

# Introduction à la détection des particules

(partie 2)

ULB ~ 21 janvier 2006 ~ Xavier Rouby

# Contenu

- Les particules à détecter
- Accélérateurs de particules
- Techniques de détection
- Exemples de détecteurs
- Identification des particules
  - Visibles
  - Invisibles : les neutrinos
  - Invisibles : les particules instables

# Réponses aux questions

1) Vide dans les tubes à faisceau :

$$\text{LEP} = 10^{-7} \text{ Pa}$$

$$\text{LHC} = 10^{-10} \text{ Pa}$$

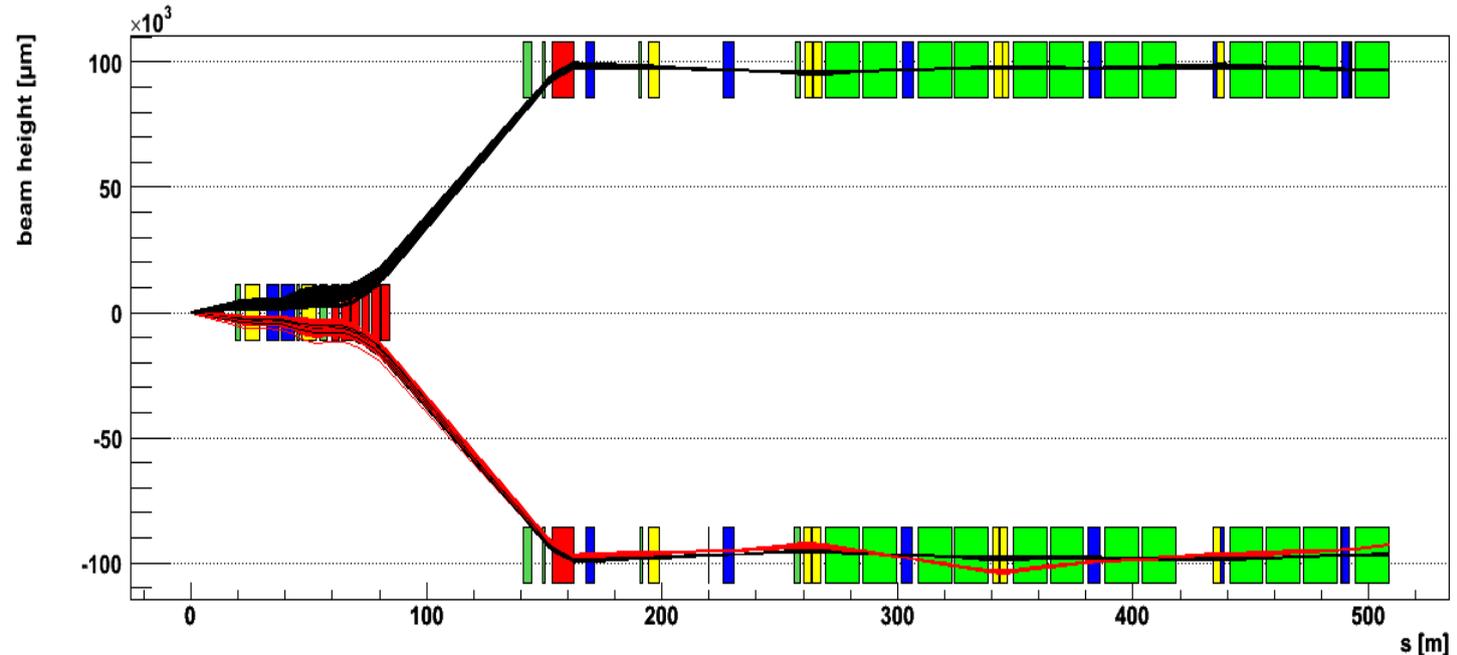
car gaz résiduel  $\rightarrow$  interactions !  $\rightarrow$  temps de vie limité

2) Collisionneur électron-électron : pas courant du tout !

Passé : pas trouvé...

Futur : ILC ?

3) Faisceaux du LHC : 2 tubes distincts !



~~ Xavier Rouby ~~

# Trajectographie et calorimétrie

Détecteurs actuels : complémentarité entre deux types de techniques :

- la **trajectographie** : observation de la trajectoire des particules dans un champ magnétique externe -> *charge, impulsion*
  - Uniquement pour particules chargées électriquement
  - Besoin d'un champ magnétique important
- la **calorimétrie** : mesure de l'énergie de chaque particule
  - Calorimètres électromagnétique et hadronique

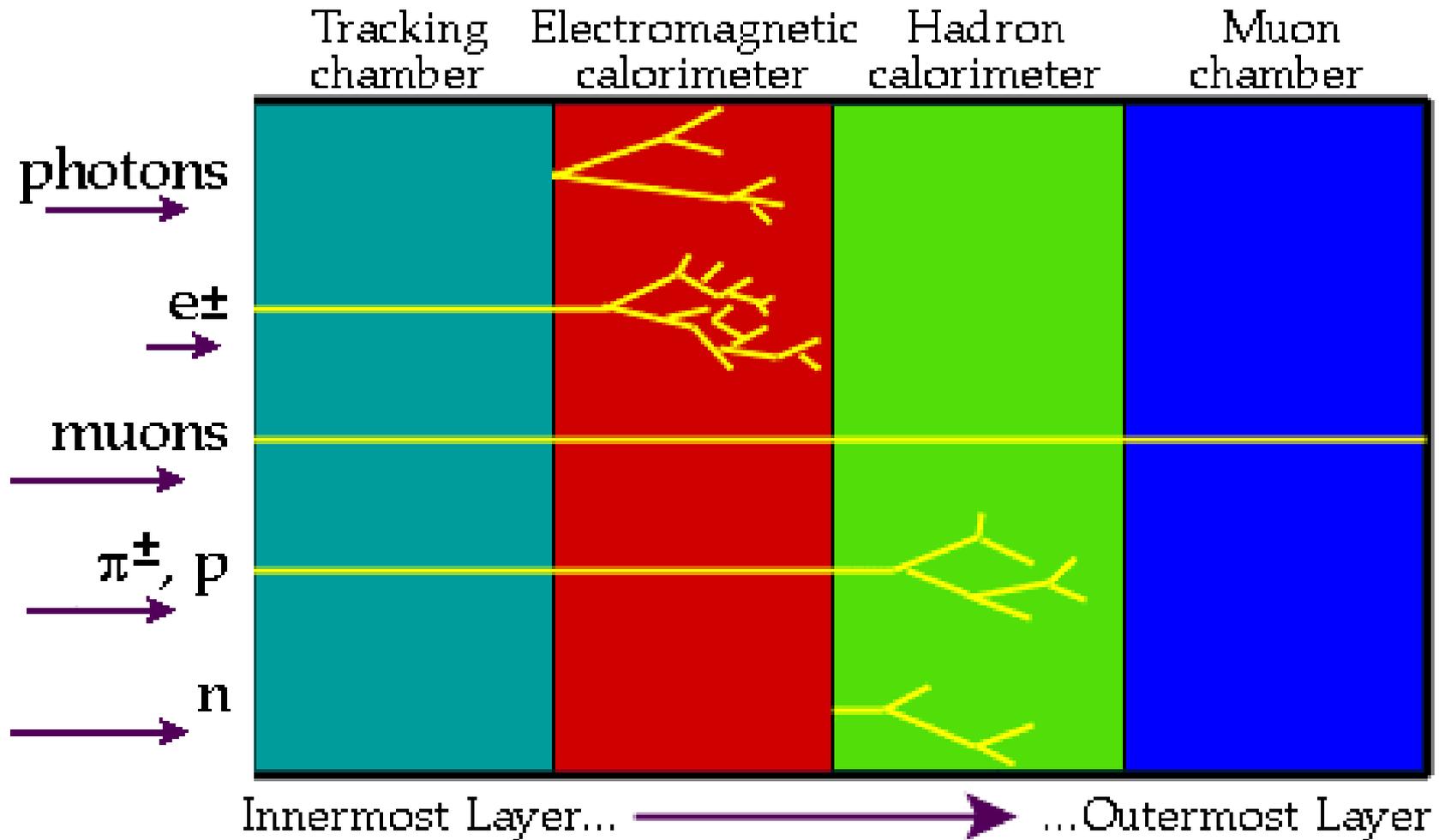
En pratique, on a 3 couches de détecteurs distincts :

- le trajectographe
- le(s) calorimètre(s)
- les chambres à muons

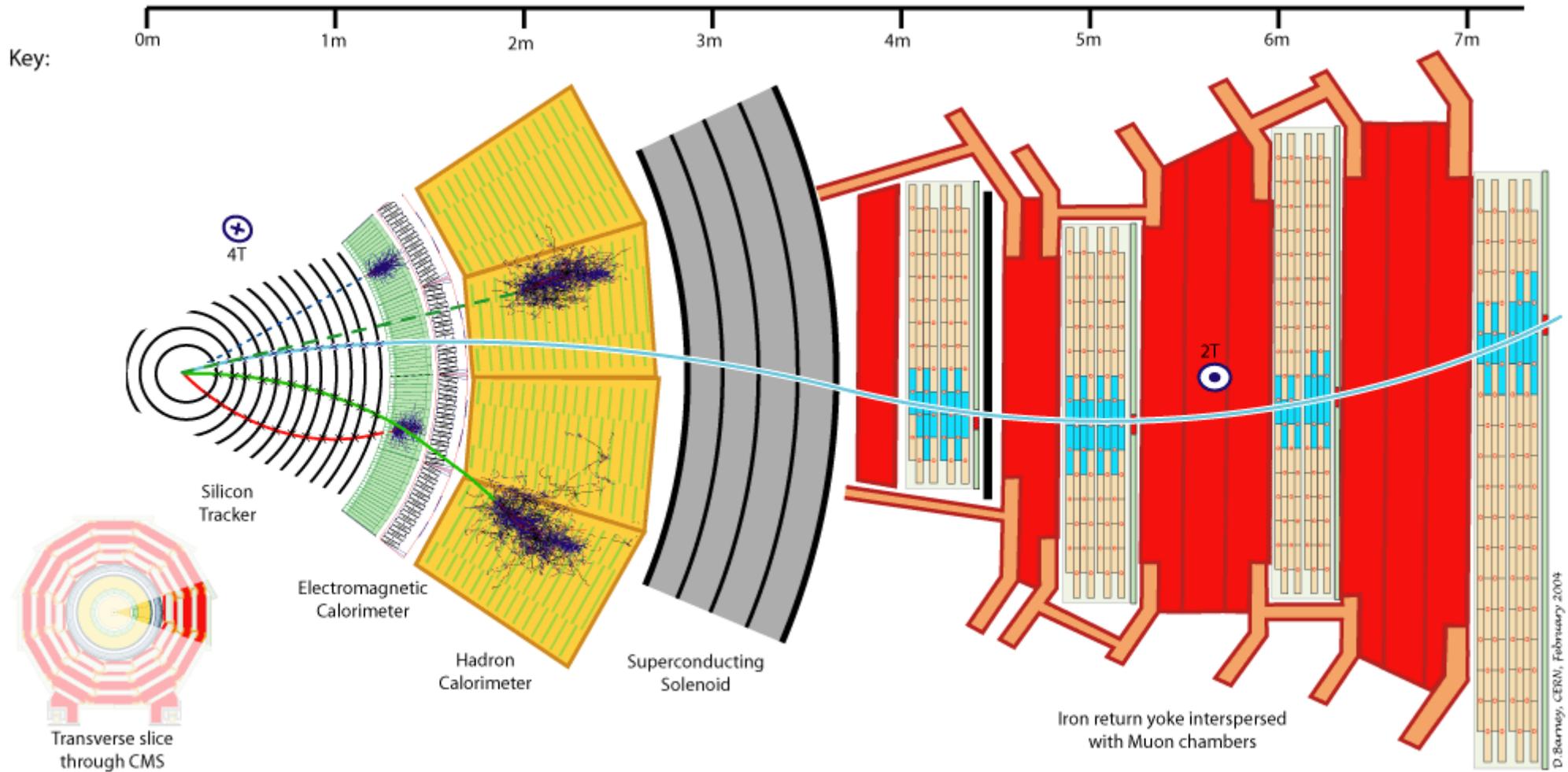
***Identification de la particule selon les couches du détecteur dans lesquelles elle se manifeste !***

# Identification des particules

Particules visibles :

