

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 :

LEP = 10^{-7} Pa

LHC = 10^{-10} Pa

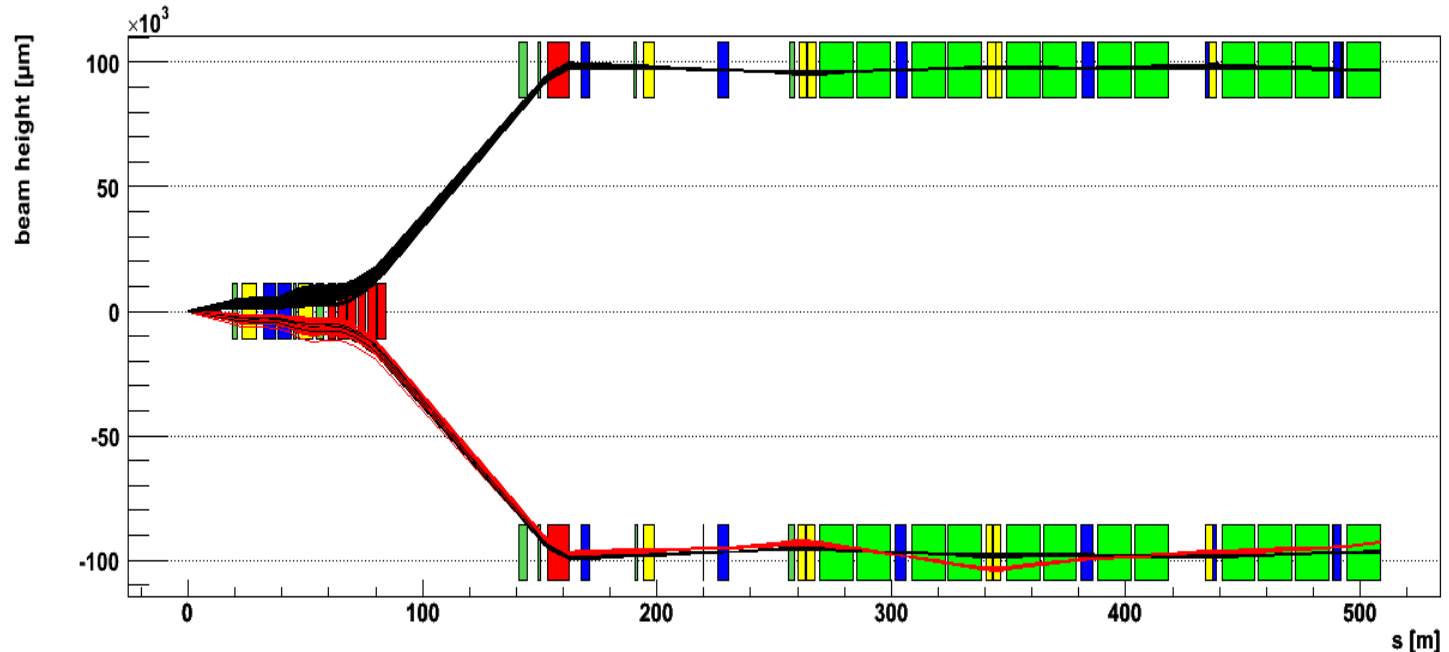
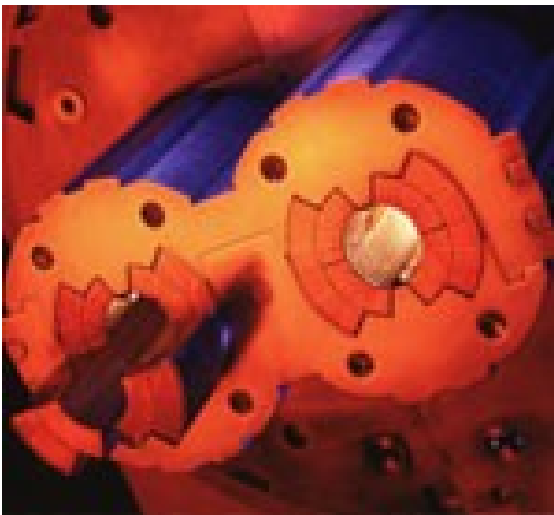
car gaz résiduel \rightarrow interactions ! \rightarrow temps de vie limité

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

Passé : pas trouvé...

Futur : ILC ?

3) Faisceaux du LHC : 2 tubes distincts !



21 Janvier 2006

~~ 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

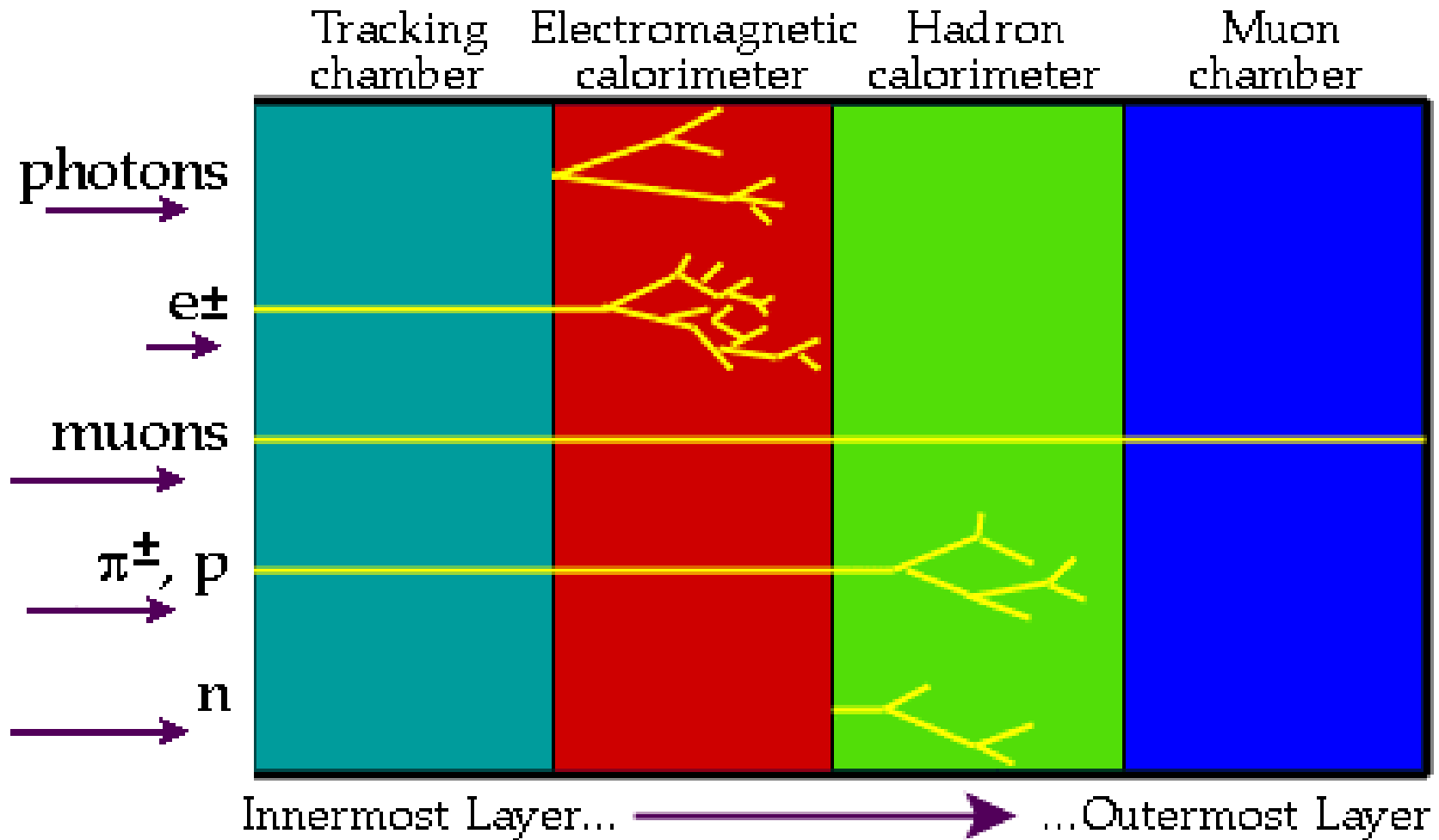
En pratique, on a 3 couches de détecteurs distincts :

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

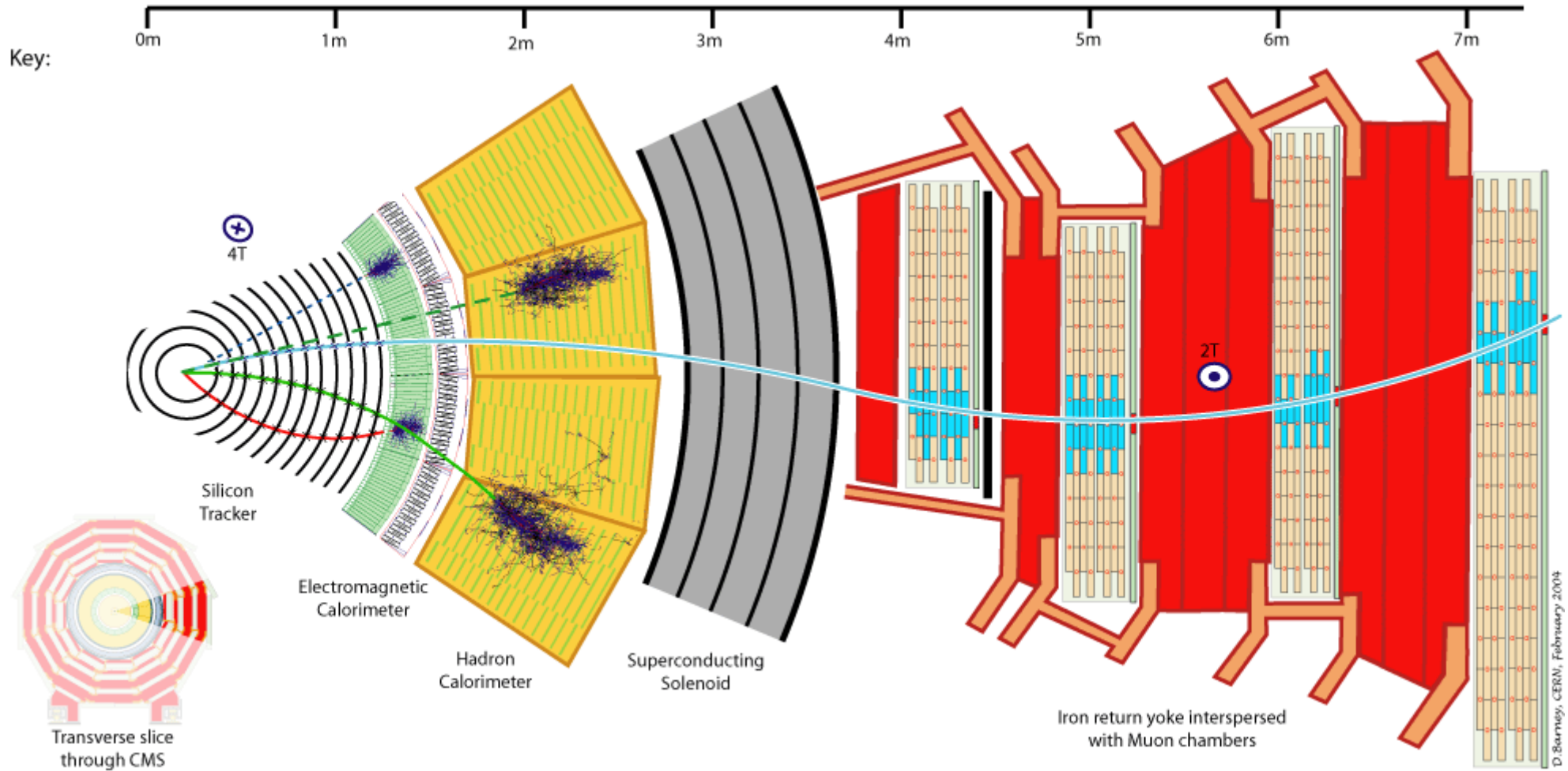
Identification de la particule selon les couches du détecteur dans lesquelles elle se manifeste !

