

Un exemple de détecteur : CMS



Florian Beaudette, 20/08/2018

- ⌘ Large Hadron Collider : LHC
- ⌘ Compact Muon Solenoid : CMS

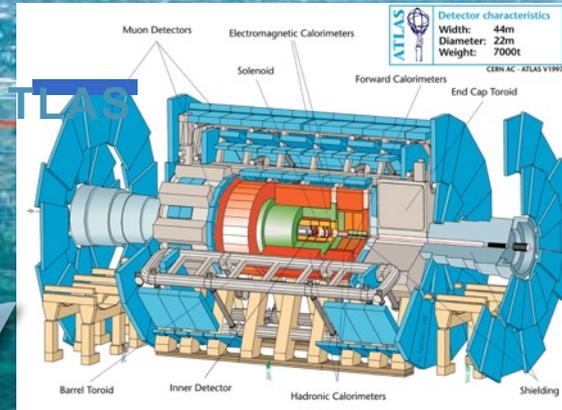
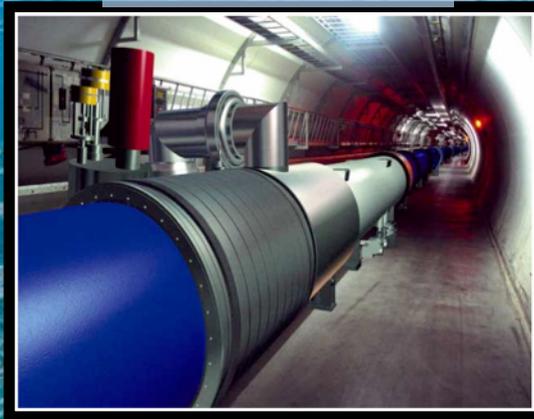
LHC

Large Hadron Collider

pp, physique du B
Violation de CP

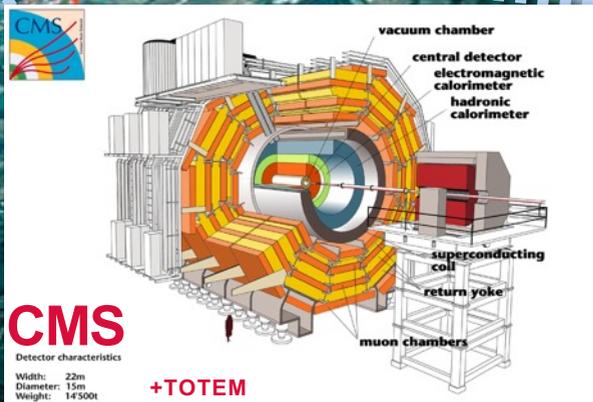


LHC : 27 km
100m sous terre



Exp. généralistes,
pp, ions lourds

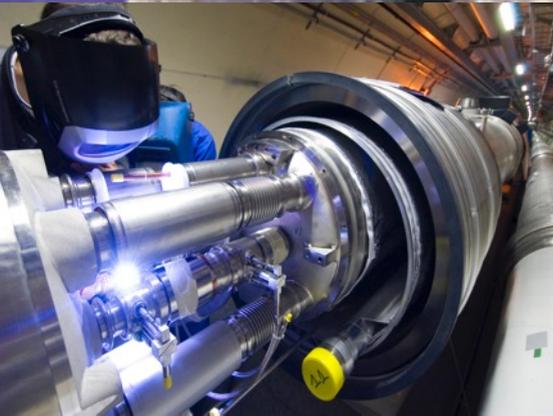
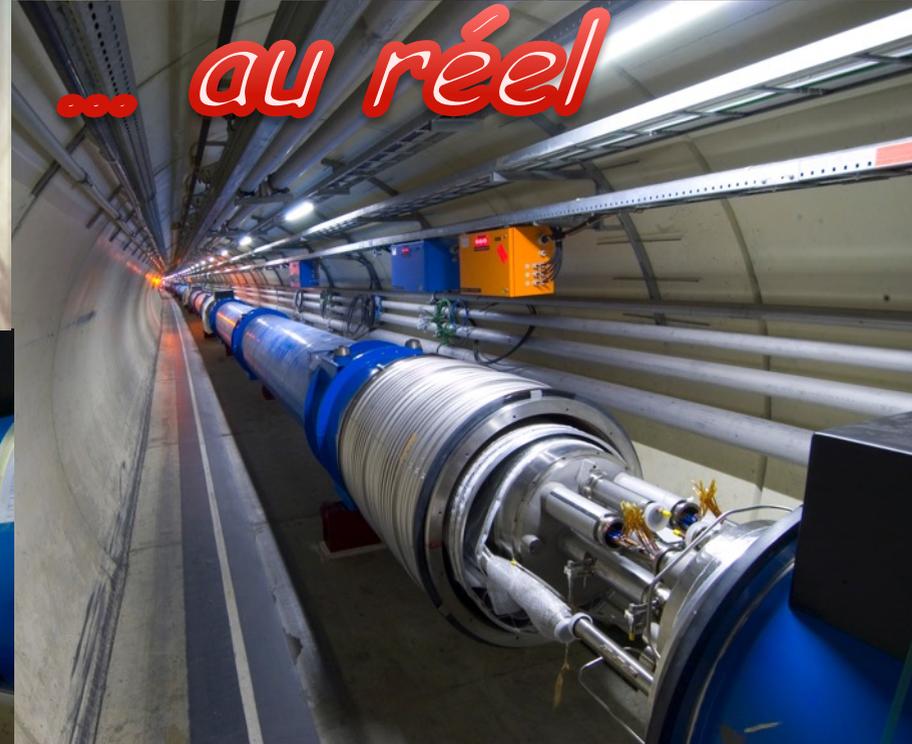
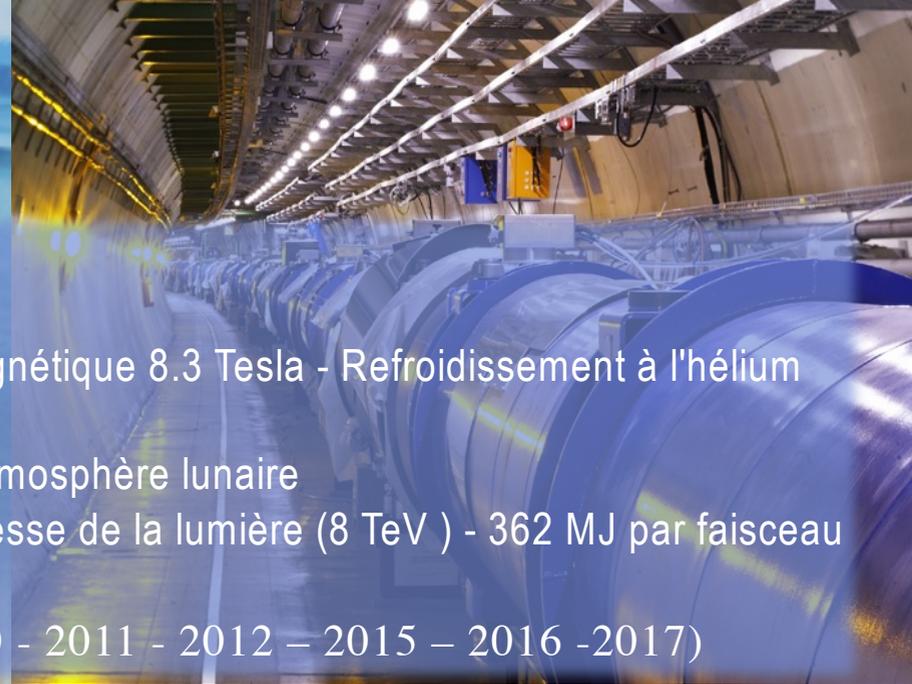
ions lourds



