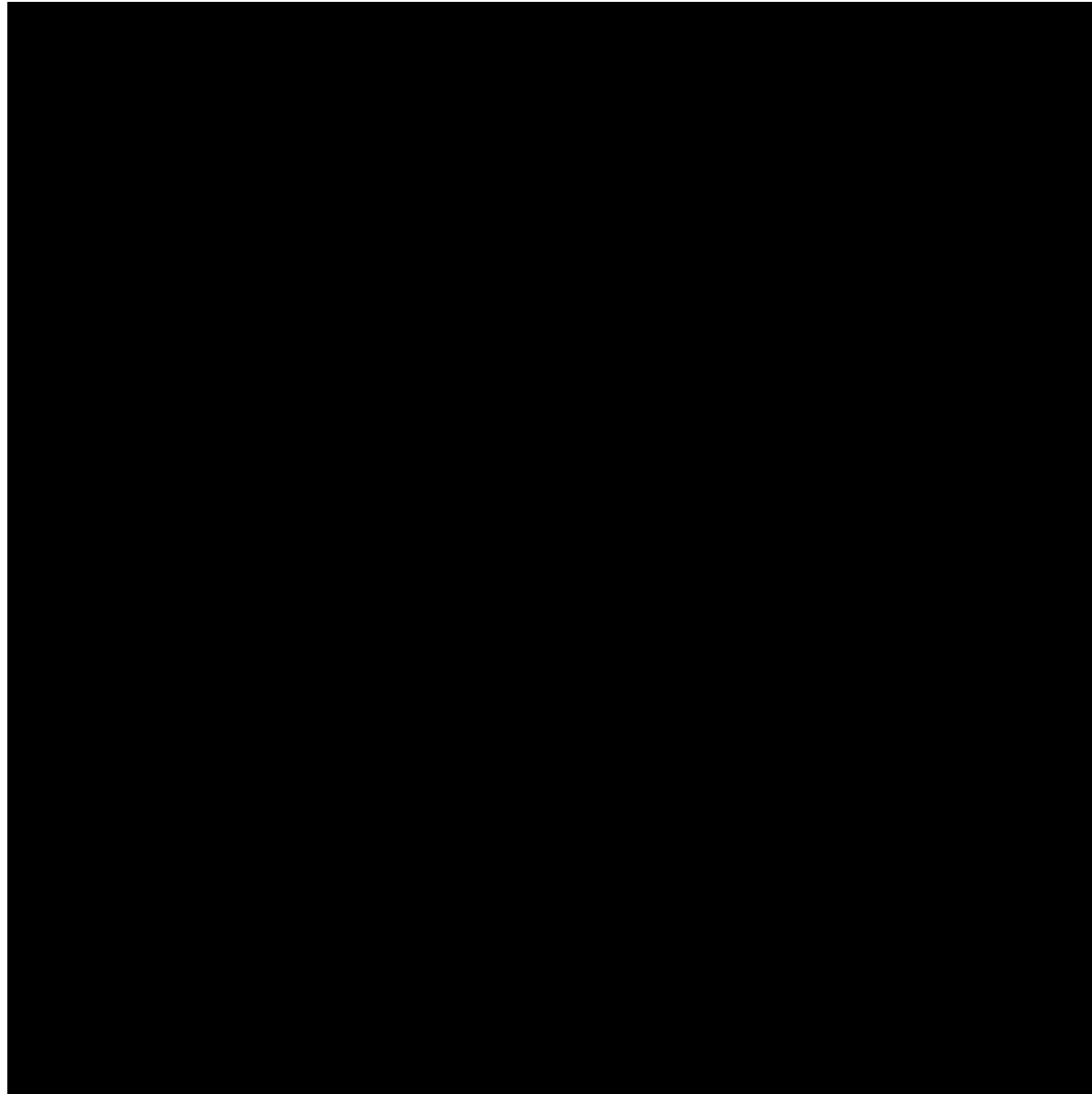
- Pour étudier les accélérateurs cosmiques à travers les sources de photons de haute énergie
- Et peut être observer des signaux inattendus? (matière noire, super symétrie...)



