

Les détecteurs du LHC



Sommaire

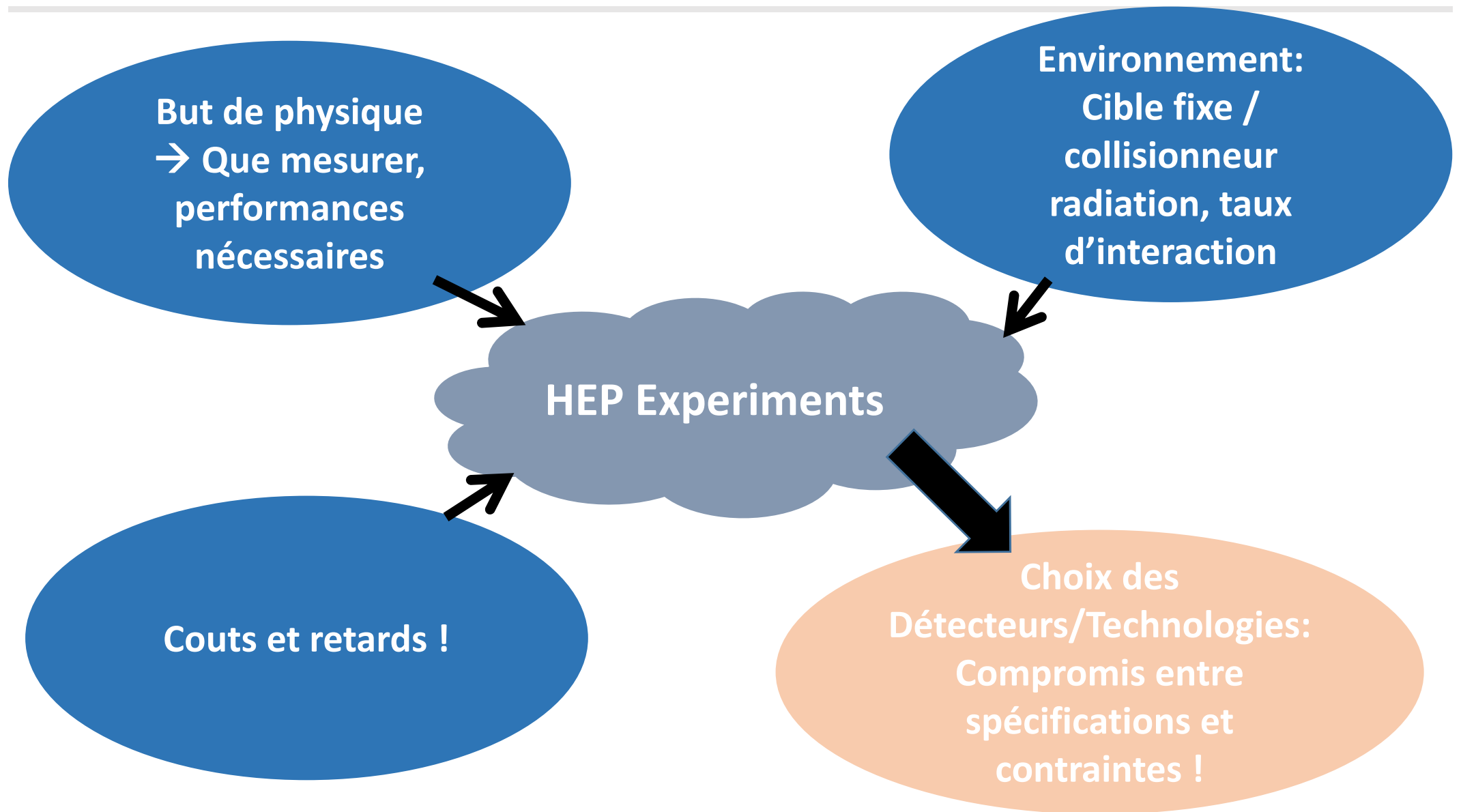
1- Introductions; Rôle des détecteurs

2- Géométrie et techniques utilisées pour les détecteurs

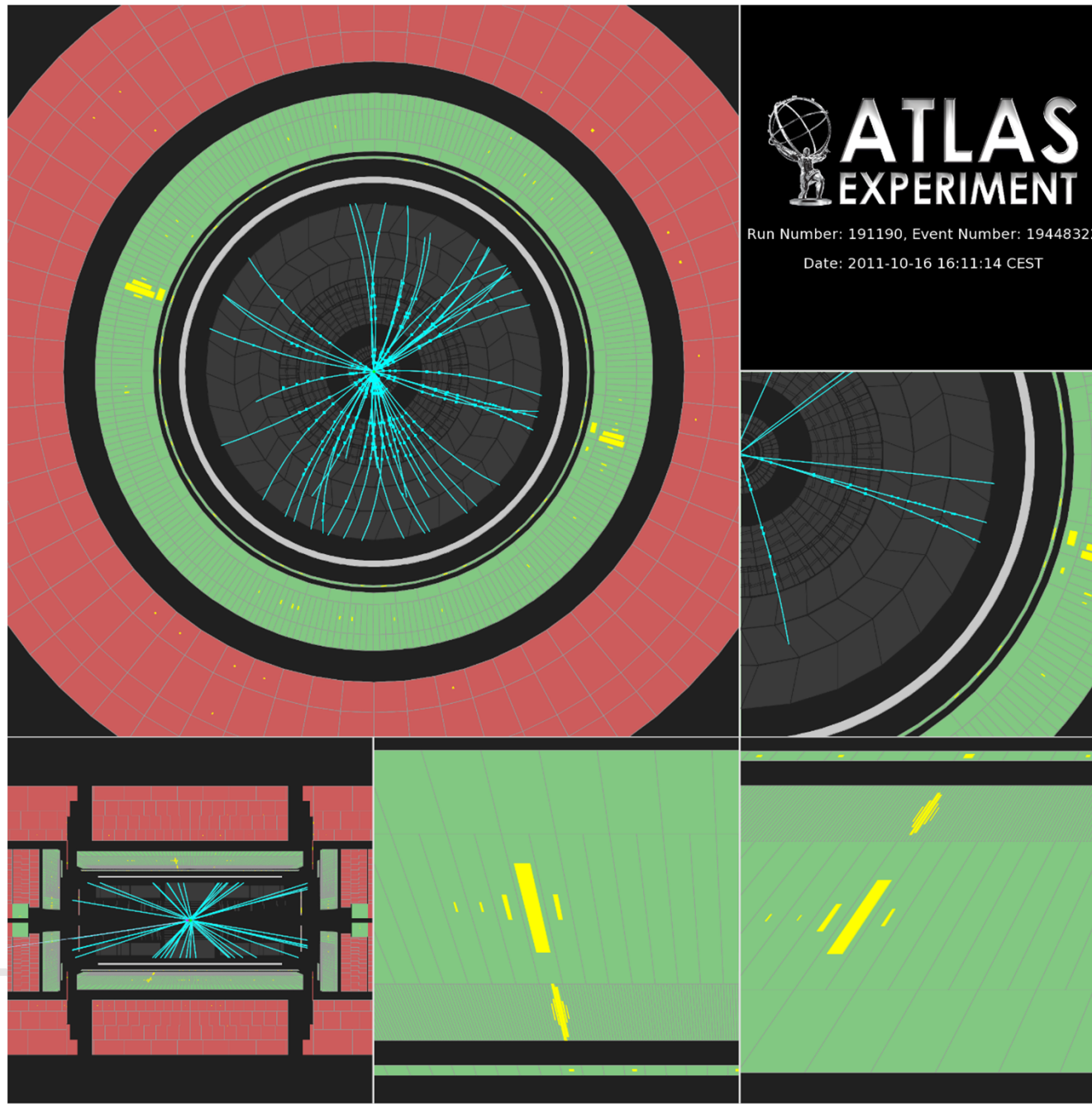
3- Contraintes due à l'environnement LHC

4- Les détecteurs LHC : ATLAS, CMS (LHCb, ALICE)

Détecteur de physiques des hautes énergies



$H \rightarrow \gamma\gamma$ in proton-proton collisions 8 TeV



$Z \rightarrow e^+e^-$ dans des collisions Proton-Proton

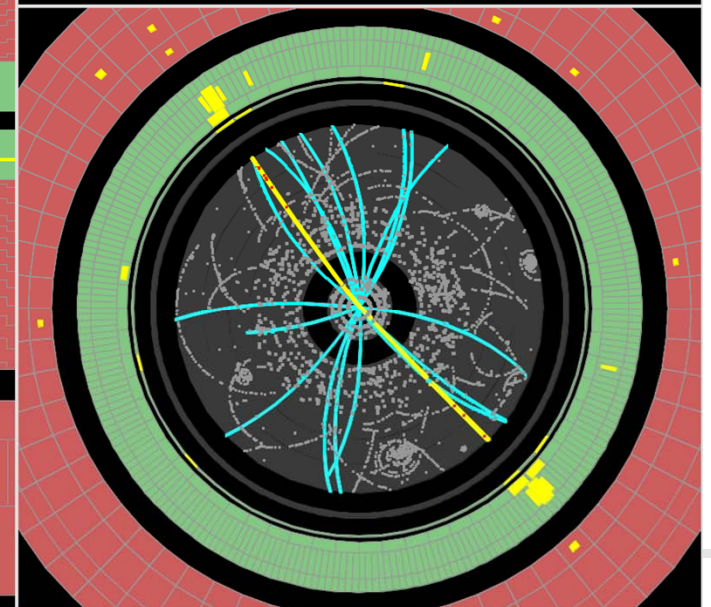
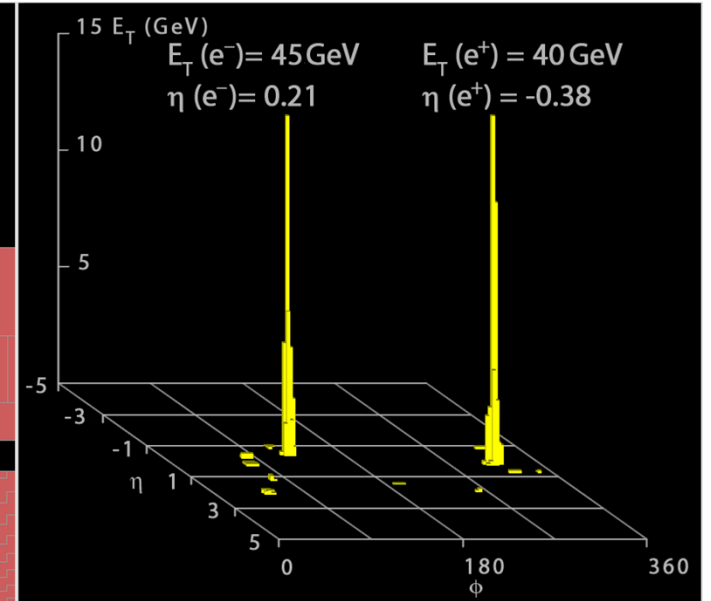
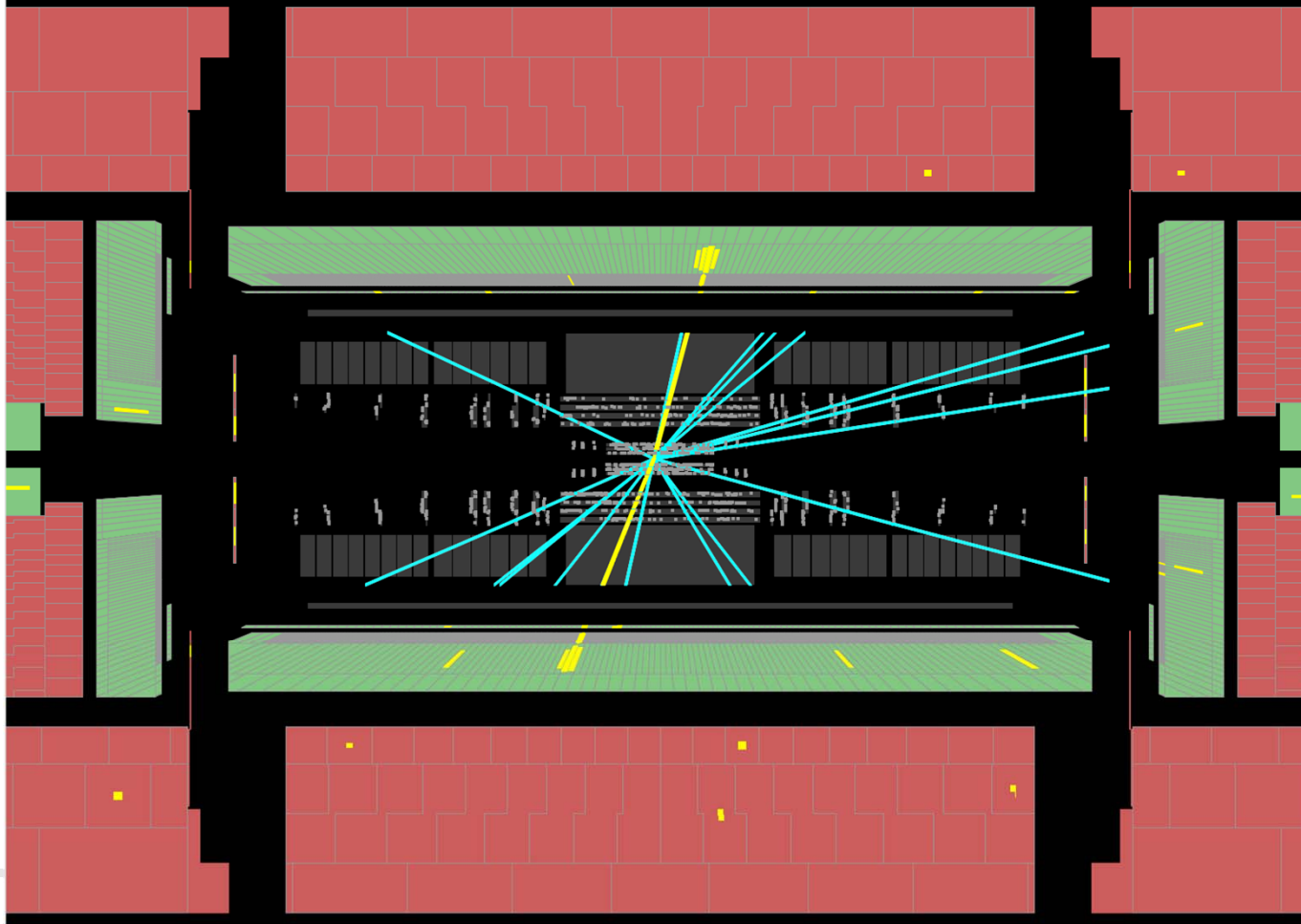