Identification des particules

Particules visibles :

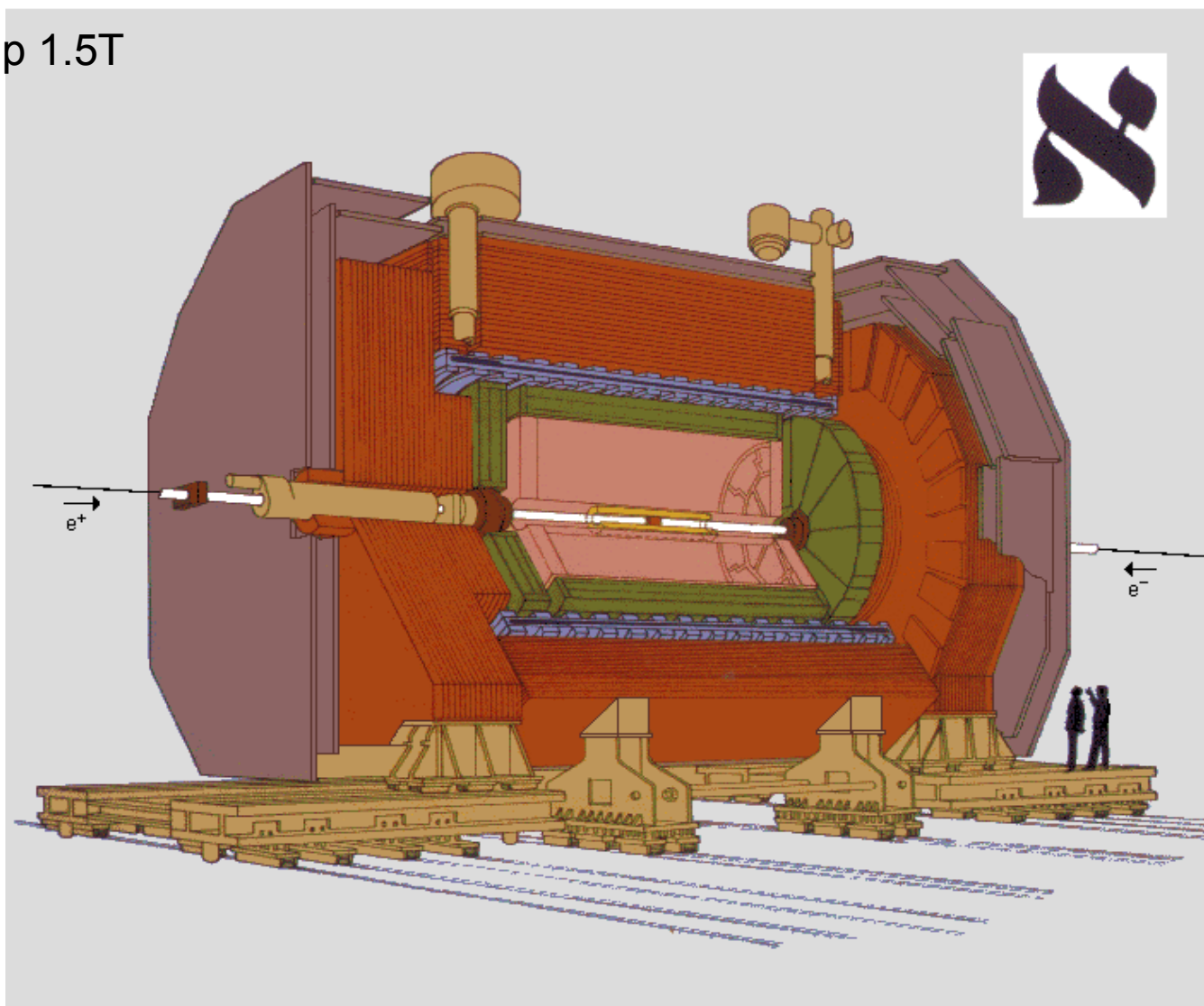


Identification des particules



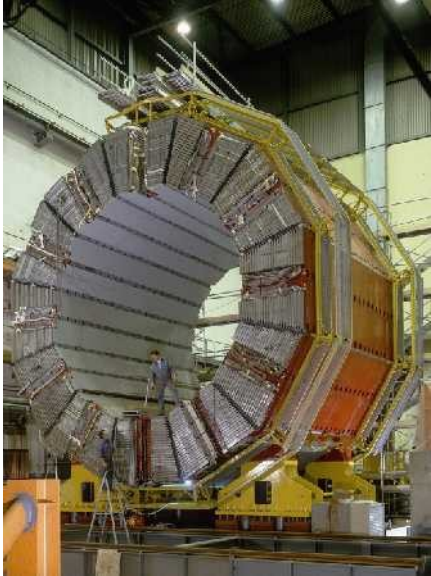
Exemples : ALEPH

Champ 1.5T



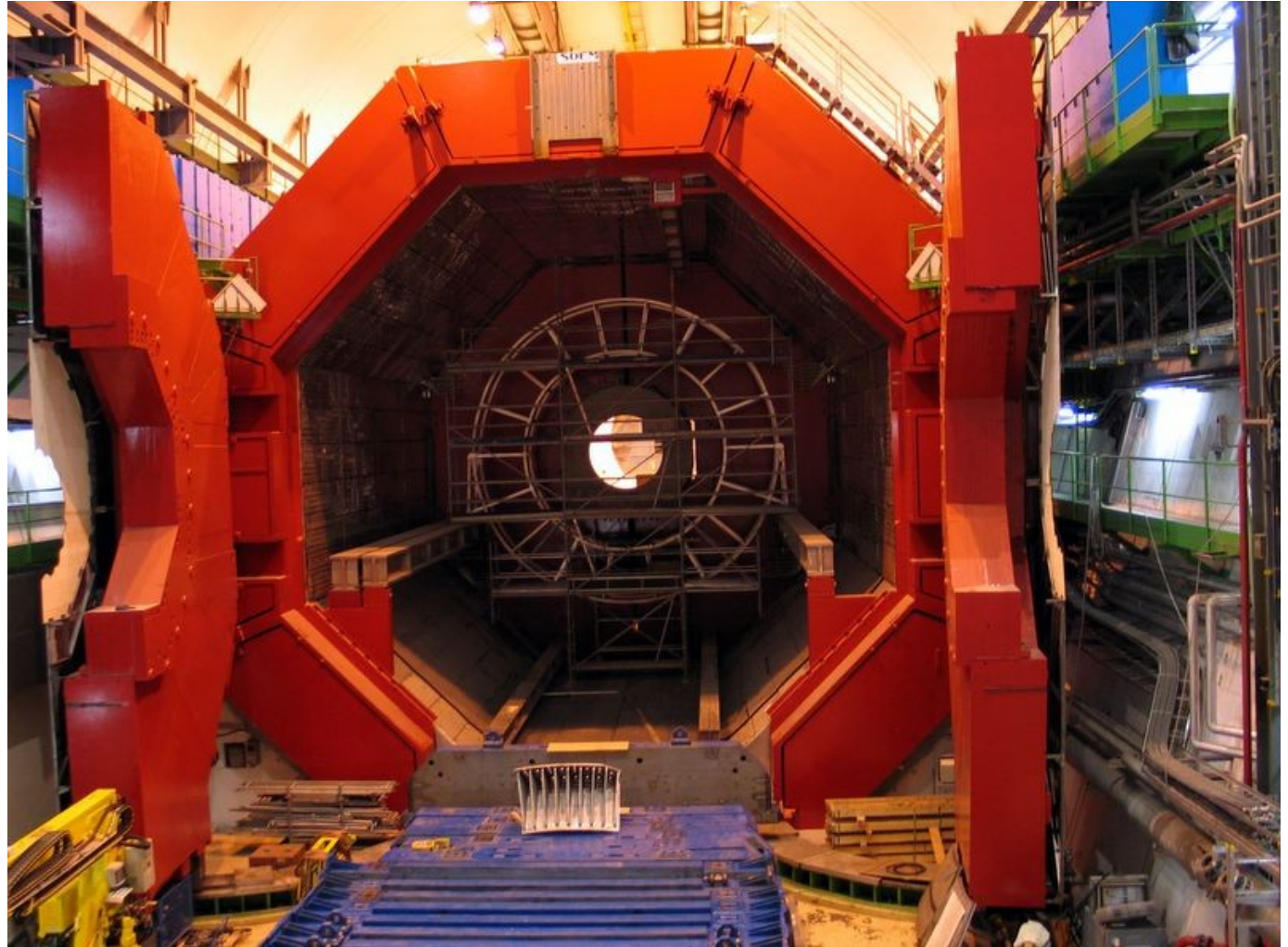
- Vertex Detector
- Inner Tracking Chamber
- Time Projection Chamber
- Electromagnetic Calorimeter
- Superconducting Magnet Coil
- Hadron Calorimeter
- Muon Chambers
- Luminosity Monitors