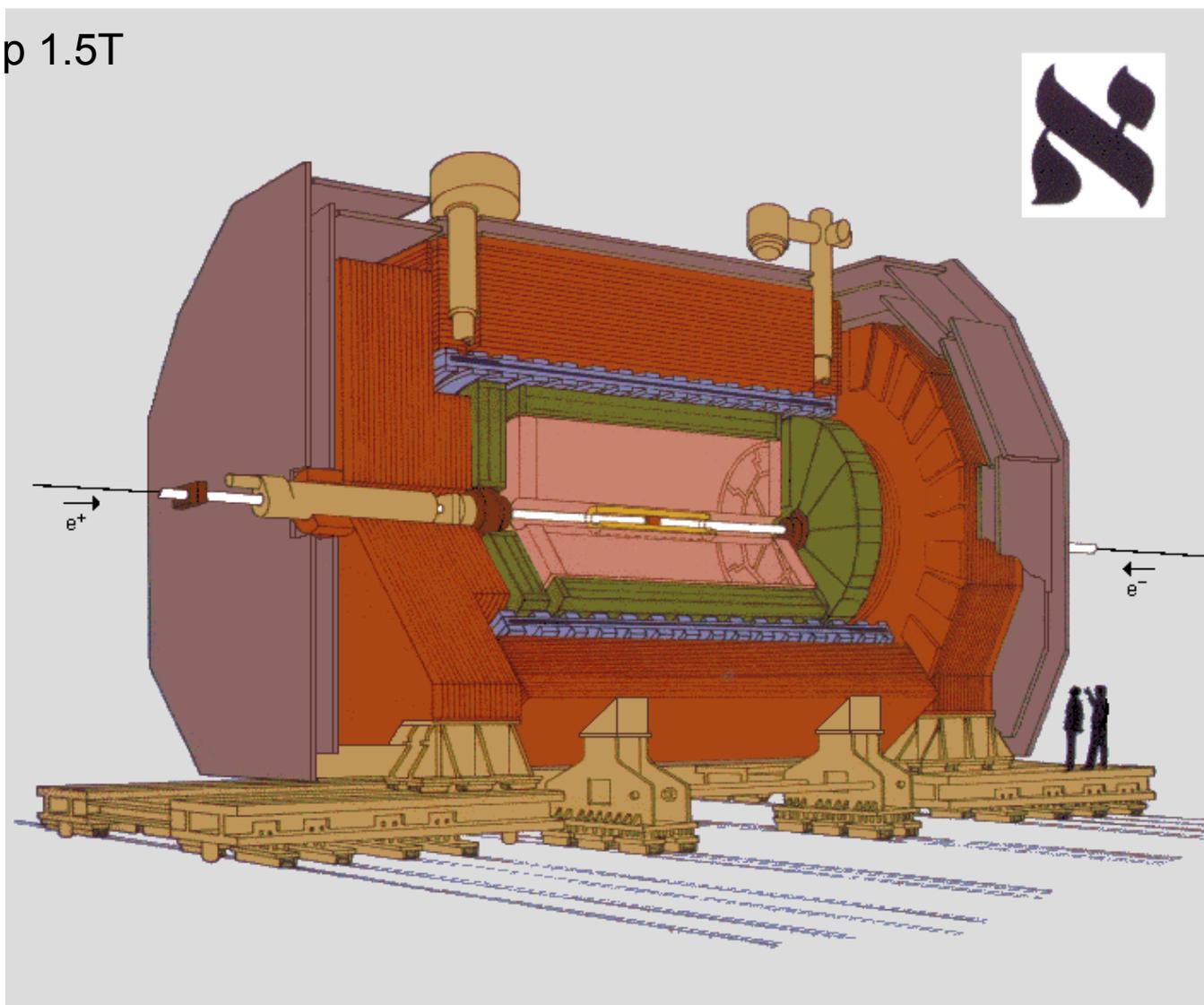


# Identification des particules



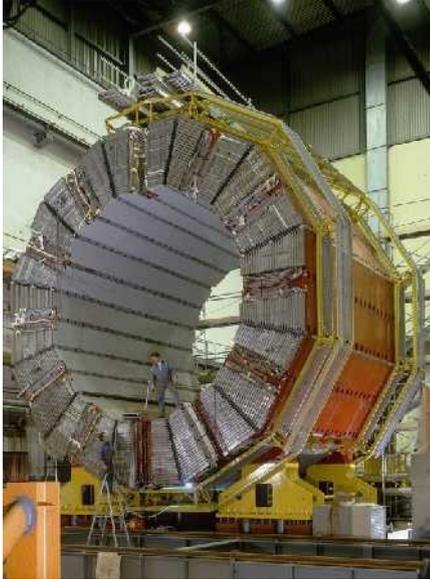
# Exemples : ALEPH

Champ 1.5T



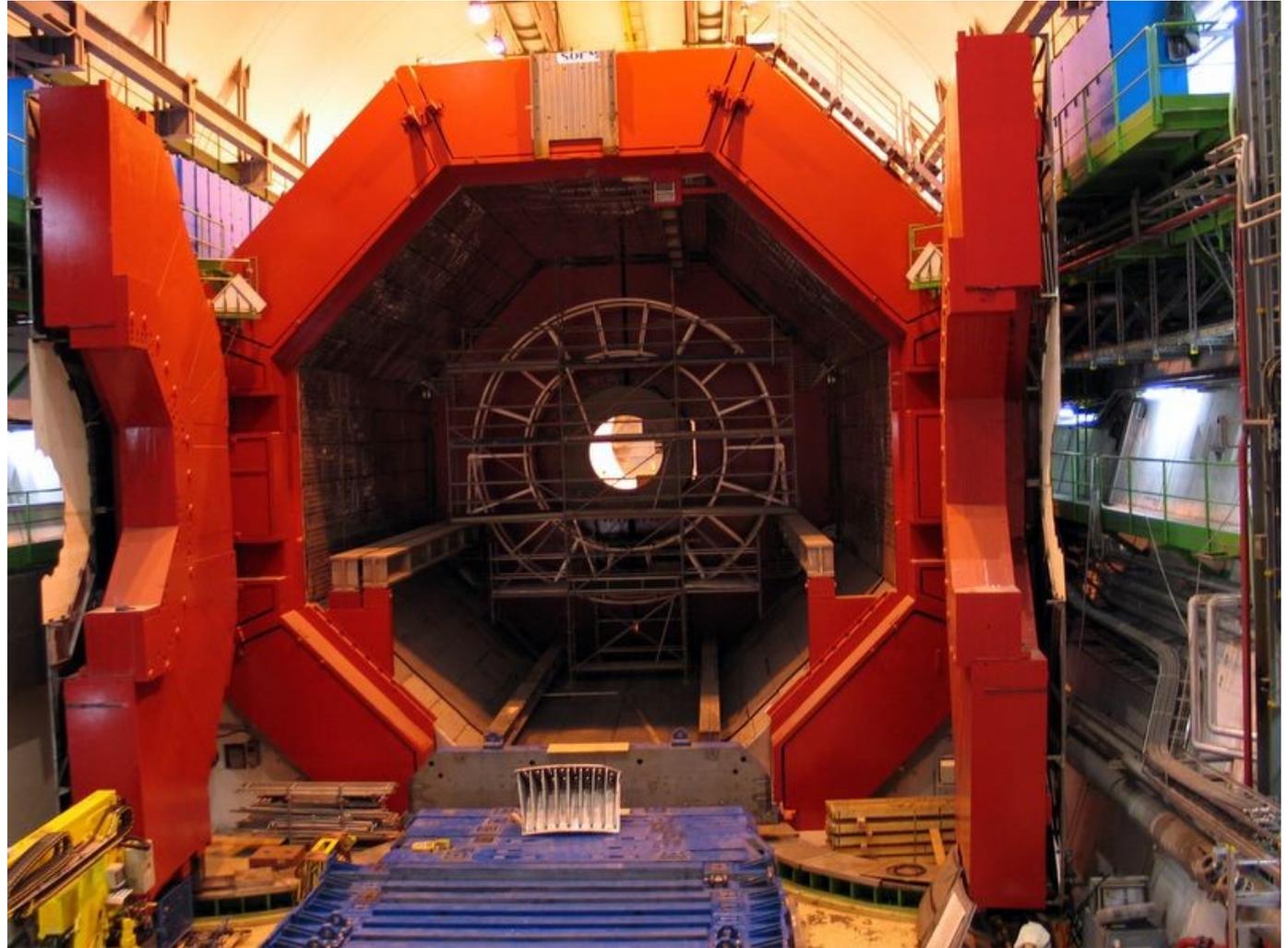
-  Vertex Detector
-  Inner Tracking Chamber
-  Time Projection Chamber
-  Electromagnetic Calorimeter
-  Superconducting Magnet Coil
-  Hadron Calorimeter
-  Muon Chambers
-  Luminosity Monitors