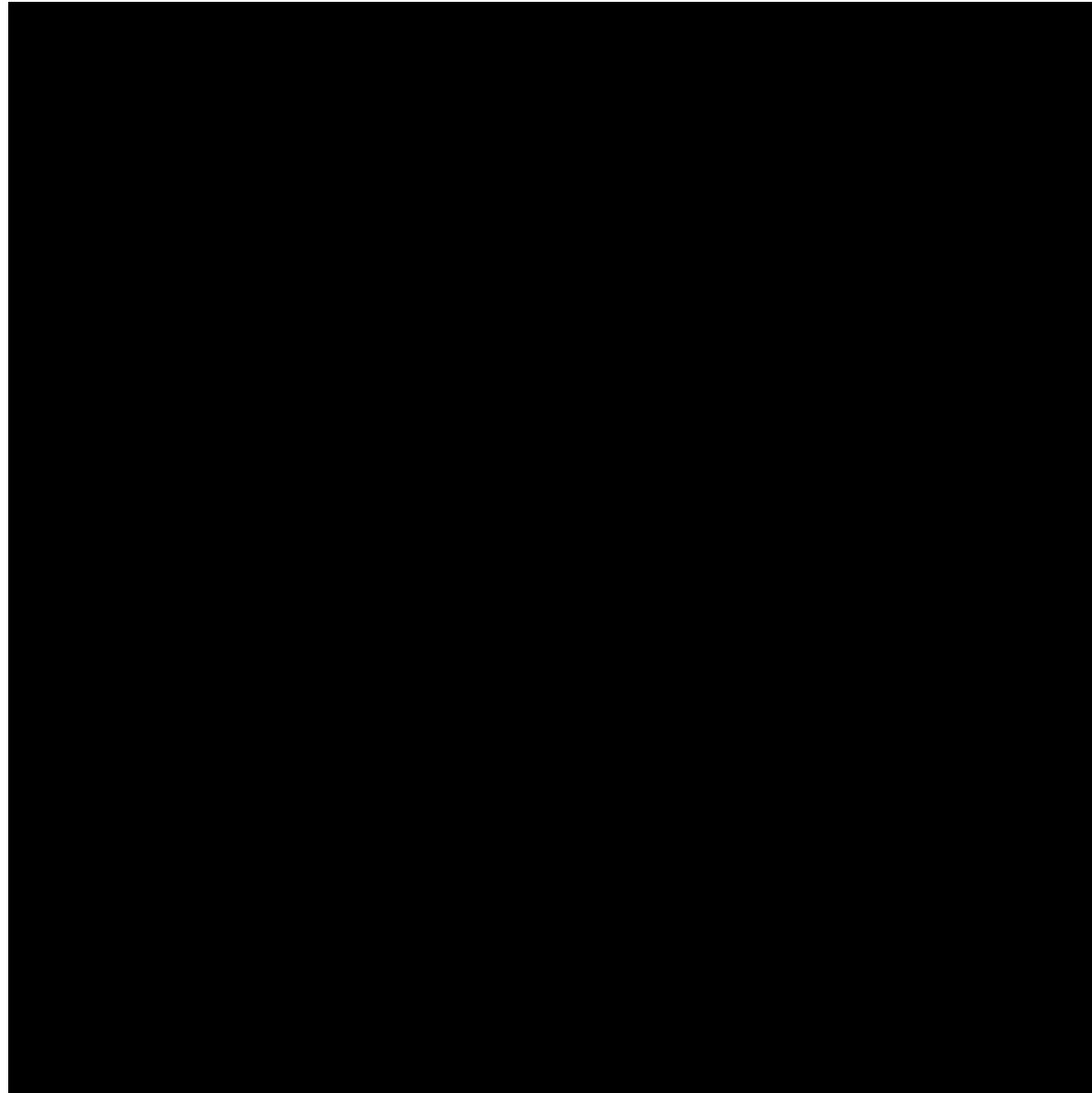
Une gerbe de photon (vue laterale)