ALEPH et OPAL



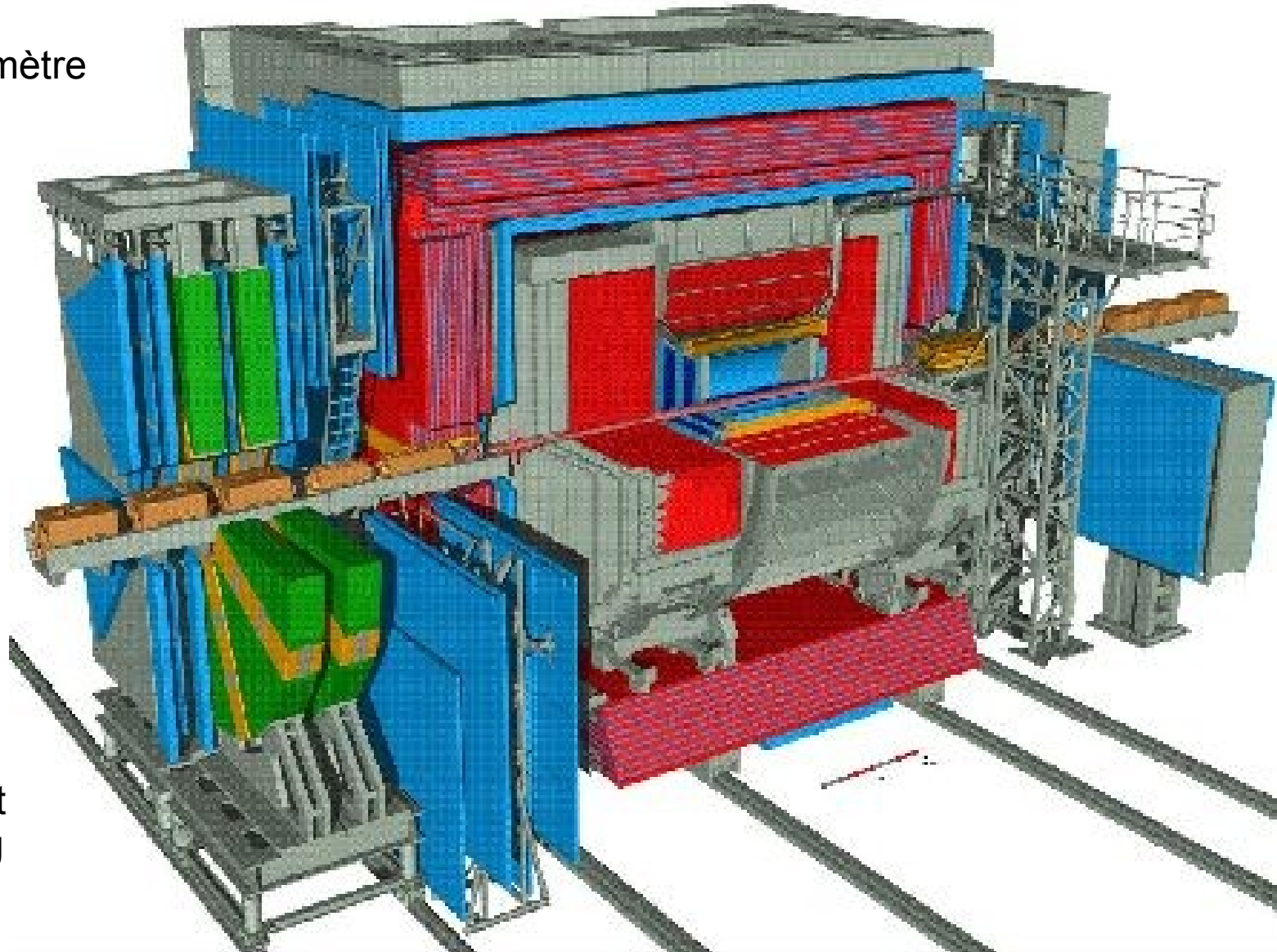
1987

source : CERN



Exemples : ZEUS

Asymétrie !
1 seul calorimètre

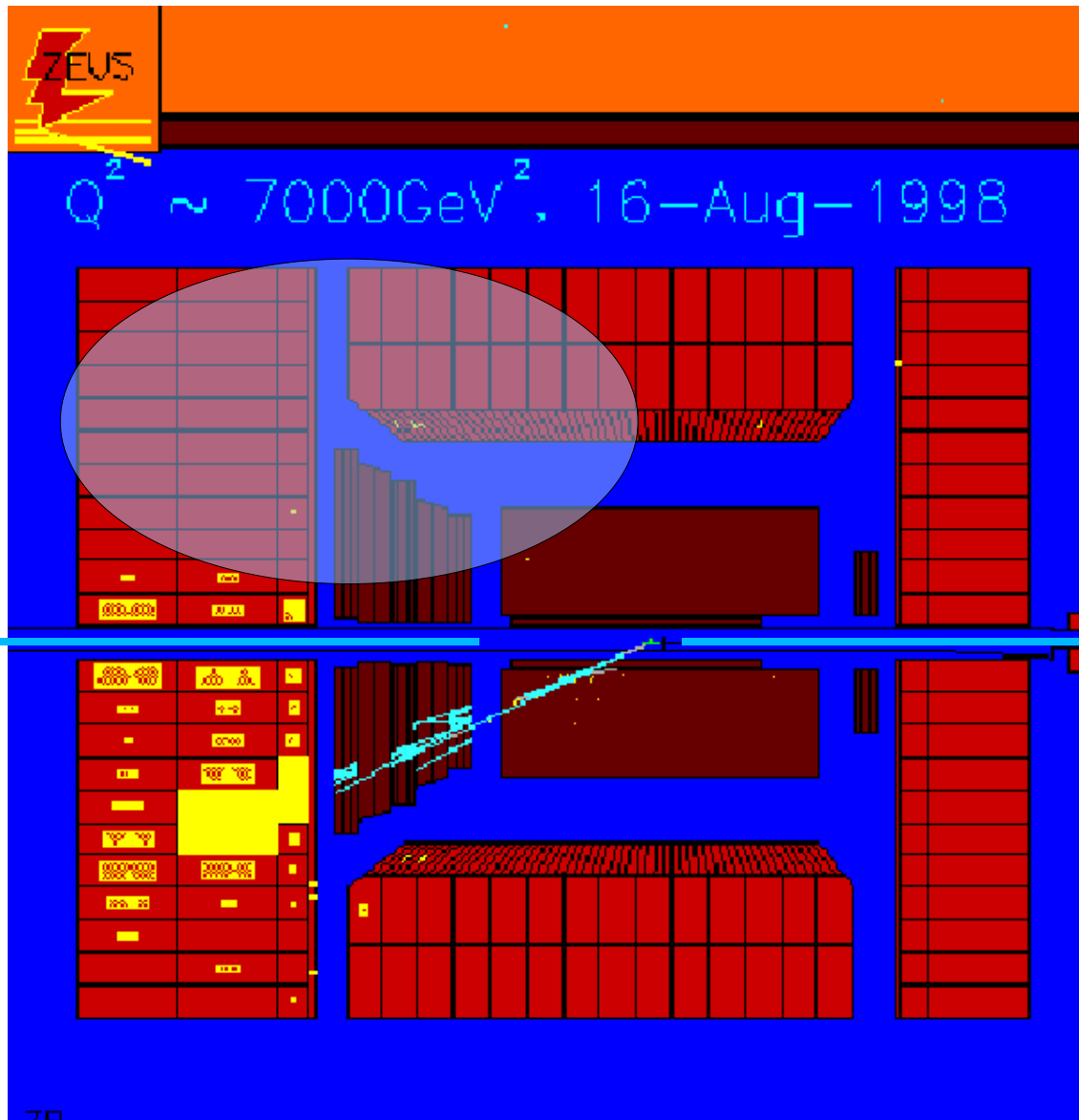


10 m de haut
19 m de long
champ 1.8T
3600 tonnes

21 Janvier 2006

~~ Xavier Rouby ~~

ZEUS

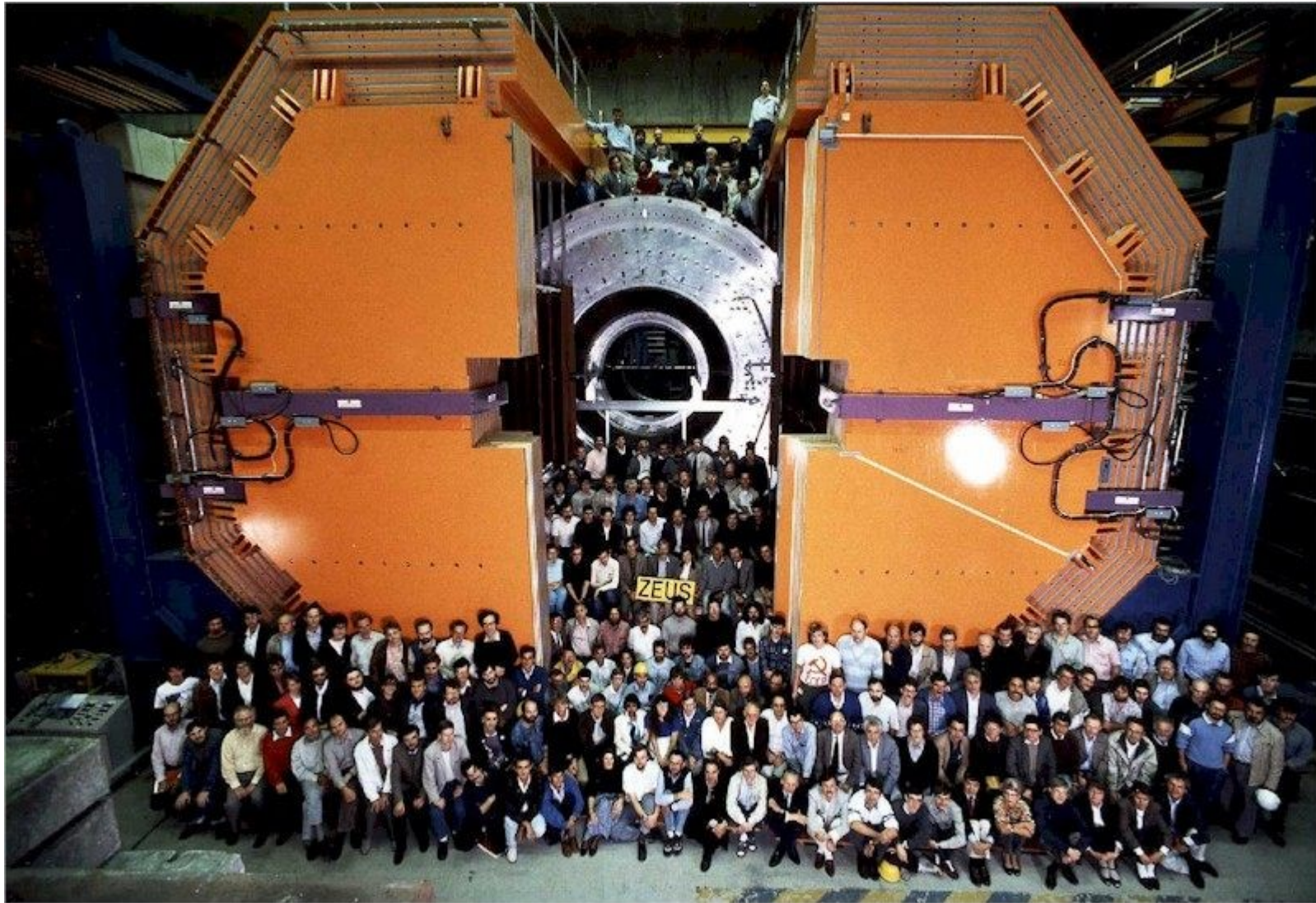


ZEUS : accélérateur HERA
(DESY, Hambourg)