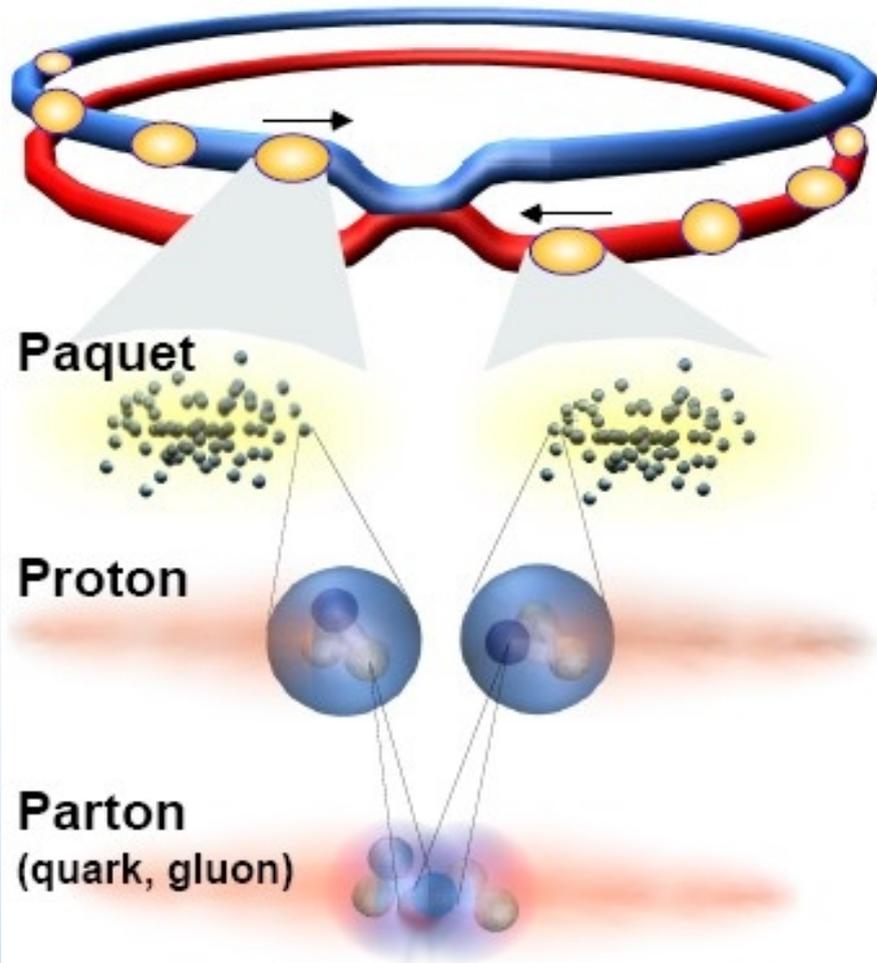
Du virtuel ...

➤ Une machine au superlatif

- 27 km de circonférence - 100 m sous terre
- 9600 aimants supraconducteurs - Champ magnétique 8.3 Tesla - Refroidissement à l'hélium superfluide à -271°C (1.9 K)
- Vide poussé : pression 10 x plus faible que l'atmosphère lunaire
- Les protons circulent à 99.9999986% de la vitesse de la lumière (8 TeV) - 362 MJ par faisceau - 10 microns aux points de croisement
- 2017 : 8^{ème} démarrage (2008 - 2009 - 2010 - 2011 - 2012 - 2015 - 2016 - 2017)



LHC Accélérateur et collisionneur



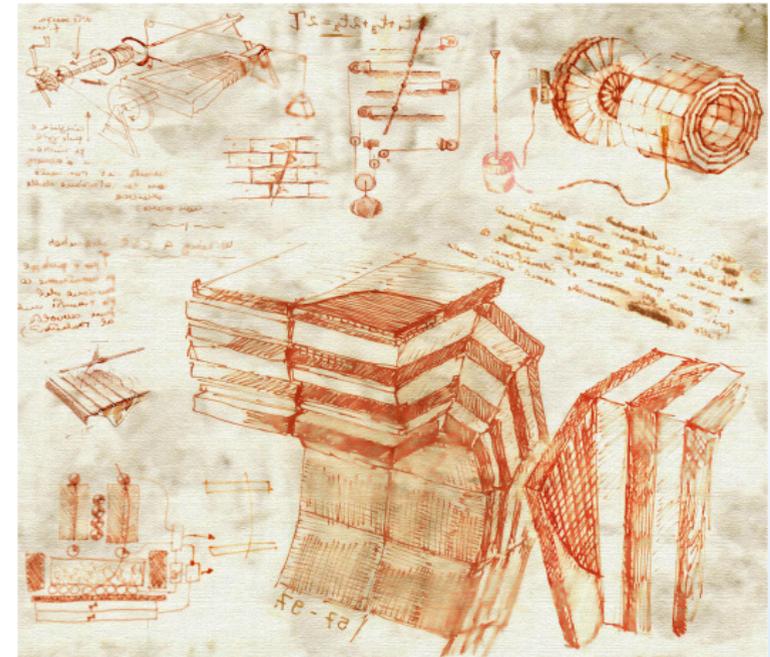
Proton-Proton	2808 × 2808 paquets
Protons/paquet	10^{11}
Energie des faisceaux	8 TeV ($8 \cdot 10^{12}$ eV)
Luminosité	$2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$
Taux des croisement	40 MHz
Collisions \approx	$10^7 - 10^9 \text{ Hz}$

