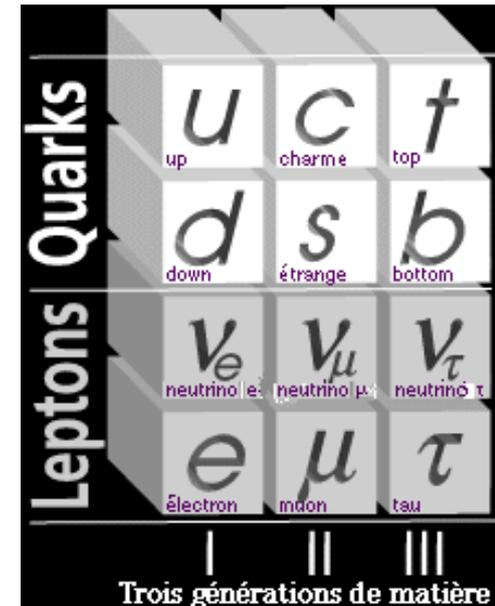


Le Modèle Standard en Résumé...

- Théorie Quantique des Champs (relativiste)
- inv. de **jaugé** ↔ “charge” ↔ boson(s) vecteur(s) (spin 1)
- **3 forces (interactions)**
 - Force EM : **U(1)** → photon (QED)
 - Force Faible : **SU(2)** → W^+ , W^- , Z^0
 - Unifiées dans la **théorie Electrofaible**
 - Force Forte : **SU(3)** → 8 gluons (QCD)
- **3 familles de quarks** (et anti-quarks) (spin 1/2)
- **3 familles de leptons** (et anti-leptons) (spin 1/2)
- Les hadrons sont des états liés de quarks :
 - Méson = (quark – antiquark) ; Baryon = (qq'q'')
- Un boson de Higgs (spin 0)



Le Modèle Standard : pour ou contre...

- Les succès du MS :
- “Beauté” des théories de jauge
- QED (électromagnétisme quantique) testée à $1/10^9$
- Description de toutes les interactions entre particules de 0 à $O(200\text{GeV})$
- Aucun désaccord avec observations après 30 ans de tests de + en + précis
- Les faiblesses du MS :
- Fait de bric et de broc
- Calculs “perturbatifs” : expansion en “série entière” de diagrammes
- Renormalisation : bcp d'intégrales divergentes...
- Incomplet :
 - Masse du Higgs “diverge”
 - Nature des neutrinos massifs ?
 - N'inclut pas la gravité

Au-delà du Modèle Standard...

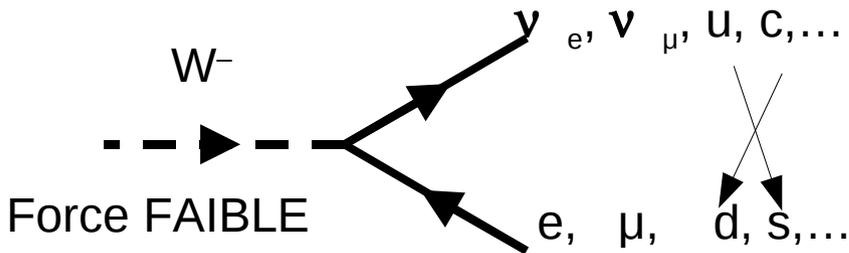
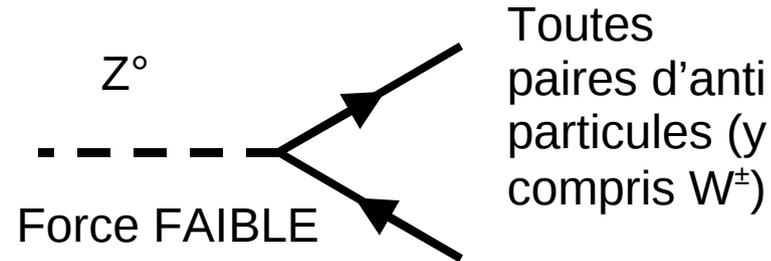
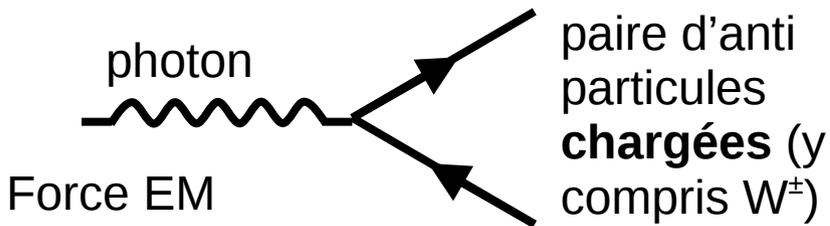
- Toutes ces limitations + le rêve d'unifier toutes les forces au sein d'une théorie ultime + quelques indices (“matière noire”) → développement de nouvelles théories compatibles avec le Modèle Standard à “basse” énergie :
 - Supersymétrie
 - Théories de grande unification
 - Extra-dimensions
 - Théorie des cordes et Loop Quantum Gravity

Désintégrations et Collisions dans le Modèle Standard

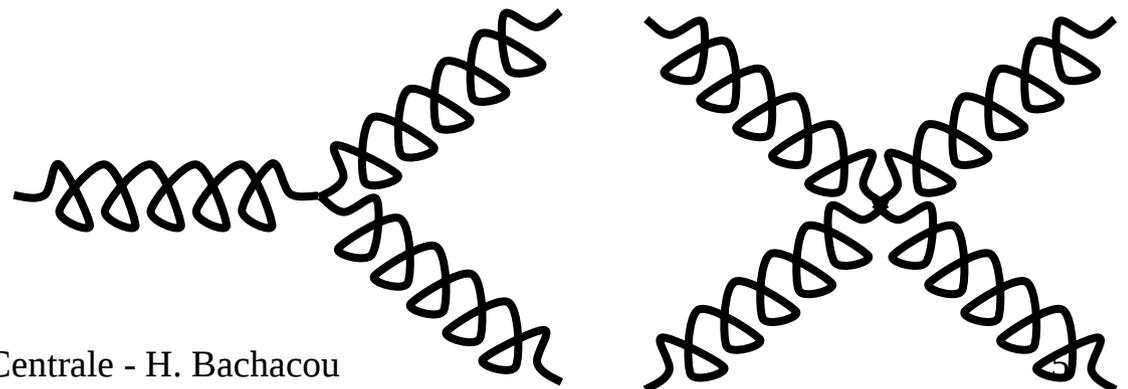
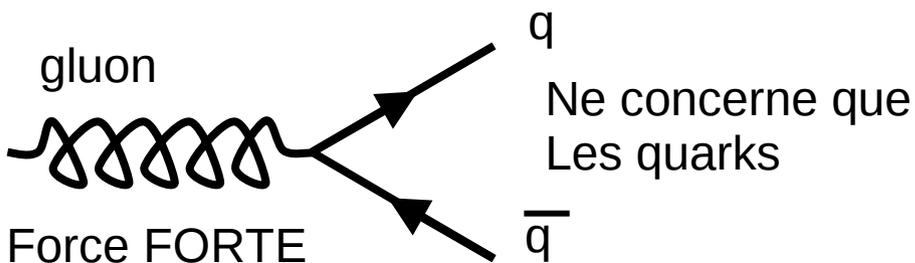
- La relativité restreinte est respectée
- Toute interaction peut s'écrire sous forme de diagrammes de Feynman à partir de vertex élémentaires
- D'où conservation :
 - de la charge électrique,
 - des nombres leptoniques et baryoniques,
 - de la saveur des quarks (sauf “léger” mixing des quarks par la force faible via les W^\pm)
- (et conservation des symétries P, C, et CP, sauf qd elles sont violées... voir cours sur les kaons et sur les symétries discrètes)

Désintégrations et Collisions dans le Modèle Standard

- Toute interaction peut s'écrire à partir de vertex élémentaires sous forme de diagrammes de Feynman



Mélange des quarks
Par matrice CKM :

$$\begin{bmatrix} 0.9753 & 0.221 & 0.003 \\ 0.221 & 0.9747 & 0.040 \\ 0.009 & 0.039 & 0.9991 \end{bmatrix}$$


Désintégrations et Collisions dans le Modèle Standard

- La relativité restreinte est respectée
- **Donc conservation du quadri-vecteur impulsion entre état initial et état final**
 - *(bien que la mécanique quantique tolère une violation de cette conservation pendant un temps court respectant le principe d'incertitude d'Heinseberg: $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/(2\pi)$)*

→ Désintégration : $A \rightarrow B_1 + B_2 + B_3 + \dots$:

- $m_A = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \geq m_1 + m_2 + m_3 + \dots$

→ Collision de 2 particules : $A_1 + A_2 \rightarrow B_1 + B_2 + B_3 + \dots$:

- Energie dans centre de masse $\geq m_1 + m_2 + m_3 + \dots$

$$\sqrt{p^2} = E_{\text{centre-de-masse}} = \sum m_i + \sum E_{i, \text{centre-de-masse}}^{\text{cinétique}} \geq \sum m_i$$