Détecteur asymétrique
collisions e-p

Calorimètre unique

Zeus

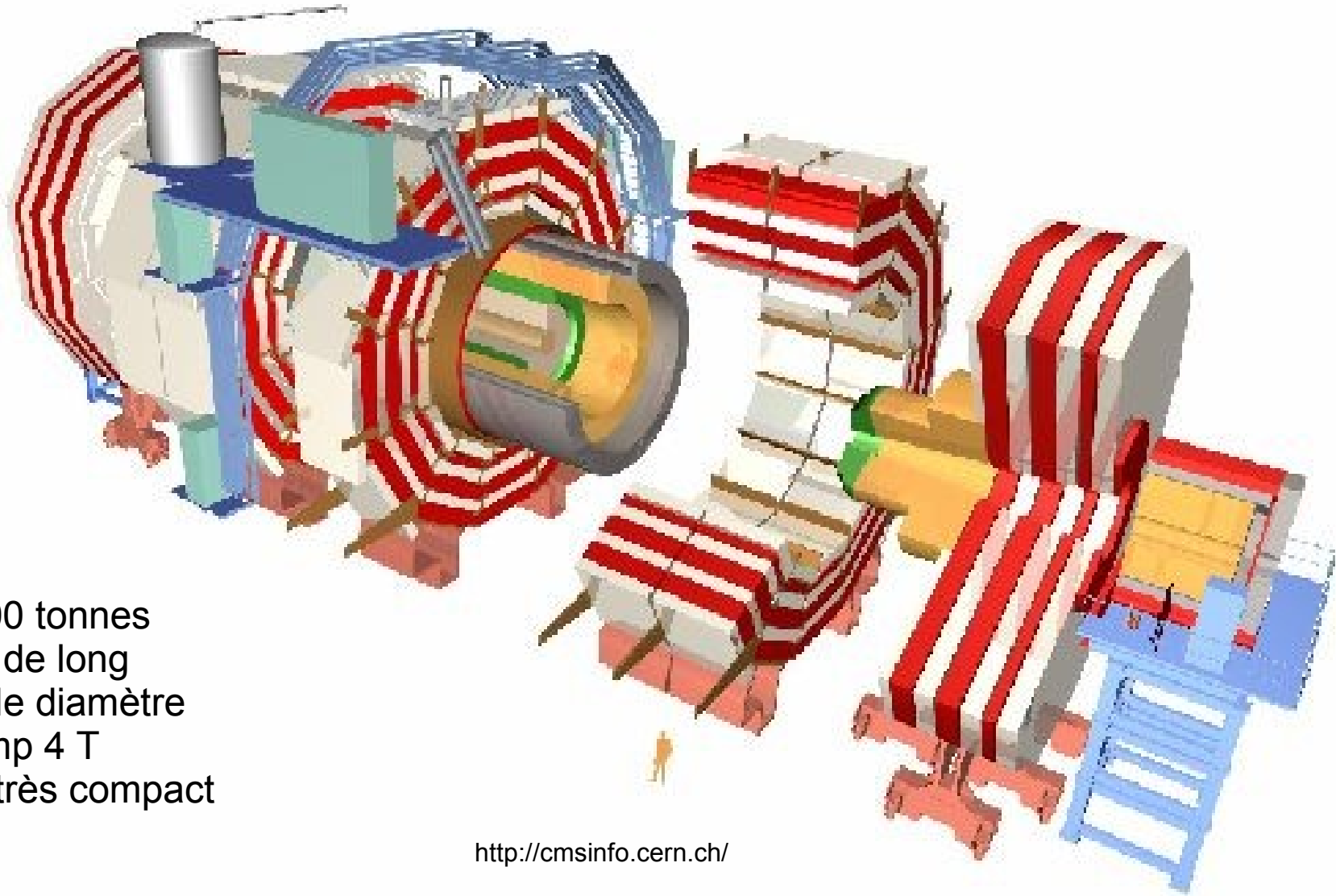


21 Janvier 2006

~~ Xavier Rouby ~~

11

Exemples : CMS



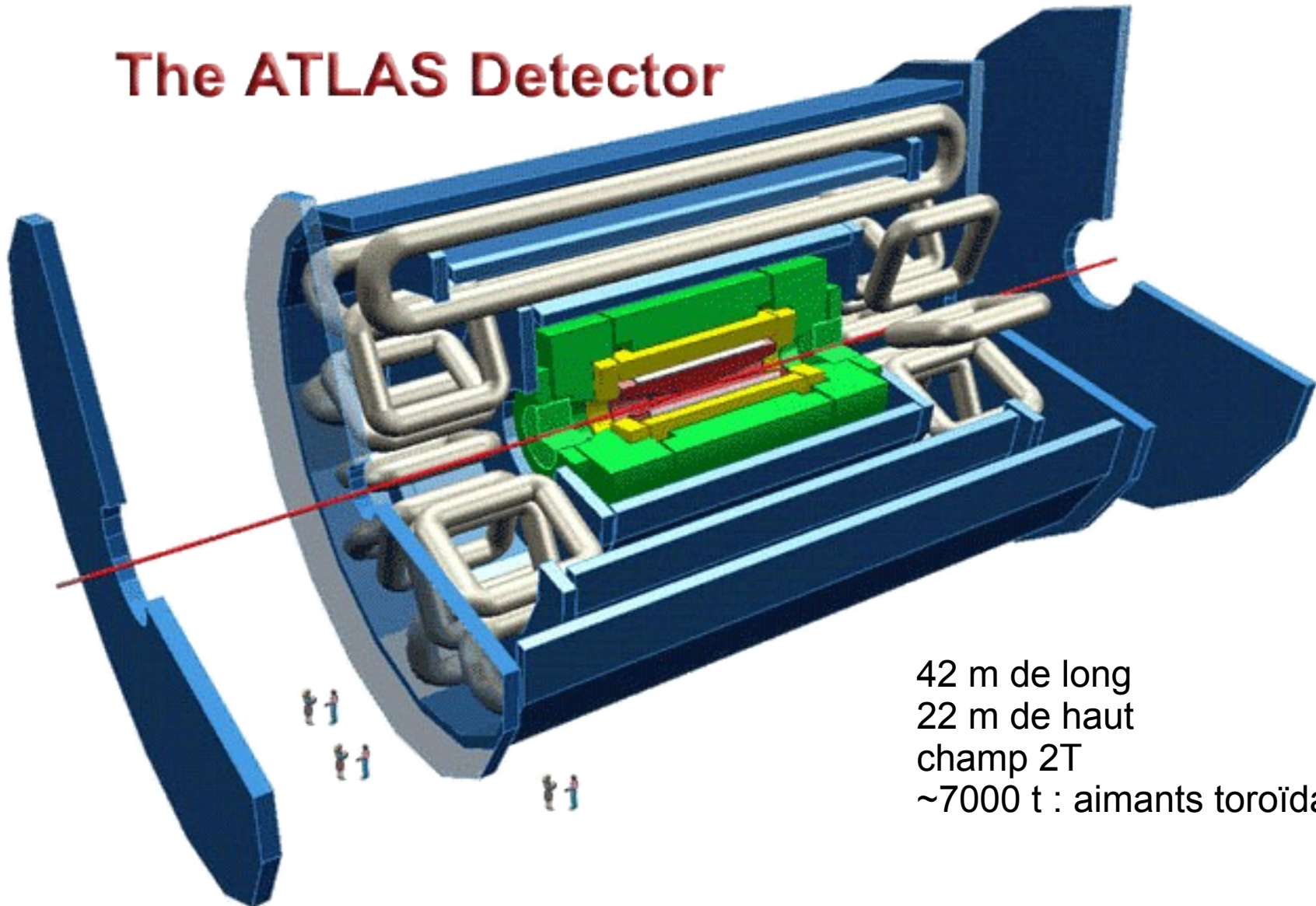
12500 tonnes
12m de long
6m de diamètre
champ 4 T
très compact

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



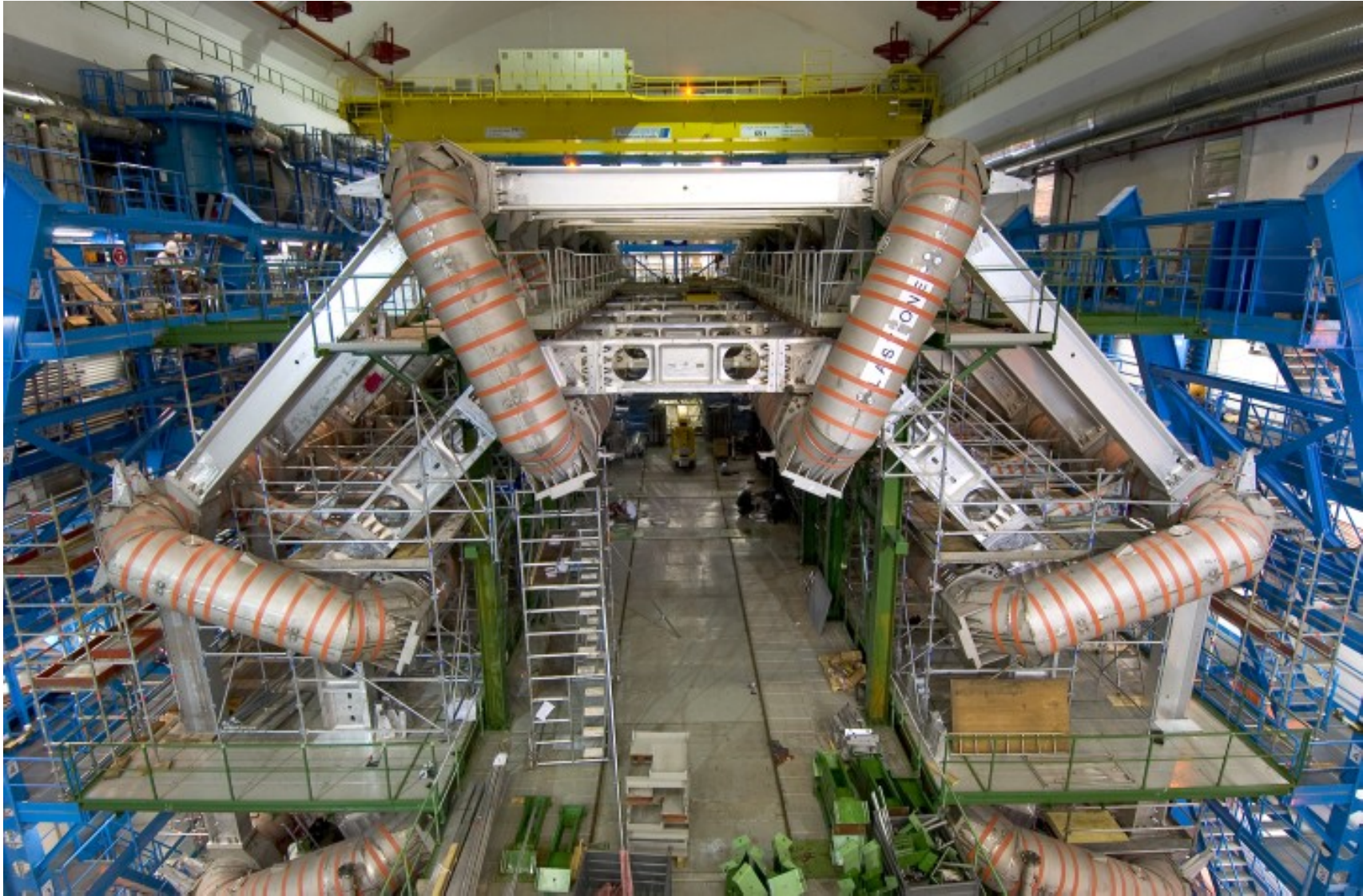
Exemples : ATLAS

The ATLAS Detector



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

ATLAS



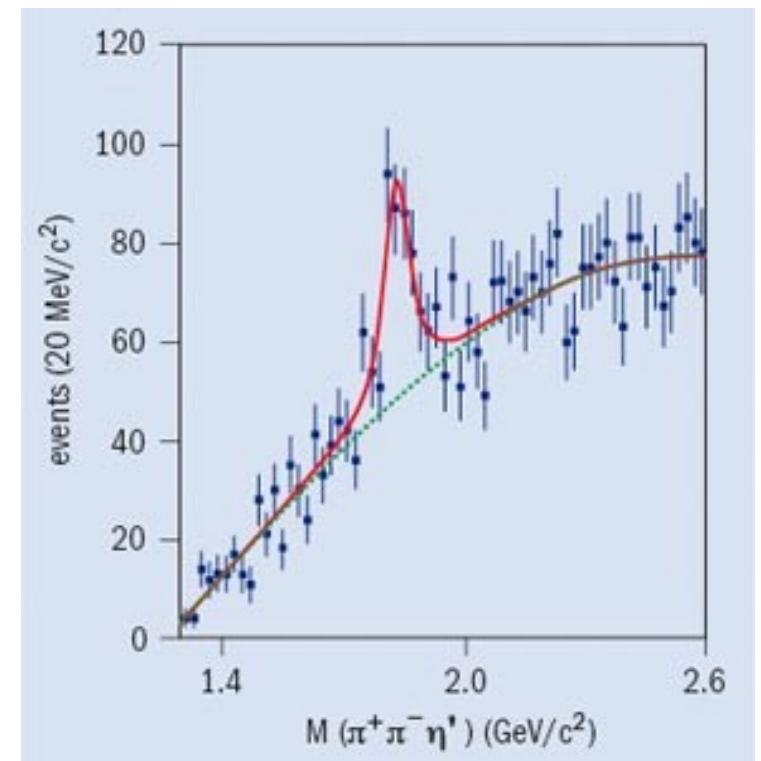
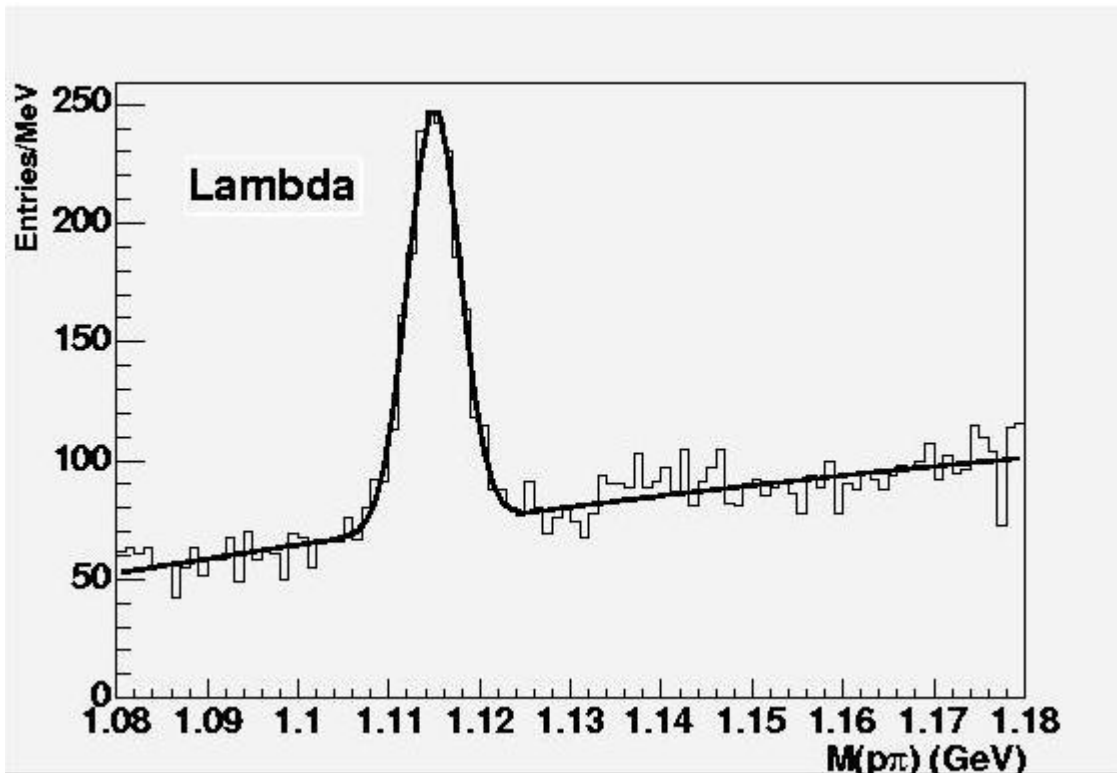
21 Janvier 2006