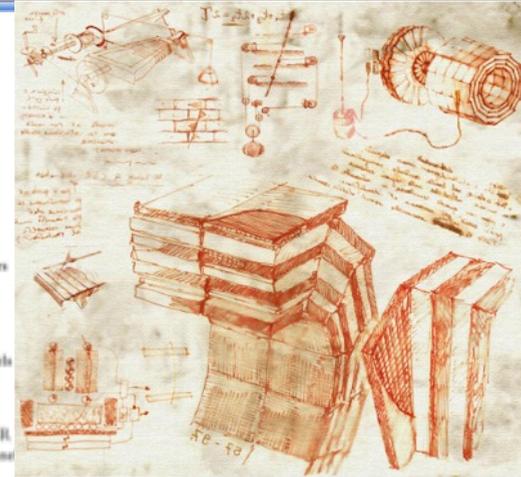
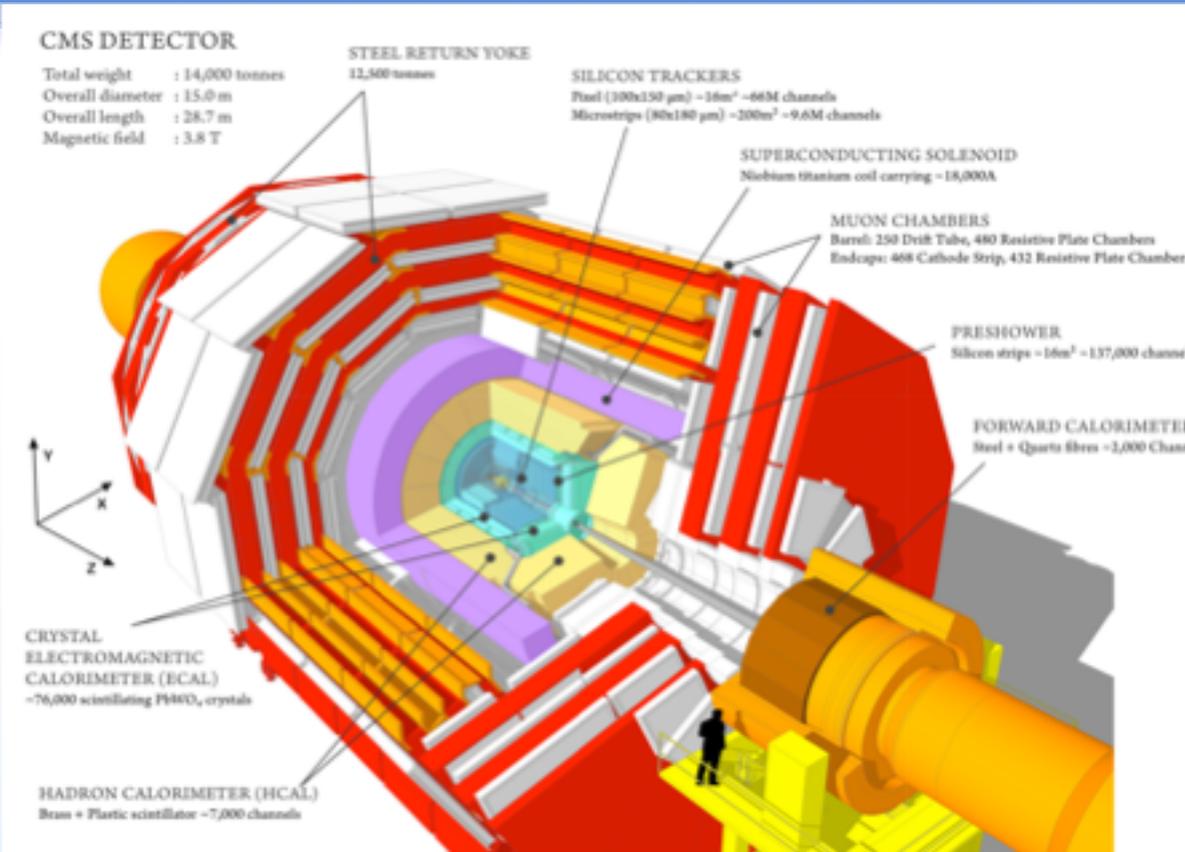
Détection

⚓ Collision → création de particules

⚓ But du détecteur

- 🗨 Identification des particules
- 🗨 Mesure de leur position, trajectoire, quantité de mouvement, charge, masse
- 🗨 En général plusieurs sous-couches de détection : une pour chaque type de particule