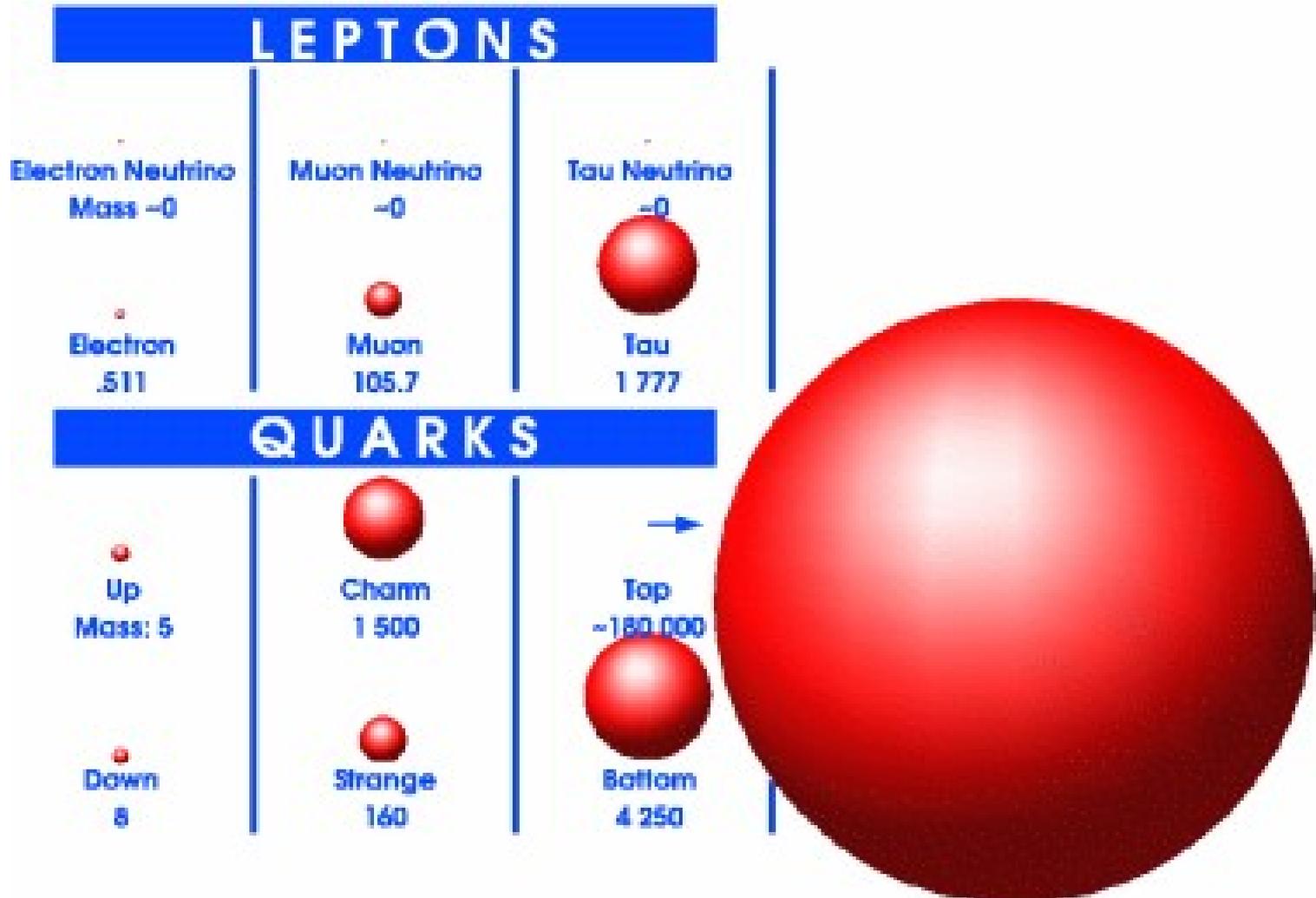
Masse des Particules du Modèle Standard

- $m(W) = 80\,000 \text{ MeV}/c^2$
- $m(Z) = 91\,000 \text{ MeV}/c^2$
- $m(\text{photon}) = m(\text{gluons}) = 0$
- **Fermions (en MeV/c^2) :**

Type	Charge	Famille 1	Famille 2	Famille 3
Lepton	-1	Électron 0,511	Muon 105,6	Tau 1 777
Neutrino	0	ν_e < $3 \cdot 10^{-6}$	ν_μ < 0,19	ν_τ < 1,2
Quark up	+2/3	<i>up</i> 1,5 à 4,5	<i>charm</i> 1000 à 1400	<i>top</i> 174 000
Quark down	-1/3	<i>down</i> 5 à 8,5	<i>strange</i> 80 à 155	<i>beauty</i> 4100 à 4400

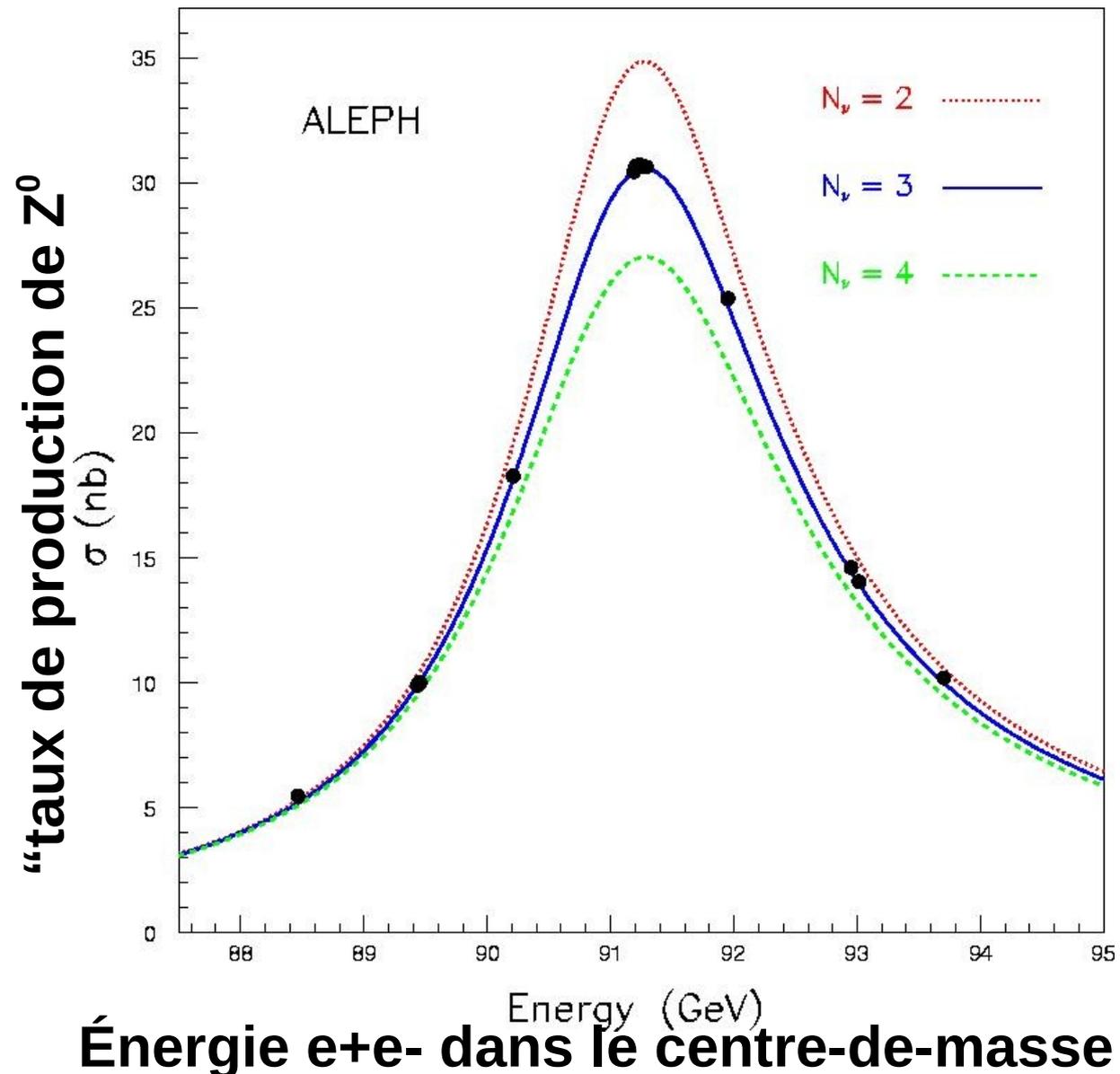
Masse des Particules du Modèle Standard

- $m(W) = 80\,000 \text{ MeV}/c^2$
- $m(Z) = 91\,000 \text{ MeV}/c^2$
- Fermions



Largeur du Z^0 au Collisionneur Large Electron Positron (LEP)