Run Number: 154817, Event Number: 968871

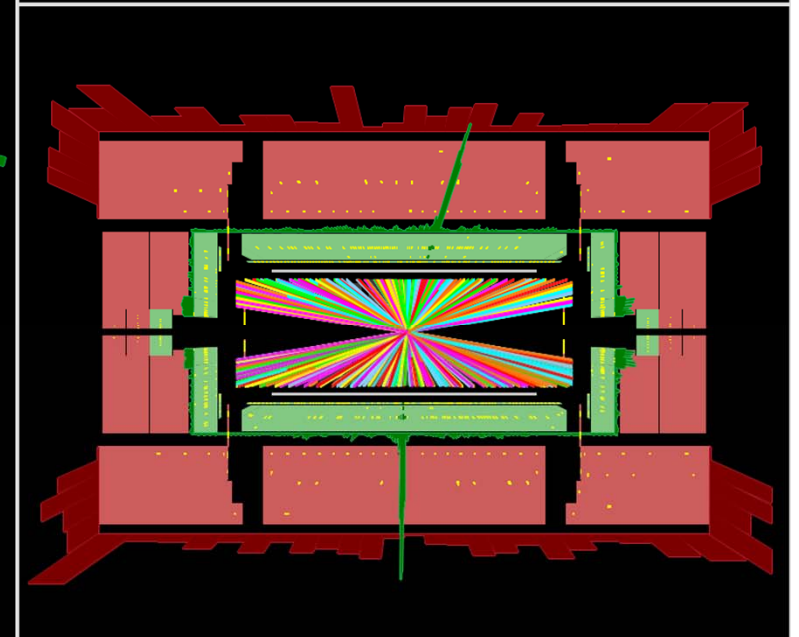
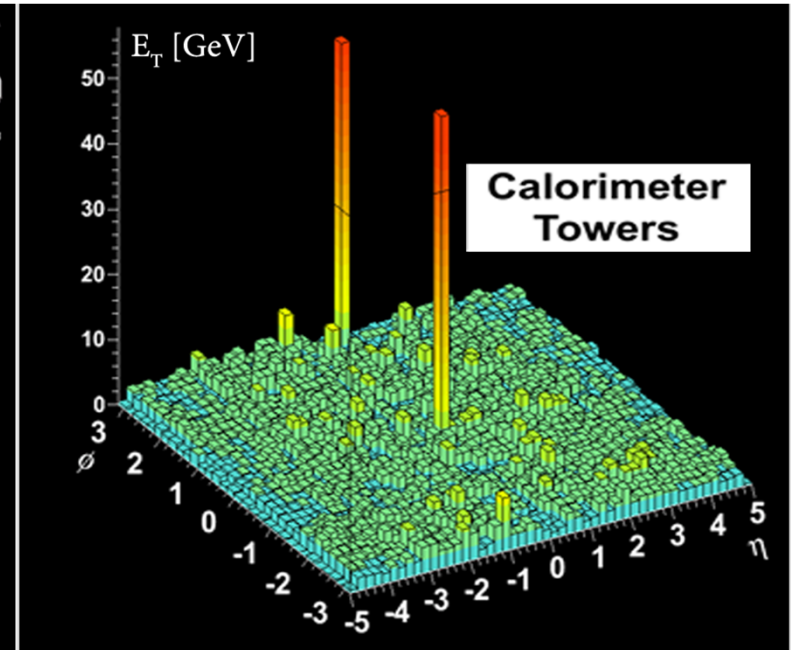
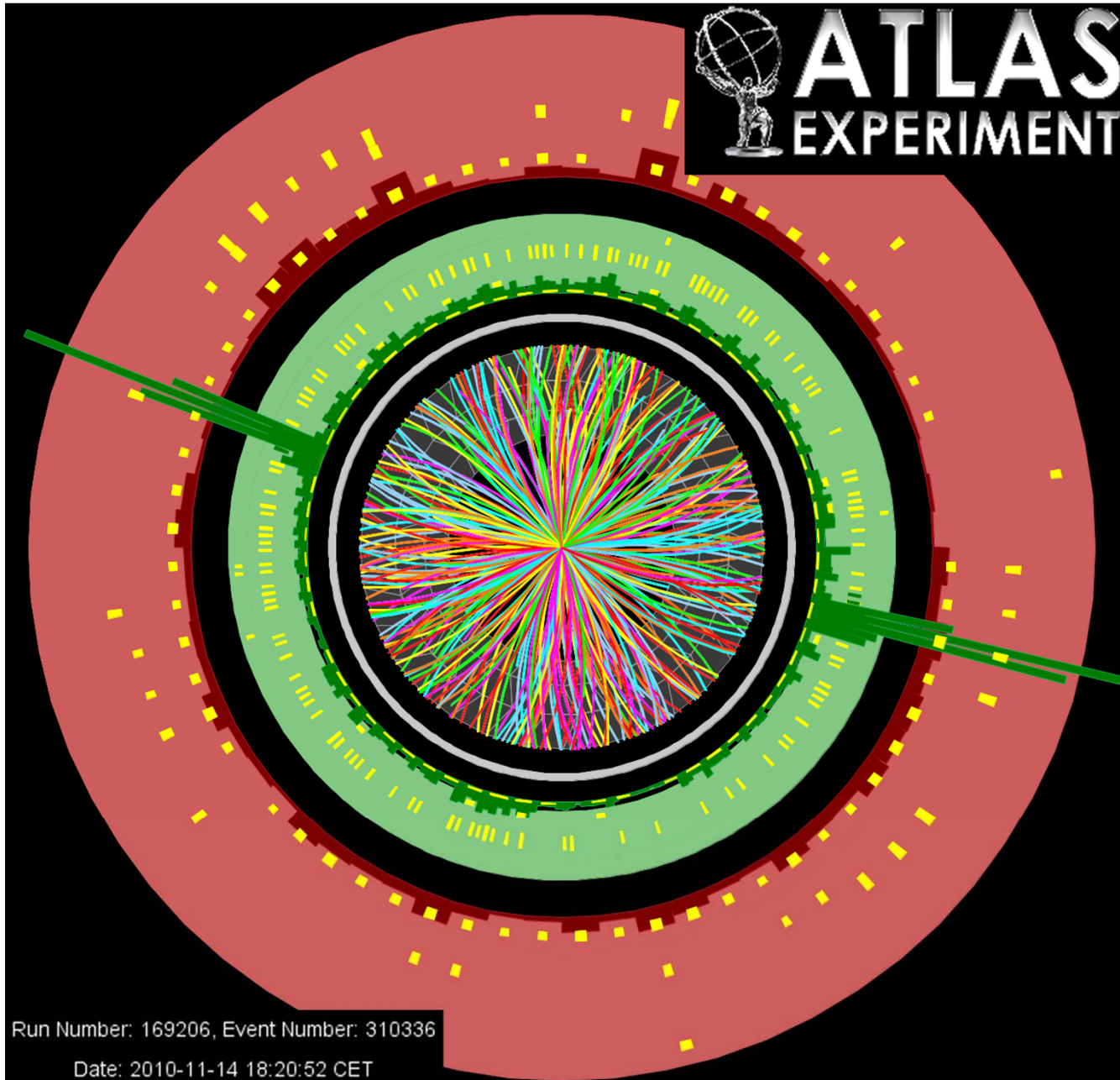
Date: 2010-05-09 09:41:40 CEST

$M_{ee} = 89 \text{ GeV}$

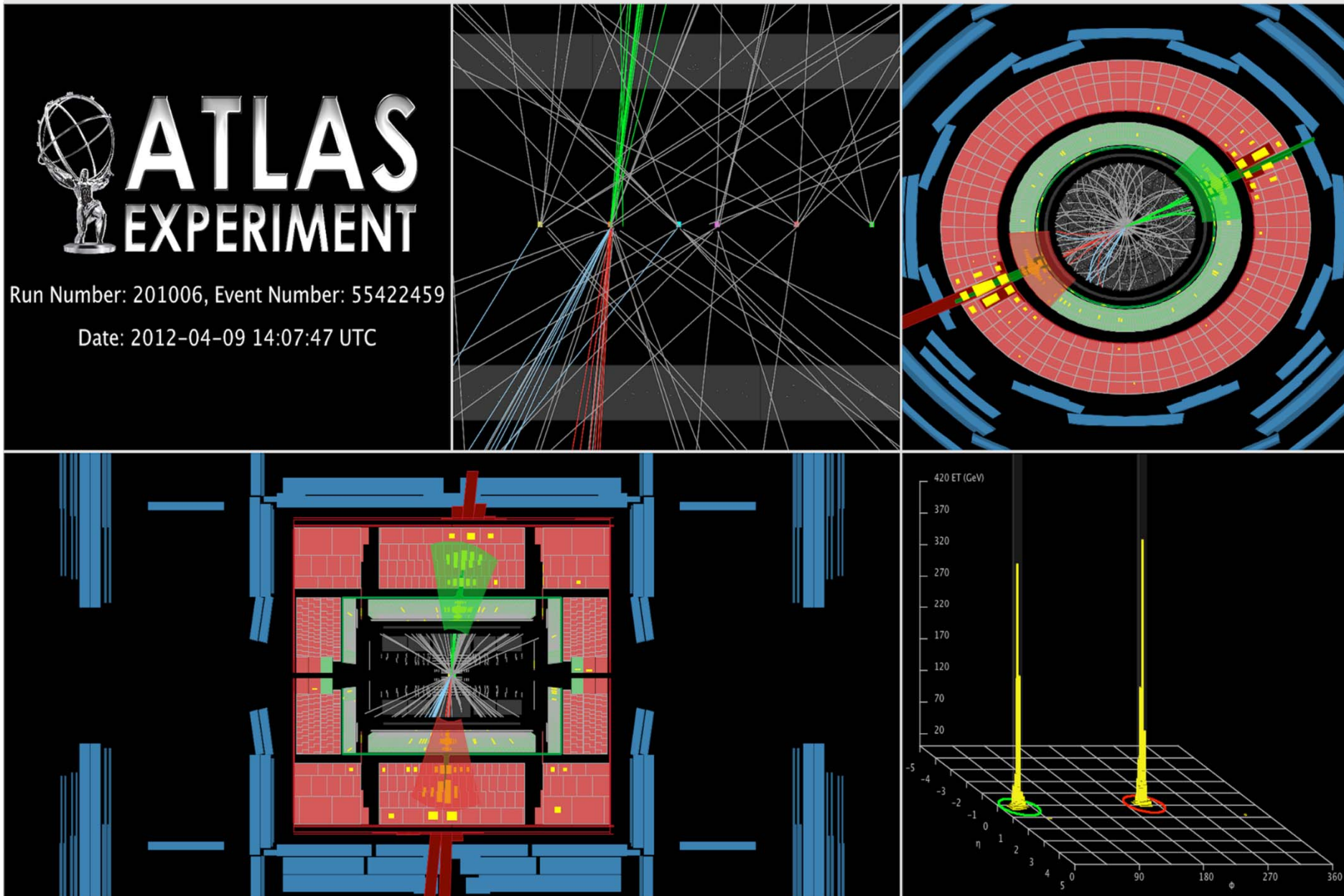
$Z \rightarrow ee$ candidate in 7 TeV collisions