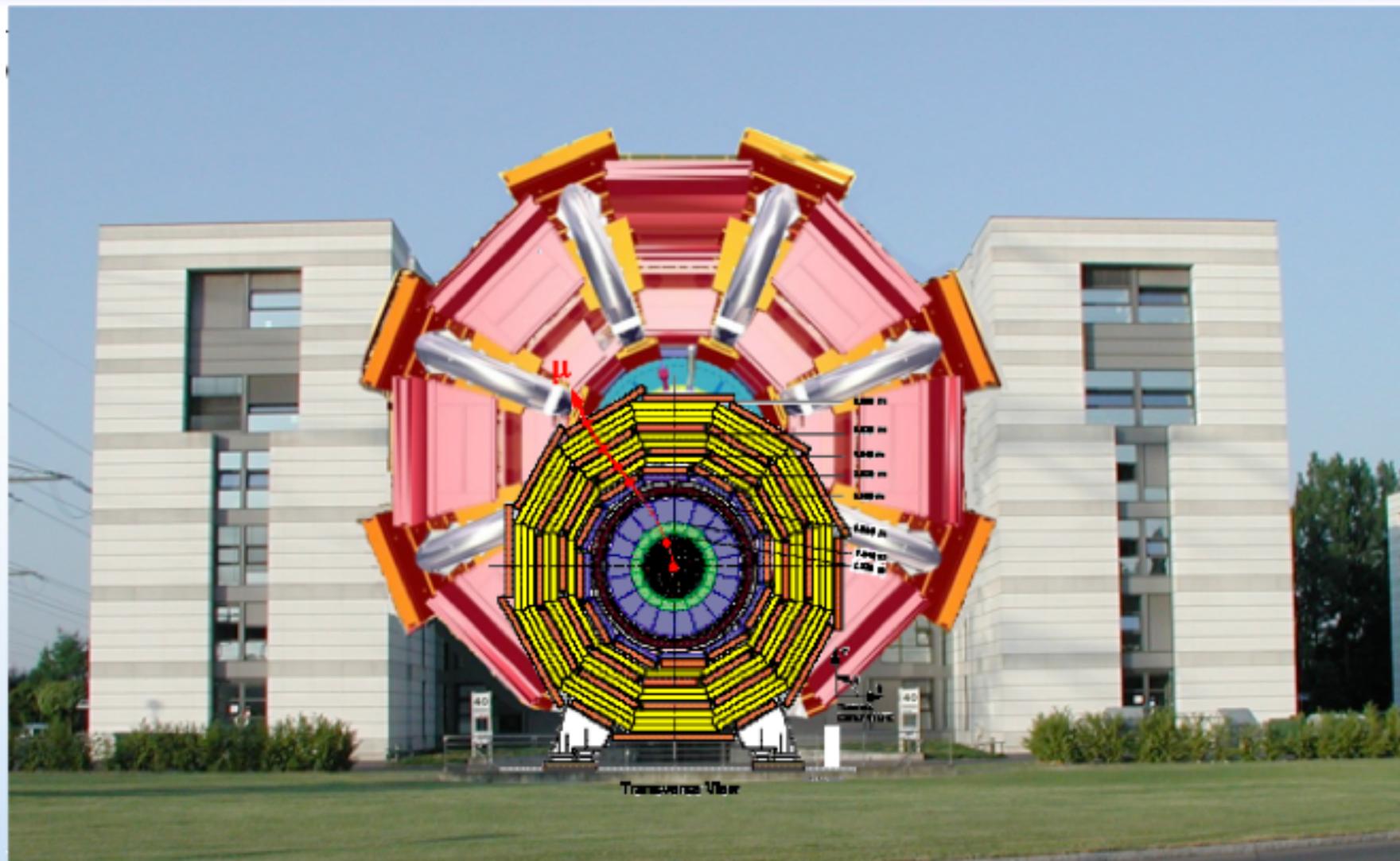


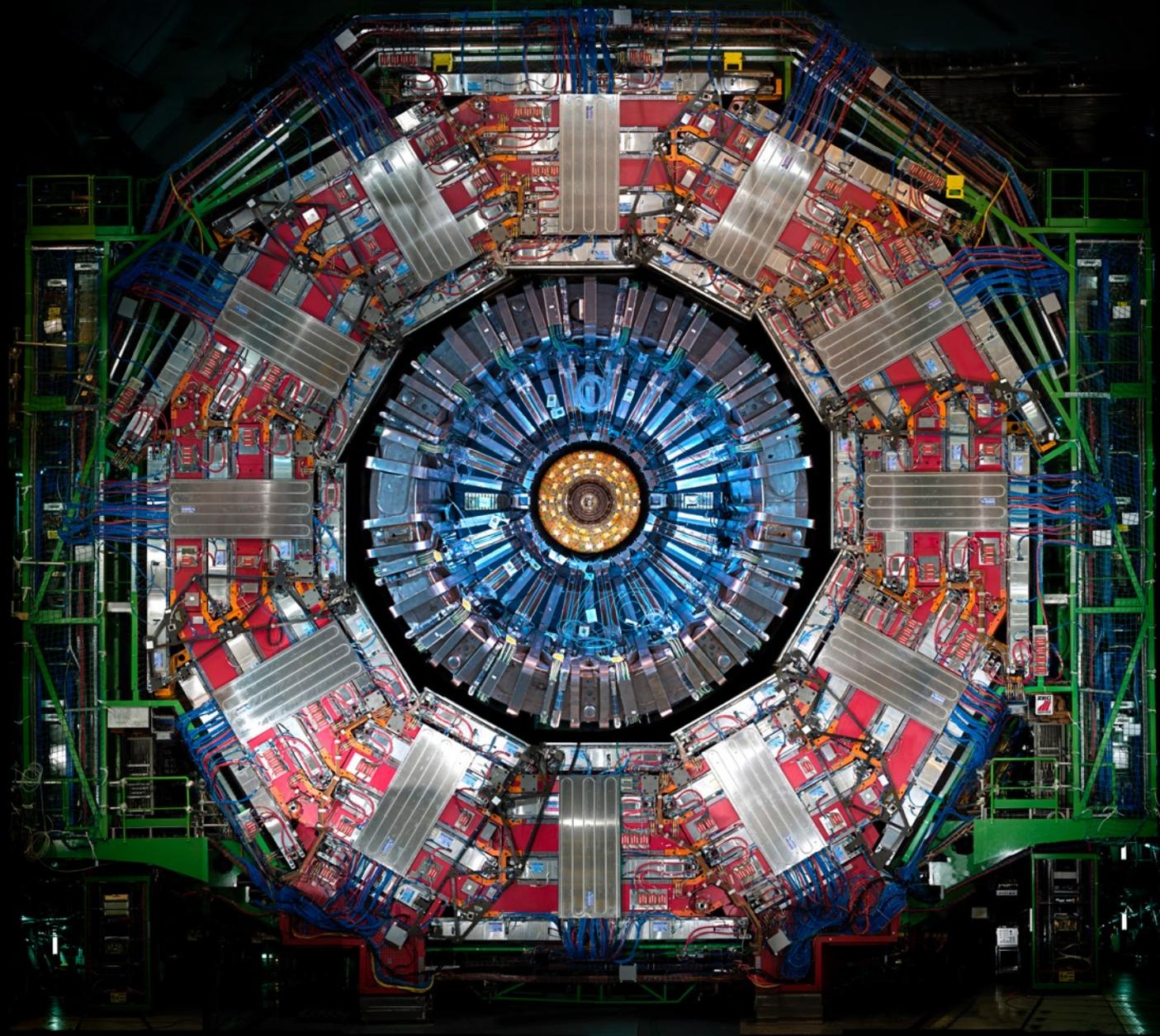
Projet proposé en 1990

42 pays, plus de 3800 scientifiques
 30 m de long, 15 m de haut

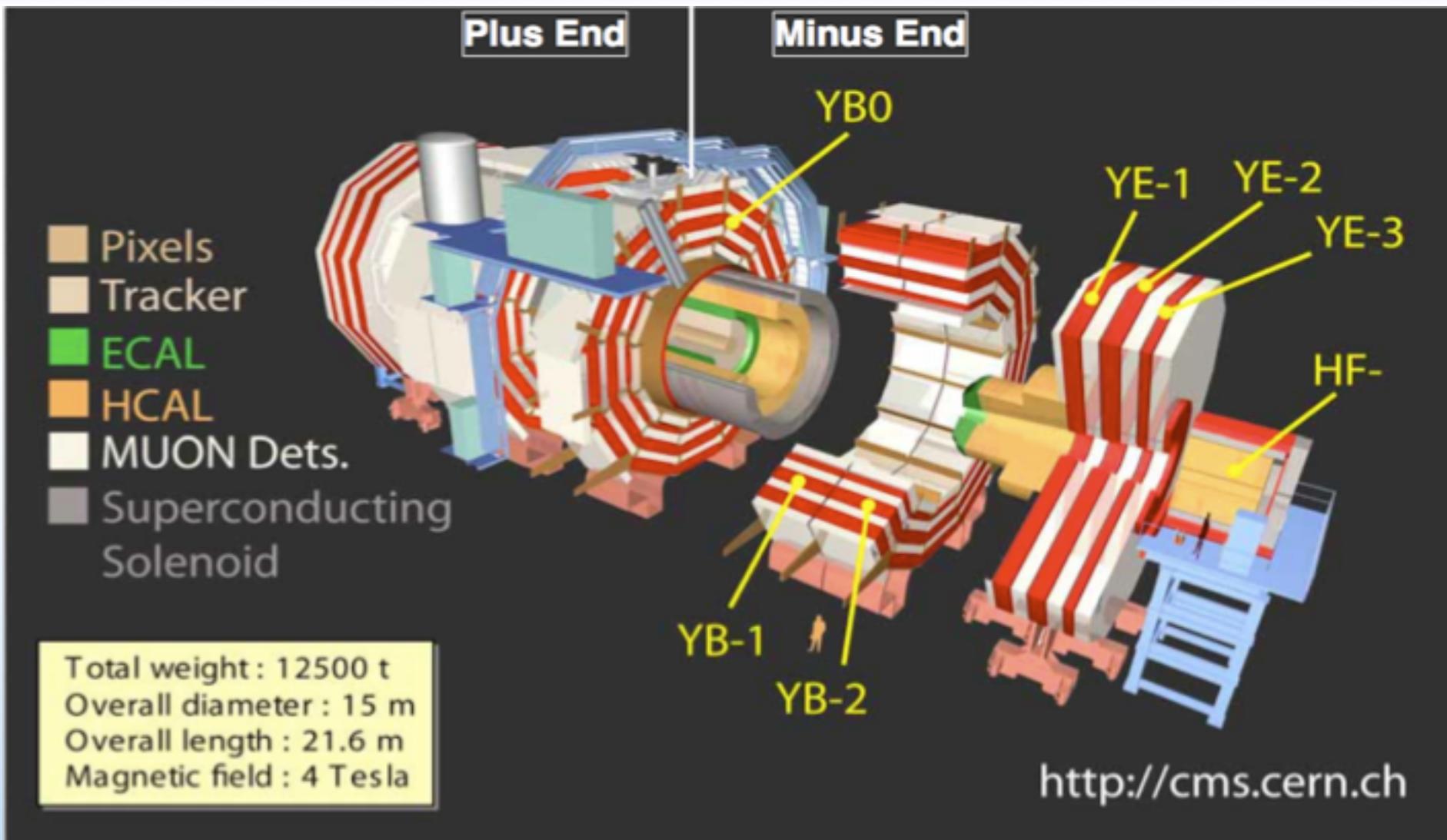
🗨 **Détecteur** : réponse rapide, grande granularité (15 M canaux), résistance radiations, herméticité