# ALEPH et OPAL



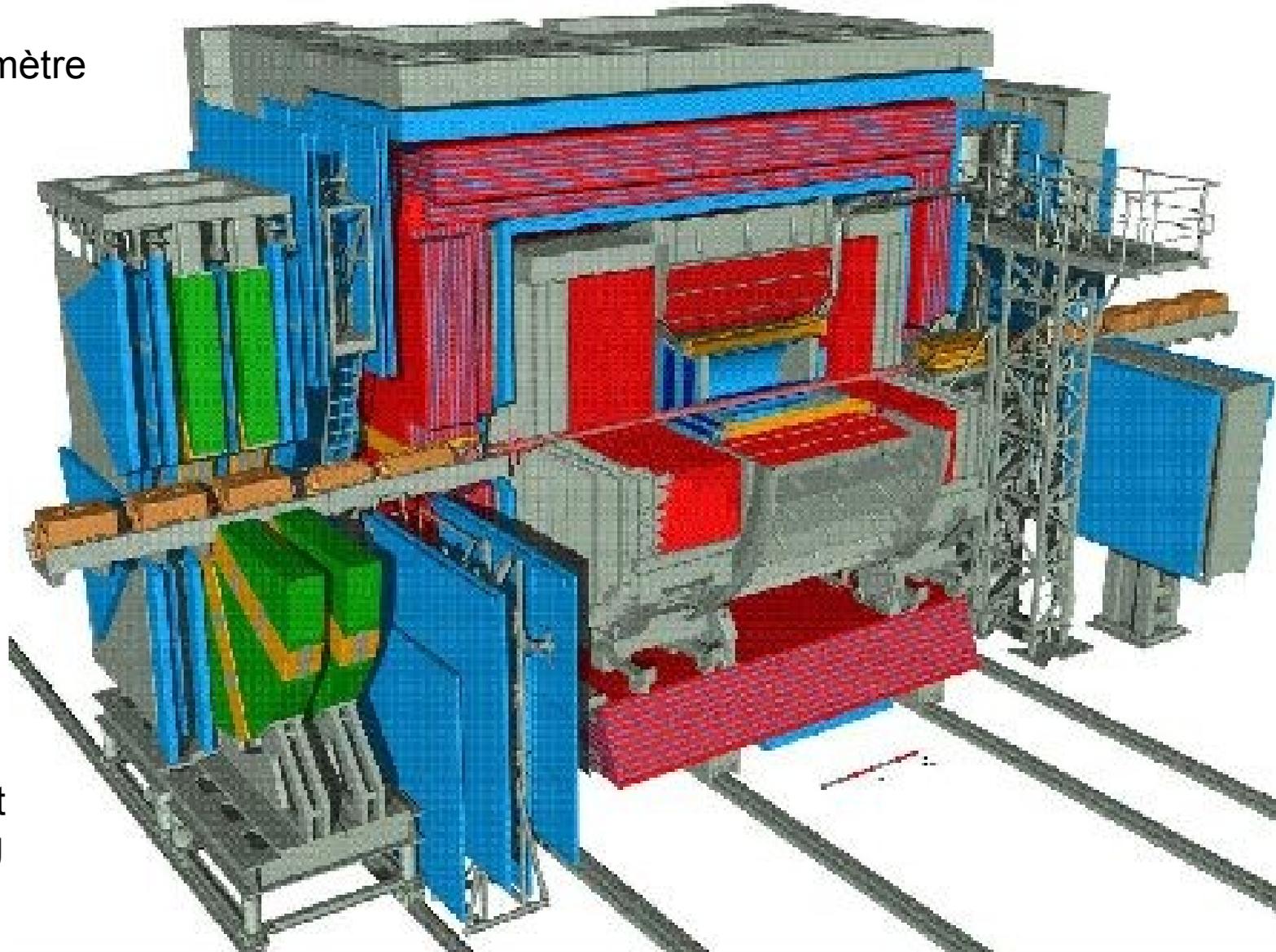
1987

*source : CERN*



# Exemples : ZEUS

Asymétrie !  
1 seul calorimètre

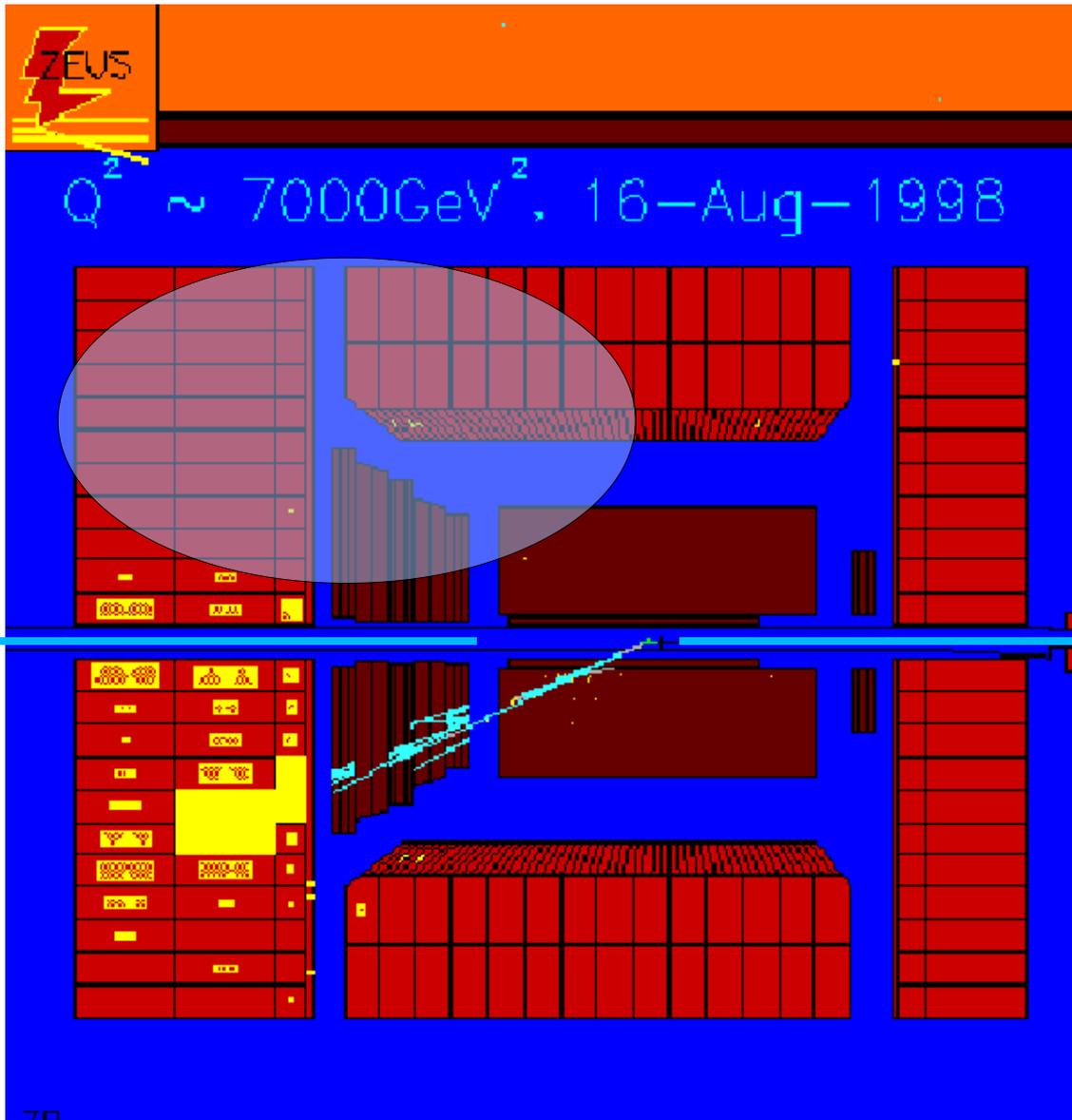


10 m de haut  
19 m de long  
champ 1.8T  
3600 tonnes

21 Janvier 2006

~~ Xavier Rouby ~~

# ZEUS

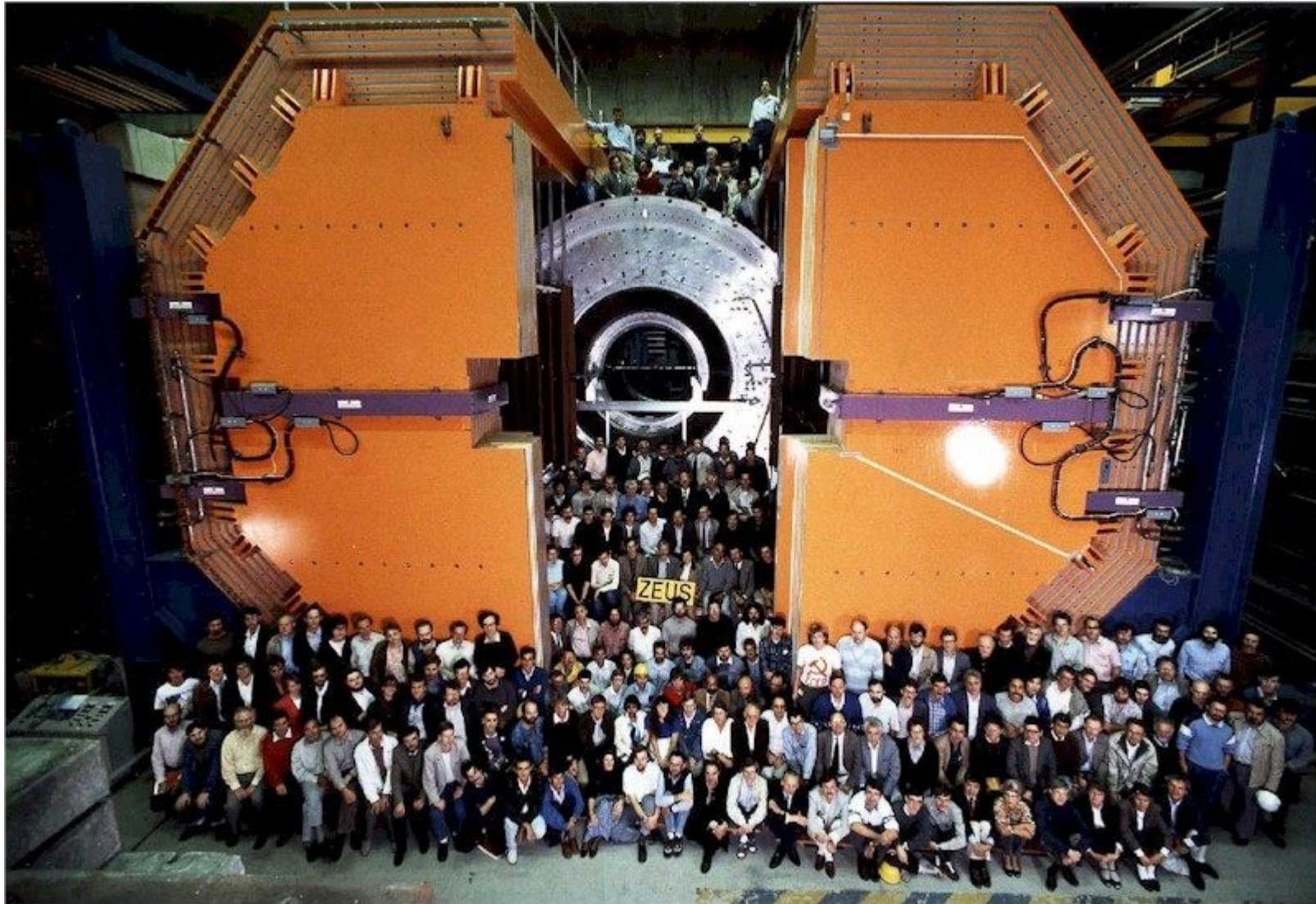


ZEUS : accélérateur HERA  
(DESY, Hambourg)