~~ Xavier Rouby ~~

15

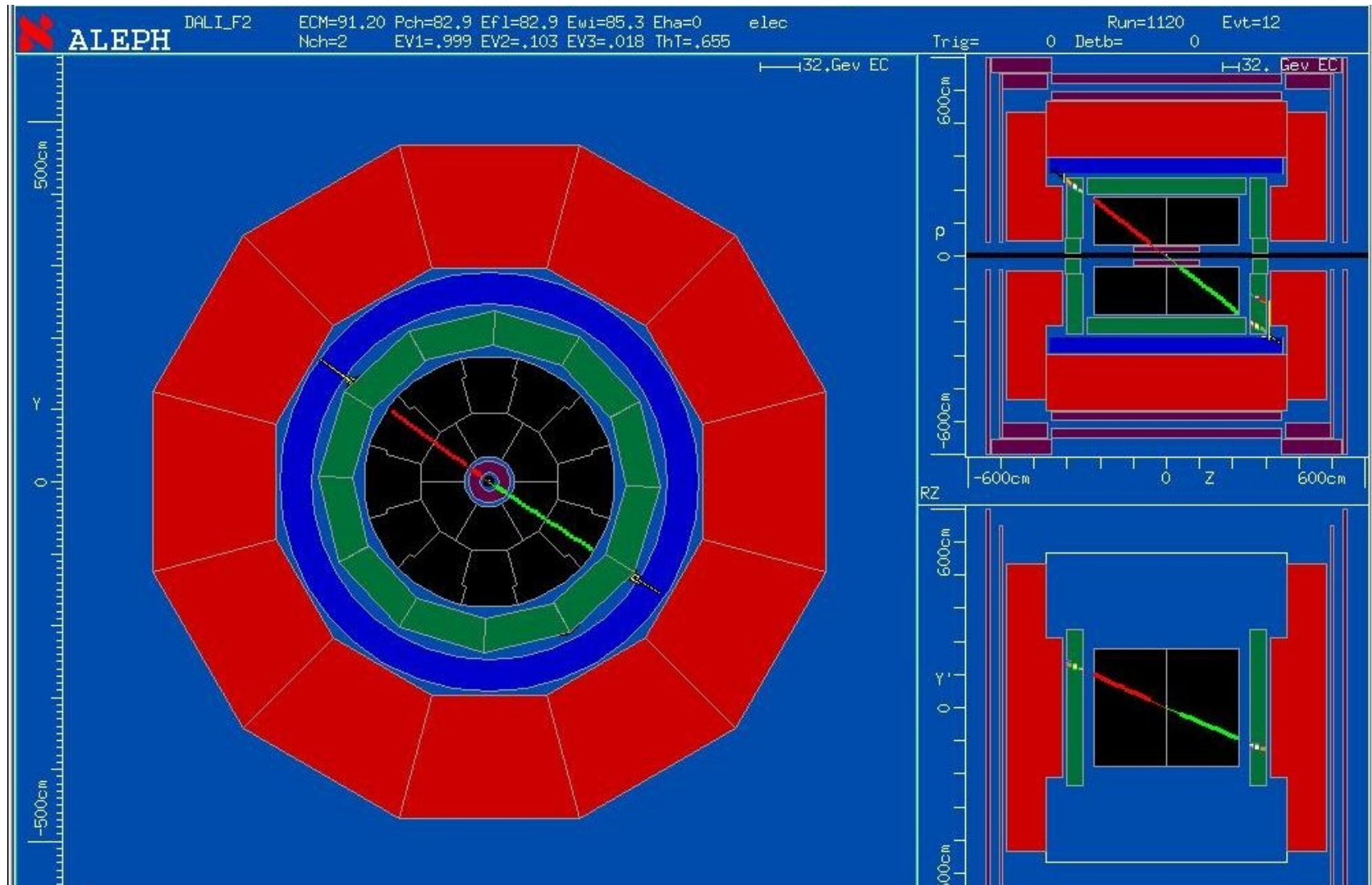
Identification des particules

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



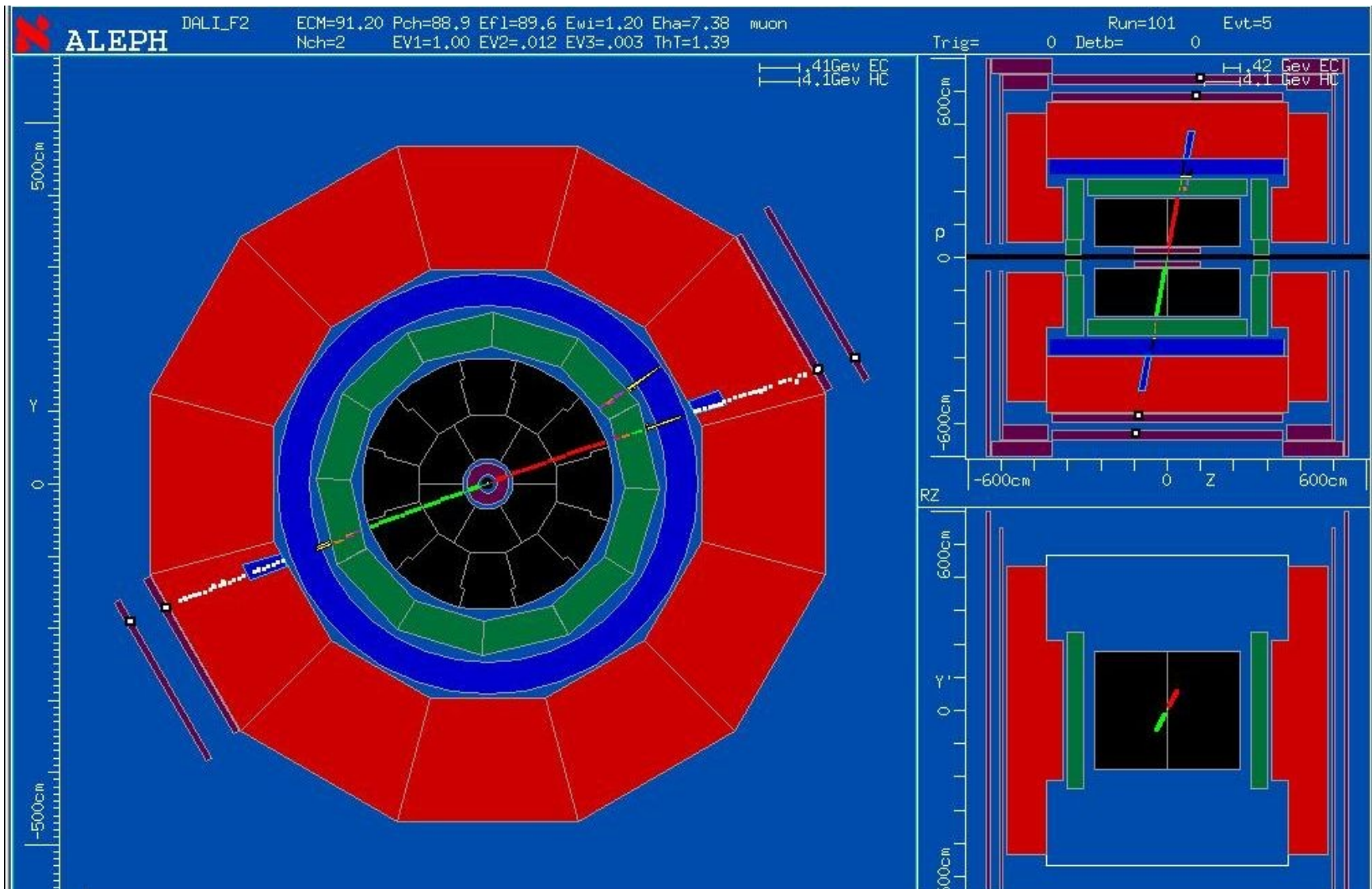
Identification des particules

Particules visibles :



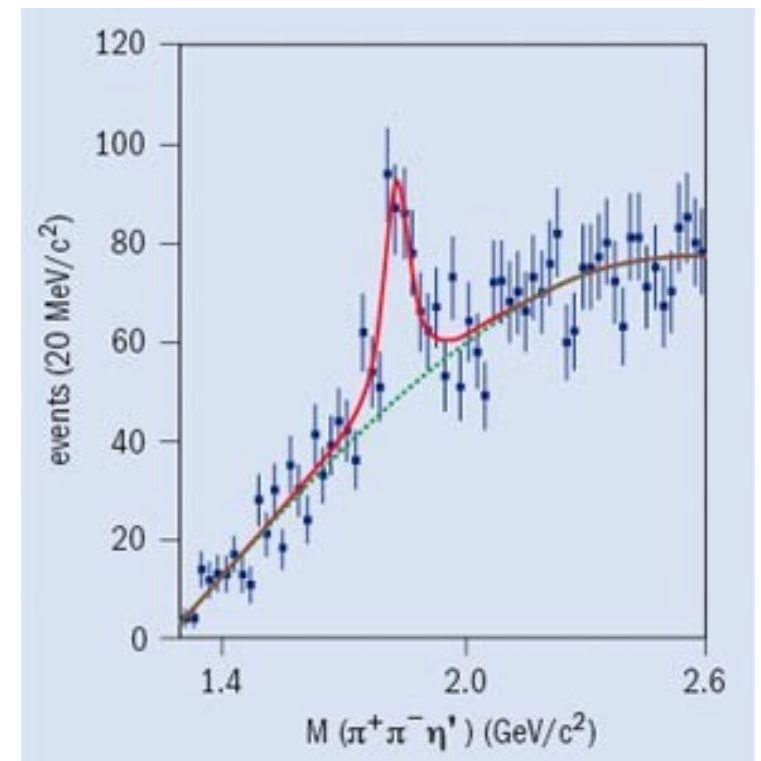
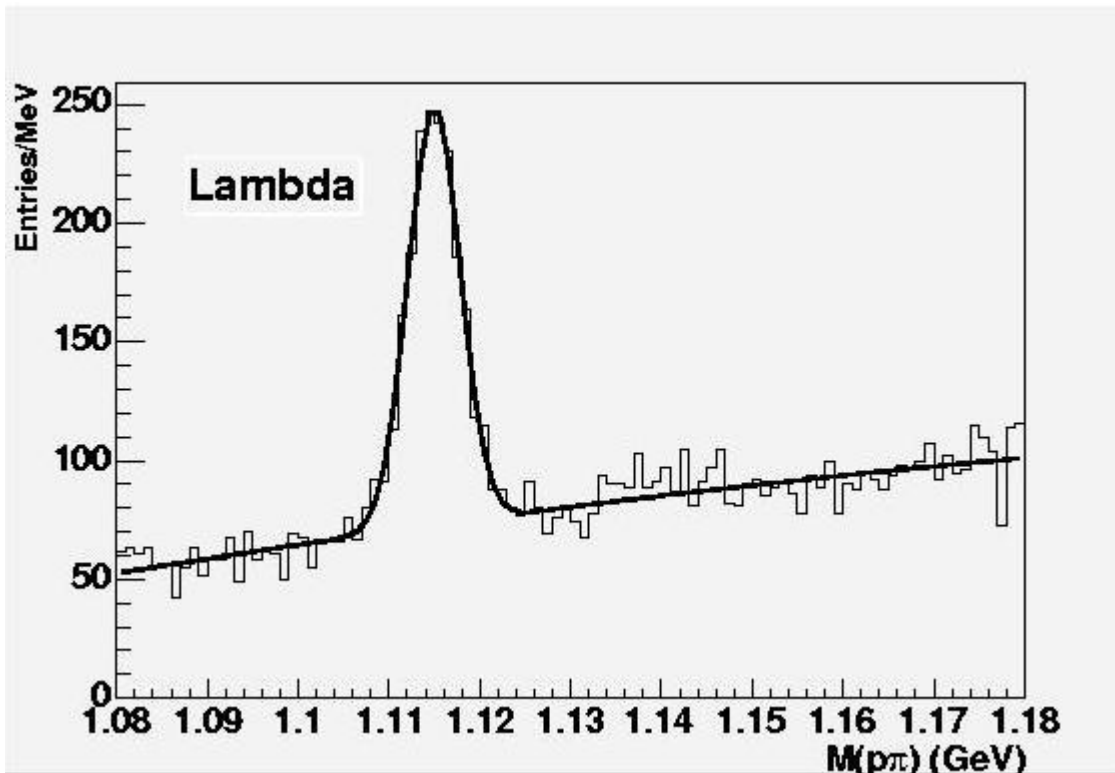
Identification des particules

Particules visibles :

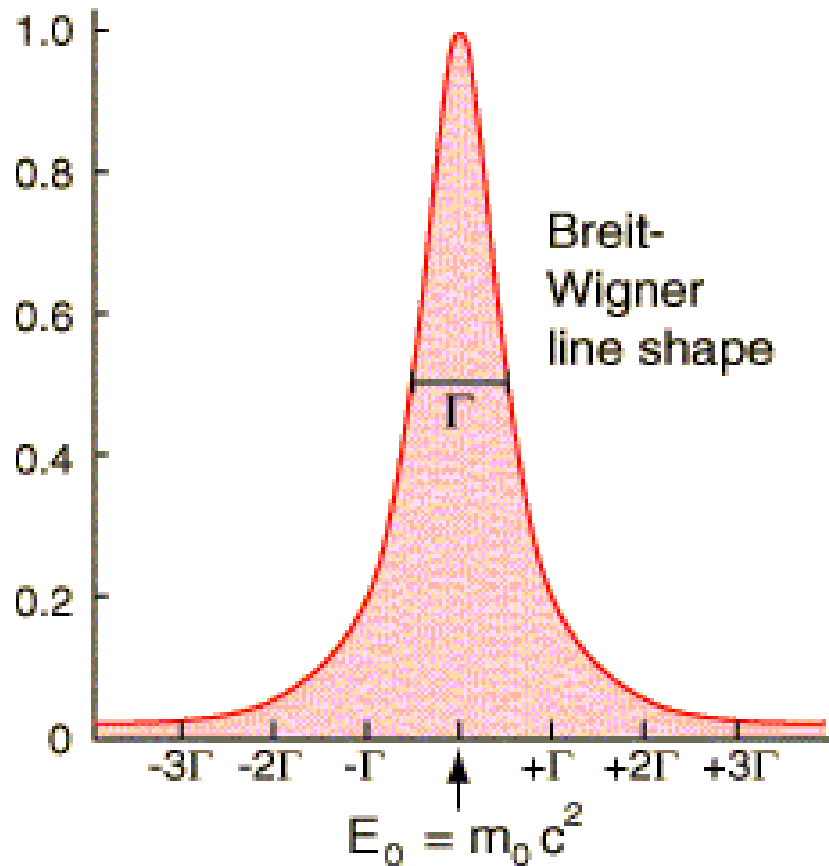


Identification des particules

- 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 :