« Compact »





CMS

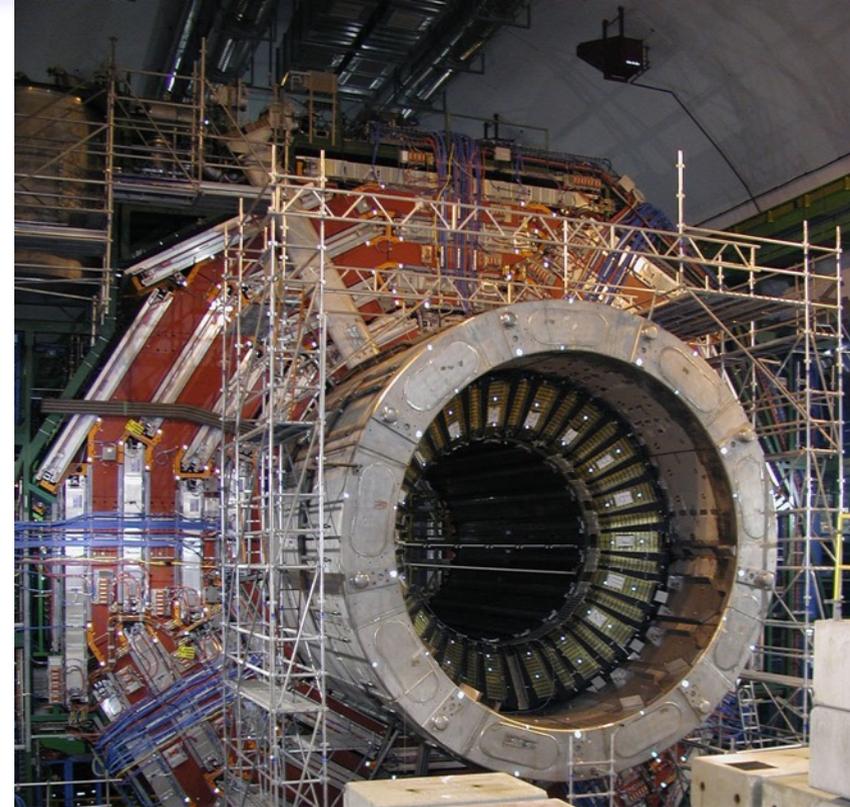
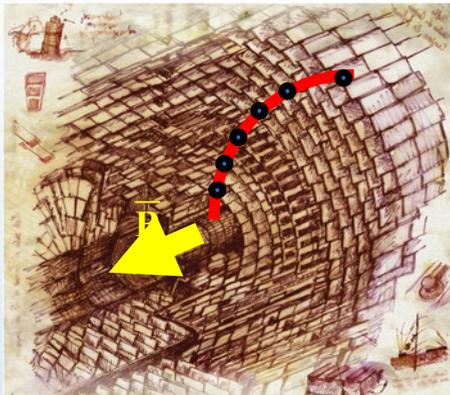


Champ magnétique



Principe

- Utilisation d'un champ magnétique pour courber la trajectoire des particules chargées
- Mesure de la quantité de mouvement des particules : plus elle est grande, moins les trajectoires sont courbées
- CMS : 3.8 Tesla ($100000 \times$ le champ magnétique terrestre)



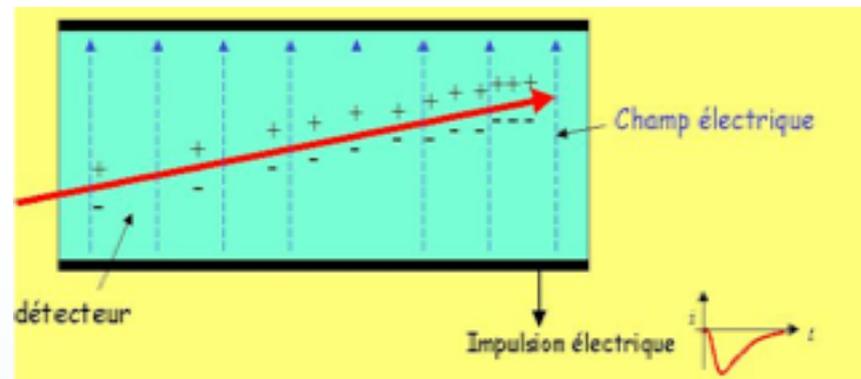
- Aimant supra-conducteur
- Intensité: ~ 19000 A
- Energie stockée: 2.5 GJ



Trajectographe

- ⚓ Particules détectées : toutes les particules chargées (électrons, pions, muons, ...)
- ⚓ Principe de détection

- 💬 Ionisation des atomes du milieu par des particules chargées
- 💬 Récupération des charges créées