Détecteur asymétrique  
collisions e-p

Calorimètre unique

# Zeus

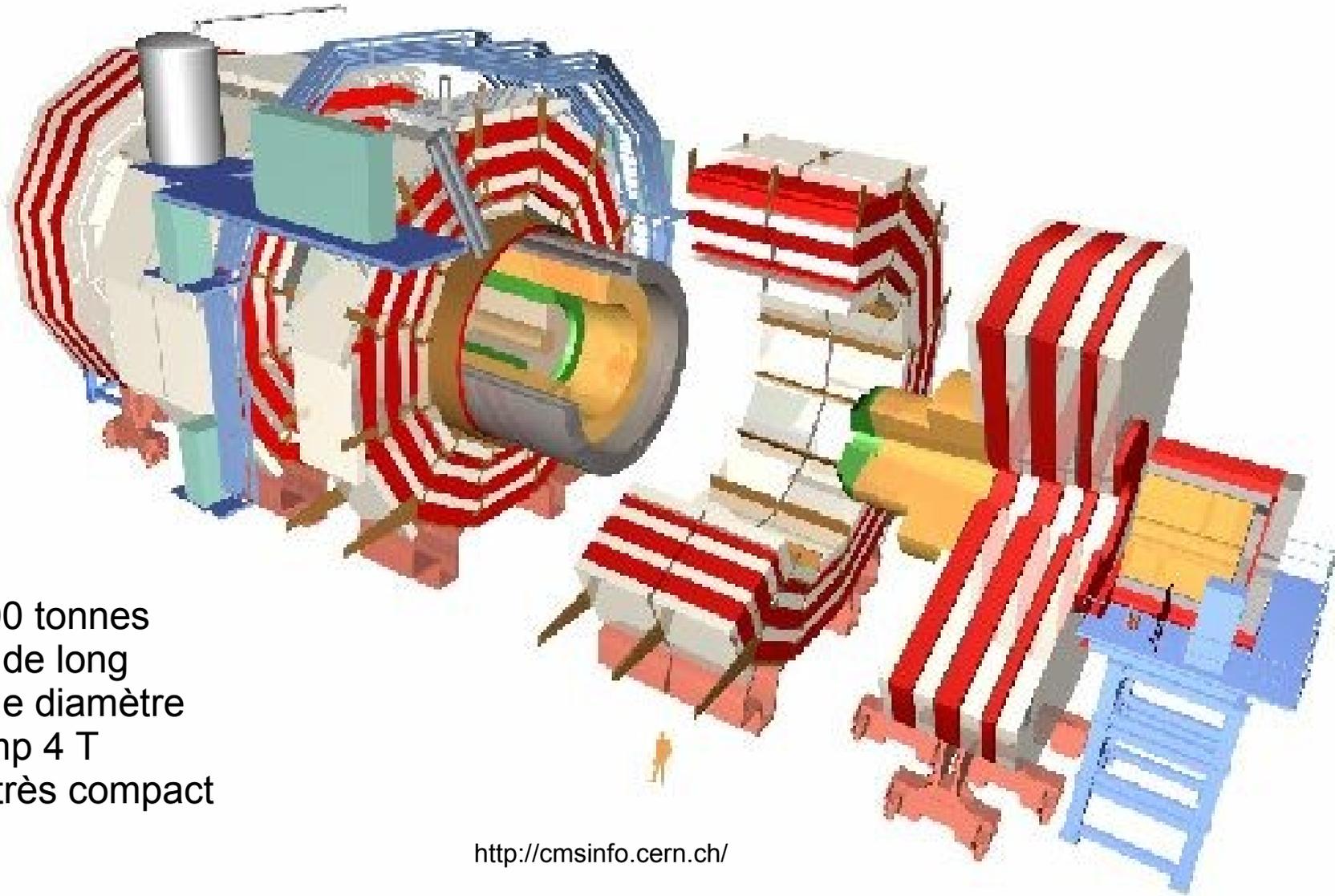


21 Janvier 2006

~~ Xavier Rouby ~~

11

# Exemples : CMS



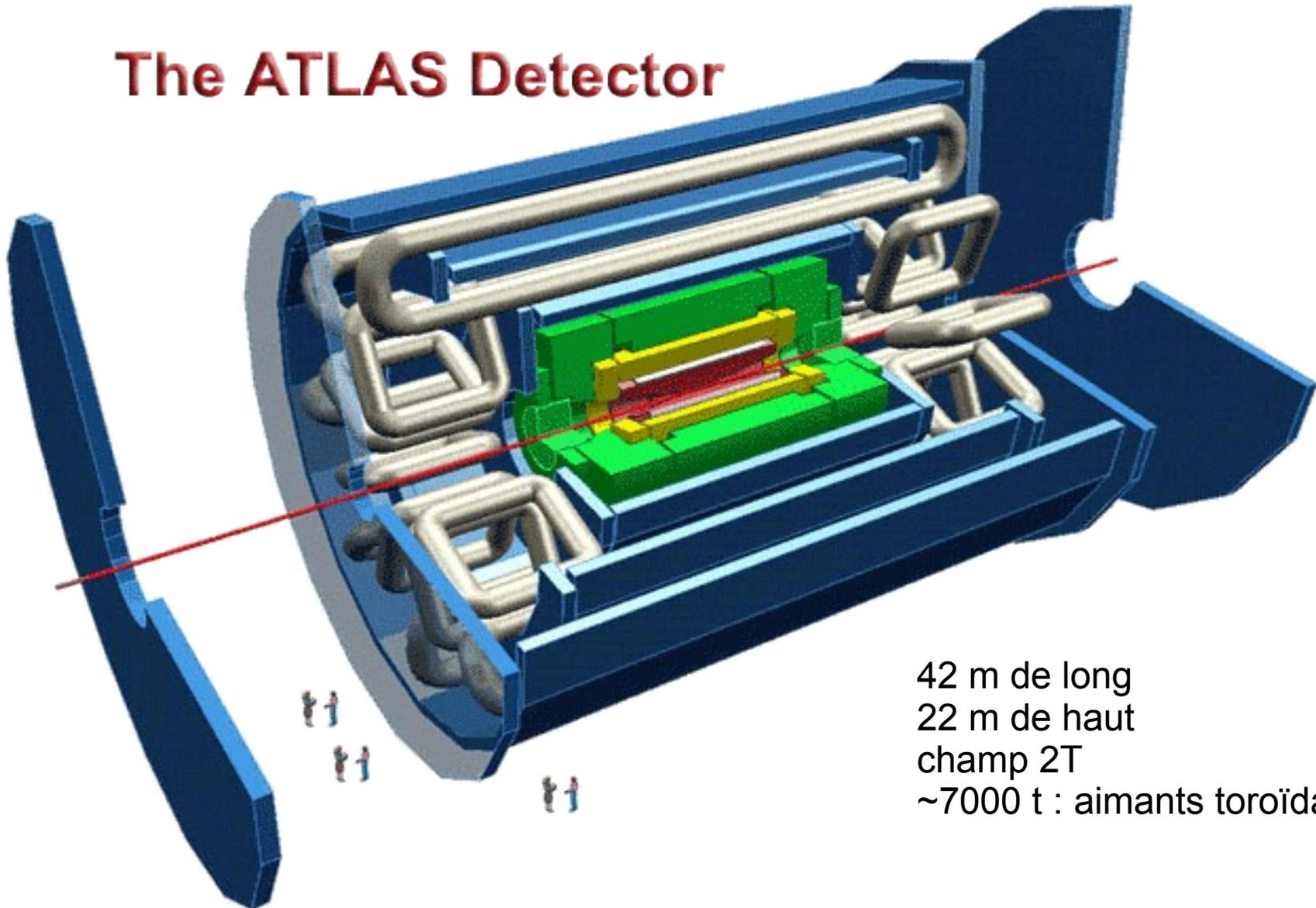
12500 tonnes  
12m de long  
6m de diamètre  
champ 4 T  
très compact

<http://cmsinfo.cern.ch/>



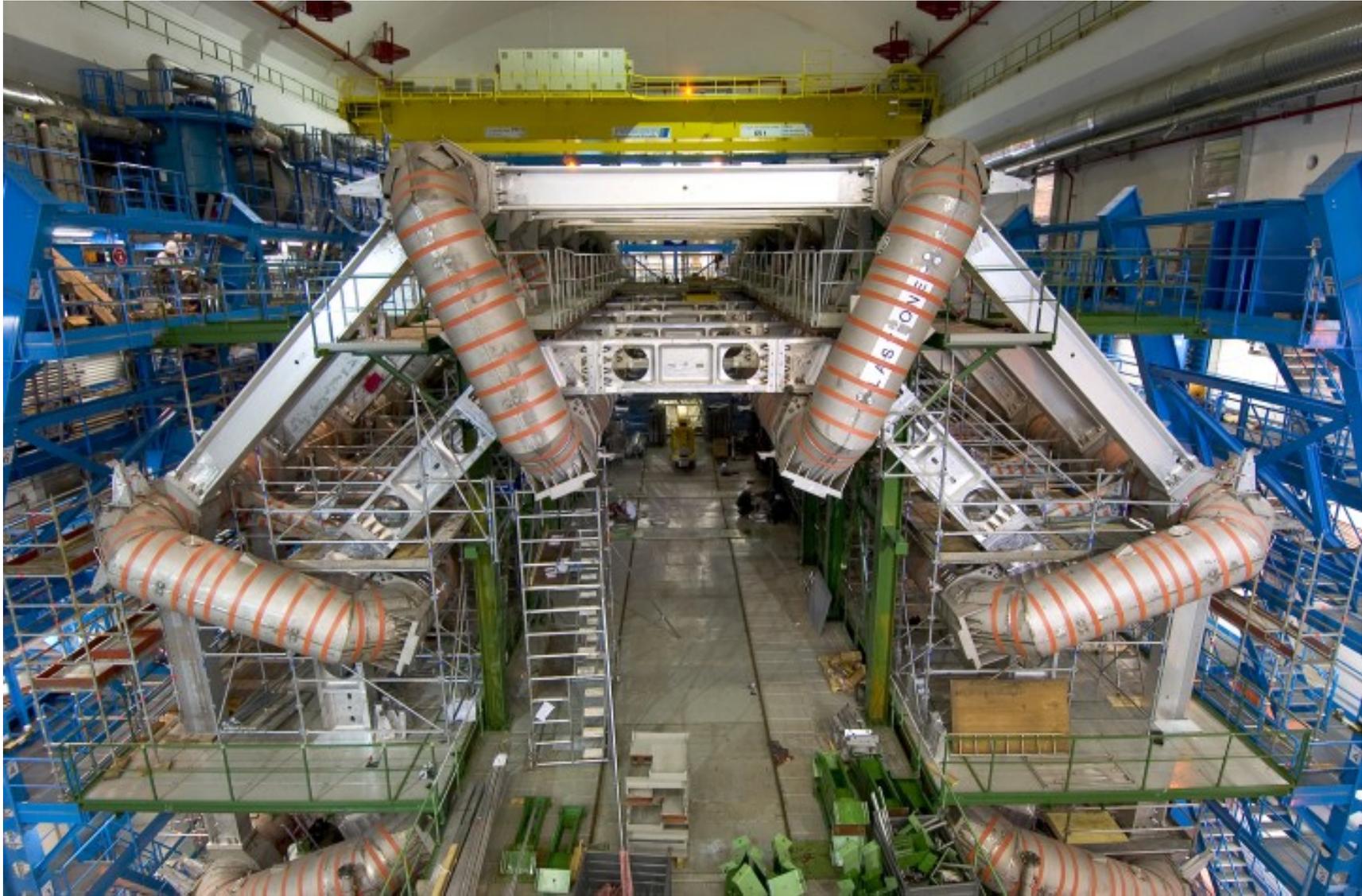
# Exemples : ATLAS

## The ATLAS Detector



42 m de long  
22 m de haut  
champ 2T  
~7000 t : aimants toroïdaux

# ATLAS



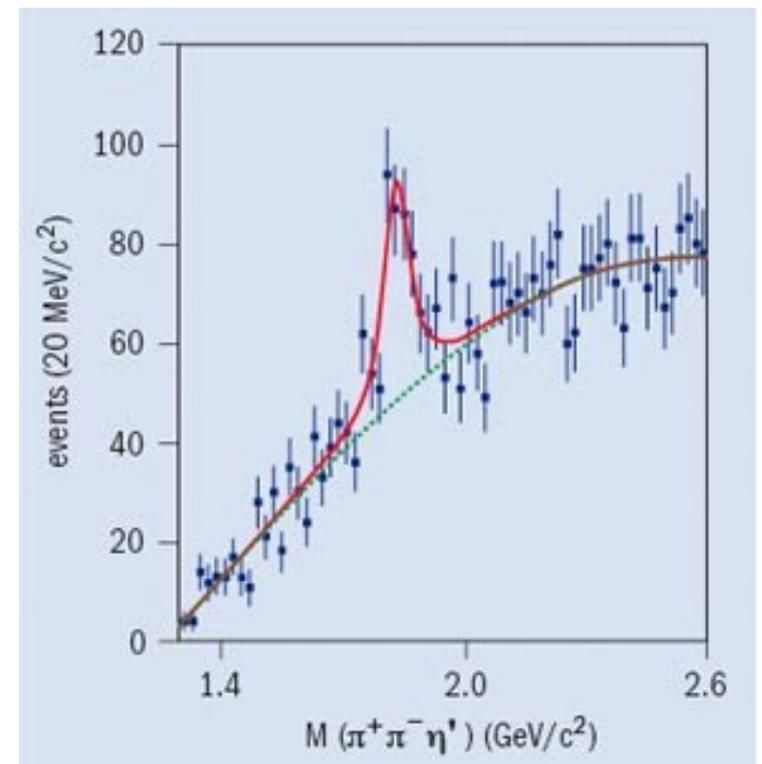
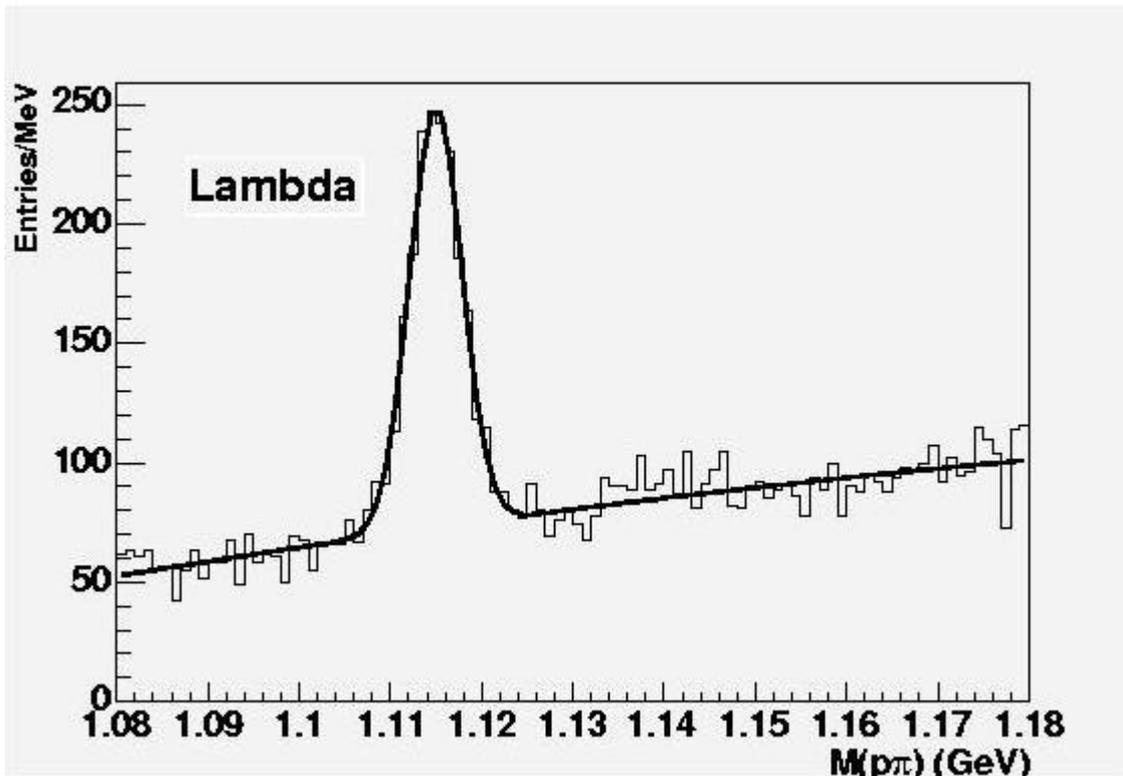
21 Janvier 2006