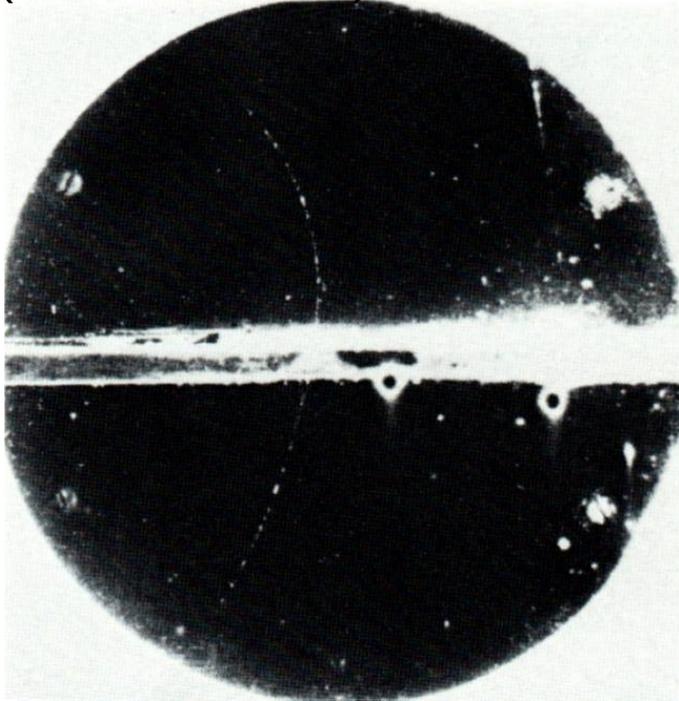
- Largeur calculée en fonction du nbre de familles de neutrinos
- Largeur mesurée à partir du “taux de production” (section efficace) en fonction de E



Détection de Particules

Chambres à nuages

Decouverte du positron
(Anderson, 1932)



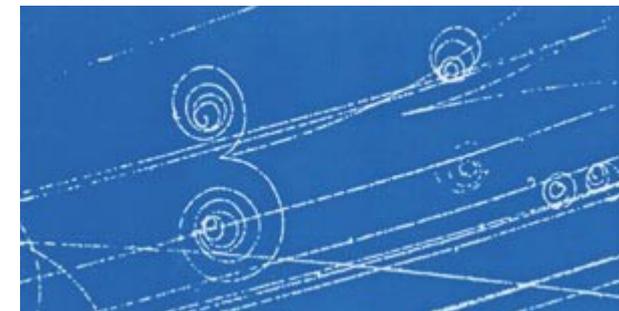
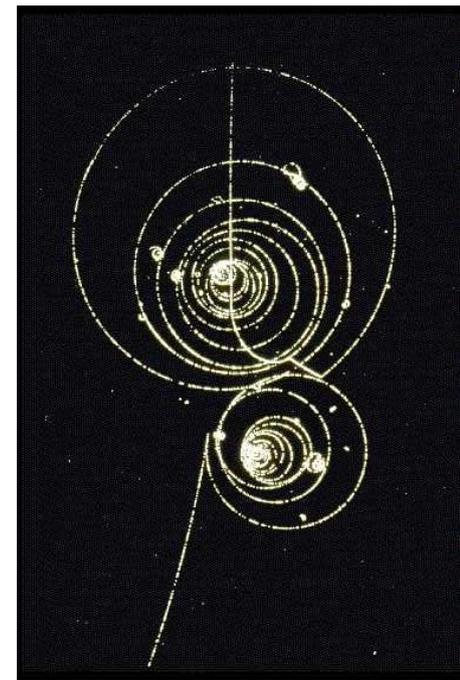
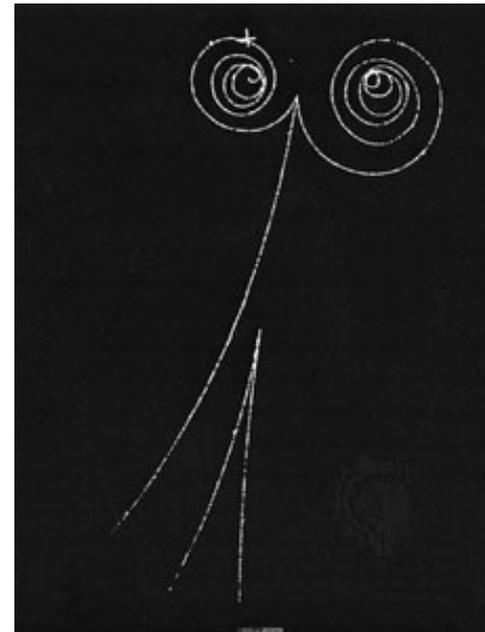
A faire chez soi :

<http://www.youtube.com/watch?v=UAI-d41q6J4>

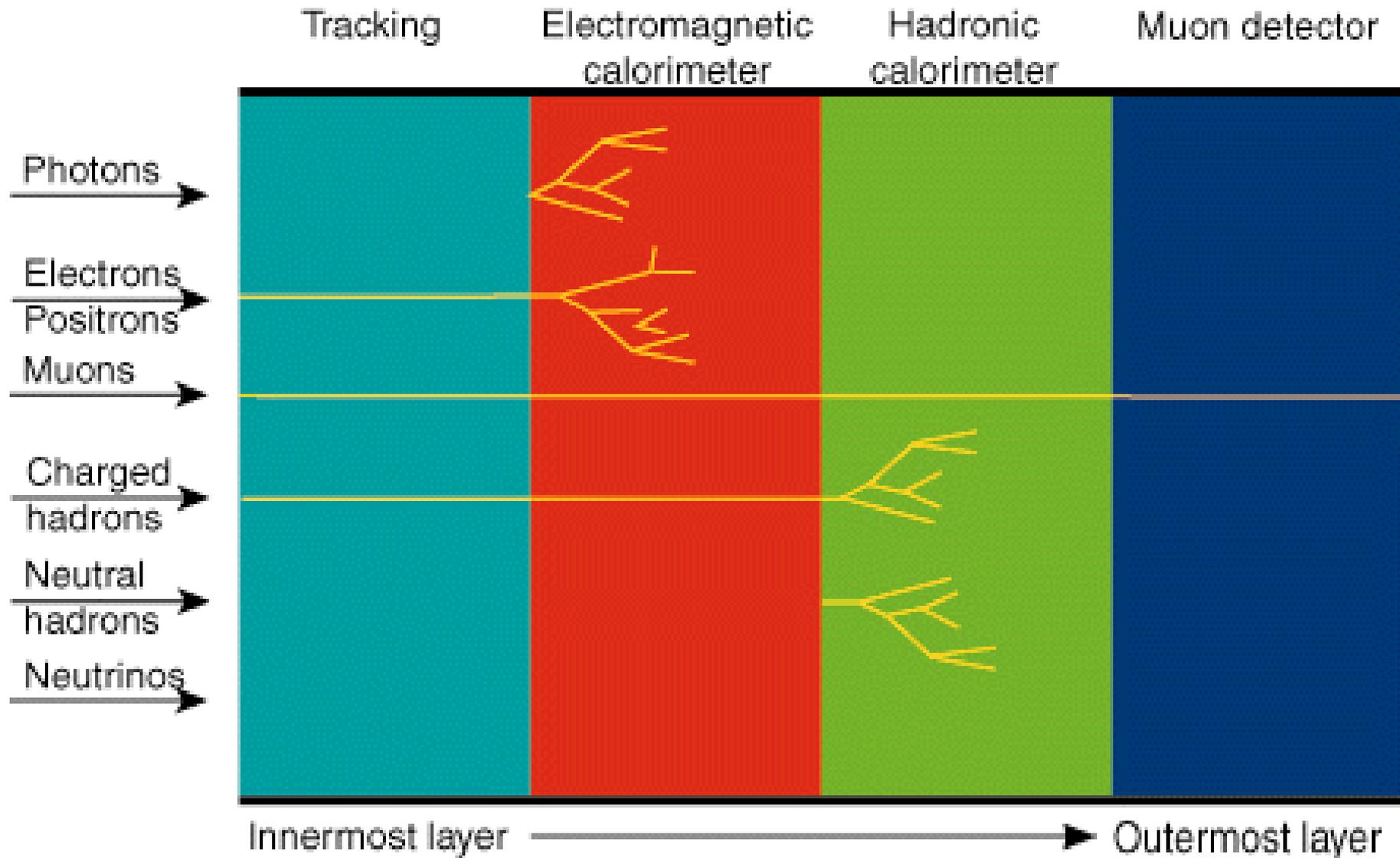
<http://www.youtube.com/watch?v=dCmcNve191M>