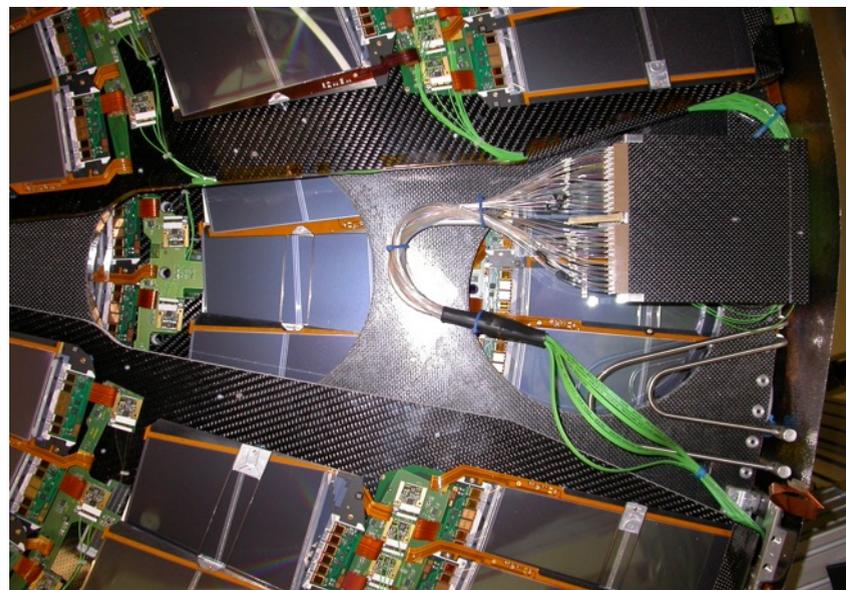
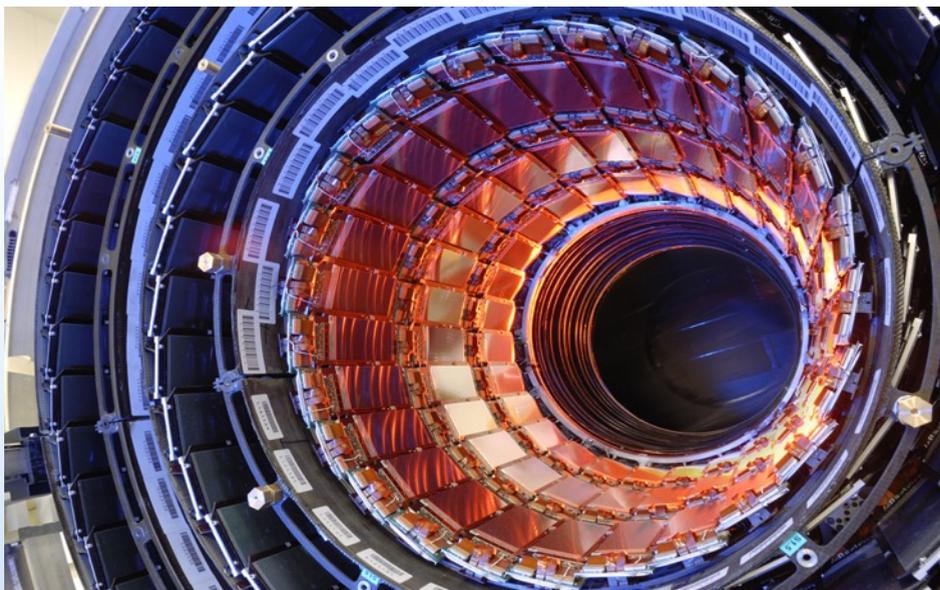
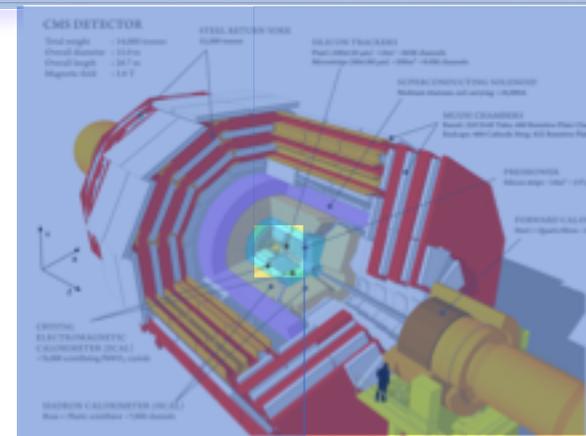


- 💬 Plusieurs couches successives
- 💬 ⇒ Reconstruction de la trajectoire de la particule chargée

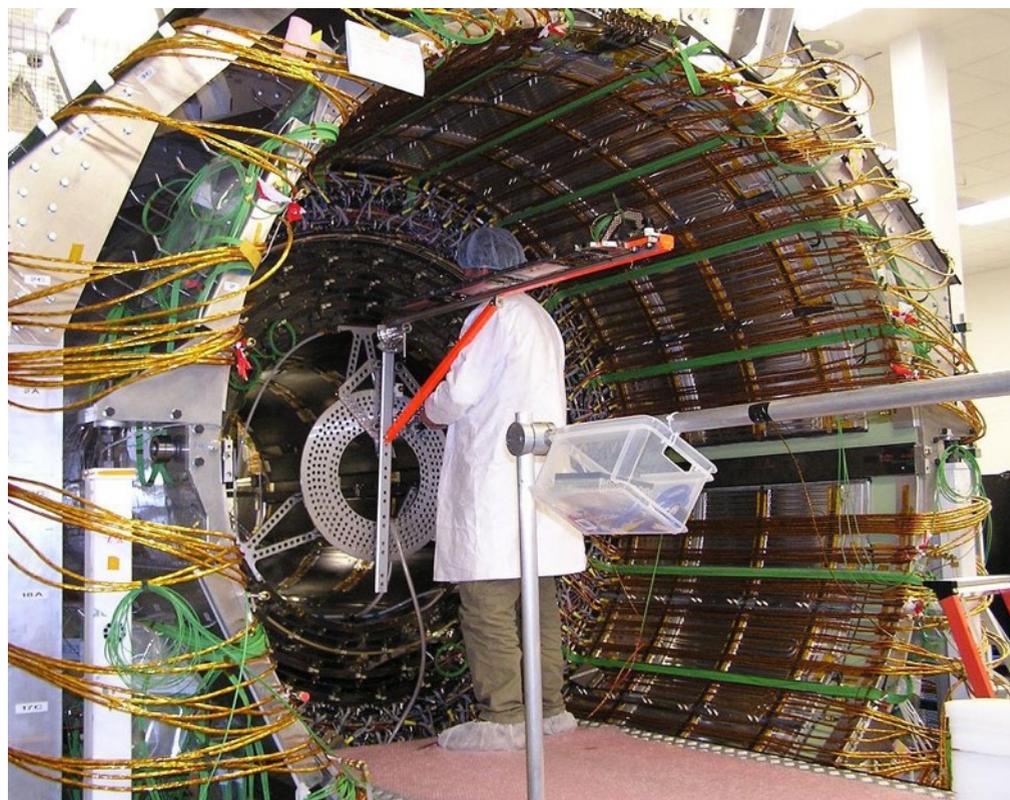
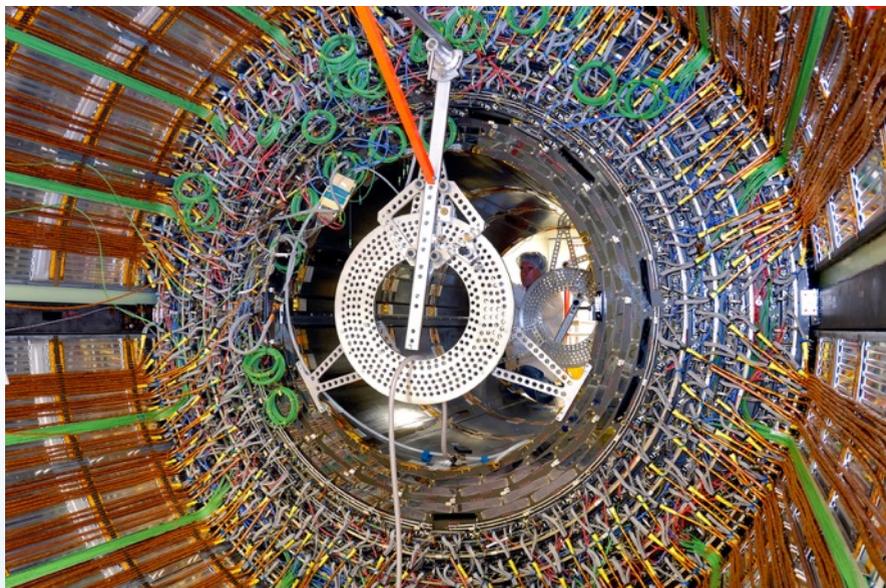
Trajectographe