~~ Xavier Rouby ~~

15

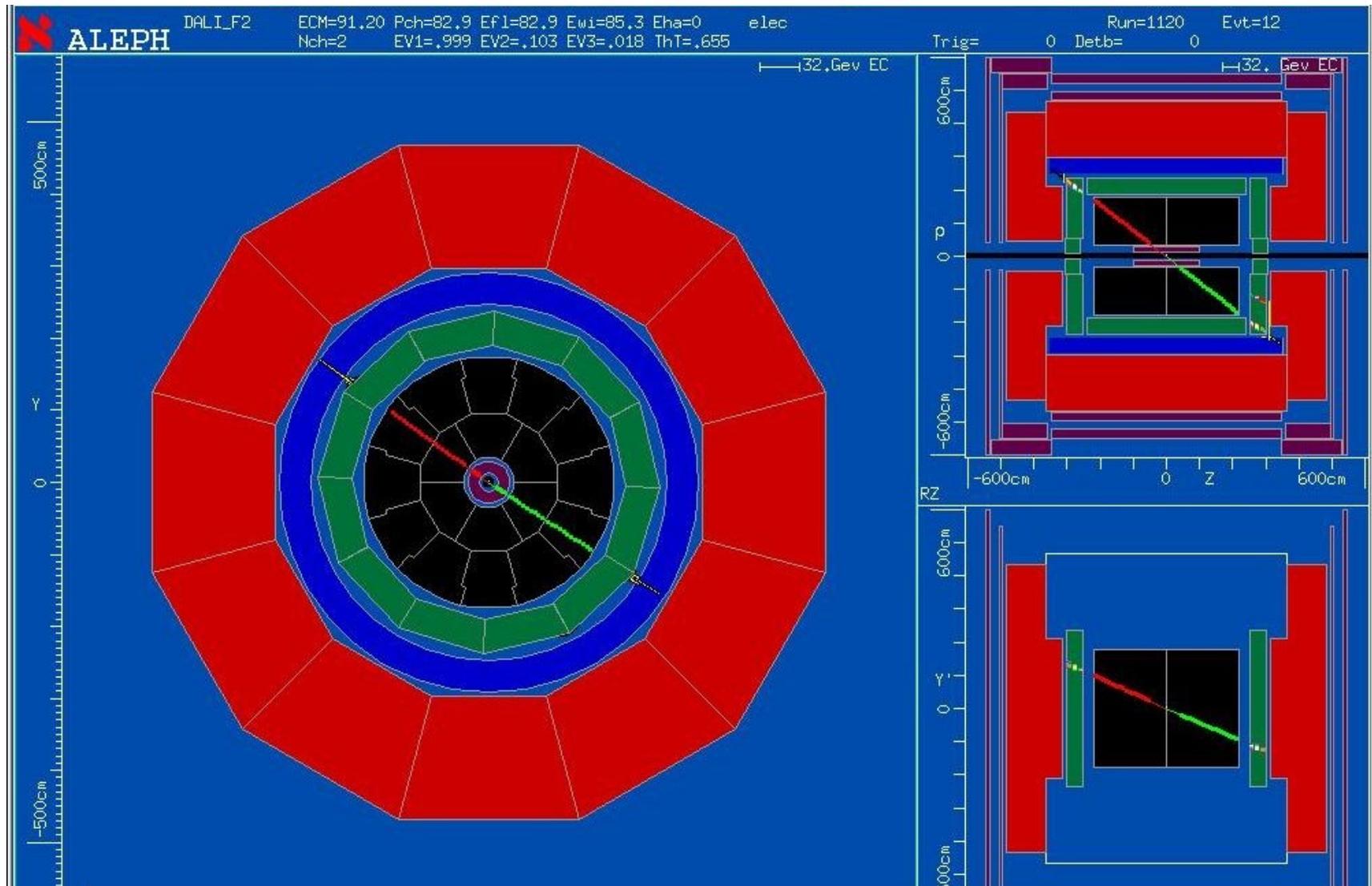
# Identification des particules

- **Particules visibles** : on sait comment faire
- Particules éphémères



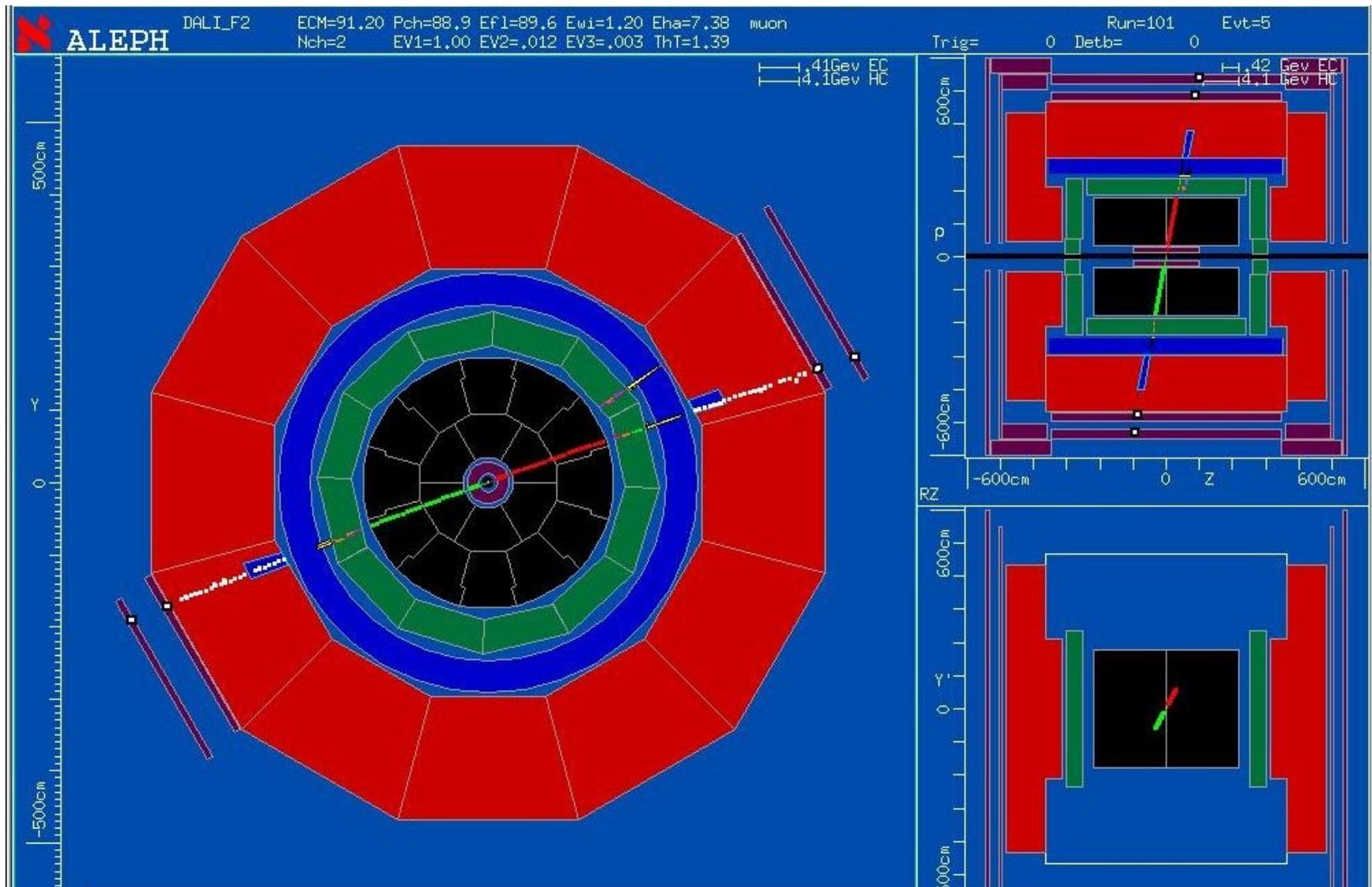
# Identification des particules

Particules visibles :



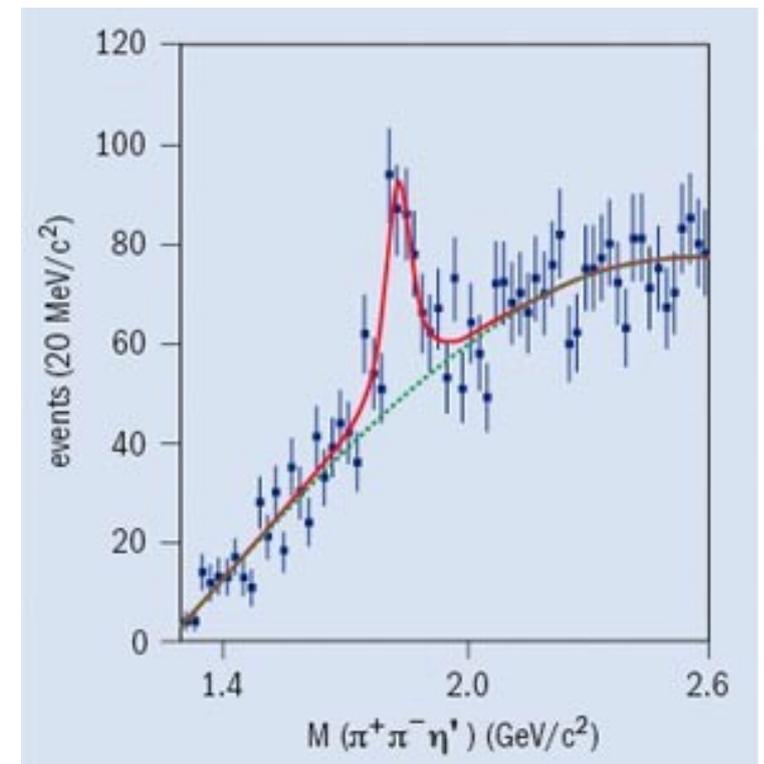
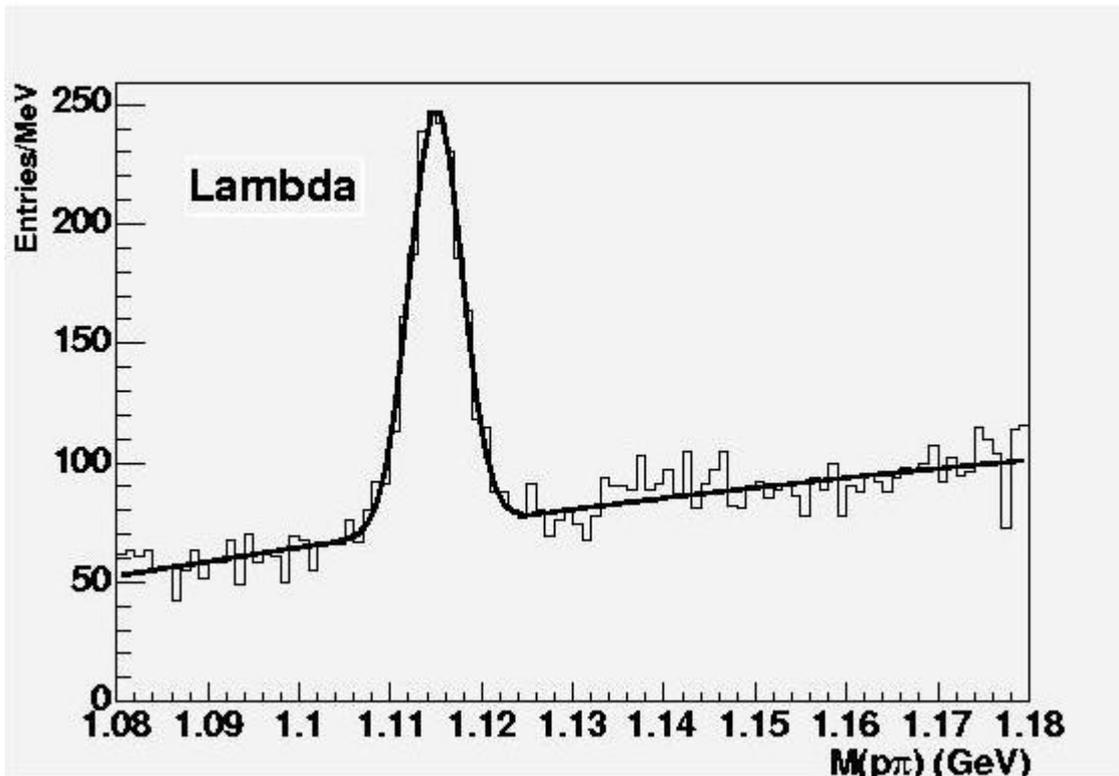
# Identification des particules

Particules visibles :

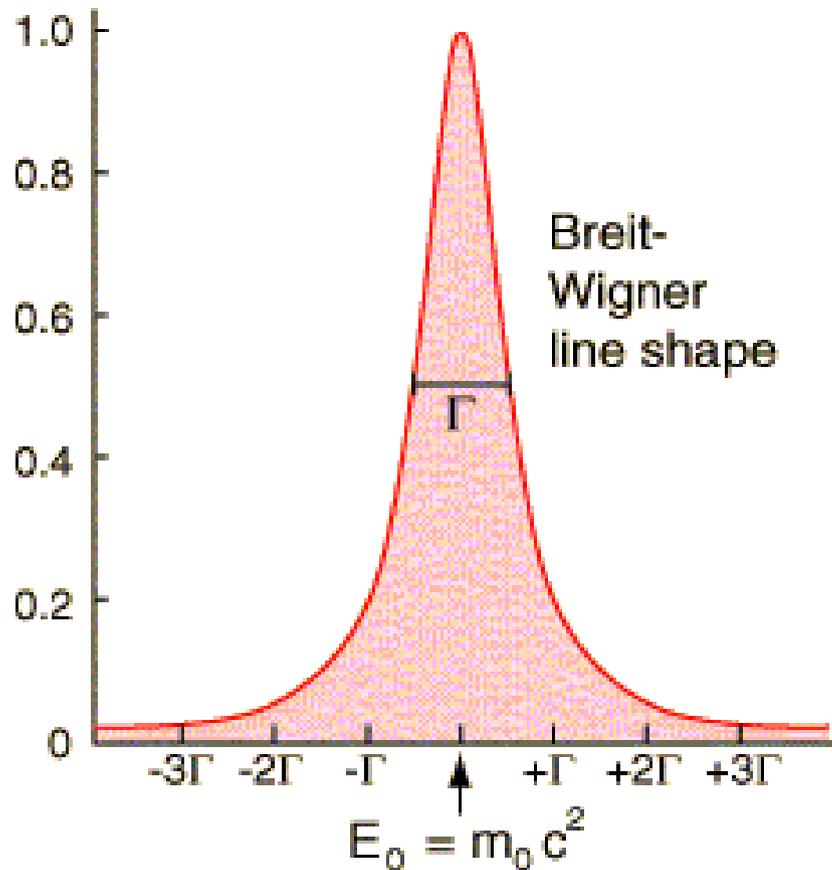


# Identification des particules

- Particules visibles : ok !
- **Particules éphémères** : à la recherche des résonances !  
besoin de statistiques : expérience de comptage...