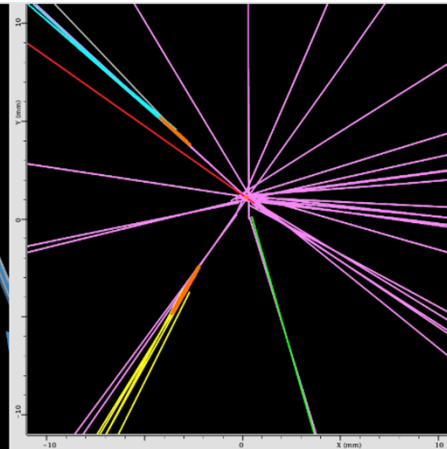
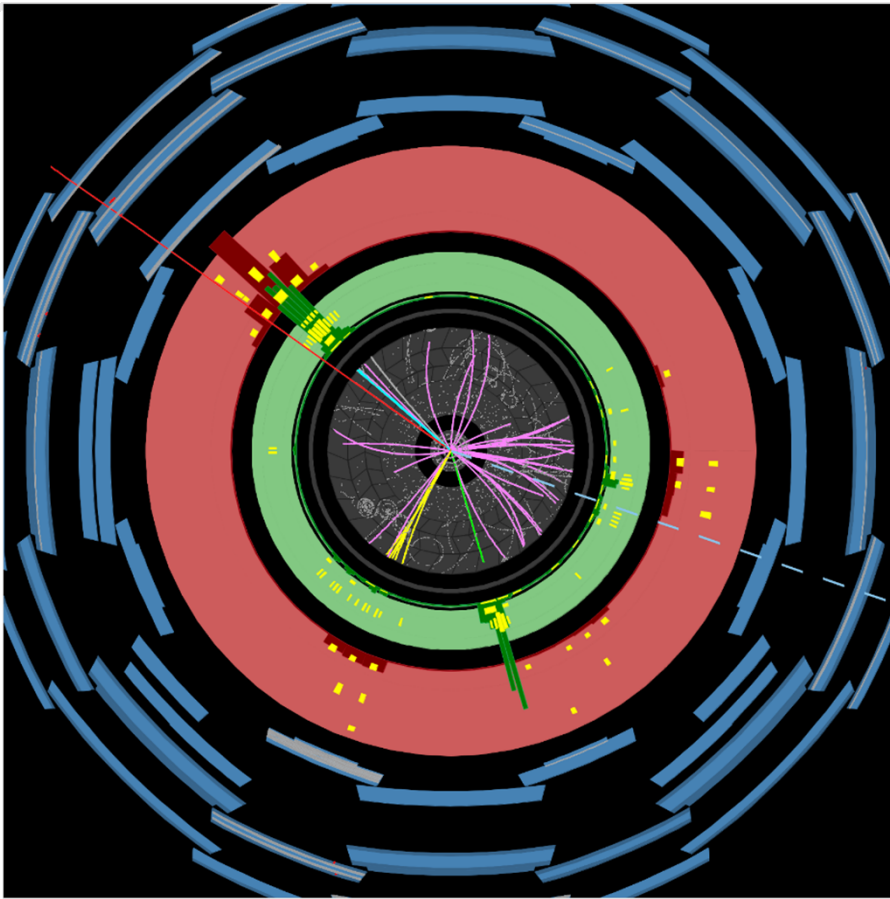
$Z \rightarrow e^+e^-$ dans des collisions Pb-Pb




Production d'une paire de jets (quark ou gluon)

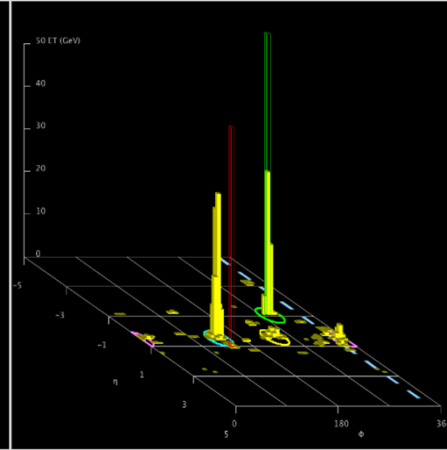
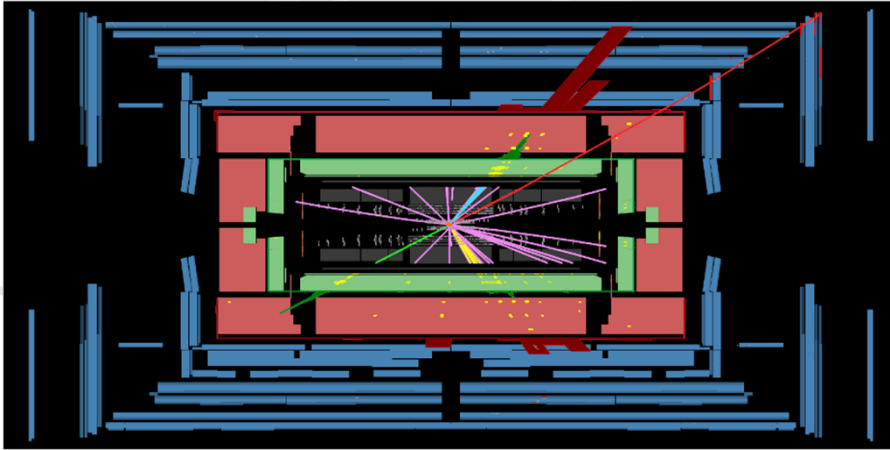


Désintégration d'une pair top-antitop : $e\mu b\bar{b}$



 **ATLAS**
EXPERIMENT

Run Number: 160958, Event Number: 9038972
Date: 2010-08-08 11:01:12 BST



Rôle des détecteurs (I)

Détecteur **idéal** doit mesurer et identifier **tous** les produits finaux de la collision:

- Leptons chargés

électron : particule **chargée** + interaction **électromagnétique** dans la matière → arrêté dans « peu » de matière

muon : particule chargée + **faible** interaction dans la matière ($\tau \sim 10^{-6}\text{s}$) → traverse les détecteurs

Tau : particule **chargée** mais $\tau \sim 2.10^{-17}\text{s}$, **reconstruction à partir** des produits de désintégration (leptons chargés ou pions $\pi^+ \pi^-$ ou π^0 ($\rightarrow \gamma\gamma$))

- **Photons**

Particule **neutre** + interaction **électromagnétique** dans la matière → arrêté dans « peu » de matière

Rôle des détecteurs (I)

- Quarks et gluons pas à l'état libre hadronisation :

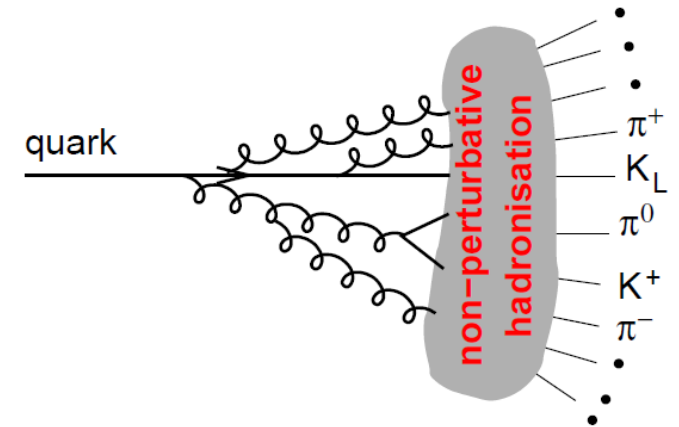
Hadron chargé (π , K, p) : **charge** +interaction

nucléaire : nécessite plus de matière pour arrêter les particules. Masse différente pour identification supplémentaire (LHCb, ALICE)

Hadron neutre : soit interaction **électromagnétique** ($\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$)
soit interaction **nucléaire** (neutron)

Quarks et gluons **reconstruit en « sommant »** toutes ces particules
« collimées » \rightarrow jet

Quarks b (\rightarrow Mésons B) : durée de vie de l'ordre de ps
produits de désintégration ne proviennent pas du
vertex primaire

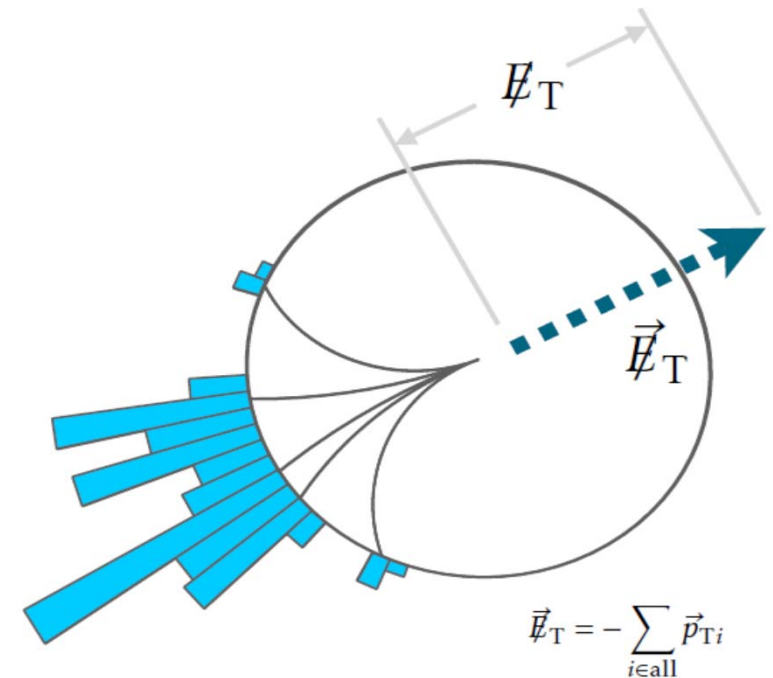


Rôle des détecteurs (III)

Certaines particules **n'interagissent pas** (ou très peu) dans le détecteur :

- Neutrinos
- Neutrons lents
- (neutralinos /SUSY)

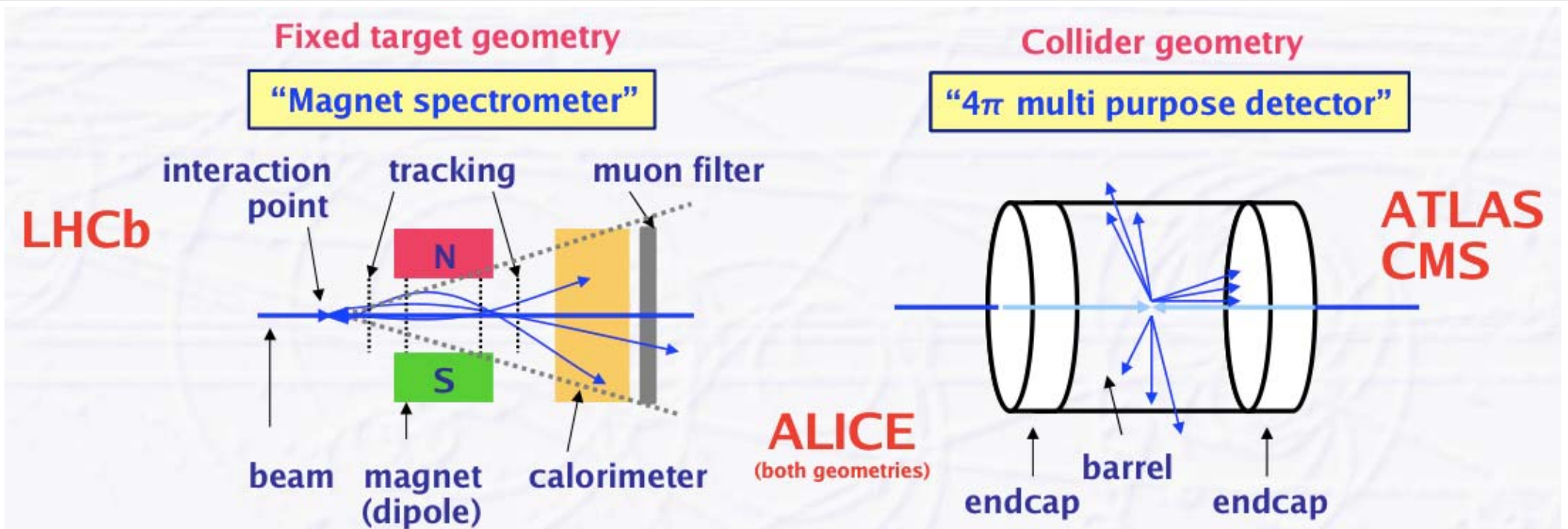
Pas de mesure individuelle possible mais **conservation énergie + moment dans le plan transverse**



→ Difficile à mesurer avec précision car dépend de toutes les autres mesures

Toute énergie non mesurée (particule dans un « crack », partie détecteur défectueuse) → grande énergie manquante **comme un signal de possible de nouvelle physique**

Géométrie des détecteurs



Analyse des produits de désintégrations dans un faible angle / faisceau
Détecteurs similaires à cible fixe, perpendiculaire au faisceau
→ Spectromètre, dipôle magnétique

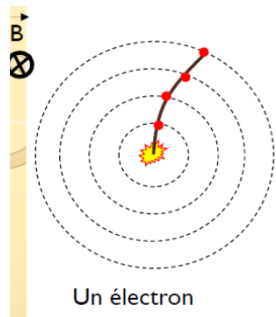
Particules à détecter sur tout l'angle solide (4π). Détecteurs arrangés autour du faisceau avec structure oignons
Barrel : cylindre central
Endcap : Bouchons jusqu'à petit θ
Champ magnétique : solénoïde ou toroïde

Techniques utilisées

Particule chargée : Déviation dans un champ magnétique, mesure non destructive (ou presque !) de **charge et moment**

Lorentz force : $p(\text{GeV}) = 0.3 B(\text{T}) R(\text{m})$

Moment (p)