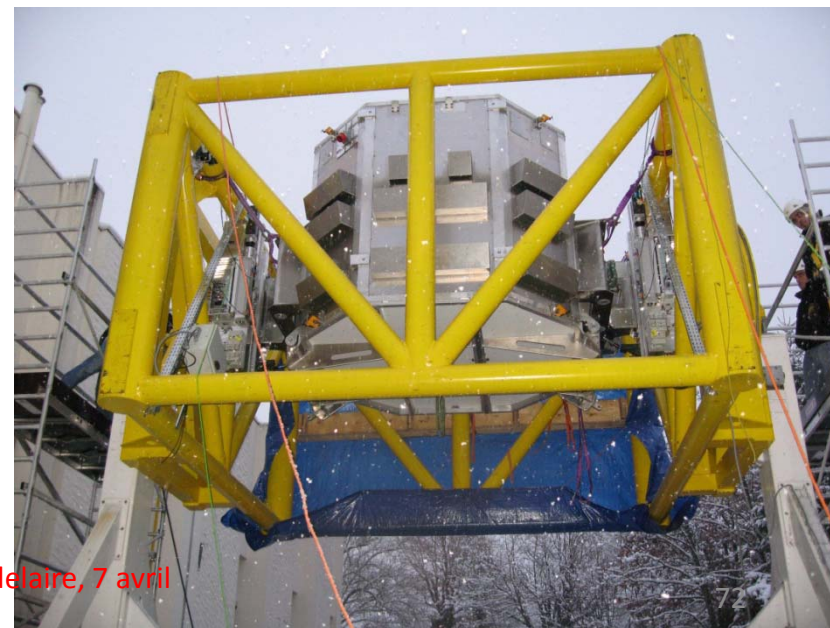
Une gerbe de photon (vue transverse)



Une gerbe de proton (vue transverse)