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

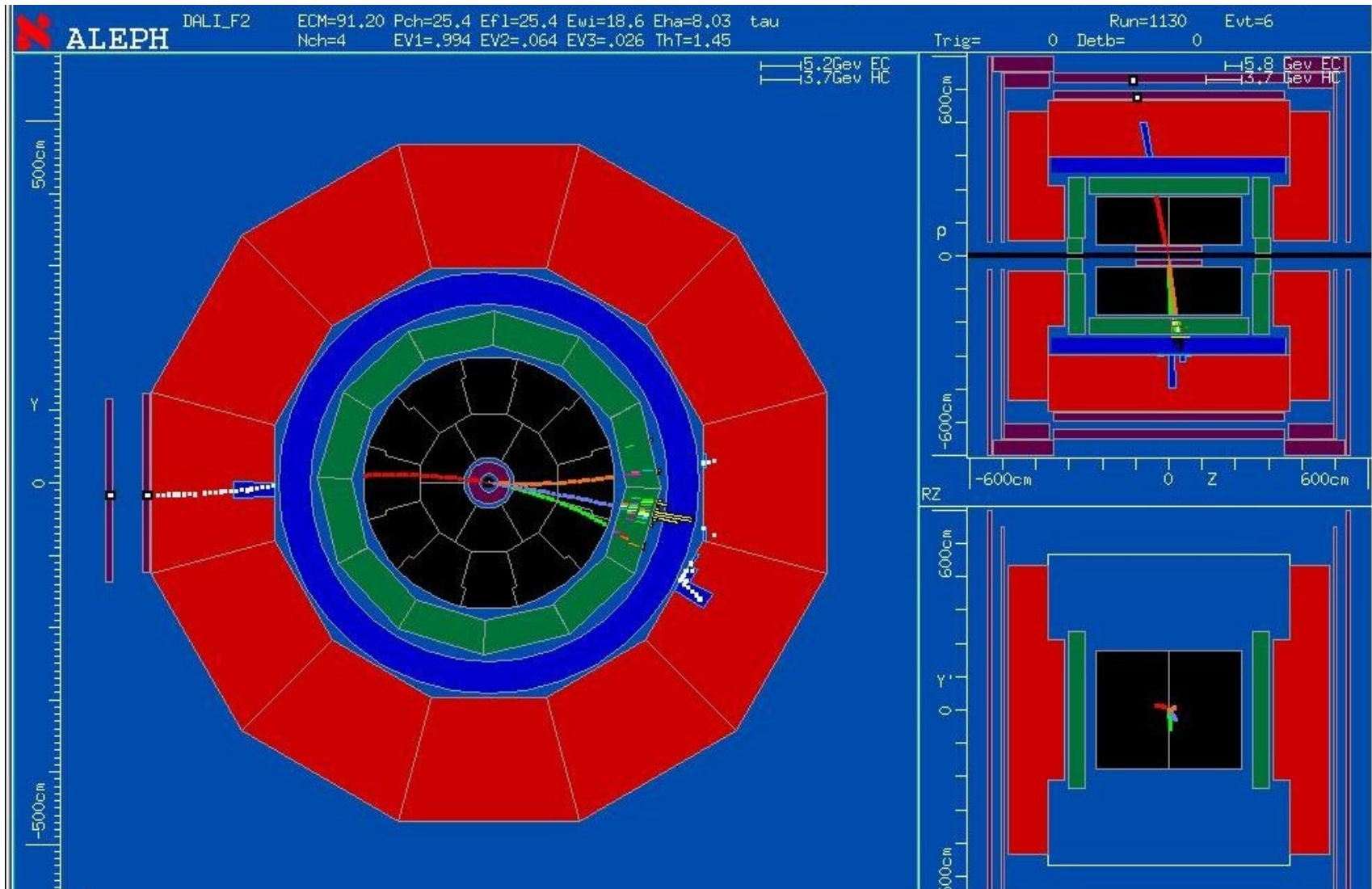
Si on mesure la masse d'une particule, on aura une courbe, et pas un pic infiniment étroit. La courbe est caractérisée par:

- 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.

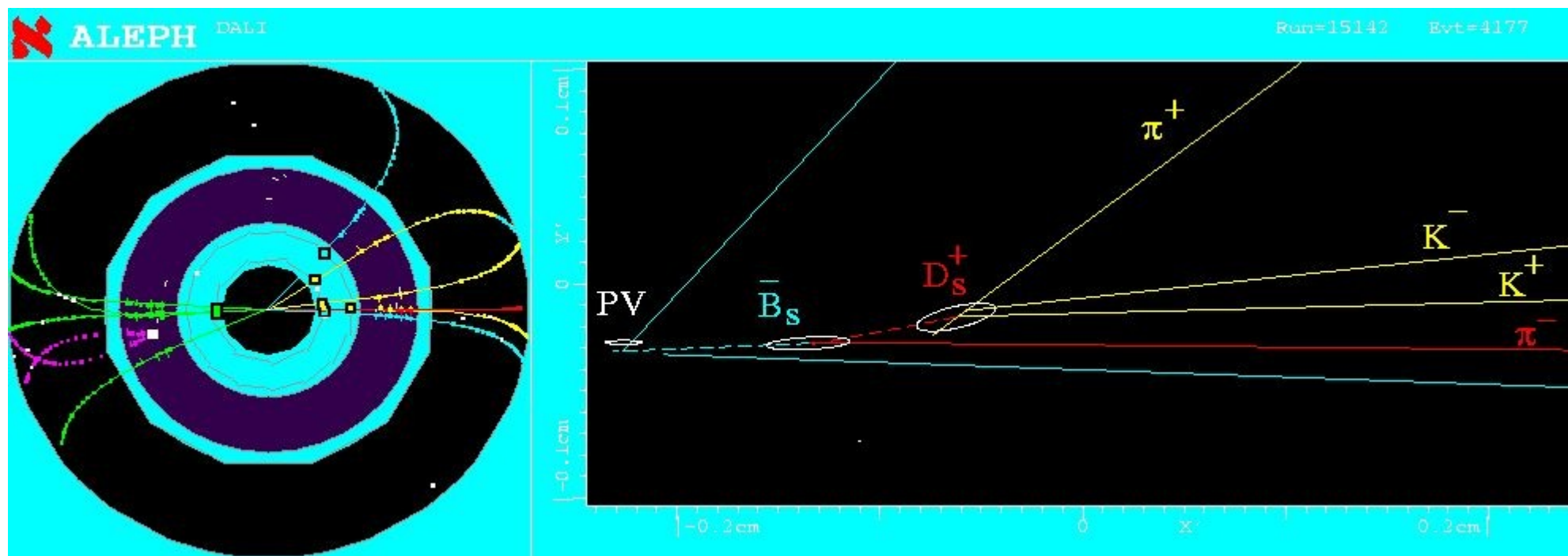
Identification des particules

Particules invisibles :

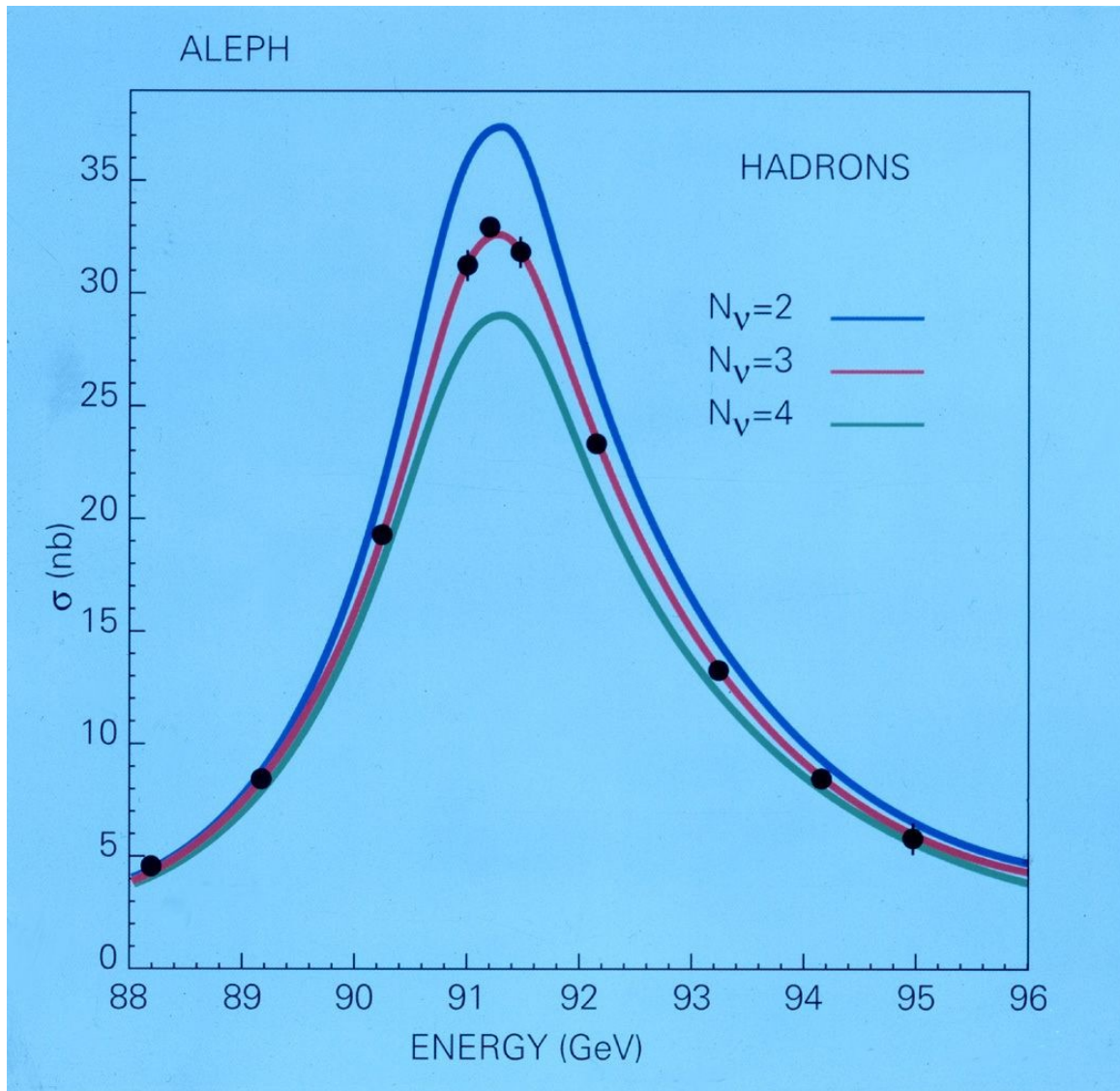


Identifications des particules

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 !