→ Champ magnétique et détecteur très segmentés donnant un signal lors du passage du particule chargée (ionisation / excitation → e-/ions, e-h)

Mesure d'énergie : Techniques calorimétriques* utilisées en **arrêtant les particules** dans un milieu dense et en mesurant **un signal proportionnel à l'énergie déposée** soit dans ce même milieu (calorimètre homogène) ou dans un autre milieu avec alternance absorbeur/signal (calorimètre à échantillonnage)

Matériaux différents pour stopper (e^\pm, γ) ou hadrons

Pb, cristaux

Fe, Cu, W

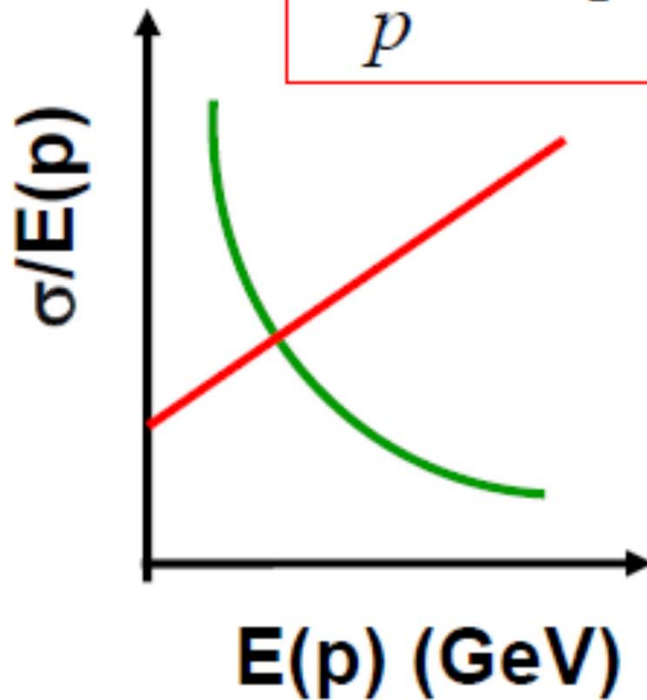
Signal

liquide noble (Ar) , gaz, Si, cristal

E vs p

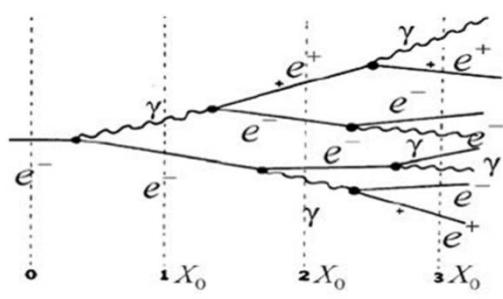
Analyse
magnétique

$$\frac{\sigma(p)}{p} = ap \oplus b$$

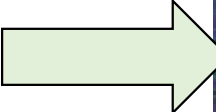


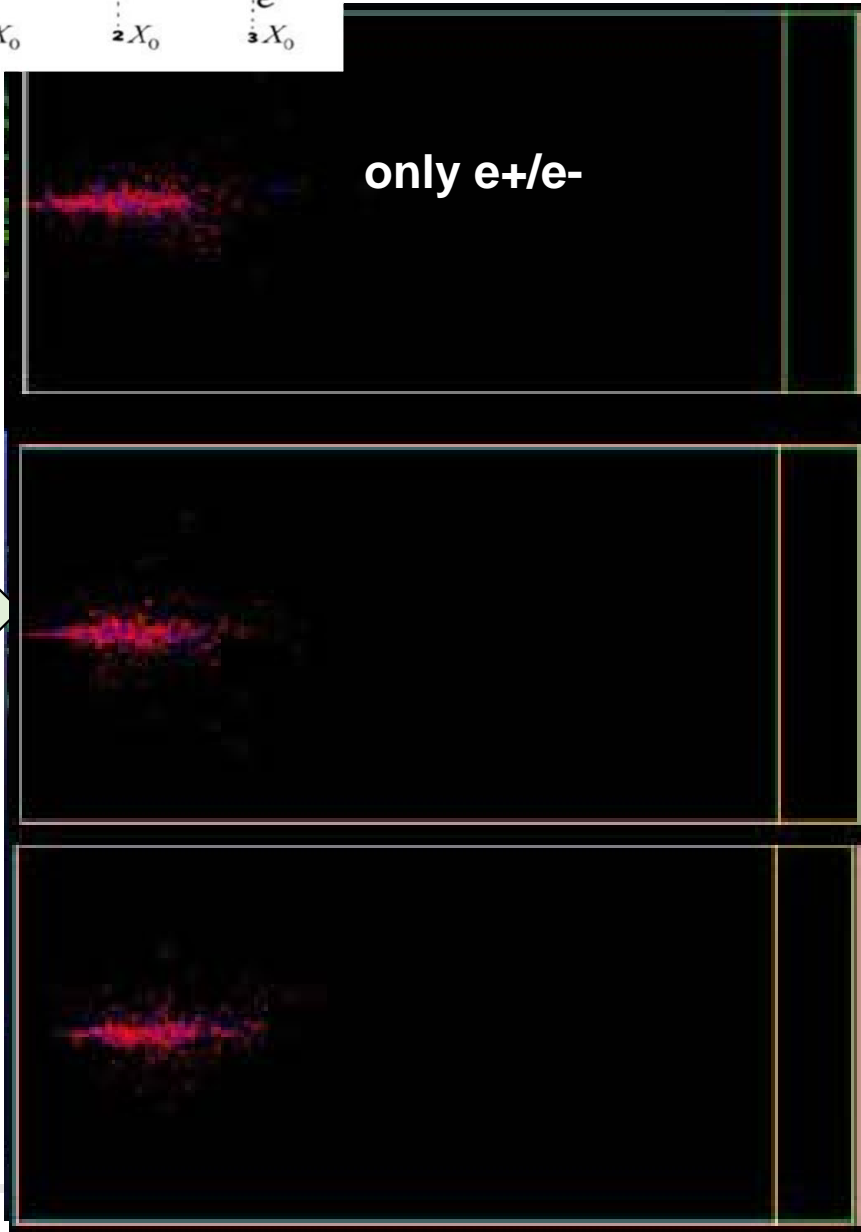
$$\frac{\sigma(E)}{E} \approx \frac{a}{\sqrt{E}}$$

Calorimètre



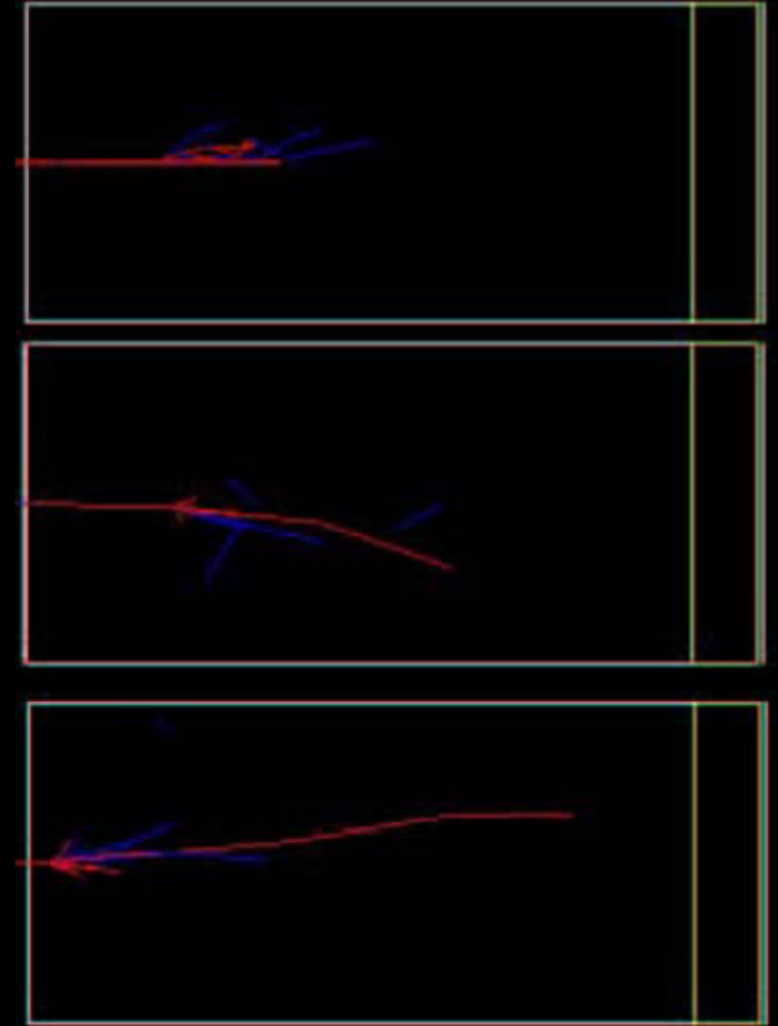
Gerbes électromagnétiques/hadroniques

e-

20 GeV



20 GeV pions in copper

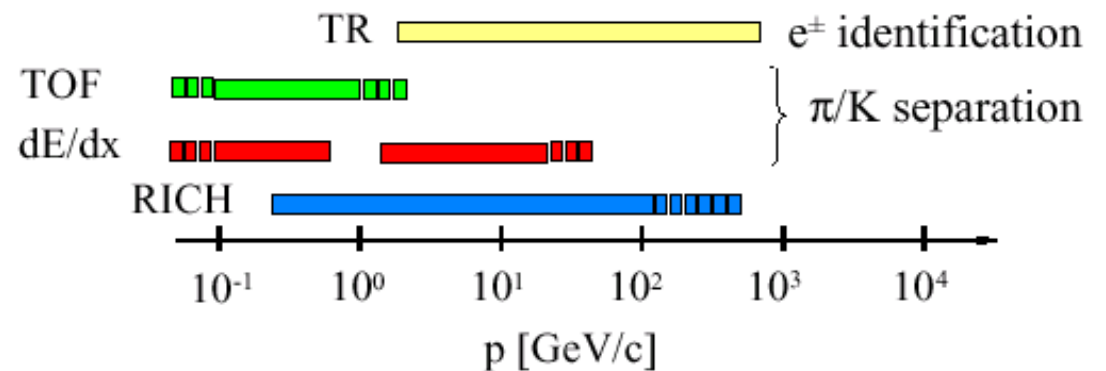
charged particles



Techniques utilisées

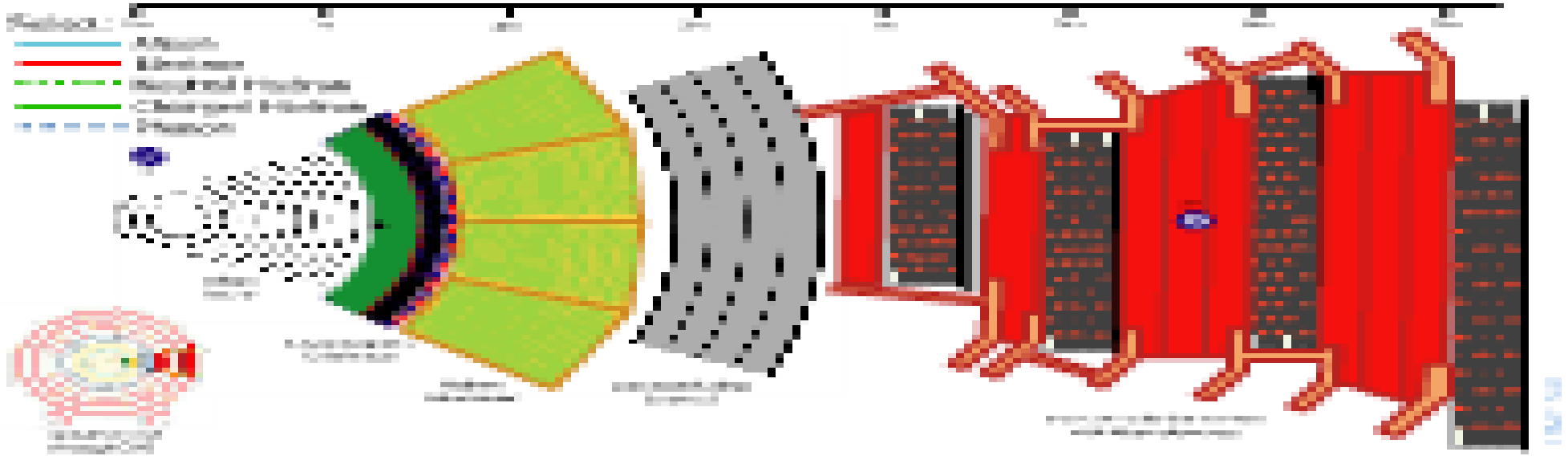
Identification de particule : utilisation d'interaction dans la matière qui dépendent de $\gamma=E/m$ ou $\beta=v/c$ (combinée avec mesure de p)

- rayonnement de transition ($\gamma > 1000$ séparation e^-/π , 0.5 GeV-140 GeV)
- effet Cerenkov : séparation $\pi/K/p$
- Mesure de temps de vol $\pi/K/p$
- Perte d'énergie par ionisation