<http://www.youtube.com/watch?v=VzdqZtf-Sz4>

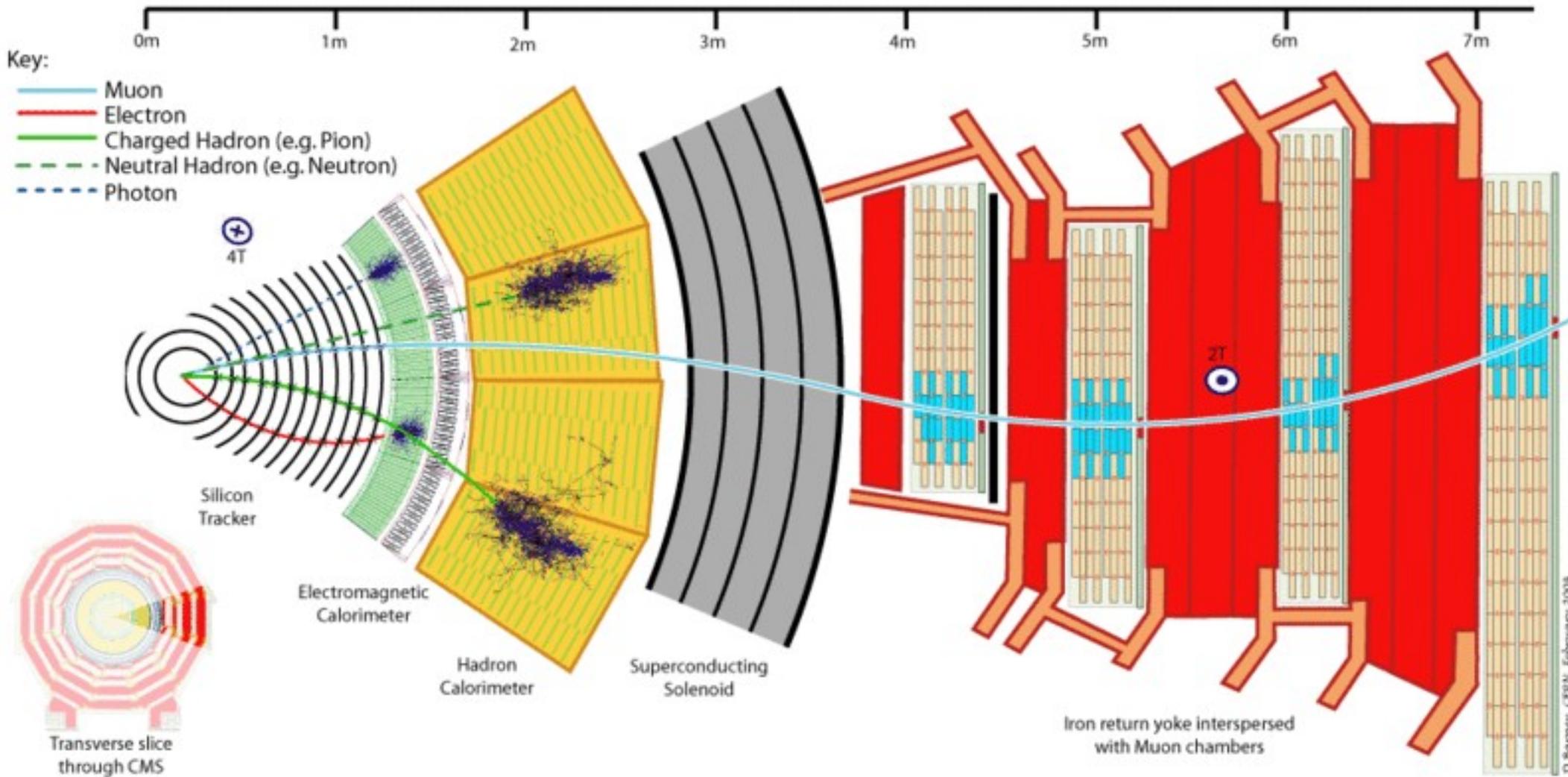
Chambres à bulles (jusqu'aux années 70)