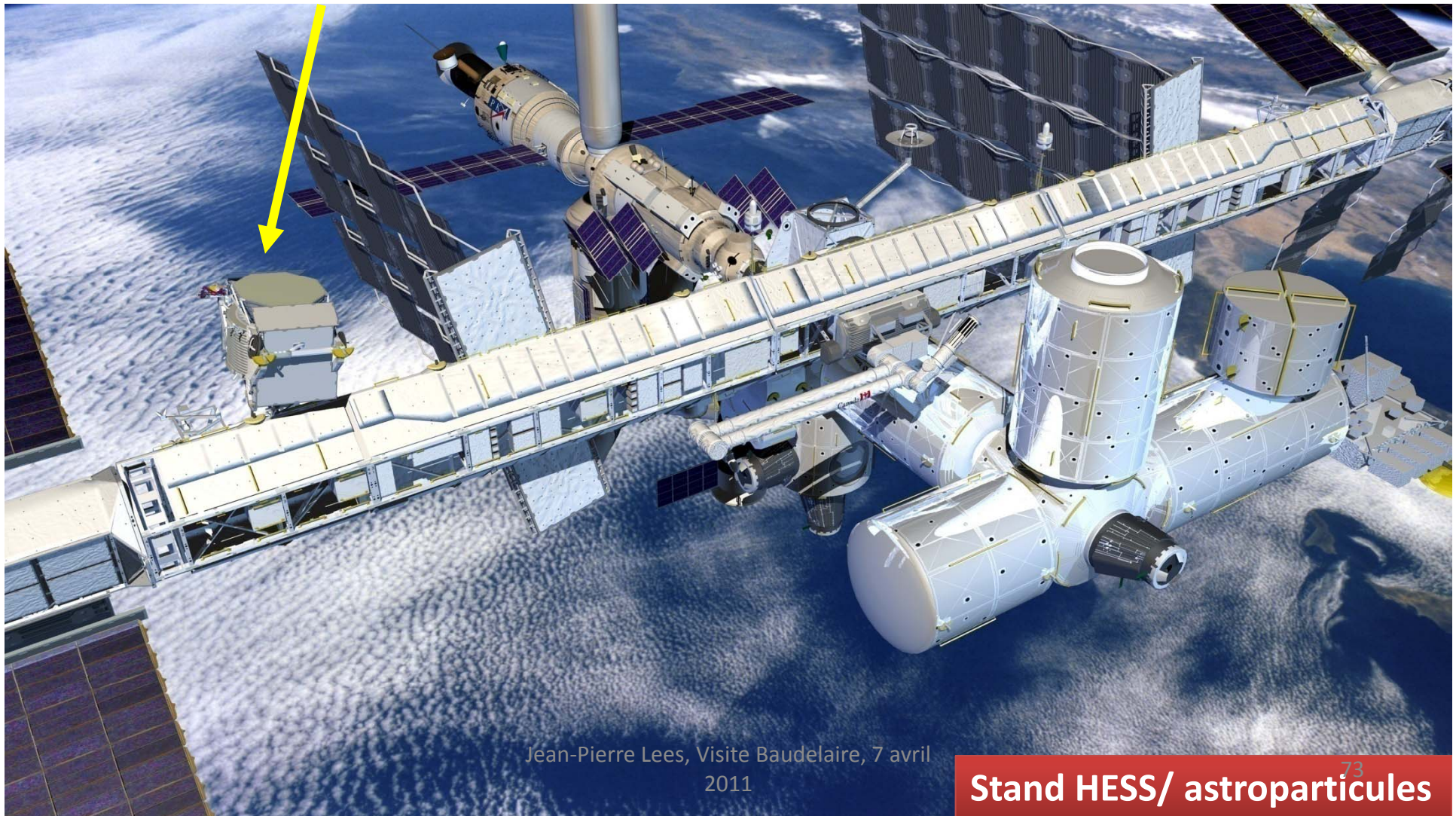


HESS au LAPP



Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril
2011

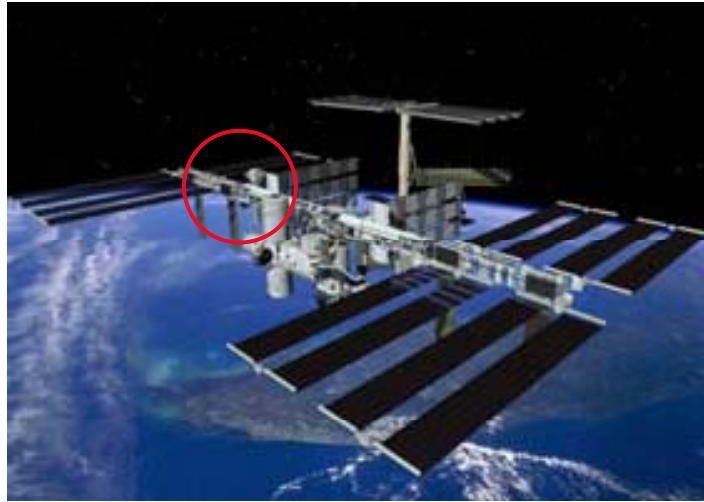
L'expérience AMS: bientôt sur la station spatiale !



Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril
2011

Stand HESS/ astroparticules ⁷³

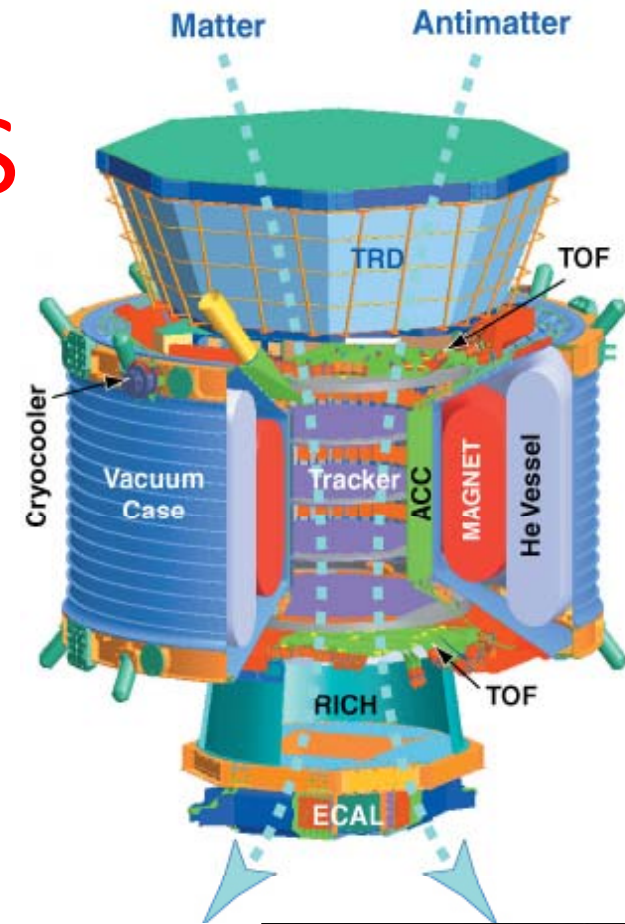
L'expérience AMS



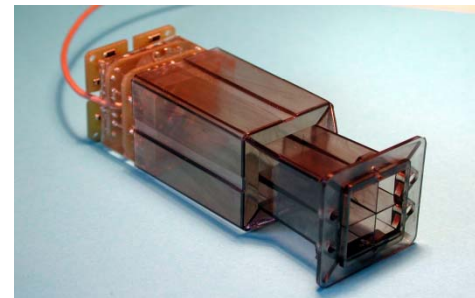
International Space Station et AMS

Alpha
Magnetic
Spectrometer

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



Calorimètre Plomb-Scintillateur. Poids: ≤ 630 kg

















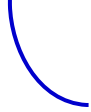


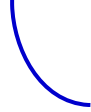



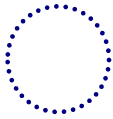
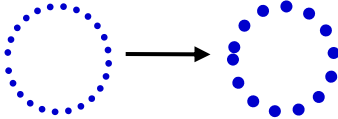