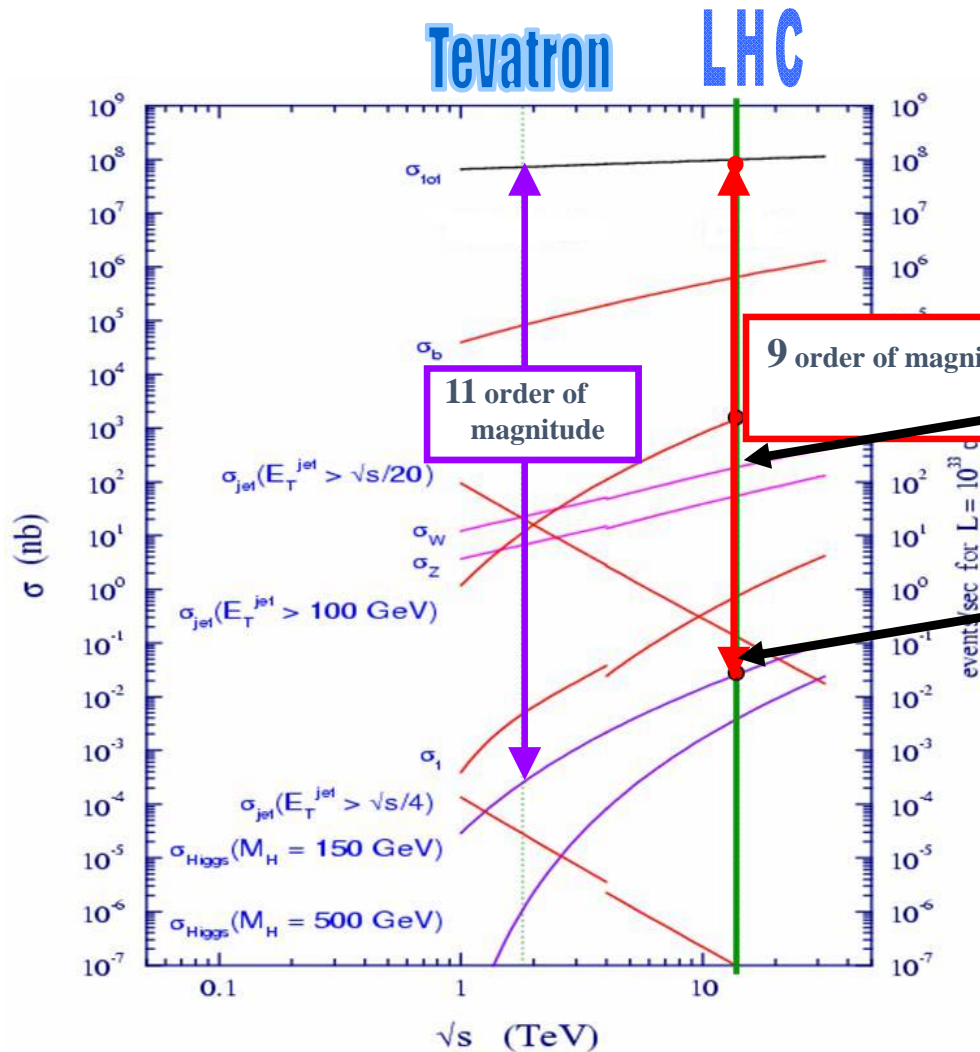


Utilisation des formes des dépôts d'énergie dans les calorimètres (e vs jet)

Interaction/identification des particules dans CMS

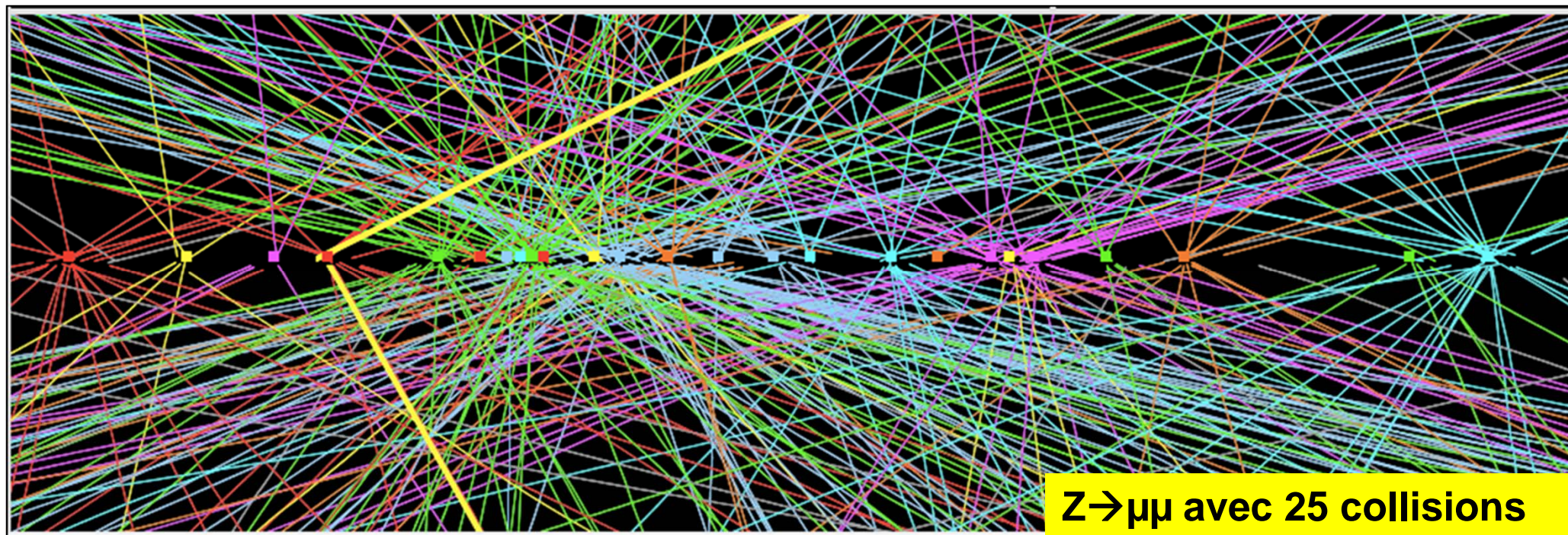


Contraintes expérimentales au LHC



- Interaction proton-proton (QCD)
- Grand section efficace et très grand taux d'interaction à chaque collision
 - Processus « intéressants » du MS : ~6 ordres de grandeur inférieur
 - Higgs : 9 ordres de grandeur (Nouvelle physique ?)
 - Recherche de phénomènes rares parmi un grand nombre d'évènement (→ Trigger)
 - Evènements superposés à chaque interaction (pile-up)

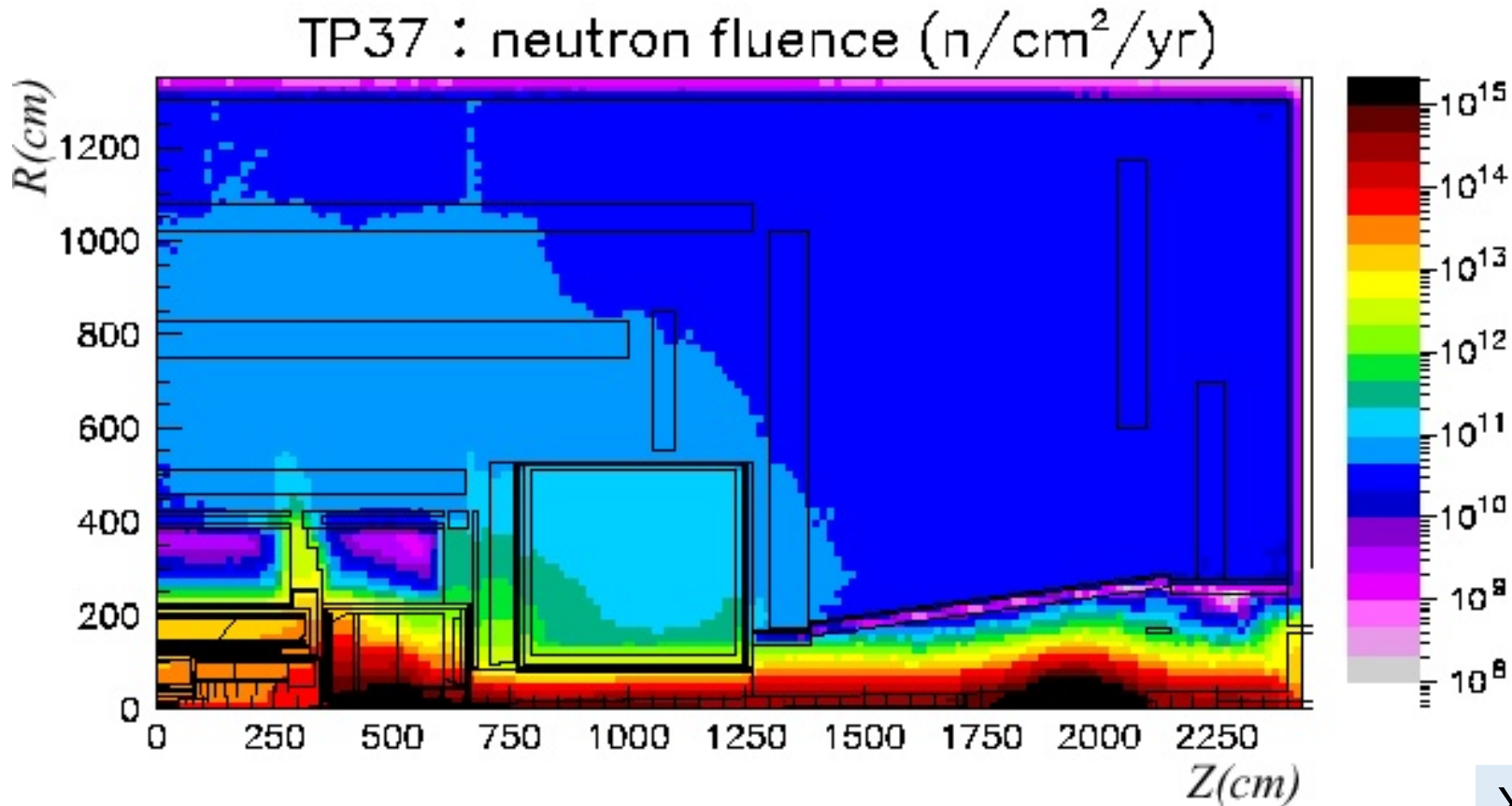
Pile-up



~10 cm

- Besoin de détecteurs rapides pour minimiser les superposition des collisions précédentes (toutes les 25 ou 50 ns)
 - Besoin d'un détecteur précis et très segmenté pour minimiser l'impact du pile-up (→ bcp de voies d'électroniques)
 - Collisions à 40 MHz avec taille d'évènement de l'ordre de 1 Mb
- Impossible de tout enregistrer sélection le plus tôt en ligne (trigger)
On garde ~300 Hz (qqz Pb) / 40 MHz de collisions

Niveaux de radiations



A $r=11$ cm, photons flux of 30 MRad !

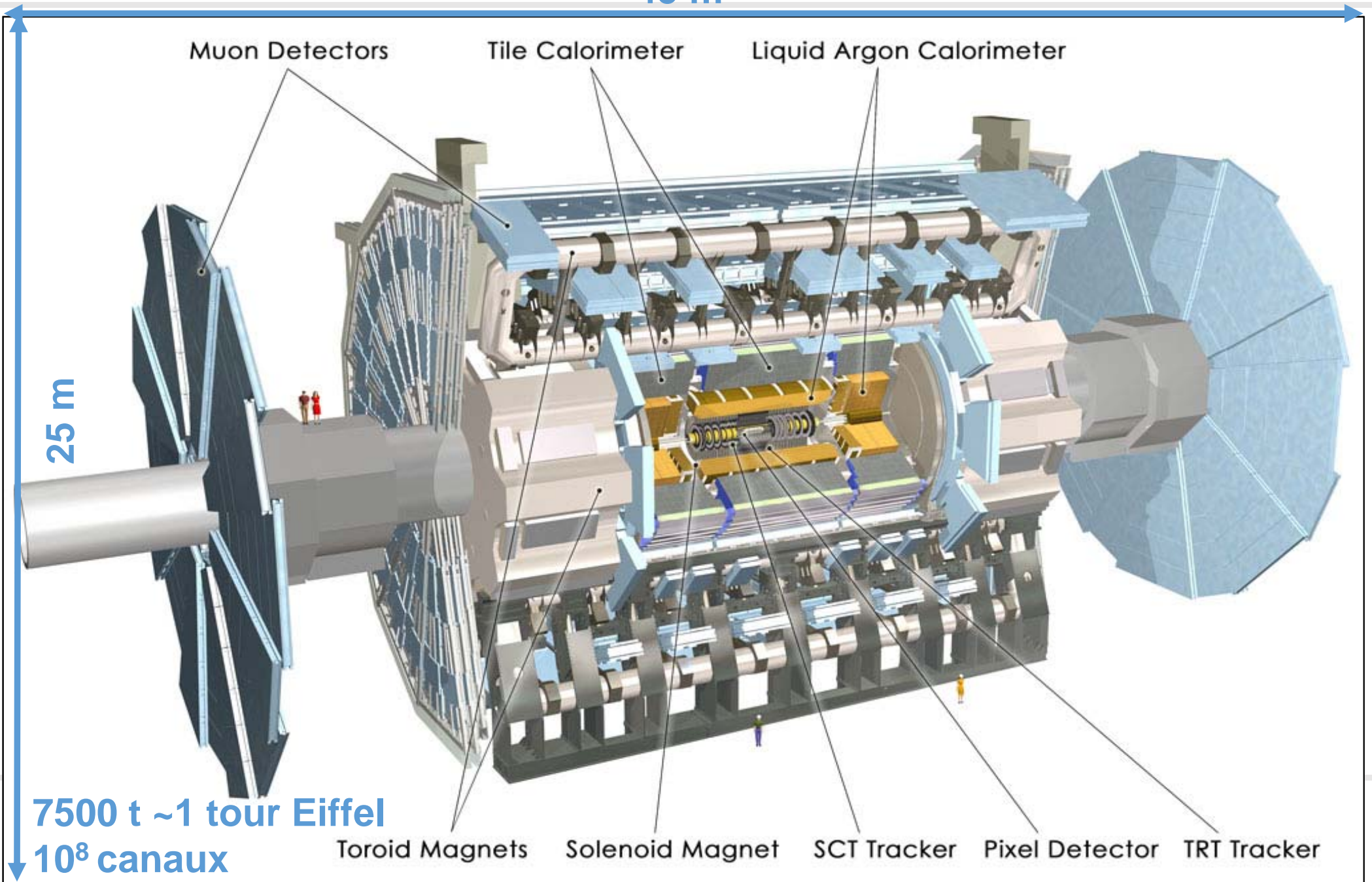
1 gray = 100 Rad $\sim 6.24 \cdot 10^{12}$ MeV/kg energie déposée (1J/kg)