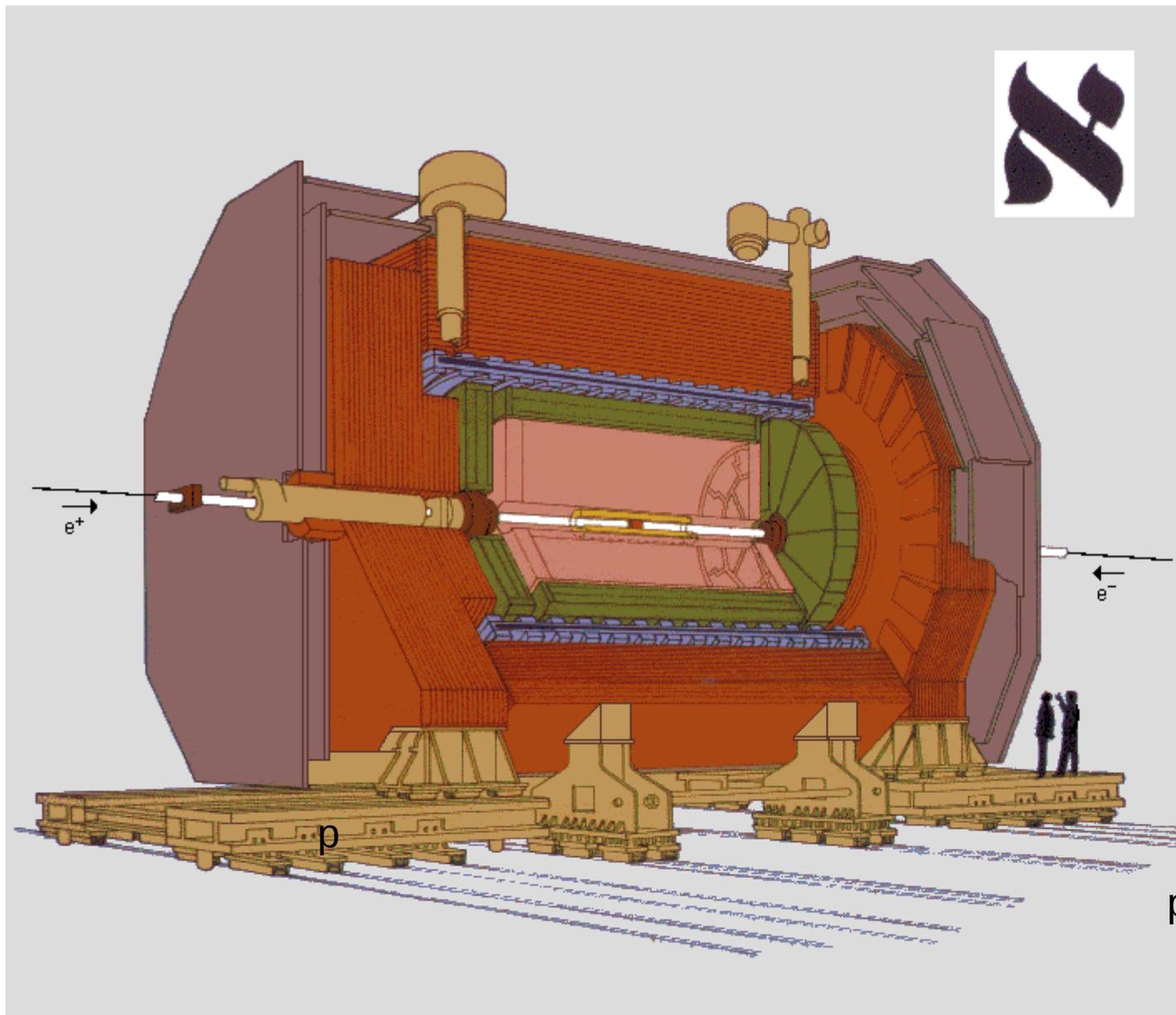
Détection de Particules



Détection de Particules



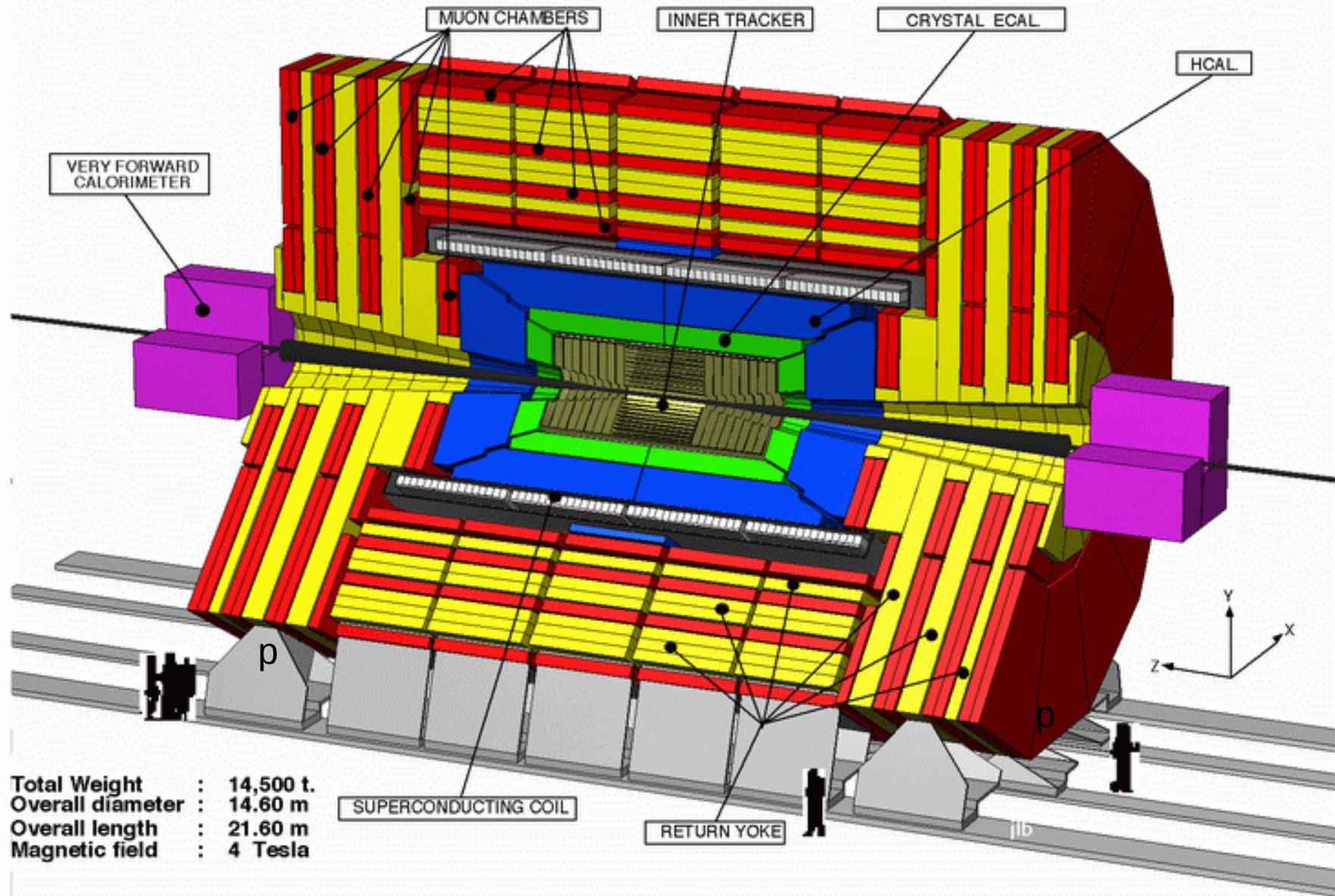
Détecteur CMS, auprès du LHC



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

The ALEPH Detector

A Compact Solenoidal Detector for LHC



ATLAS 

Detector characteristics

Width: 44m
Diameter: 22m
Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS V1997