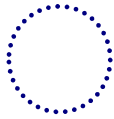
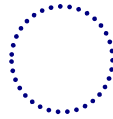




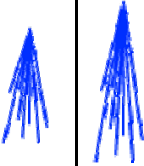



Boîtier des photo-
multiplicateurs (PM)



Electronique front-end
des PM

Les caractéristiques d'AMS

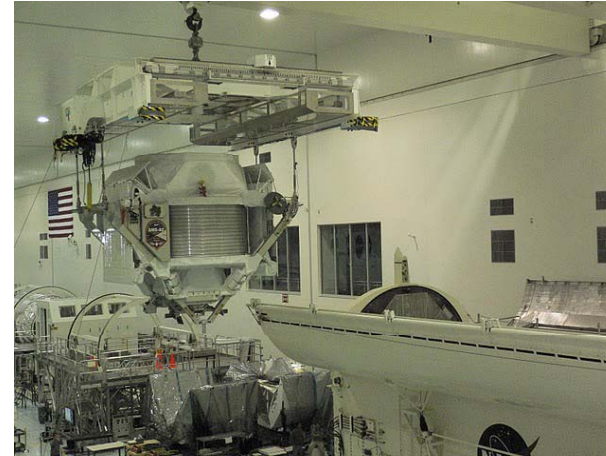
$\Delta t = 100 \text{ ps}$, $\Delta x = 10 \text{ }\mu\text{m}$, $\Delta v/v = 0.001$

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

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...



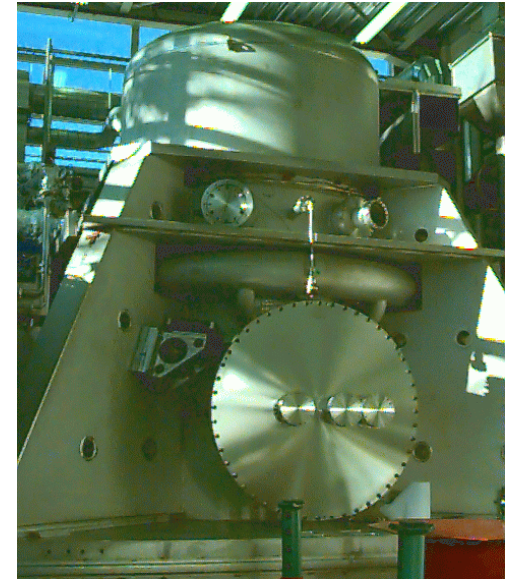
Jean-Pierre Lees, Visite Baudelaire, 7 avril
2011