X rays and γ :
1 rad = 10 mSv
Public < 1 mSv / an

Contraintes importantes sur les detector et technologies + électronique utilisables :
vieillessement dans les detectors gazeux, pollution dans détecteurs liquides, perte de lumière dans les cristaux (transparence) (scintillation/cerenkov) , déplacement d'atome les détecteurs solides

Le détecteur ATLAS : 1990 (R&D) à 2006

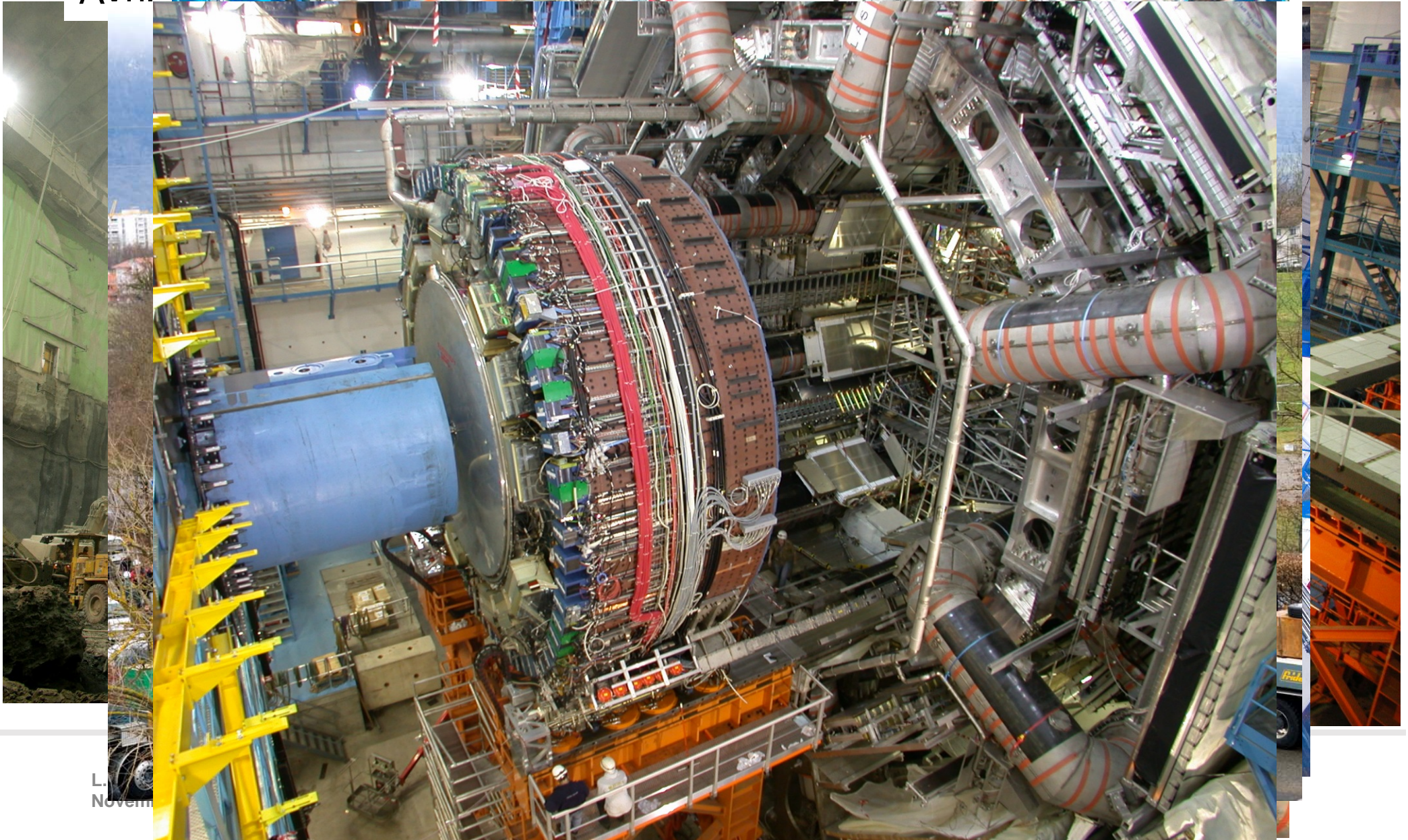
45 m



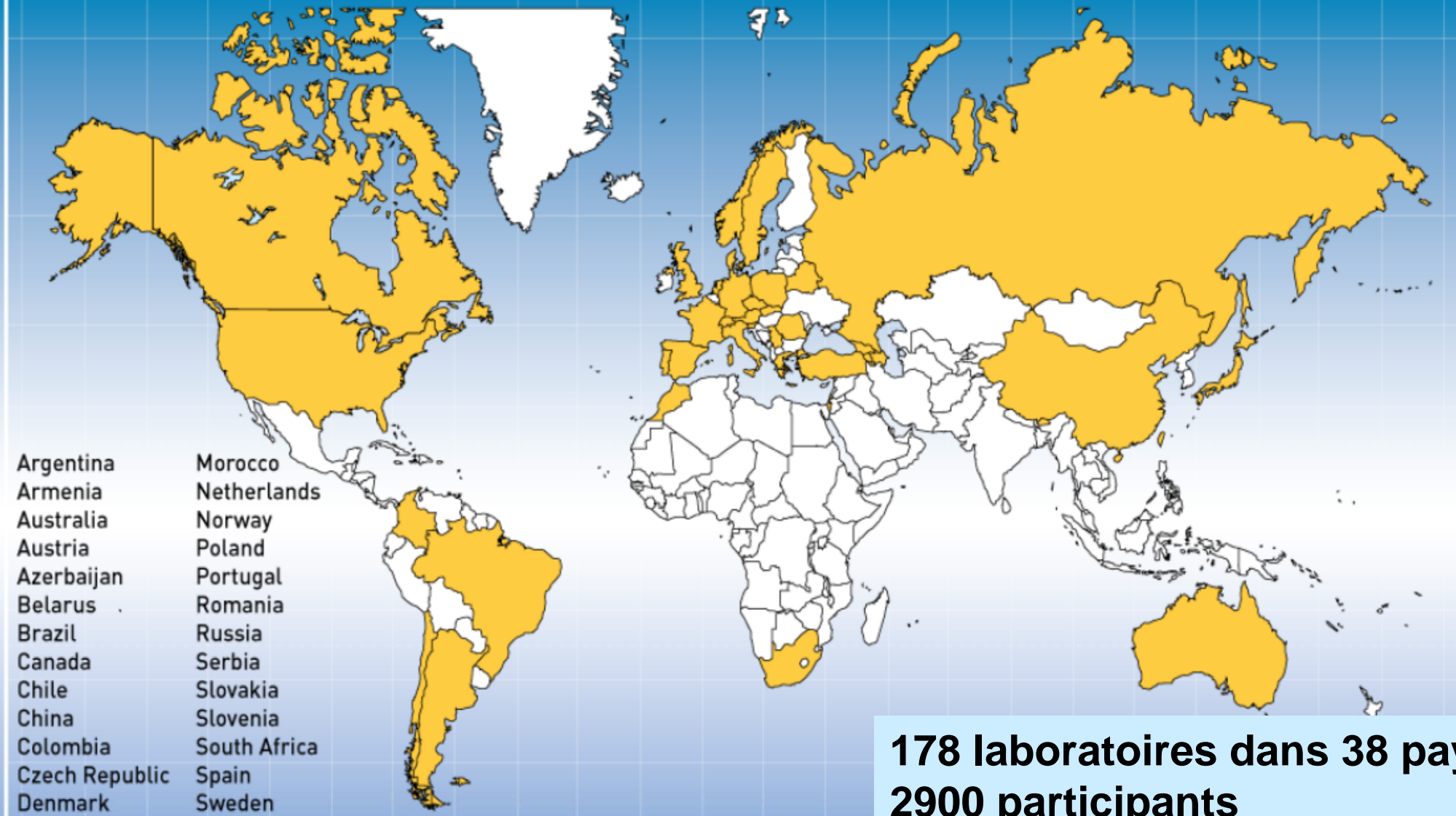
Le détecteur ATLAS : Installation 2002 à 2006

Avril 2002

Septembre 2004



L.
Novem



- | | |
|----------------|--------------|
| Argentina | Morocco |
| Armenia | Netherlands |
| Australia | Norway |
| Austria | Poland |
| Azerbaijan | Portugal |
| Belarus | Romania |
| Brazil | Russia |
| Canada | Serbia |
| Chile | Slovakia |
| China | Slovenia |
| Colombia | South Africa |
| Czech Republic | Spain |
| Denmark | Sweden |
| France | Switzerland |
| Georgia | Taiwan |
| Germany | Turkey |
| Greece | UK |
| Israel | USA |
| Italy | CERN |
| Japan | JINR |

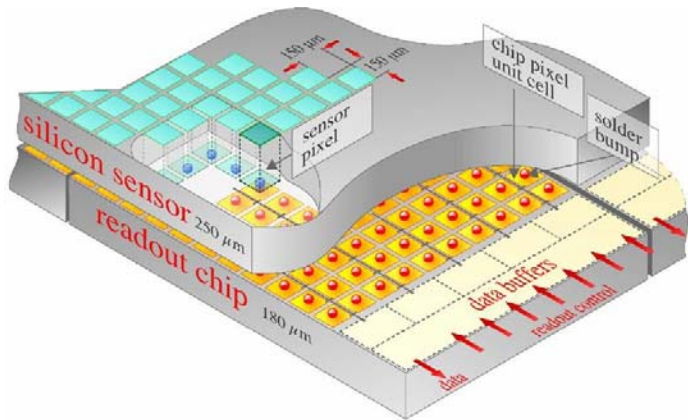
178 laboratoires dans 38 pays
2900 participants
~1000 étudiants en thèses

ATLA Collaboration

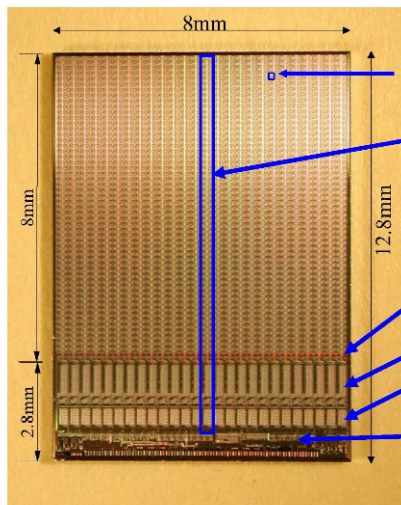
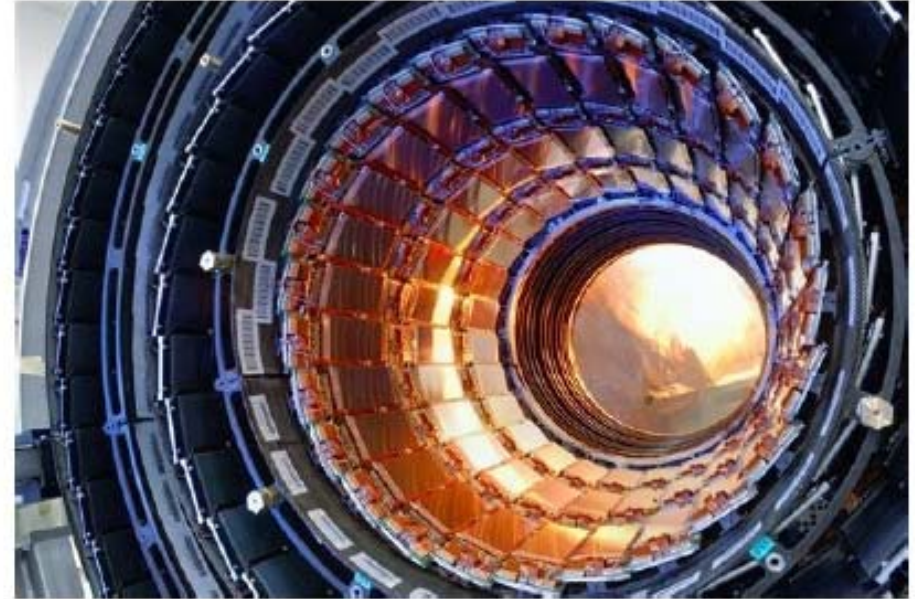