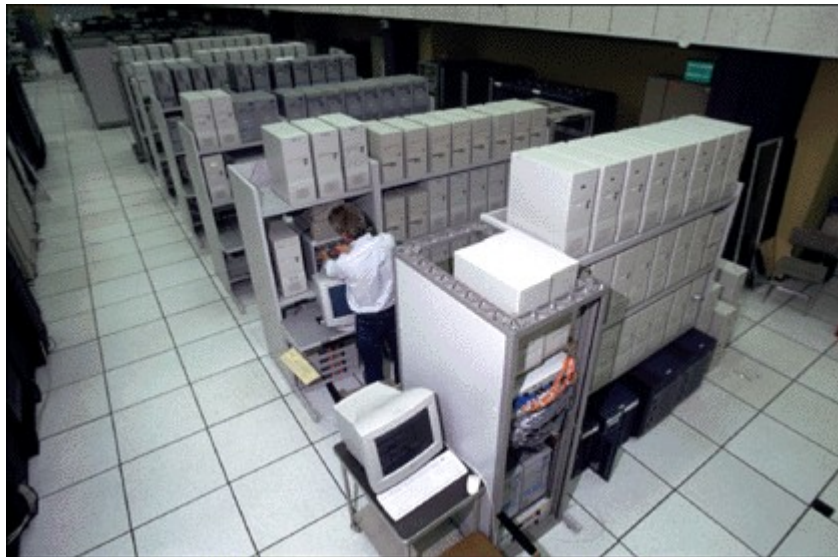
Déclenchement en ligne

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

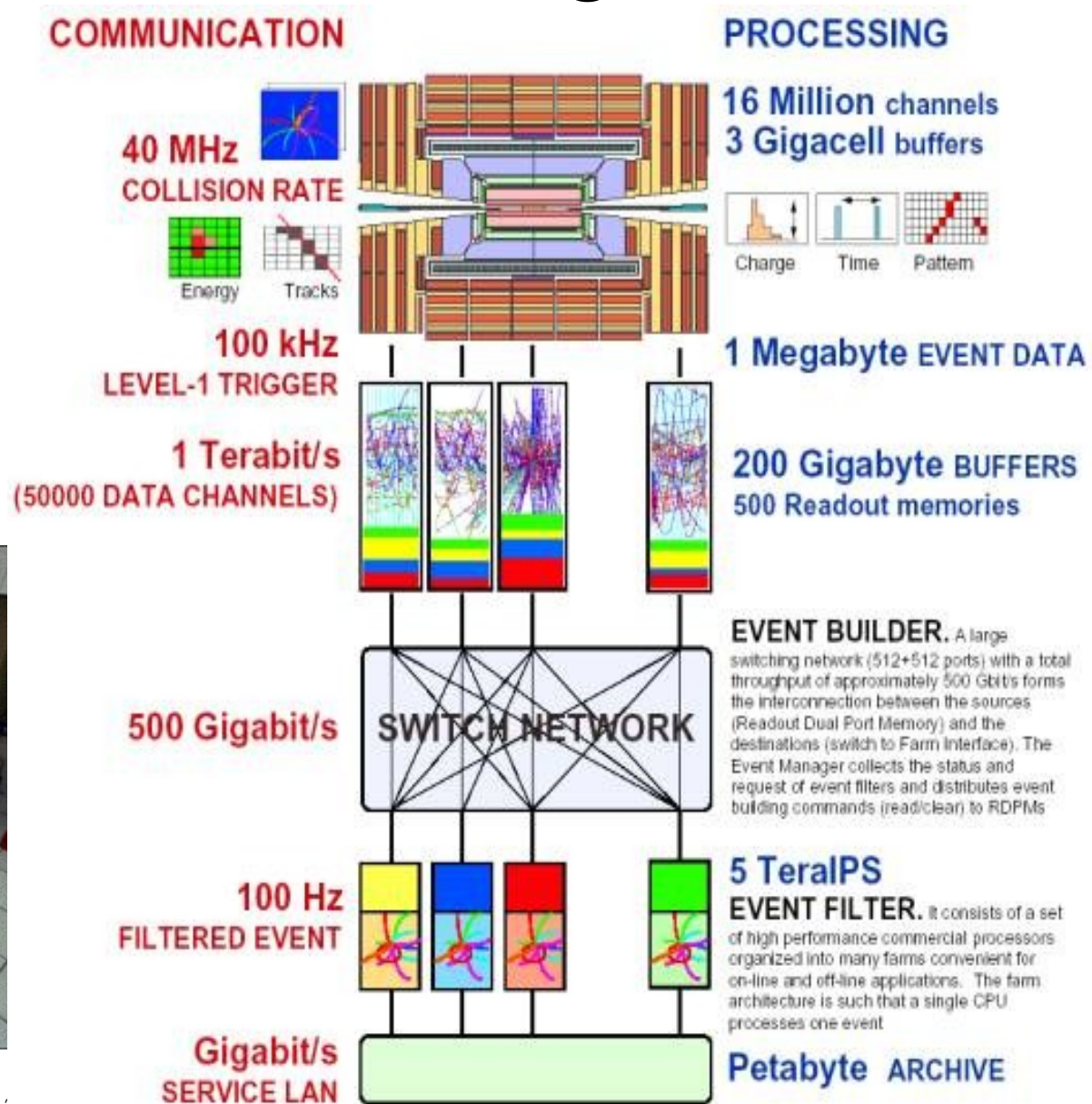
LHC : 40 MHz

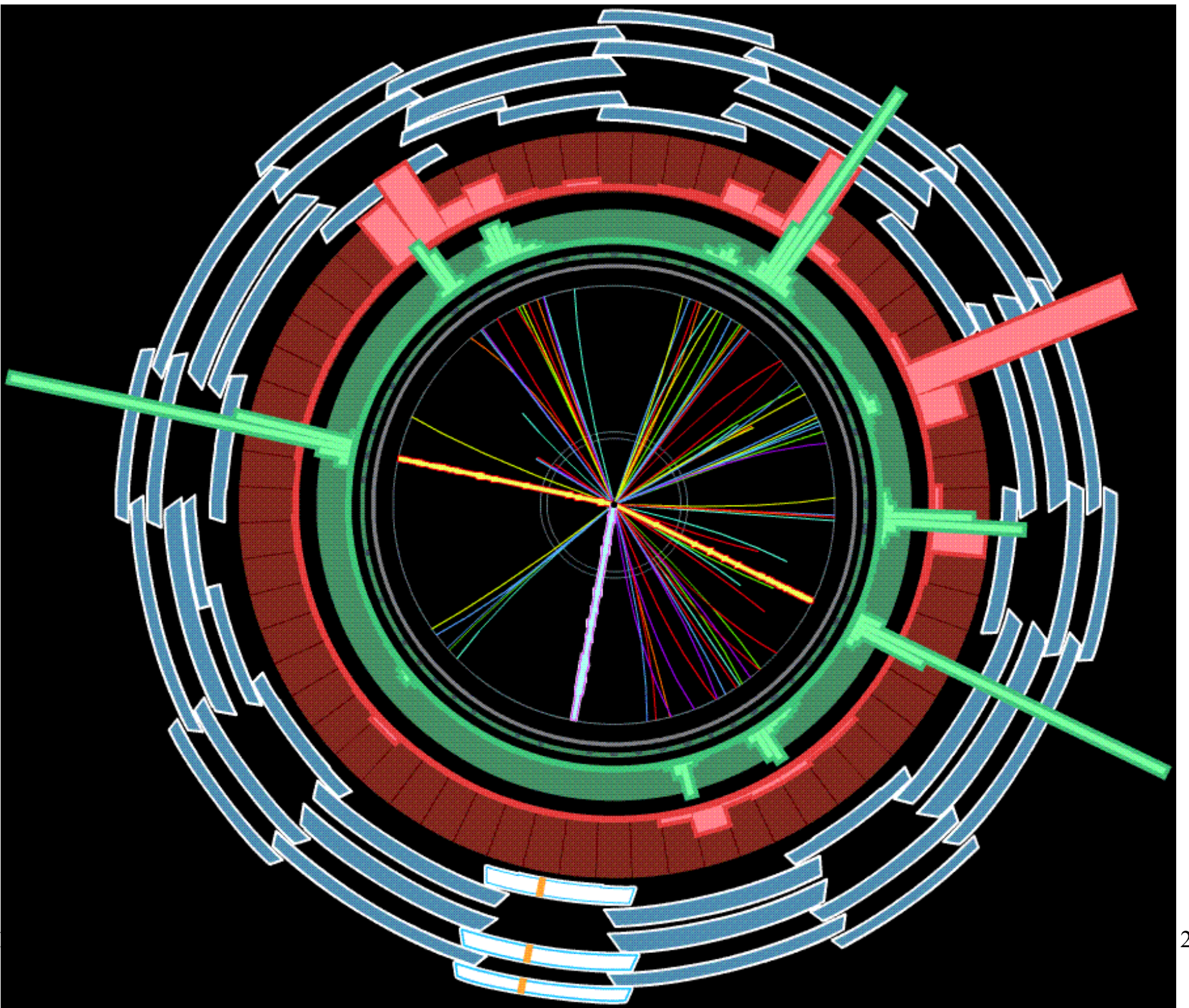
Sélection en ligne : 2 niveaux

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



21 Janvier 2006

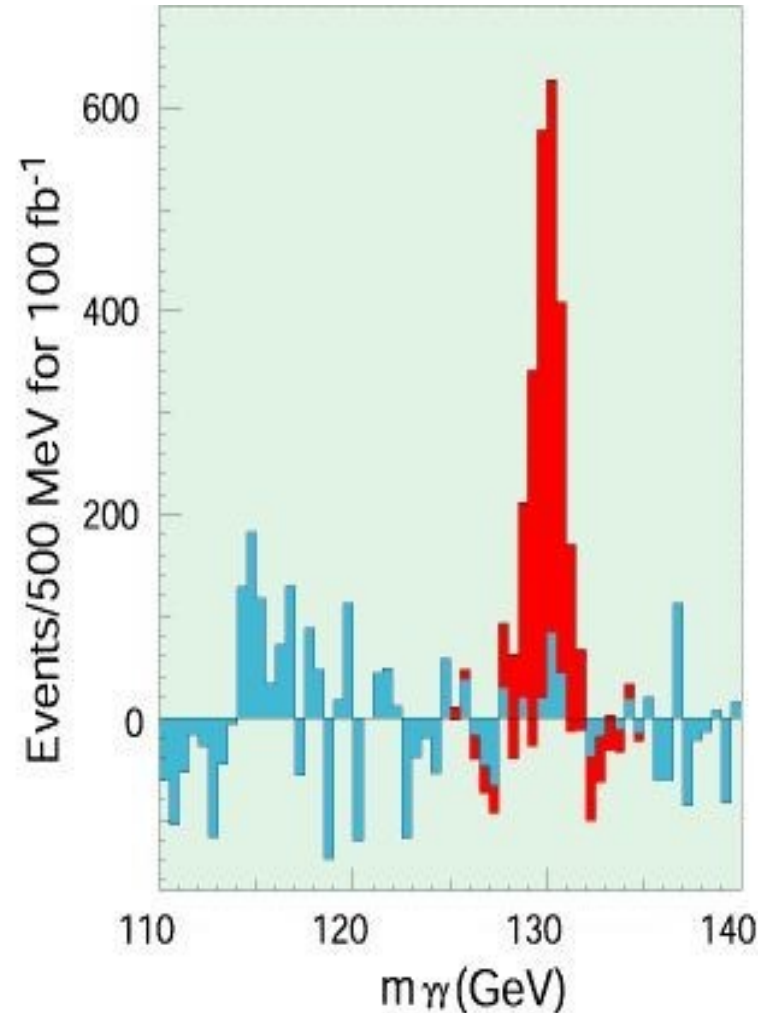
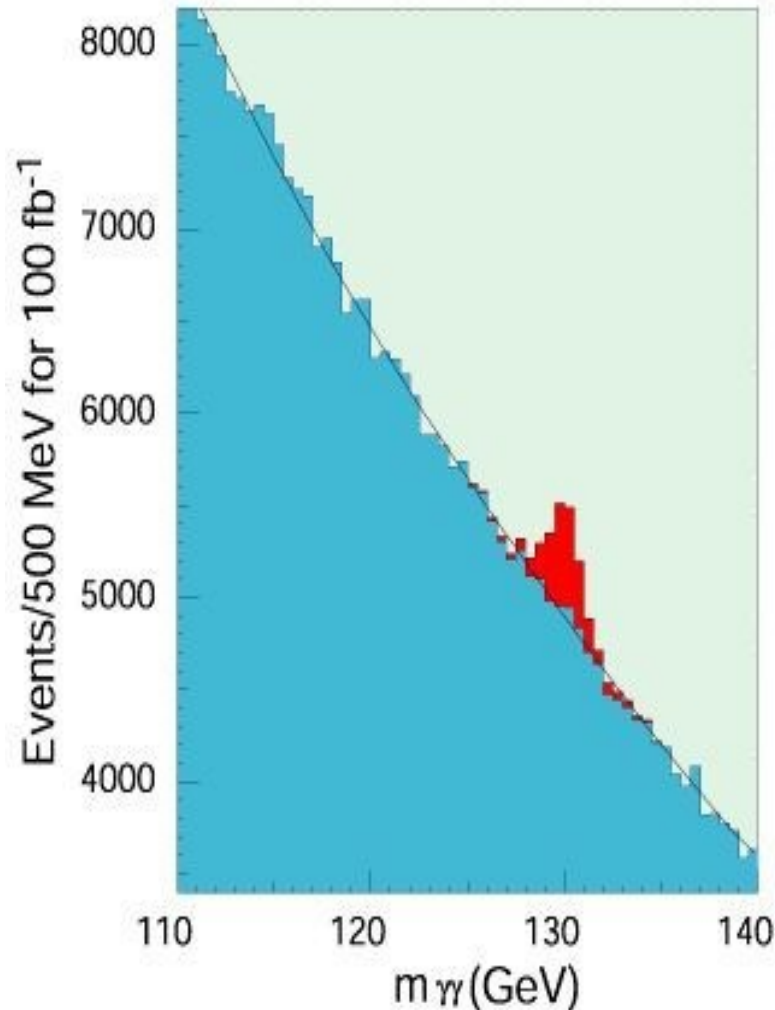