L'expérience VIRGO

Détection d'ondes gravitationnelles de source cosmique

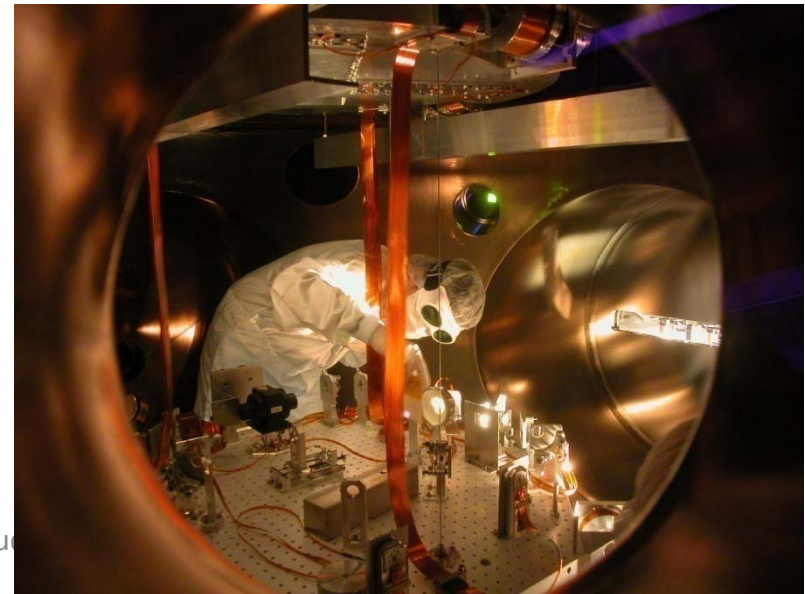


Interféromètre suspendu de Michelson avec ses bras de 3km



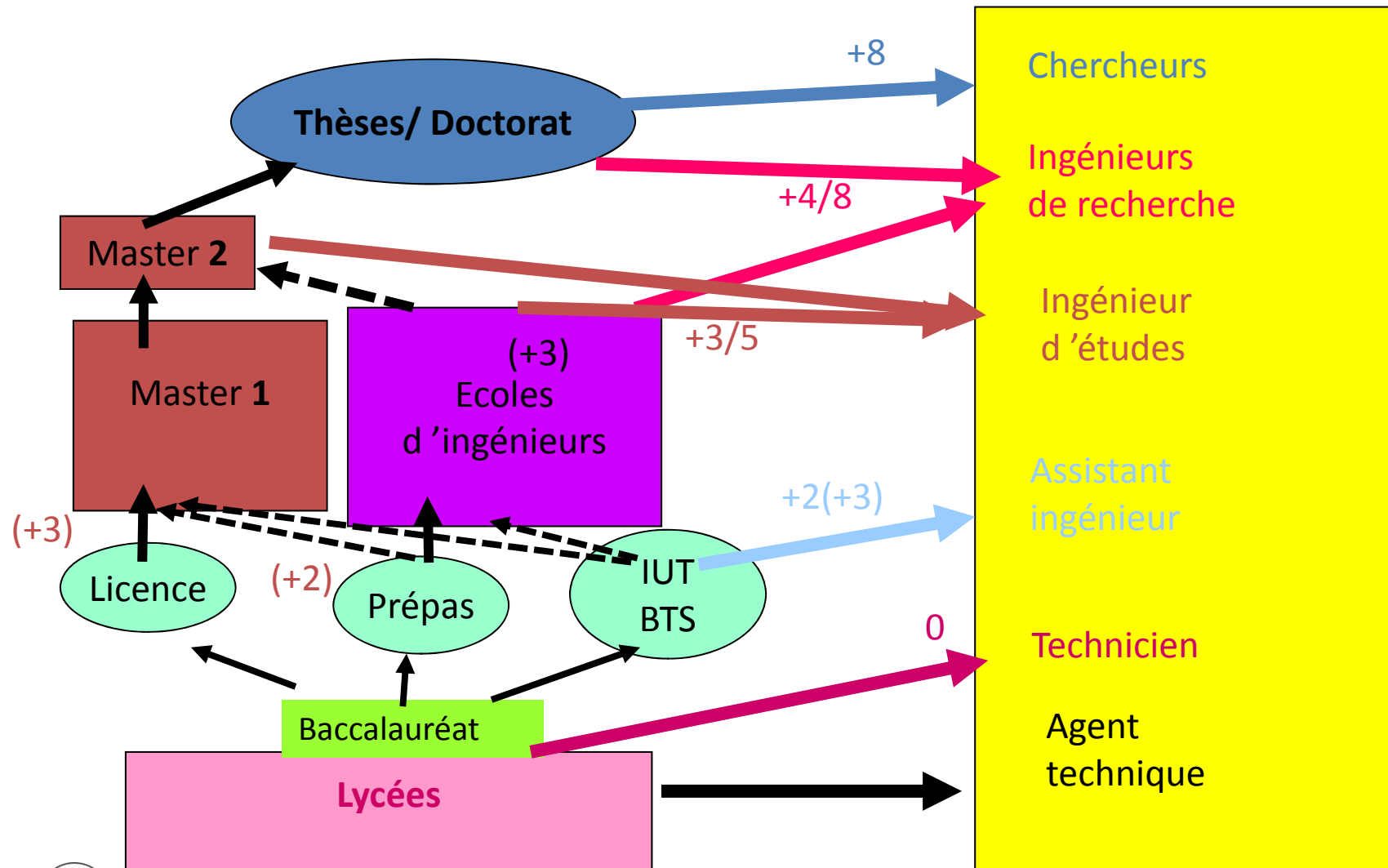
Banc de détection et électronique -Pierre Lees, Visite Bau

2011



Les métiers de la recherche

Les métiers de la Recherche



Pour en savoir plus...

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