⚓ Trajectographe en silicium (200 m²)

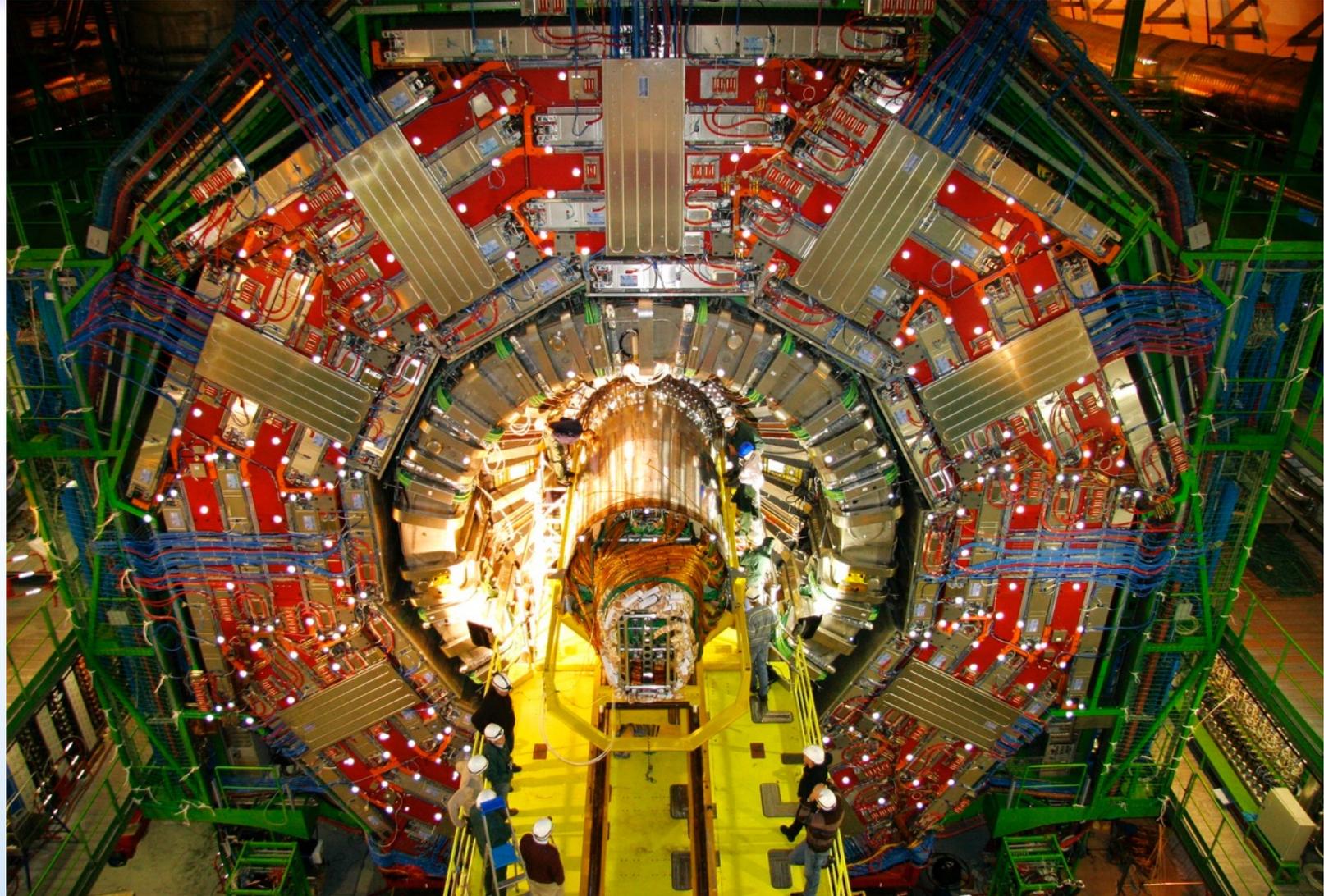
- 🗨️ Au plus près des collisions
- 🗨️ Dans champ magnétique intense 3.8 Tesla
- 🗨️ > 70 Millions de canaux



Trajectographe



Insertion du trajectographe



Calorimètre électromagnétique

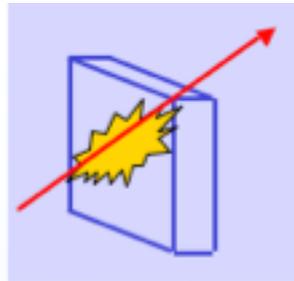
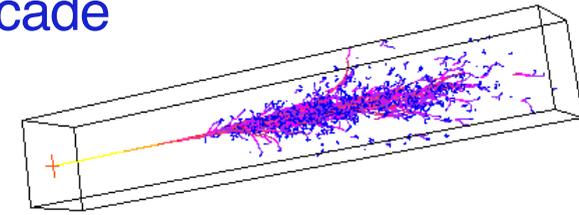
⚓ Particules détectées : électrons (première particule élémentaire découverte) et photons

⚓ Principe de détection

💬 Matériaux très denses : déclenchement d'une cascade électromagnétique (électrons et photons)

💬 Scintillateurs :

- Atomes excités → émission de lumière
- Récupération de la lumière → mesure de l'énergie récoltée par le scintillateur