Détecteurs de trace (solides)

Détecteur à pixels (~un appareil photo)



→ « strips » à plus grand rayon



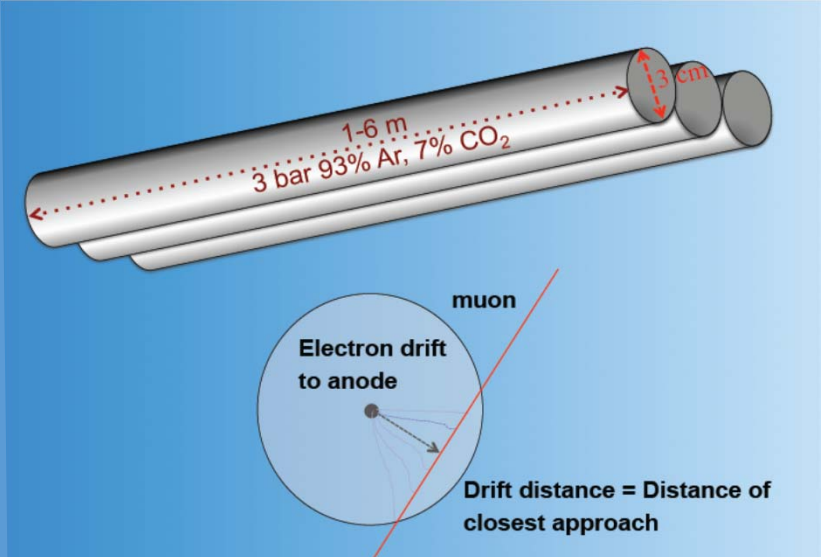
PSI43

- 150 μm x 150 μm pixel
- 52x53 pixels in 26 double columns
345 k transistors
- Periphery:
78 k transistors
- Pixel-column interface
- Data buffers (4x24 capacitors)
- Timestamp buffers (8x8 bits)
- I2C, DACs, regulators, counters, readout, wirebonds
6 k transistors

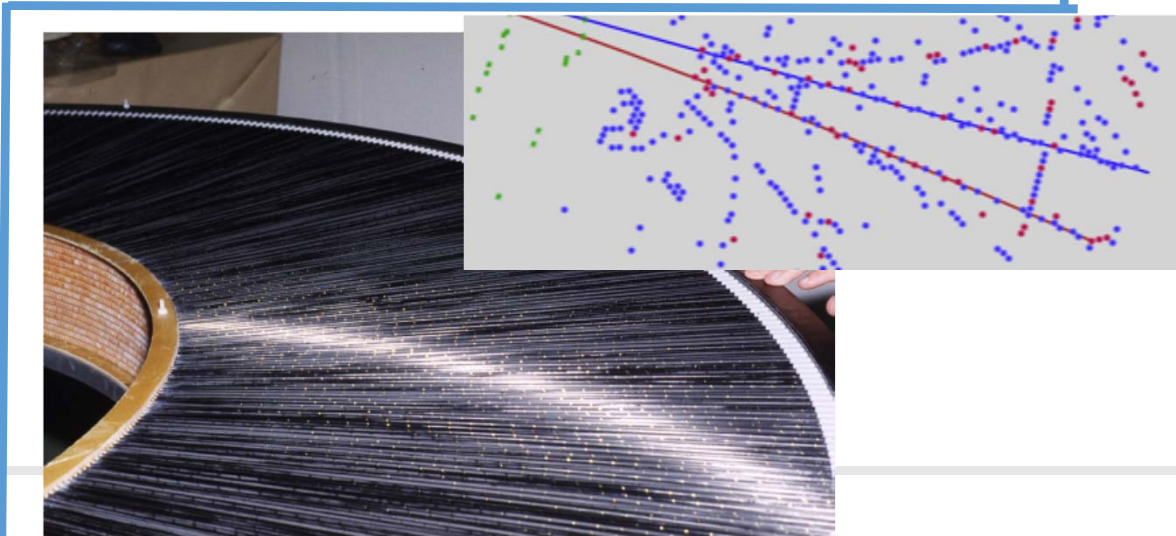
CMS tracker

- full silicon tracker
- 210 m² of silicon
- 10.7 M channels

Détecteurs de trace (gazeux) : grands R + μ



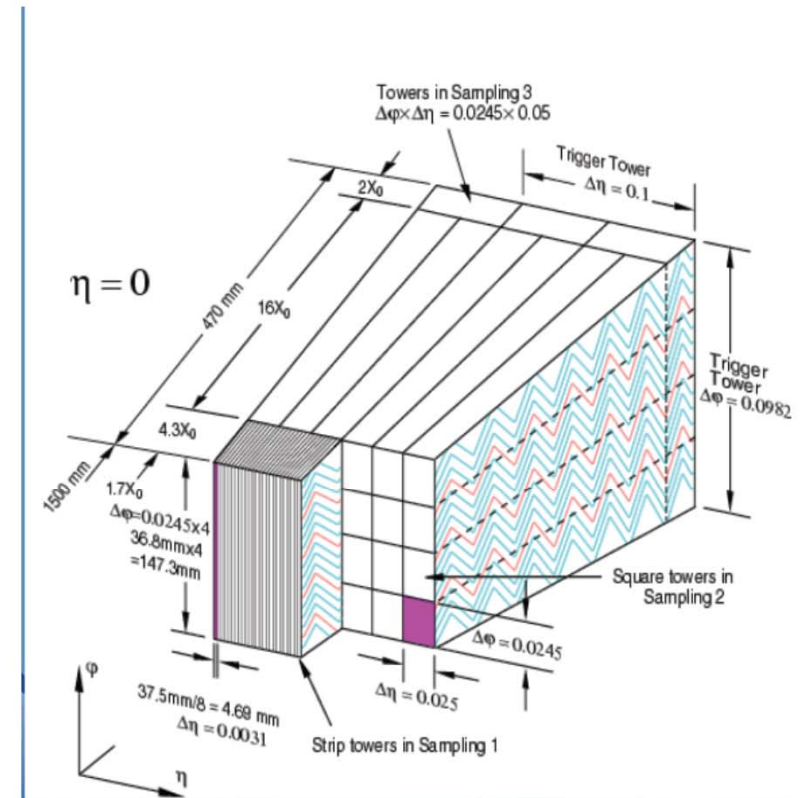
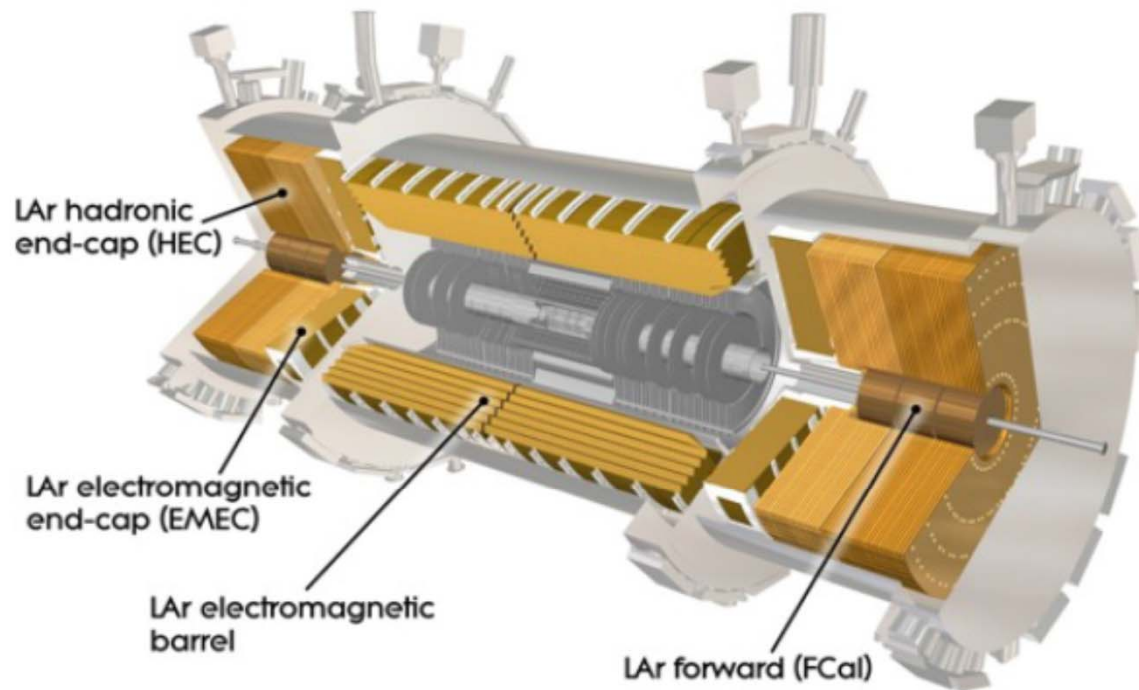
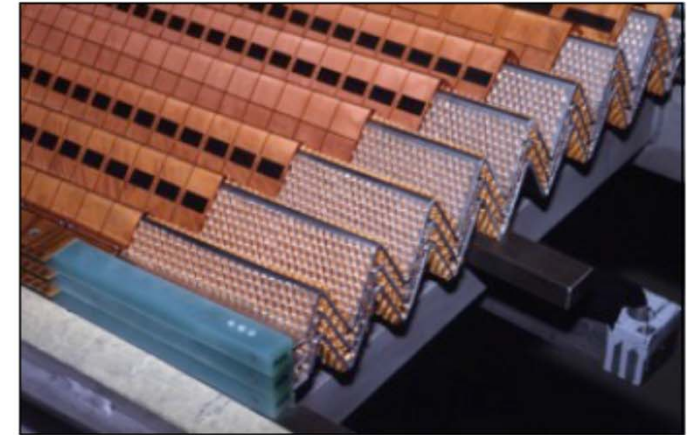
ATLAS : spectromètre μ



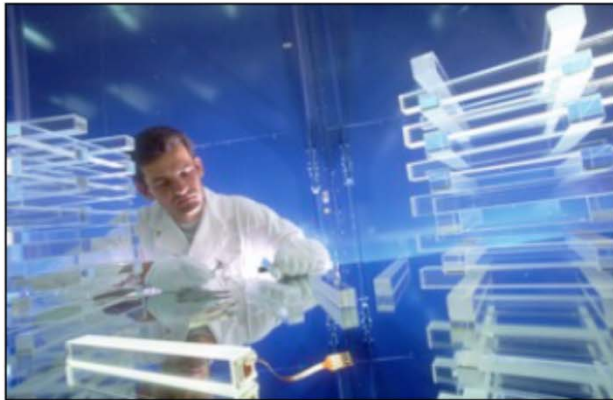
ATLAS : TRT (R~1m)

Calorimètres

Example:
ATLAS Liquid Argon Calorimeter

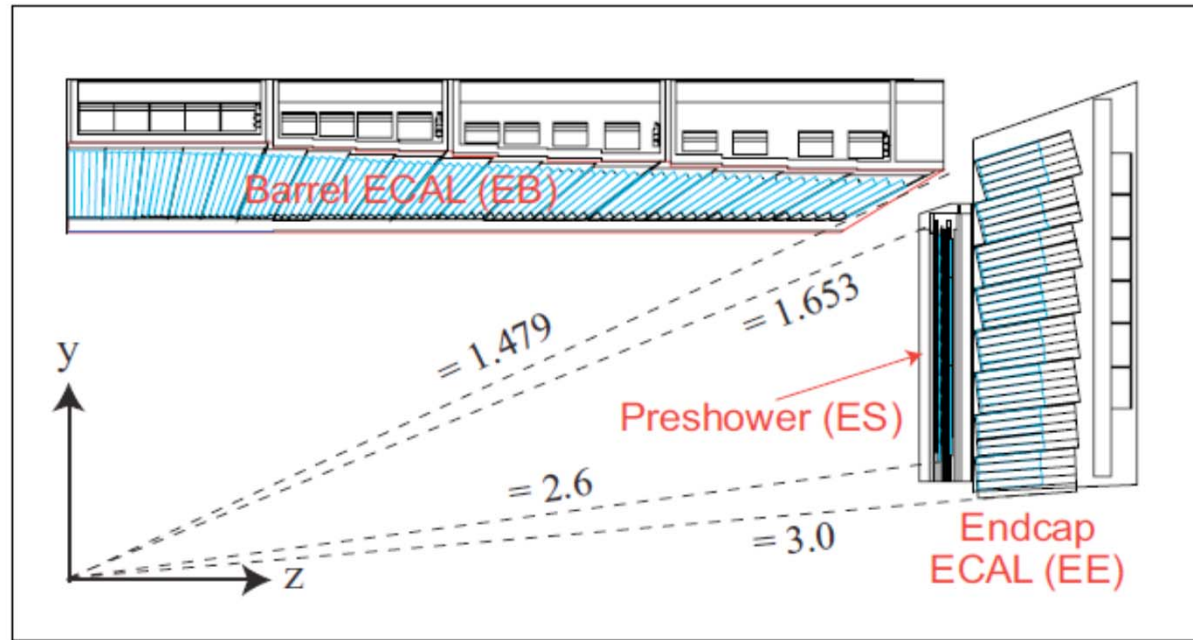
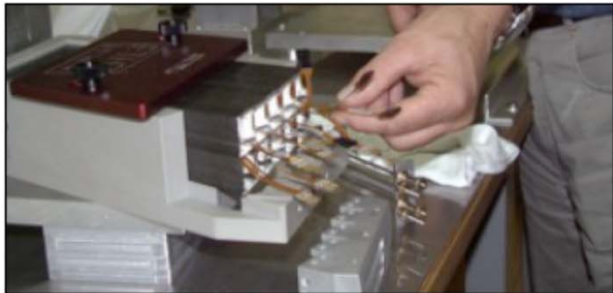