# Largeur d'une particule



En **mécanique quantique**, la théorie nous dit que l'**on ne peut pas** mesurer l'énergie et le temps de vie avec une précision infinie :

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

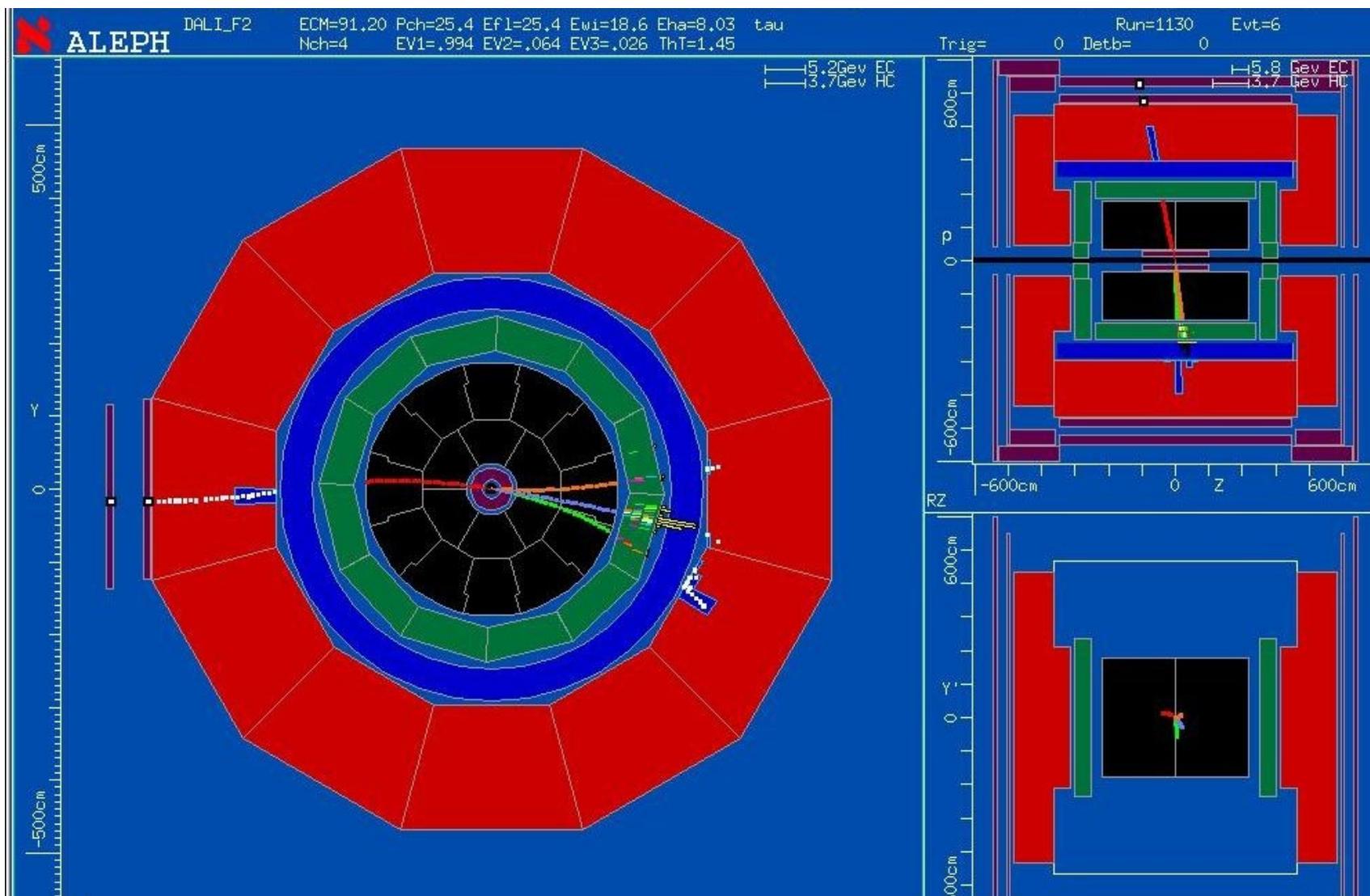
Si on mesure la masse d'une particule, on aura une courbe, et pas un pic infiniment étroit. La courbe est caractérisée par:

- sa **valeur moyenne**
- sa **largeur**

Plus une particule peut se désintégrer en un grand nombre de choses, plus son temps de vie est court, et plus sa largeur est grande.

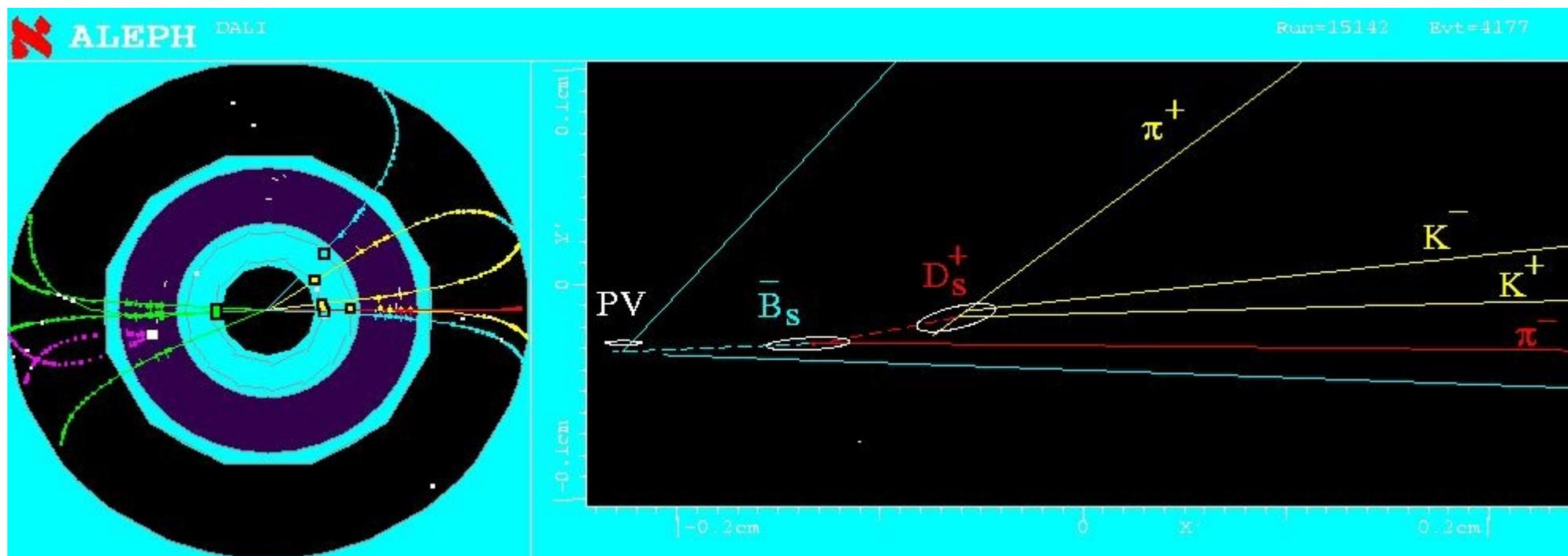
# Identification des particules

Particules invisibles :

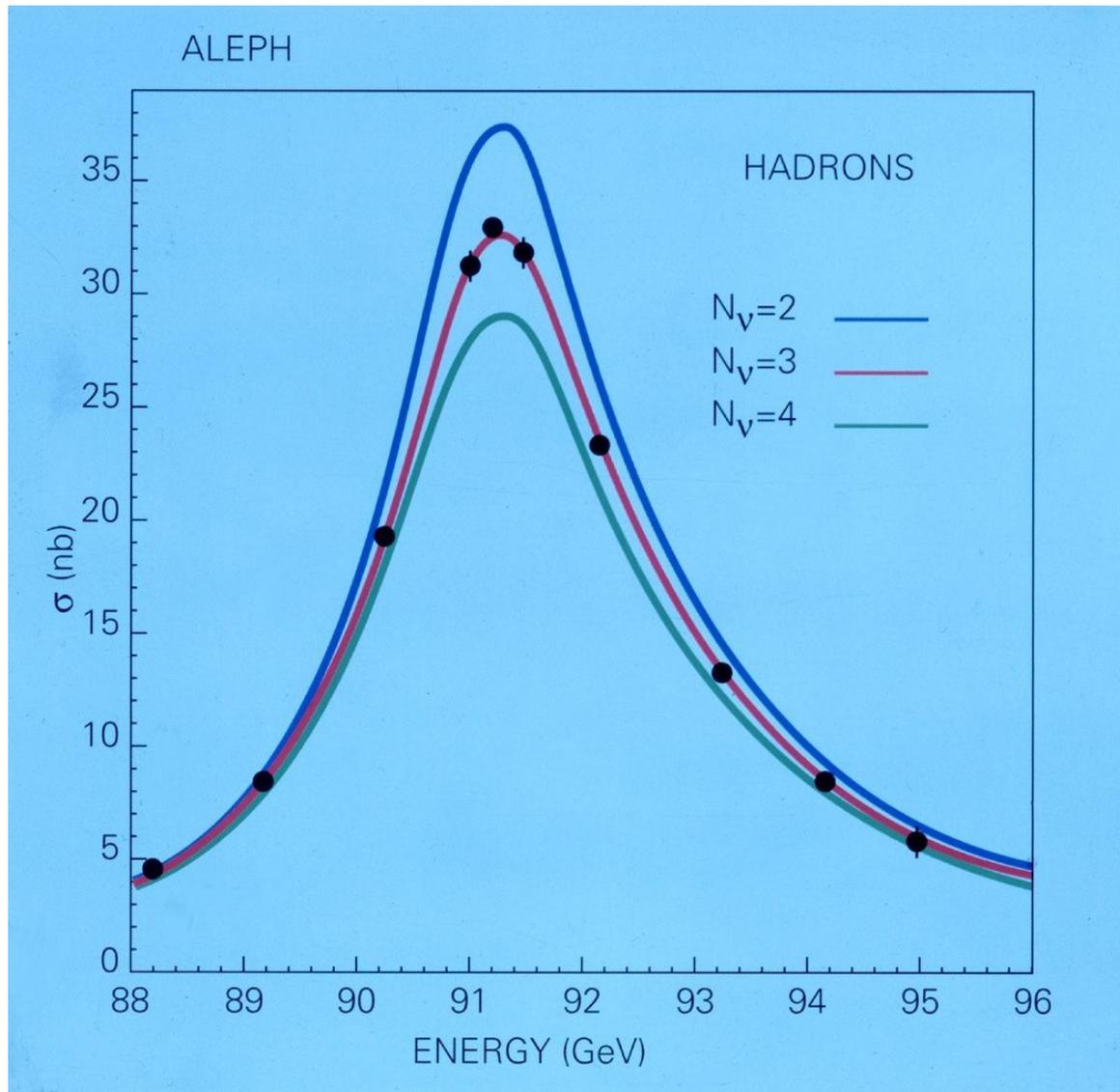


# Identifications des particules

Particules invisibles :



# Largeur du Z



$$M_Z = 91.18 \text{ GeV}$$

$$\Gamma_Z = 2.50 \text{ GeV}$$

la largeur d'une particule correspond au nombre de possibilités pour se désintégrer

Elle correspond directement au temps de vie !

Mesure la largeur du boson Z  
=  
Observation indirecte du nombre de familles de neutrinos !