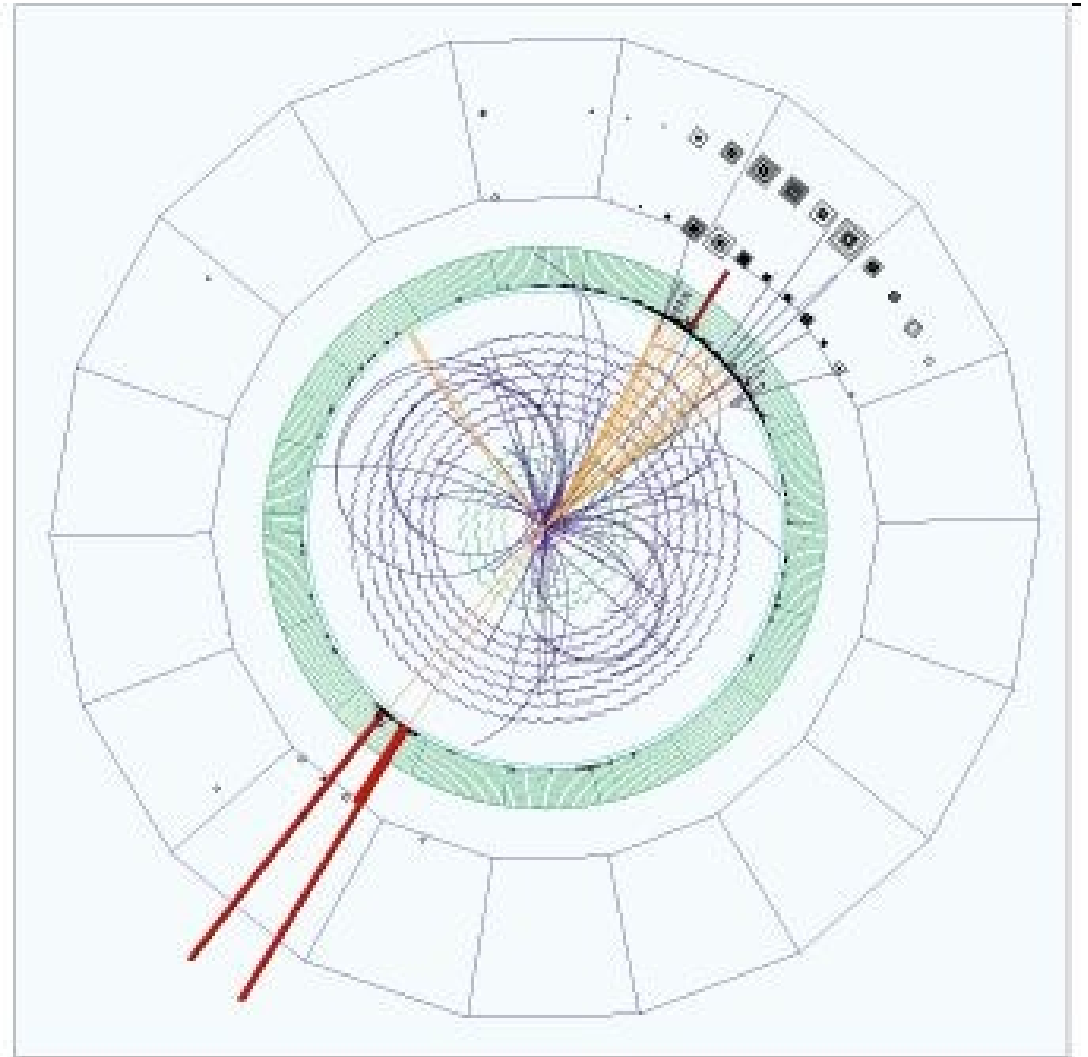
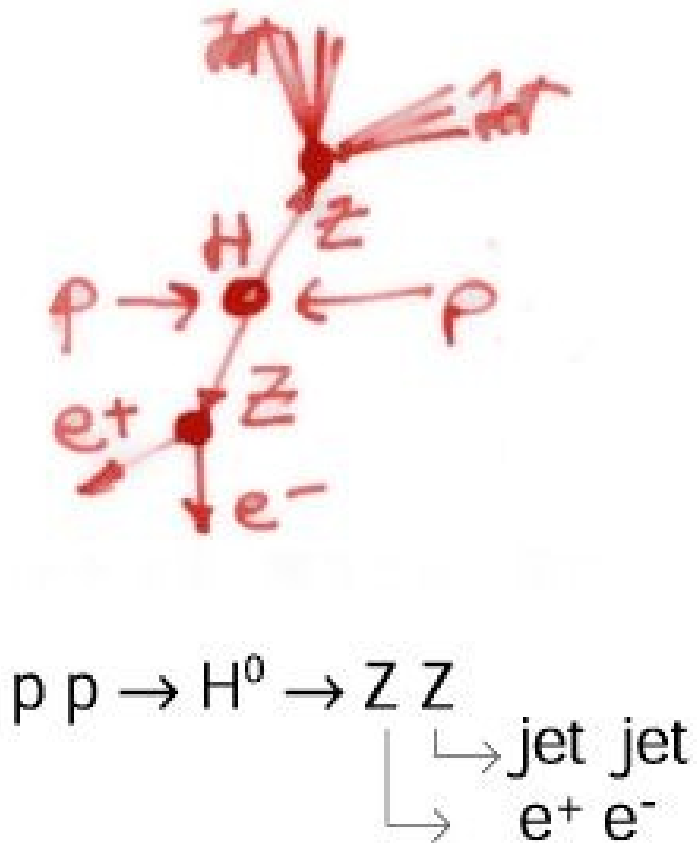
Boson de Brout-Englert-Higgs

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

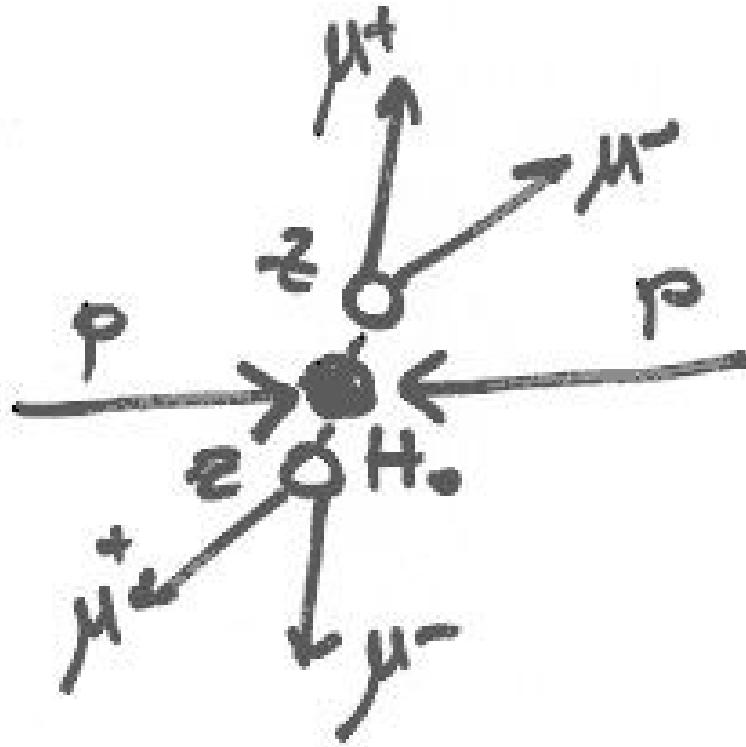
*Chercher un microgramme d'aiguille
dans 10 tonnes de foin*



Boson de Brout-Englert-Higgs



Boson de Brout-Englert-Higgs



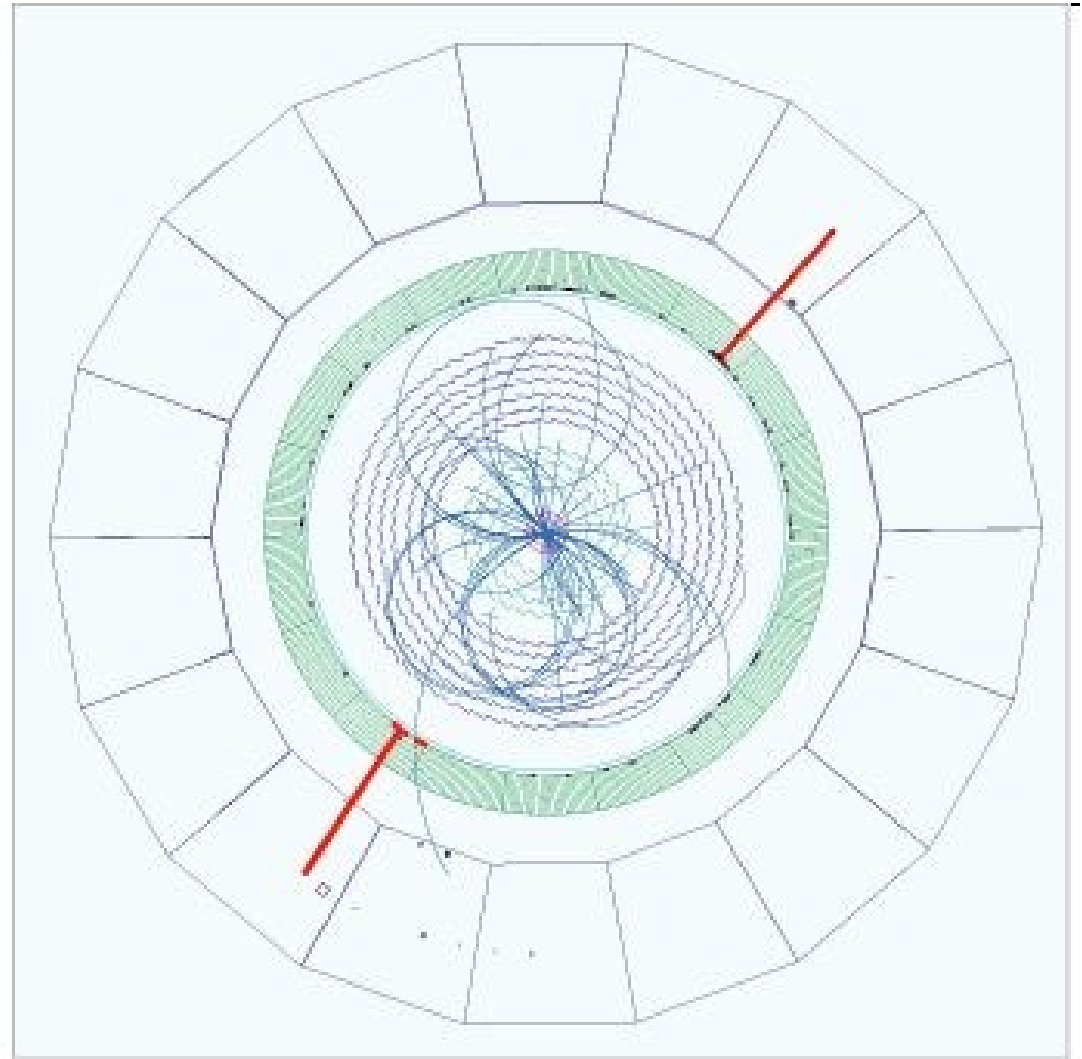
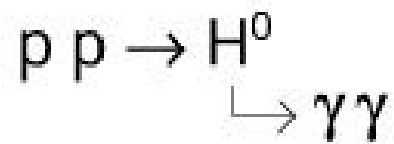
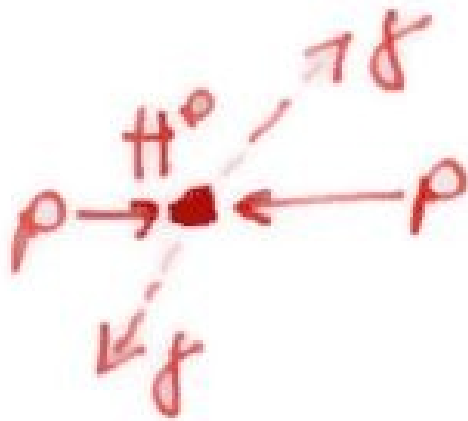
$$p p \rightarrow H^0 \rightarrow Z Z$$

└─┬─> μ⁺ μ⁻

└─┬─> μ⁺ μ⁻



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 !