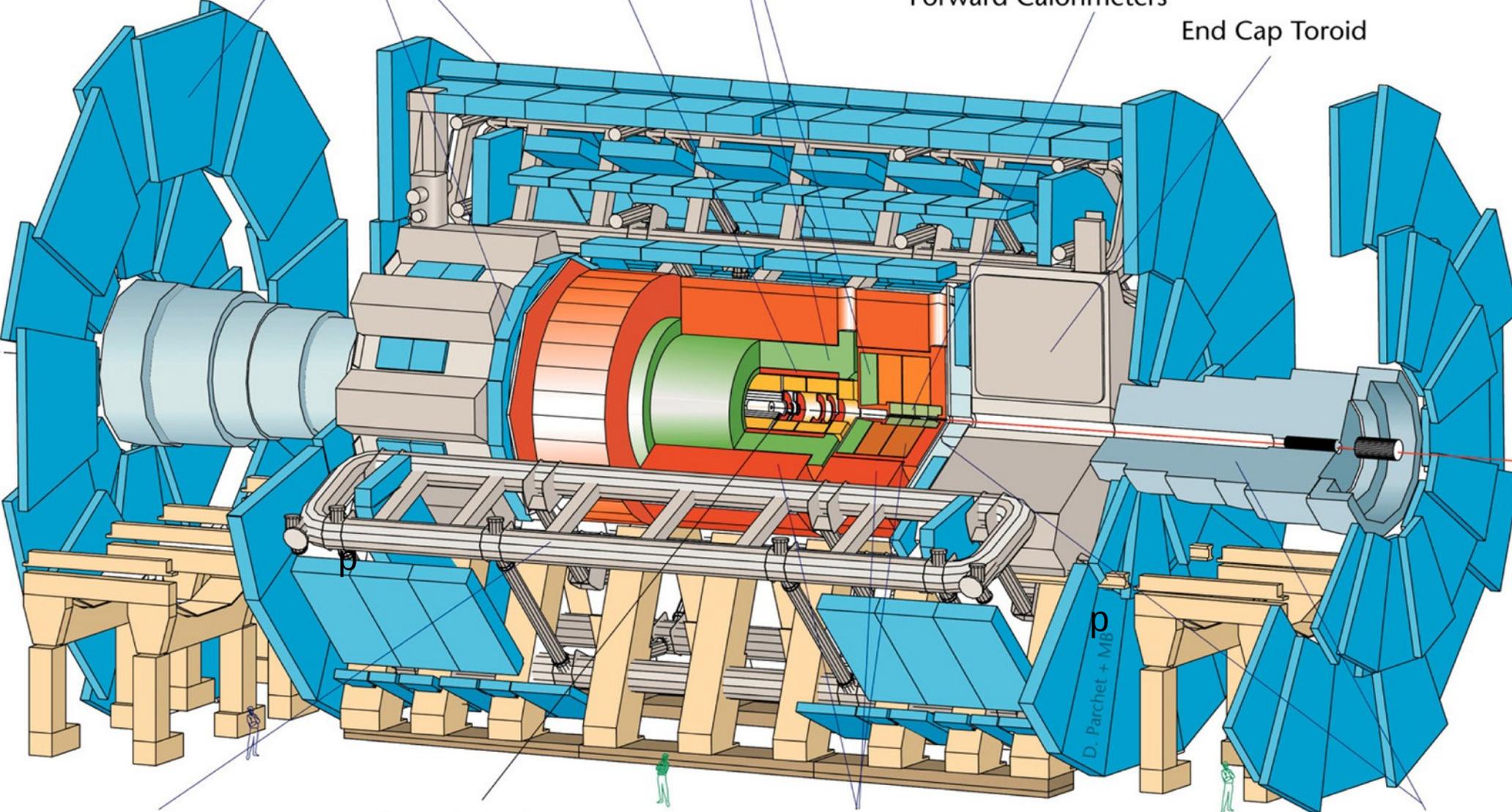
Muon Detectors

Electromagnetic Calorimeters

Solenoid

Forward Calorimeters

End Cap Toroid



Barrel Toroid

Inner Detector

Hadronic Calorimeters

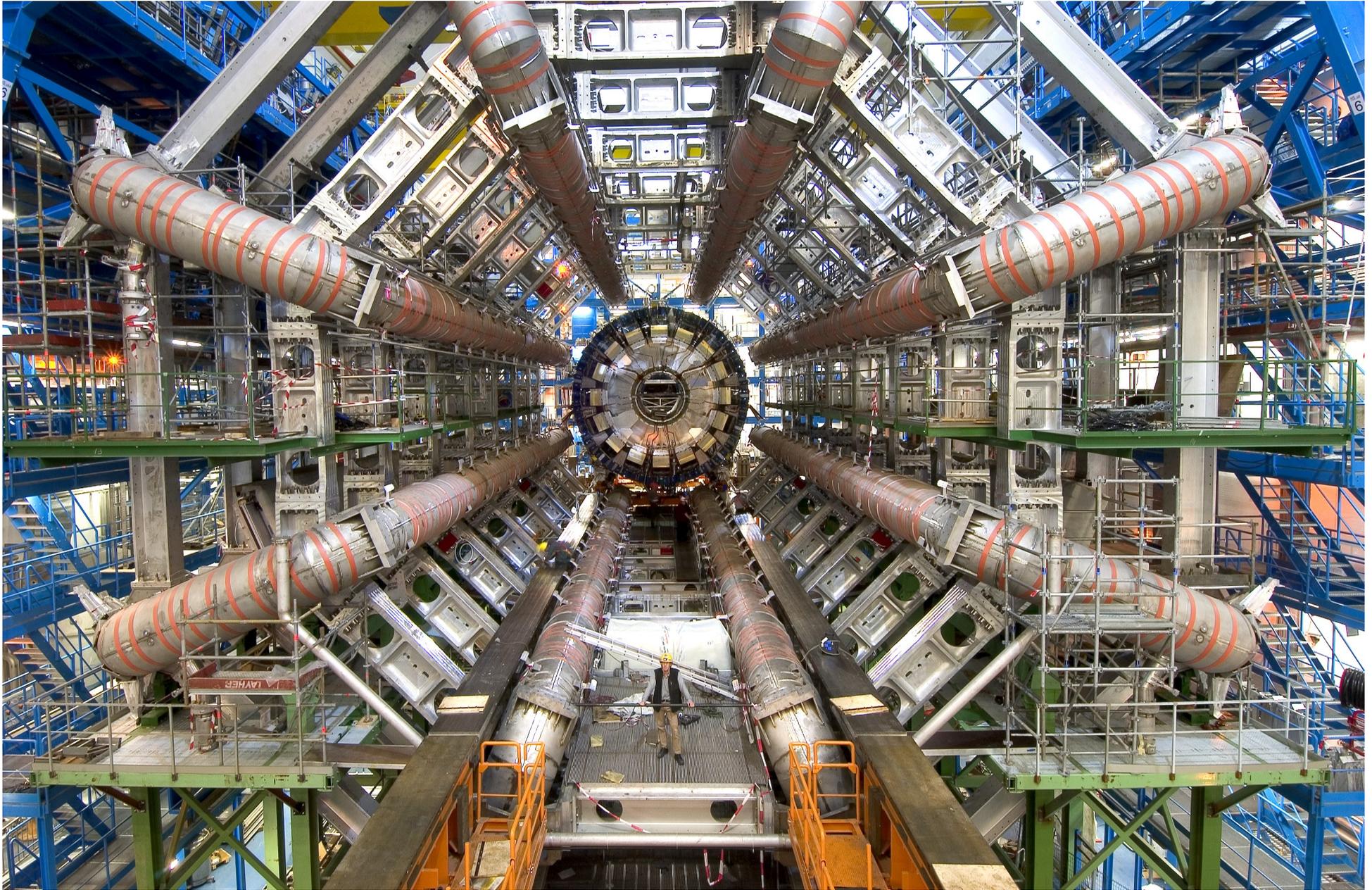
Shielding

p
D. Panchet + MB

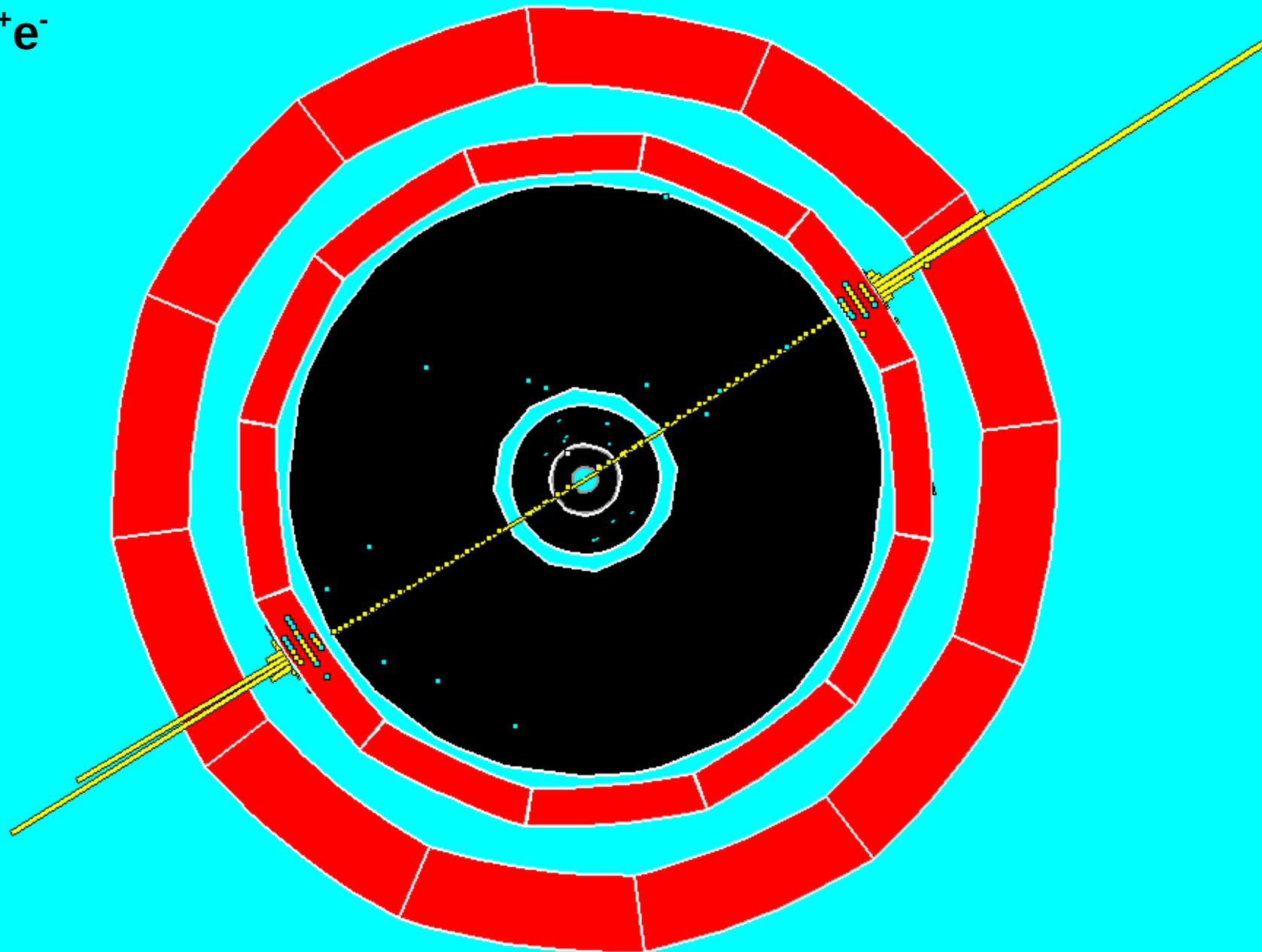
“Caverne” du Détecteur ATLAS



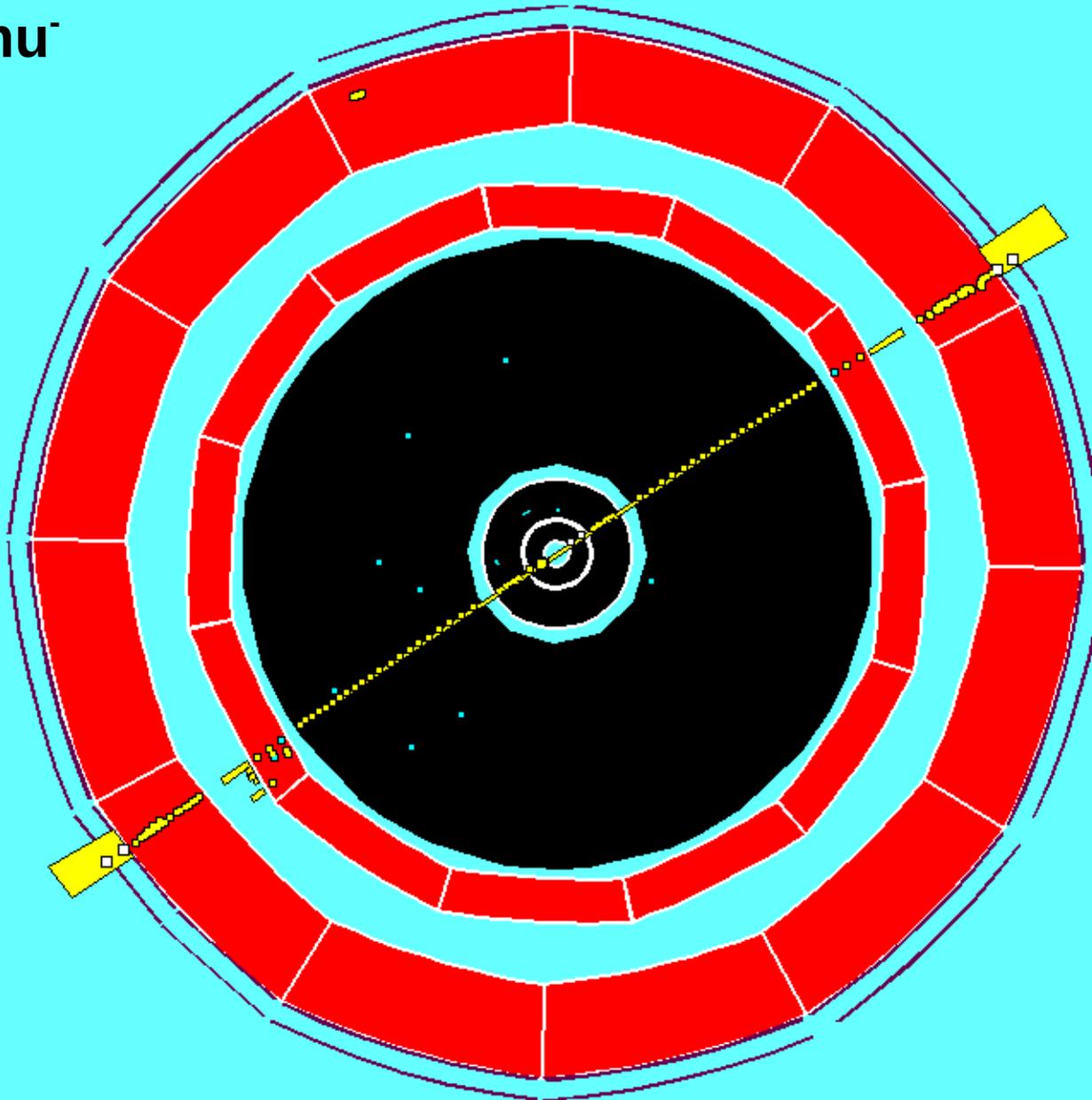