# Déclenchement en ligne

Expériences de comptage  
 Grand nombres -> Statistiques  
 -> Sélection de l'échantillon

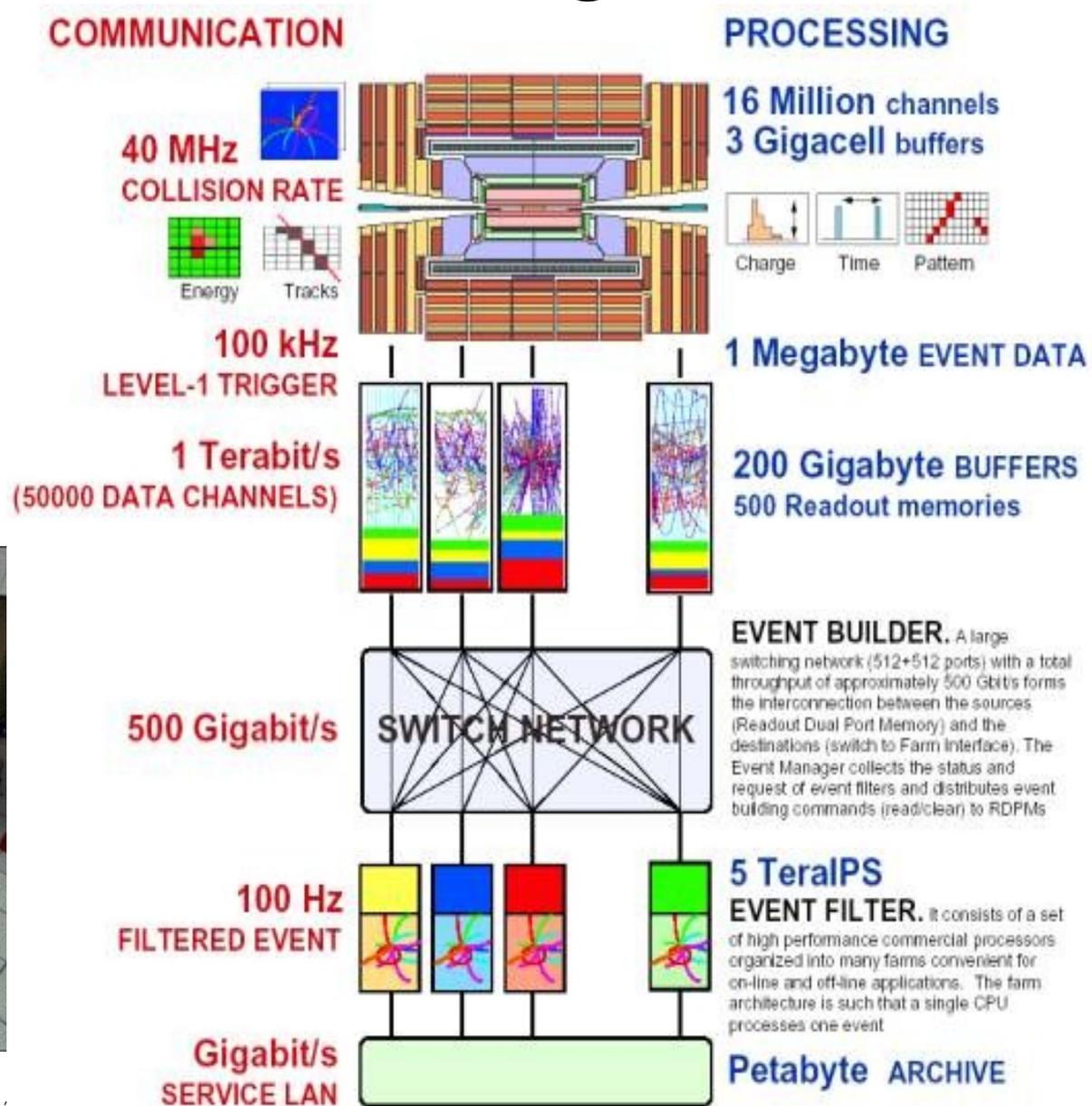
LHC : 40 MHz

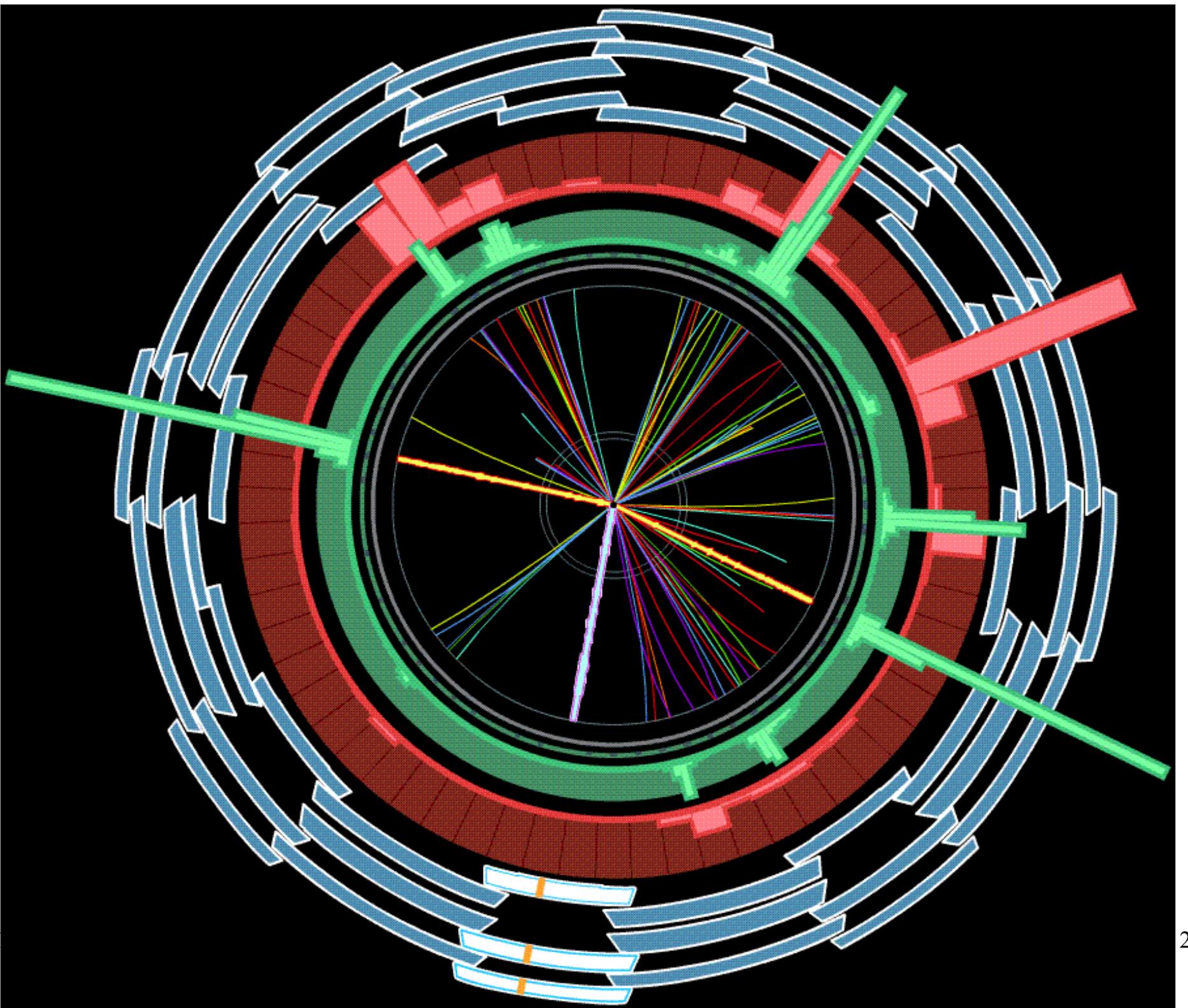
Sélection en ligne : 2 niveaux

- L1 : Réduction à 100 kHz
- HLT : Réduction à 100 Hz



21 Janvier 2006

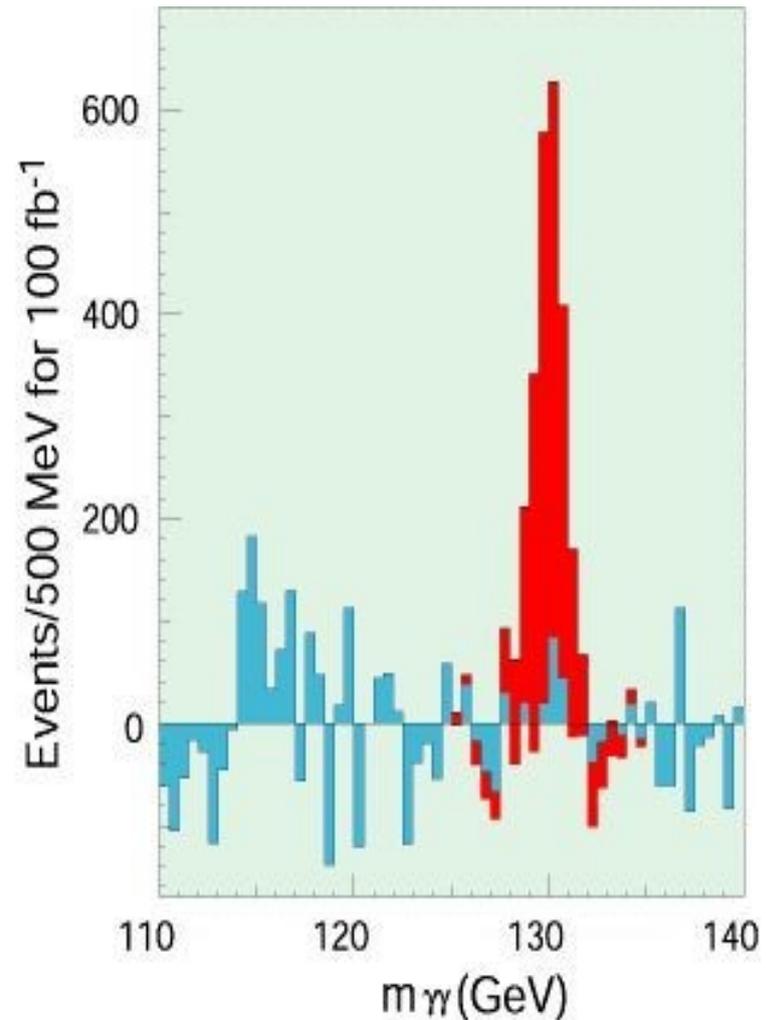
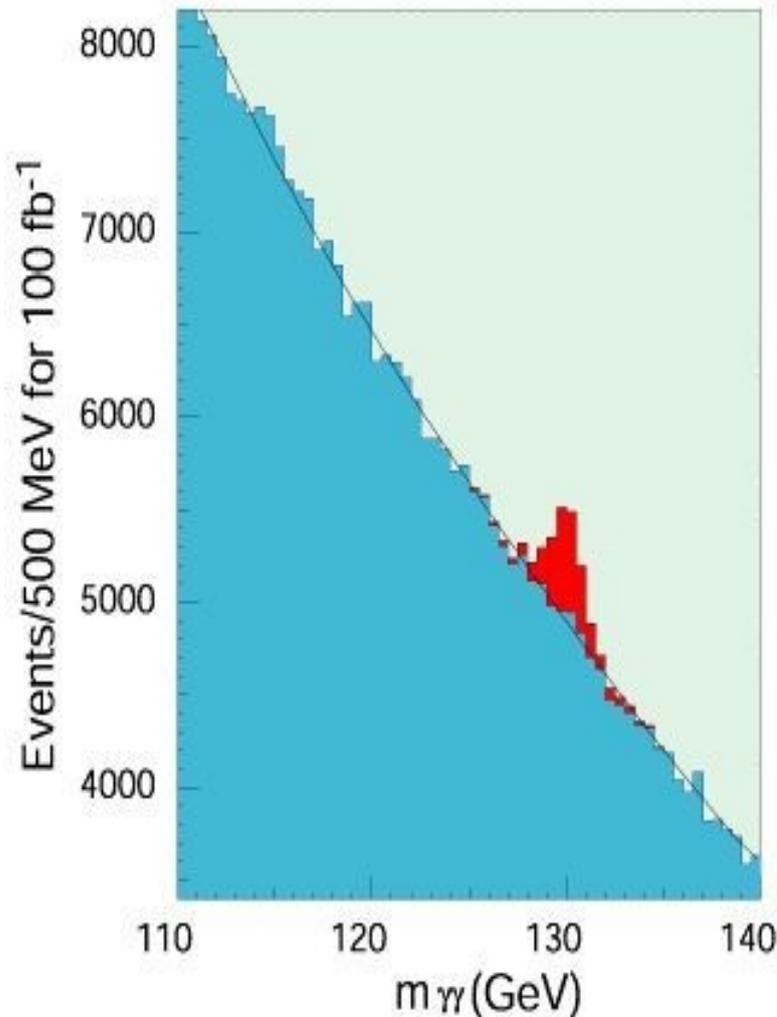