Calorimètres



Scintillator : $PbWO_4$ [Lead Tungsten]
Photosensor : APDs [Avalanche Photodiodes]

Number of crystals: ~ 70000
Light output: 4.5 photons/MeV



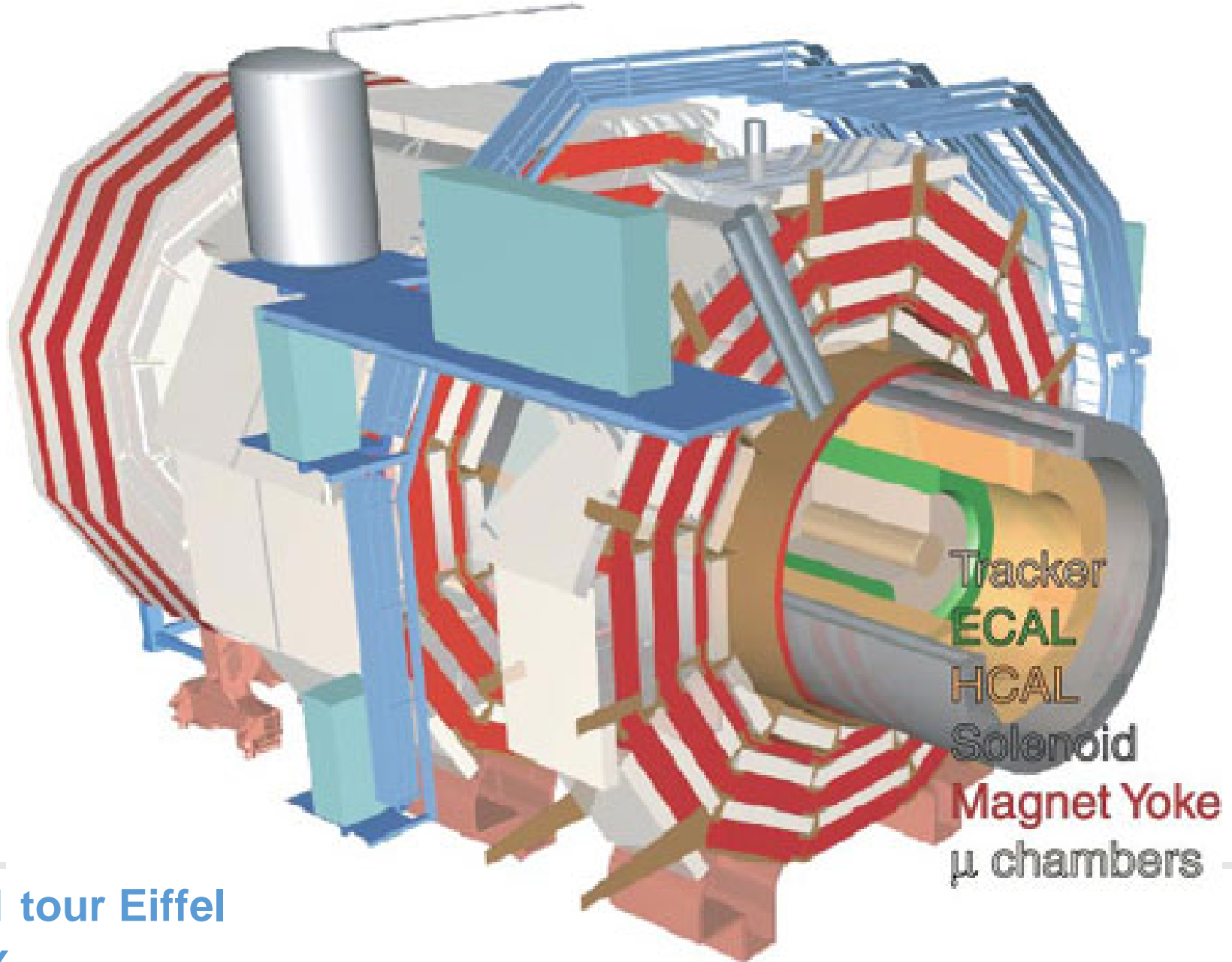
Densité : 8.3 g/cm^3 (Pb 11 g/cm^3). Cristal développé pour CMS calo

Le détecteur CMS

21 m

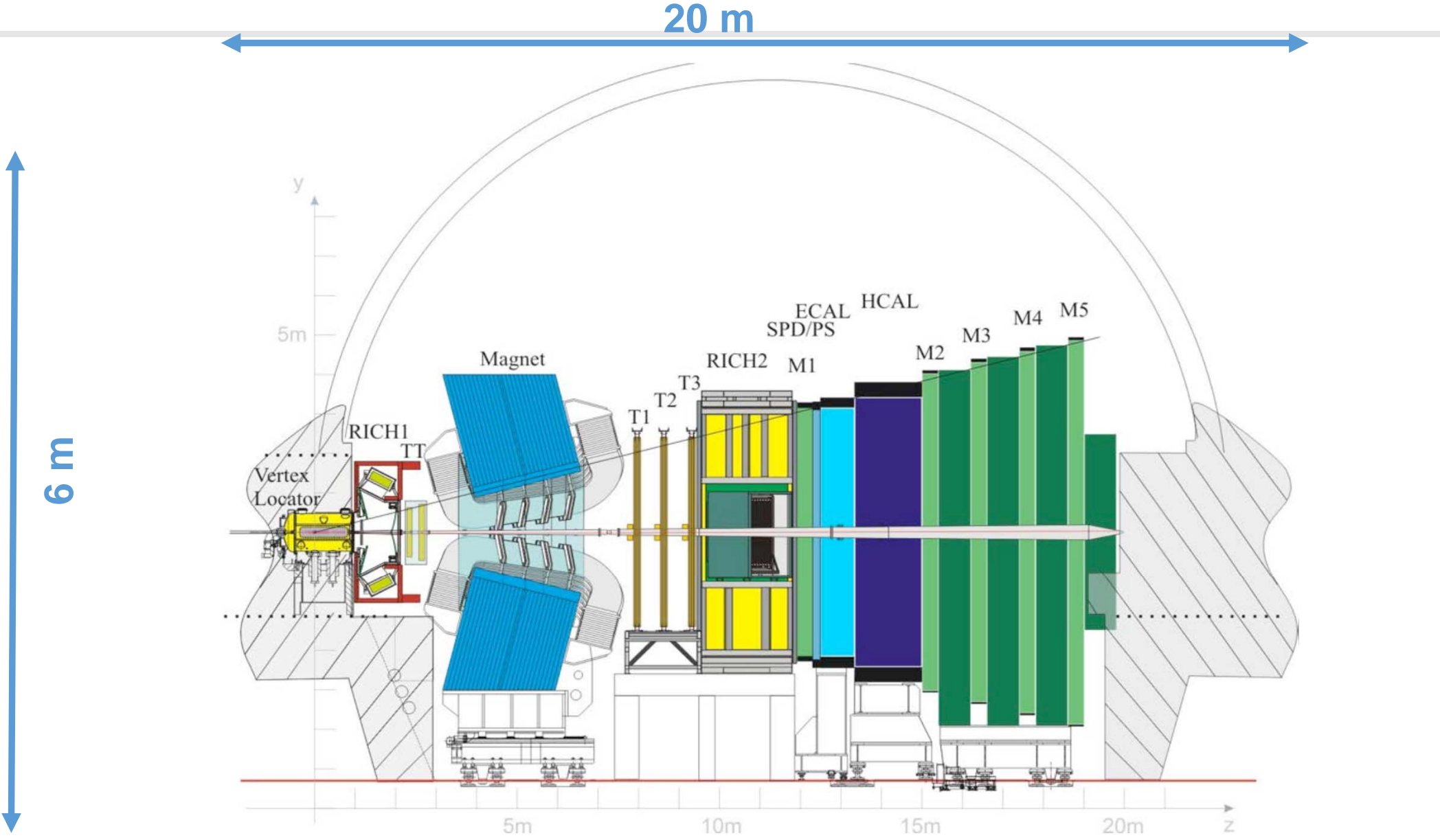
15 m

12000 t > 1 tour Eiffel
 10^8 canaux



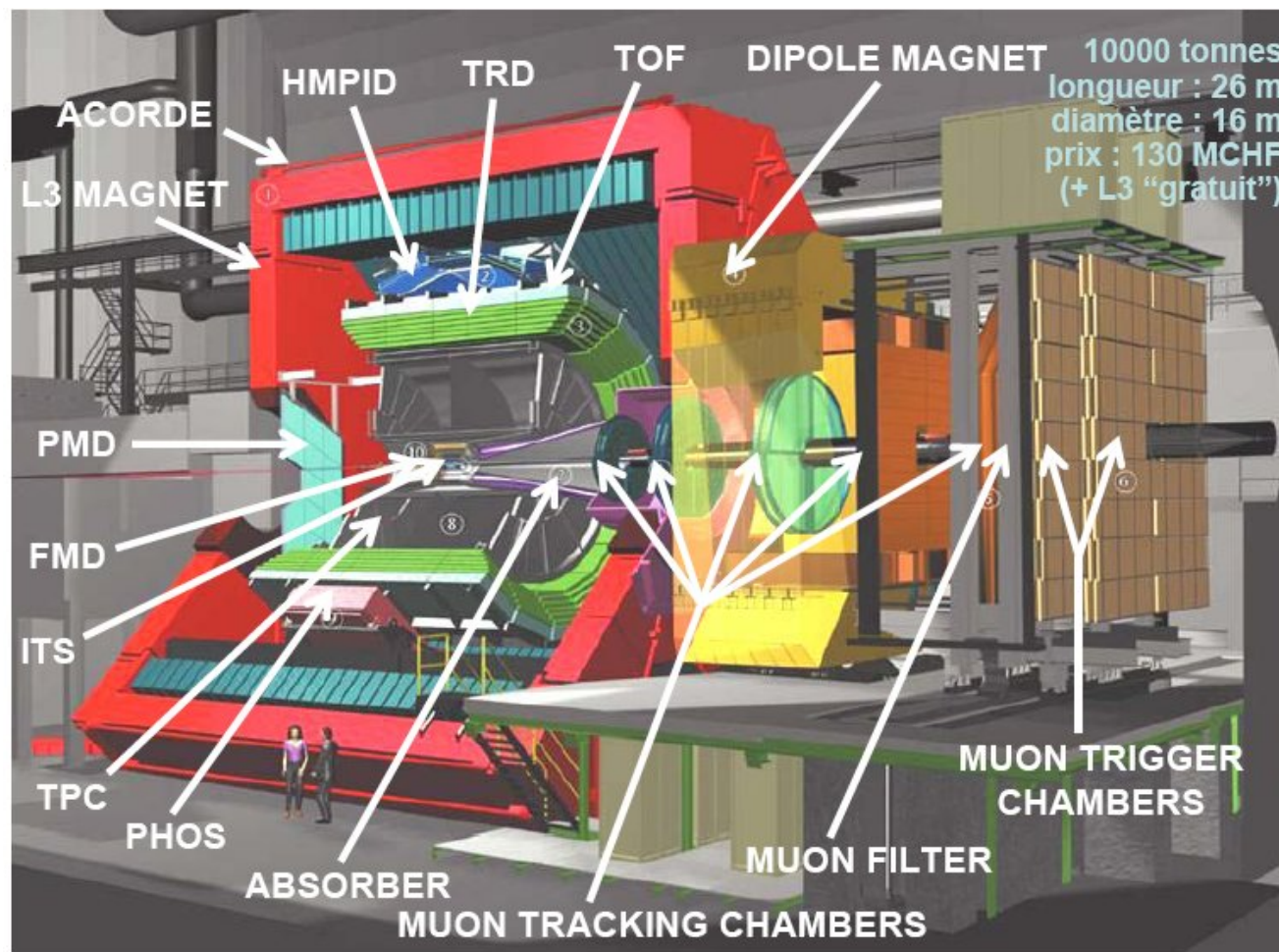
Tracker
ECAL
HCAL
Solenoid
Magnet Yoke
 μ chambers

Le détecteur LHCb



ALICE

RICH TRD detector TOF μ spectrometer



TPC : dE/dx

EM calo (PHOS
EMcal)