Le Détecteur ATLAS



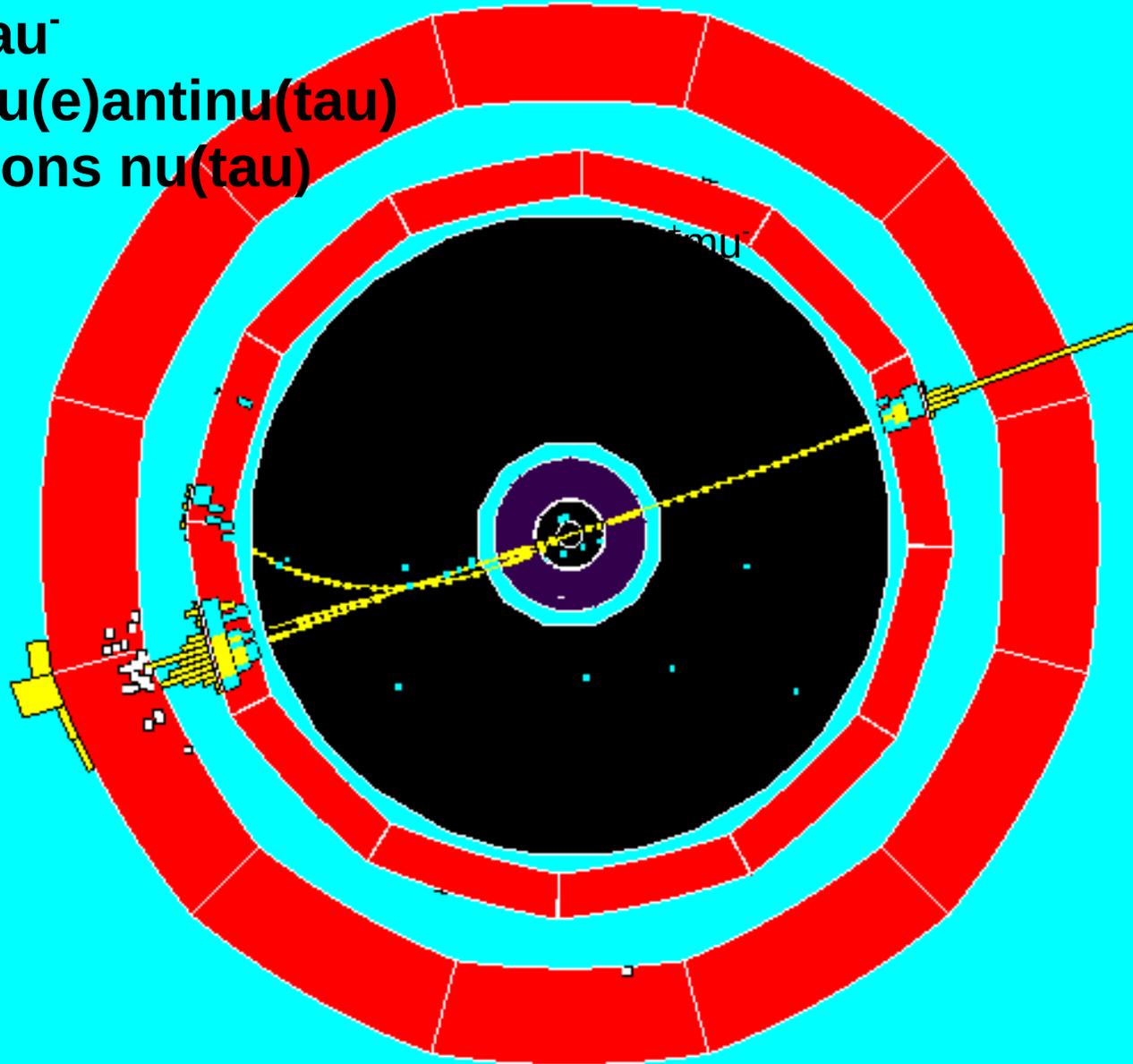
$Z^0 \rightarrow e^+e^-$



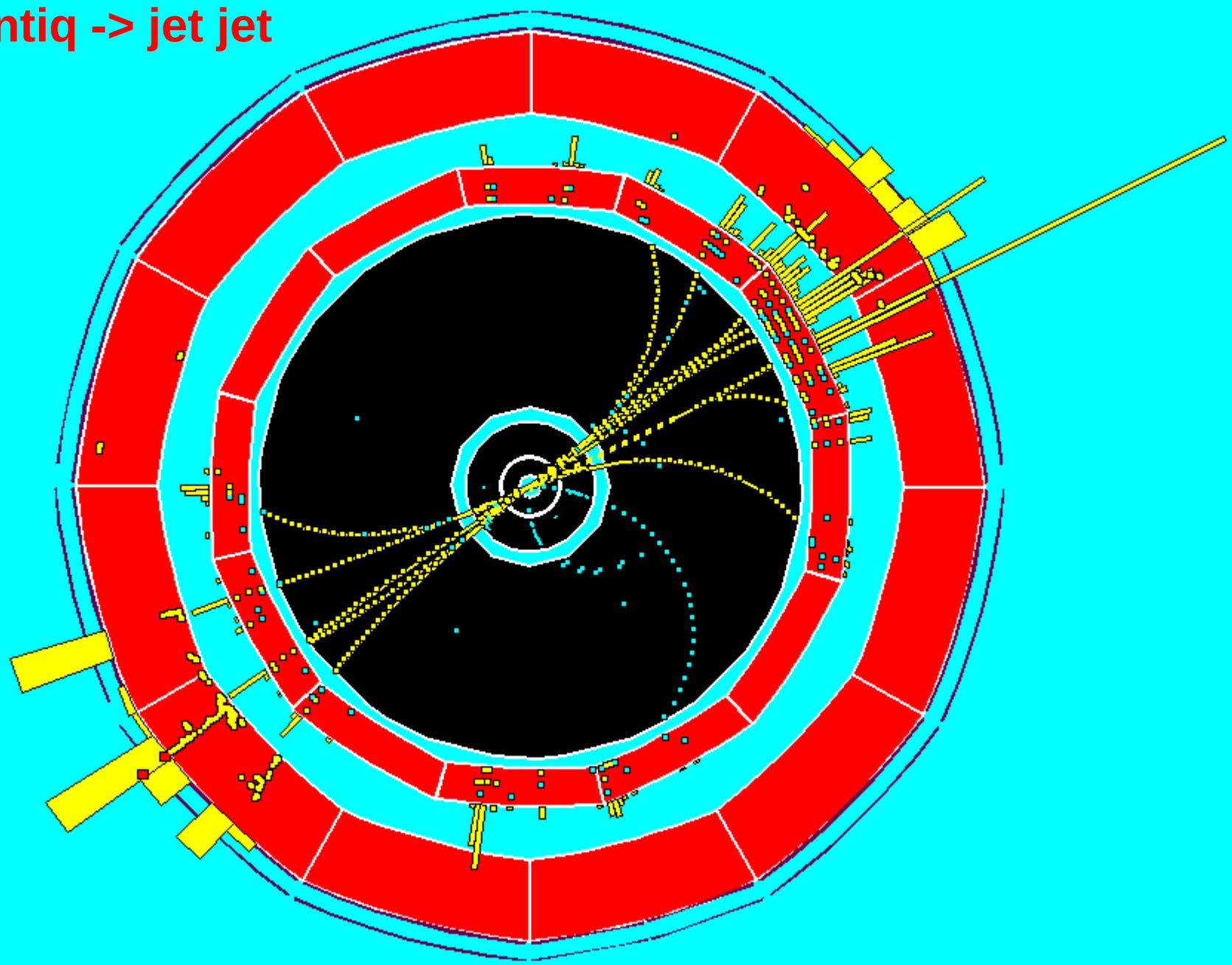
$Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$



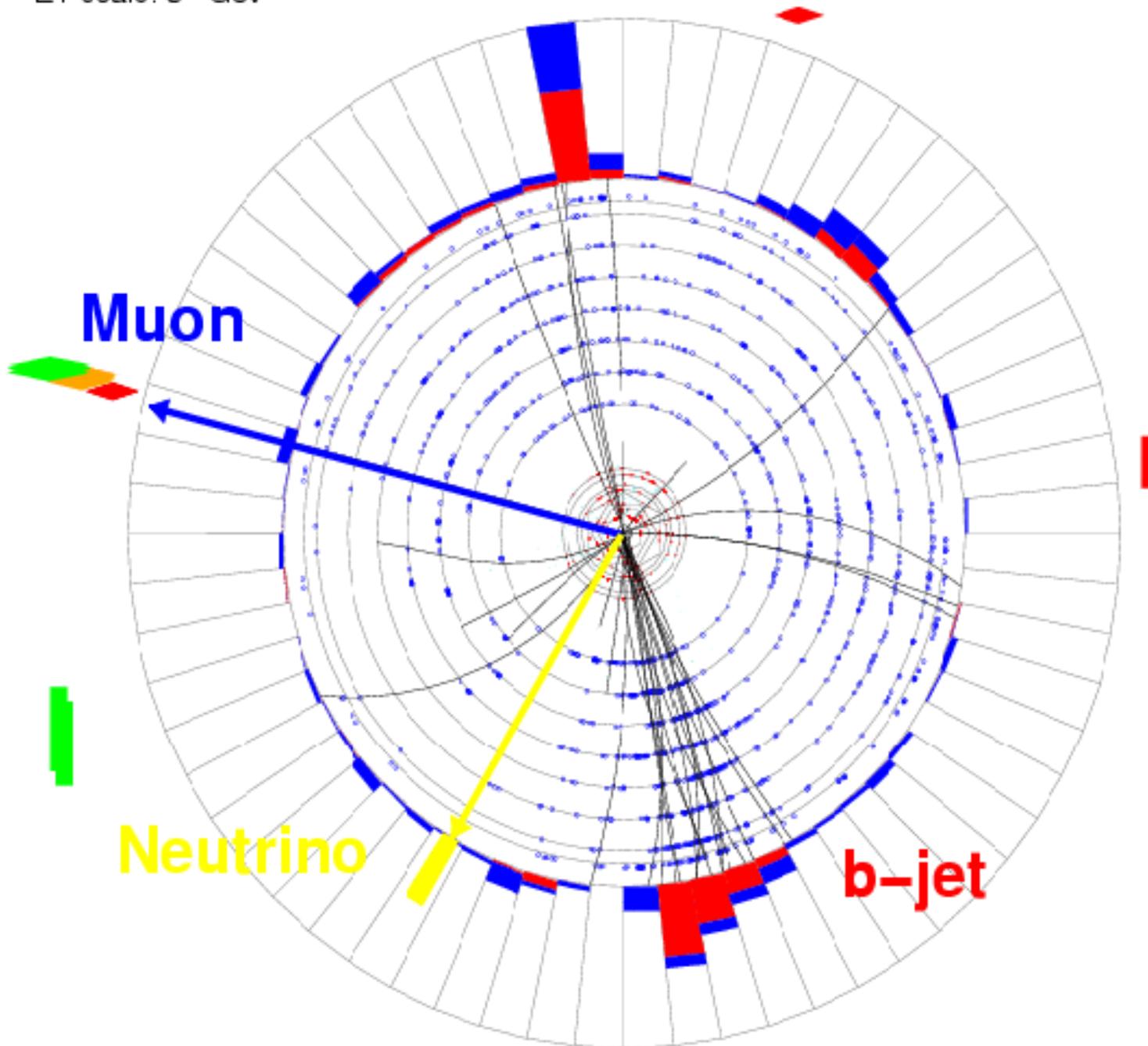
$Z^0 \rightarrow \tau^+ \tau^-$
 $\tau^+ \rightarrow e^+ \nu(e) \text{antinu}(\tau)$
 $\tau^- \rightarrow \text{hadrons } \nu(\tau)$