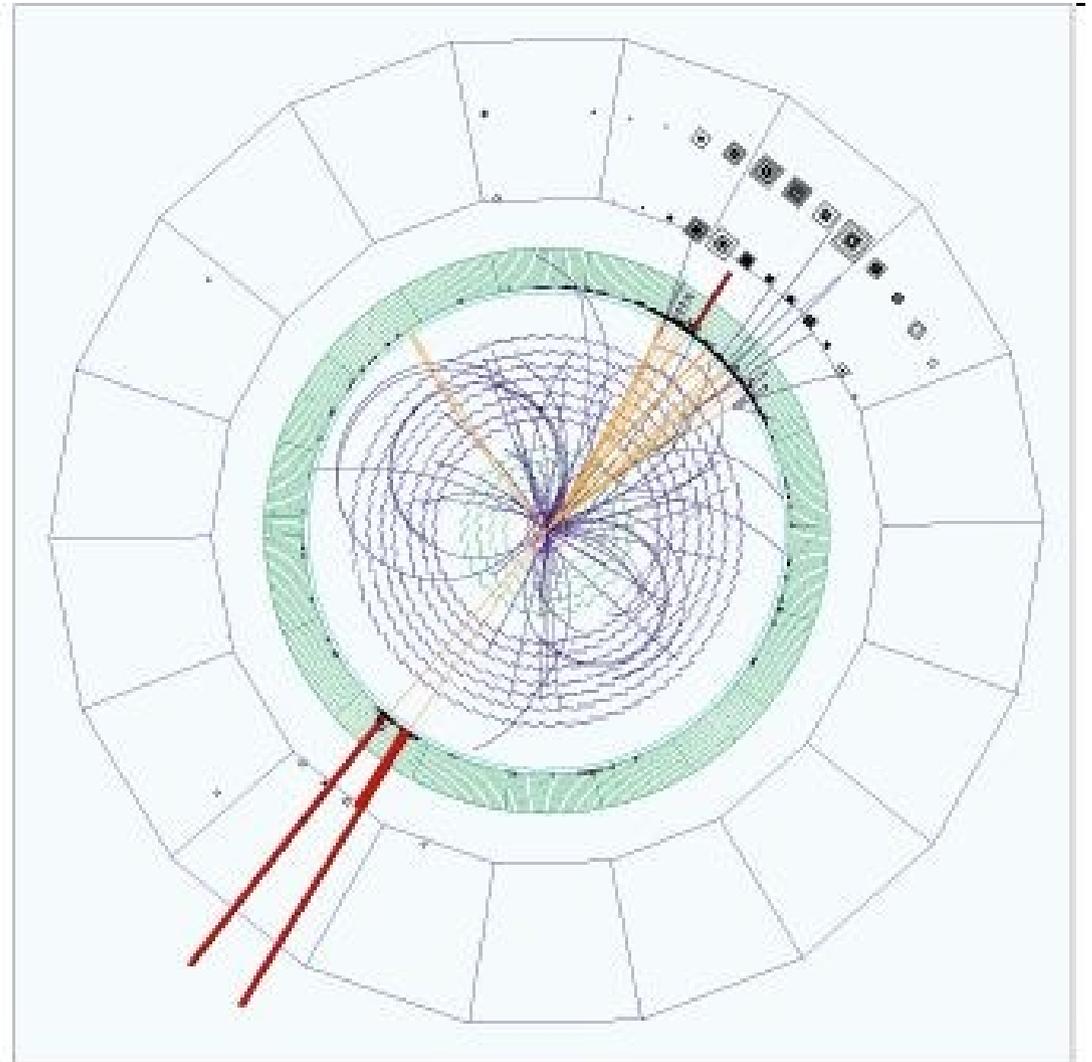
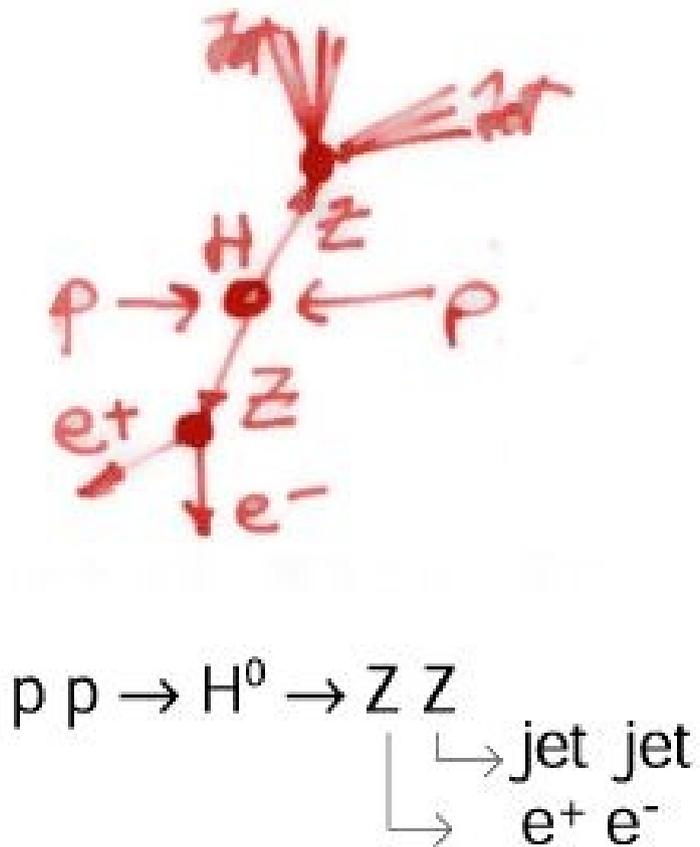
# Boson de Brout-Englert-Higgs

Expérience de comptage !!!  
Signal sur bruit : très très faible...

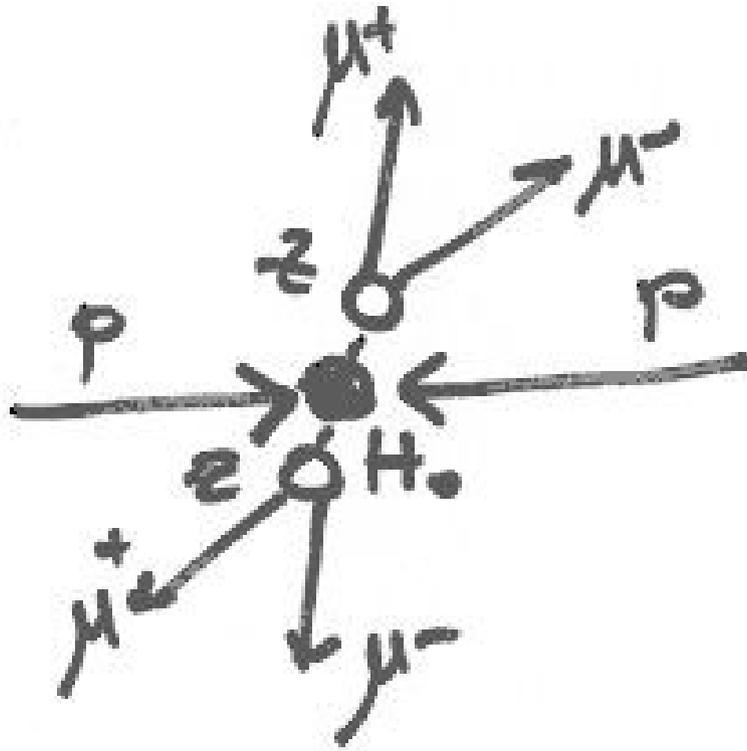
*Chercher un microgramme d'aiguille  
dans 10 tonnes de foin*



# Boson de Brout-Englert-Higgs



# Boson de Brout-Englert-Higgs



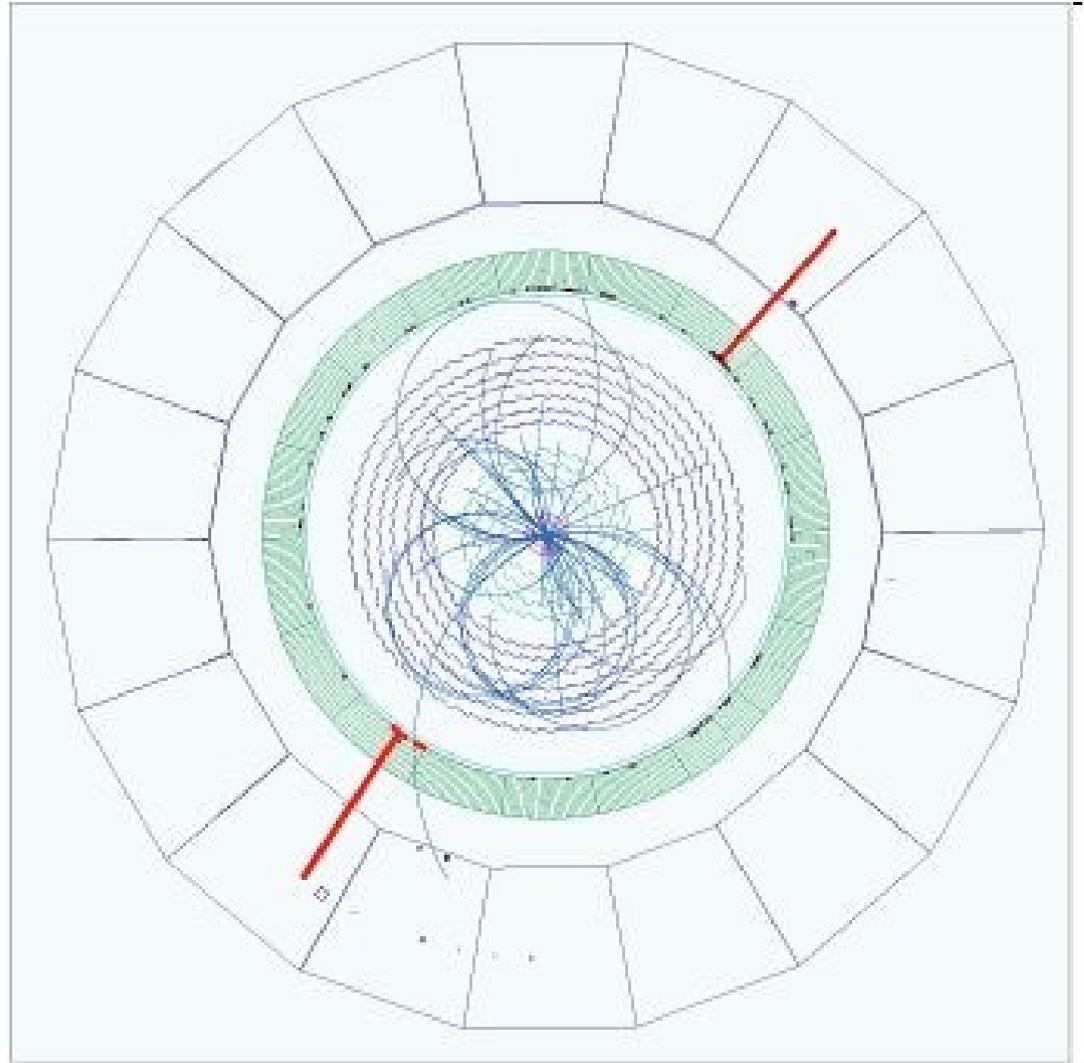
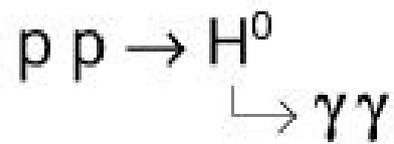
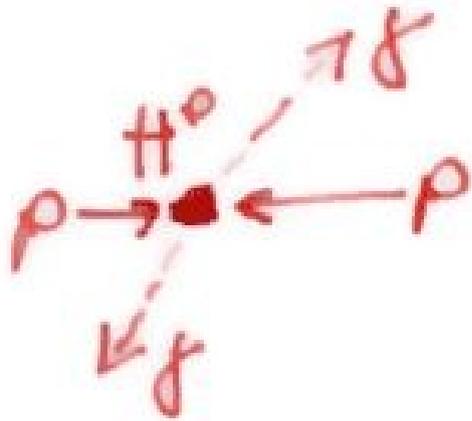
$$p p \rightarrow H^0 \rightarrow Z Z$$

└─→ μ<sup>+</sup> μ<sup>-</sup>

└─→ μ<sup>+</sup> μ<sup>-</sup>



# Boson de Brout-Englert-Higgs



# Conclusions

Physique expérimentale des particules élémentaires :

Particules *ponctuelles* <-> monde macroscopique

Accélérateurs gigantesques (longueur, énergie, installation, ...)

Détecteurs complexes (technologies de pointe,...)

Puissance de calcul exceptionnelle (à la pointe et au-delà ! )

...

Enormément de sujets divers à étudier, à créer !

**!!! VRAIMENT PASSIONNANTE !!!**

# Et Dieu dans tout ça ?

A. Einstein :

*Dieu ne joue pas aux dés !*



X. Rouby :

*Heureusement, parce qu'avec le LHC, il ne ferait plus que ça !*