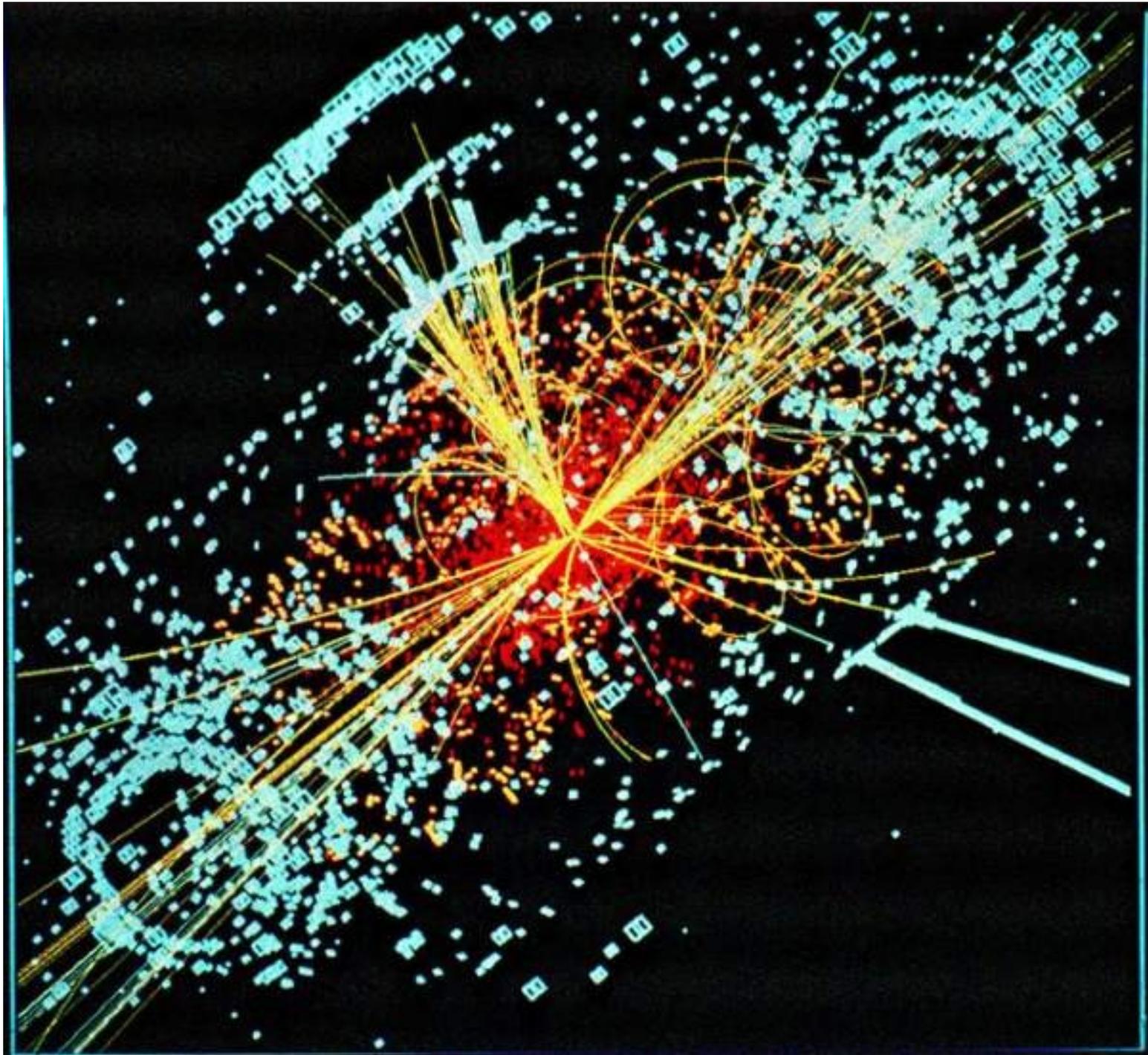


$Z^0 \rightarrow q \text{ antiq} \rightarrow \text{jet jet}$

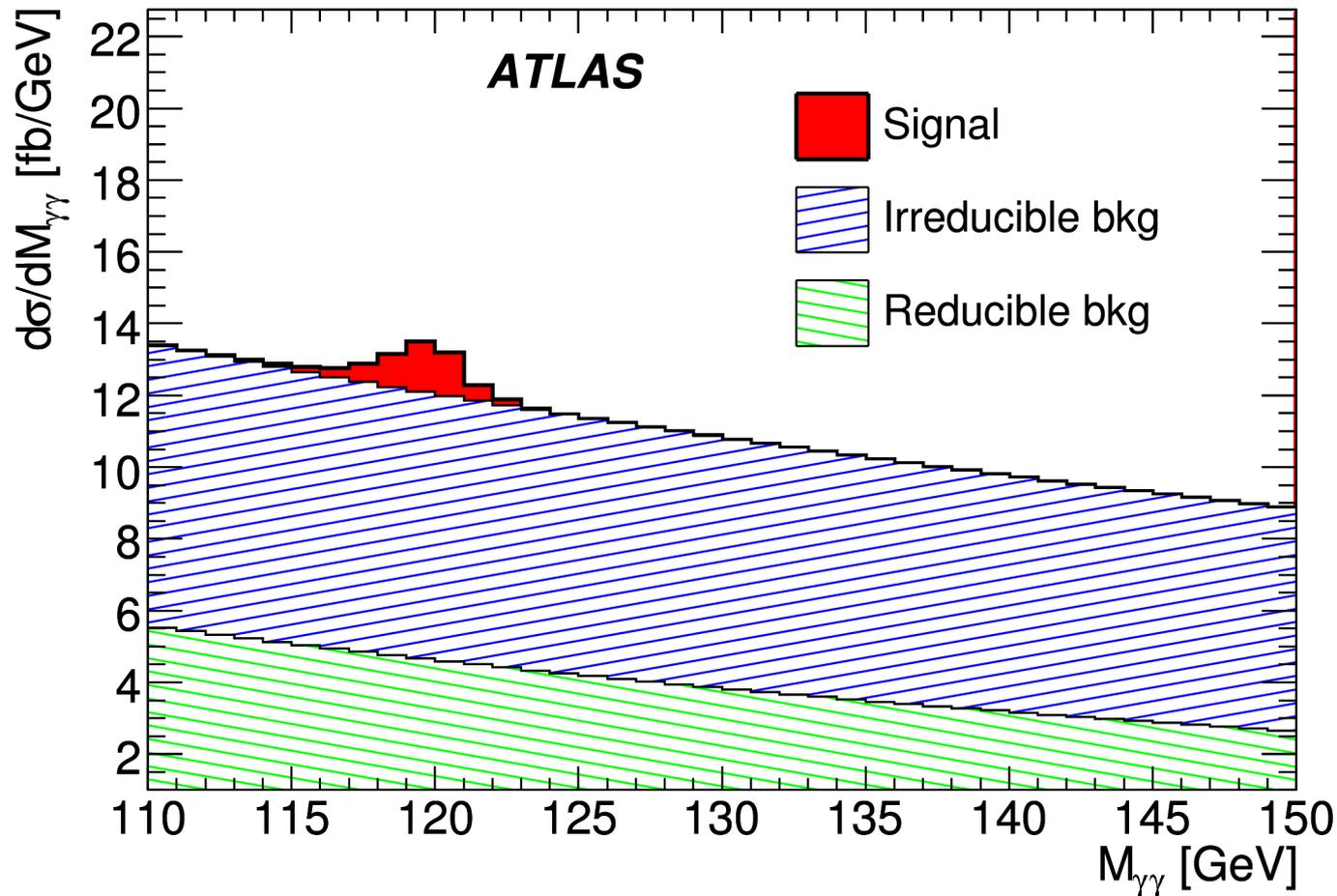


ET scale: 3' GeV





“Voir” le boson de Higgs...



(CECI EST UNE SIMULATION !)