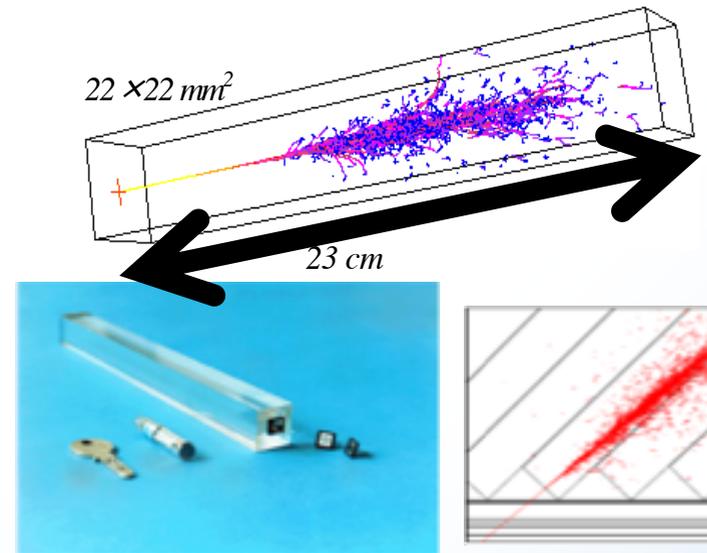
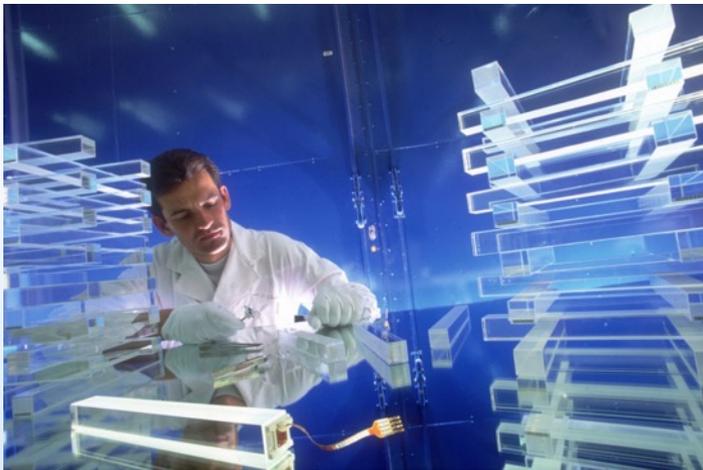
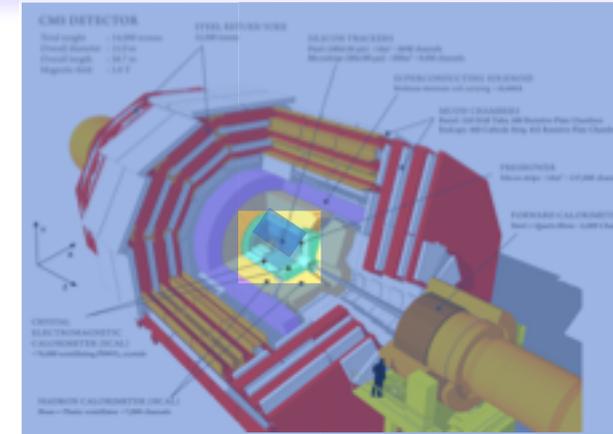


💬 Perte totale d'énergie de l'électron ou du photon dans le calorimètre électromagnétique :
mesure par l'énergie récoltée de l'énergie de la particule incidente

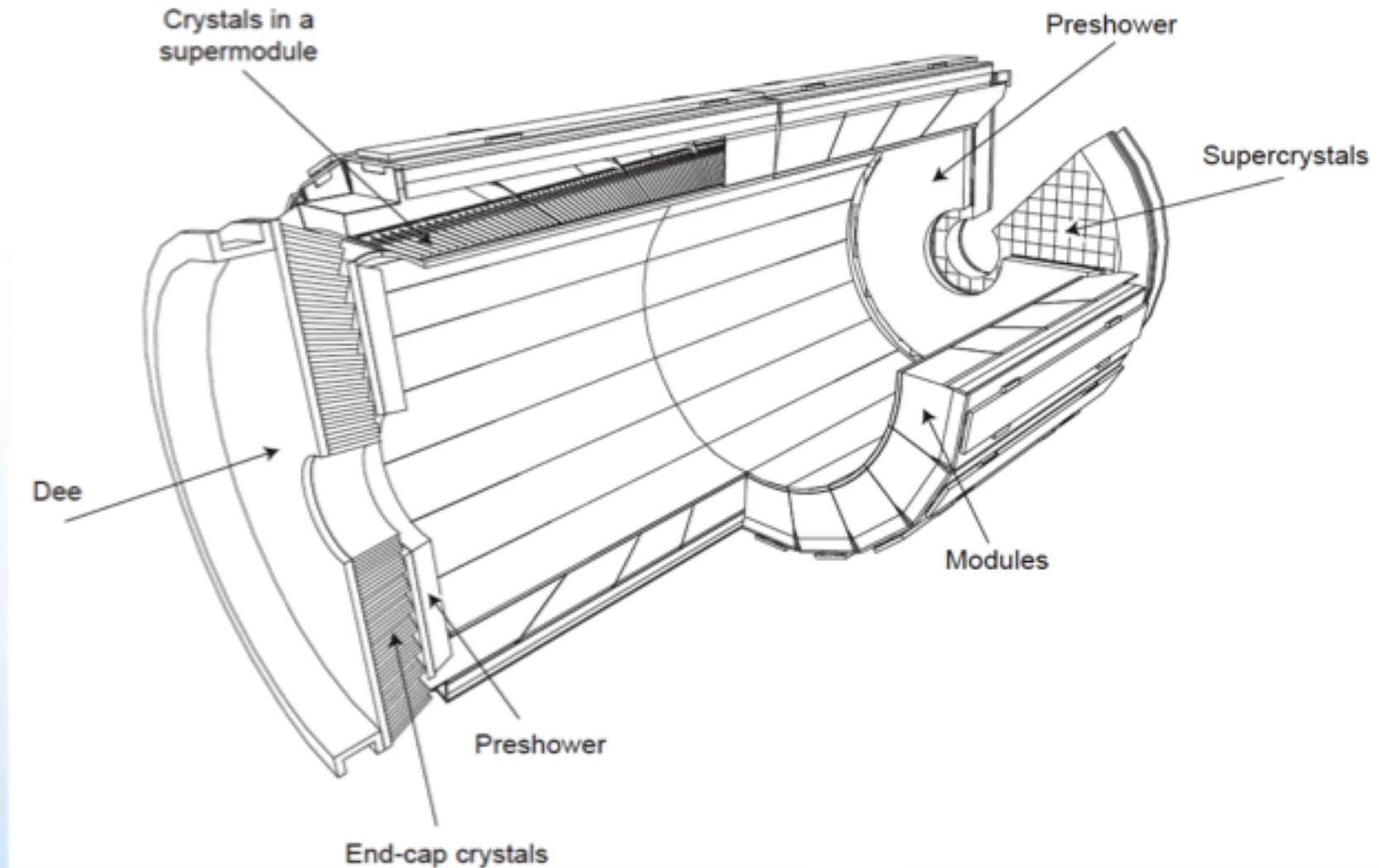
Calorimètre électromagnétique

Détection des électrons et photons

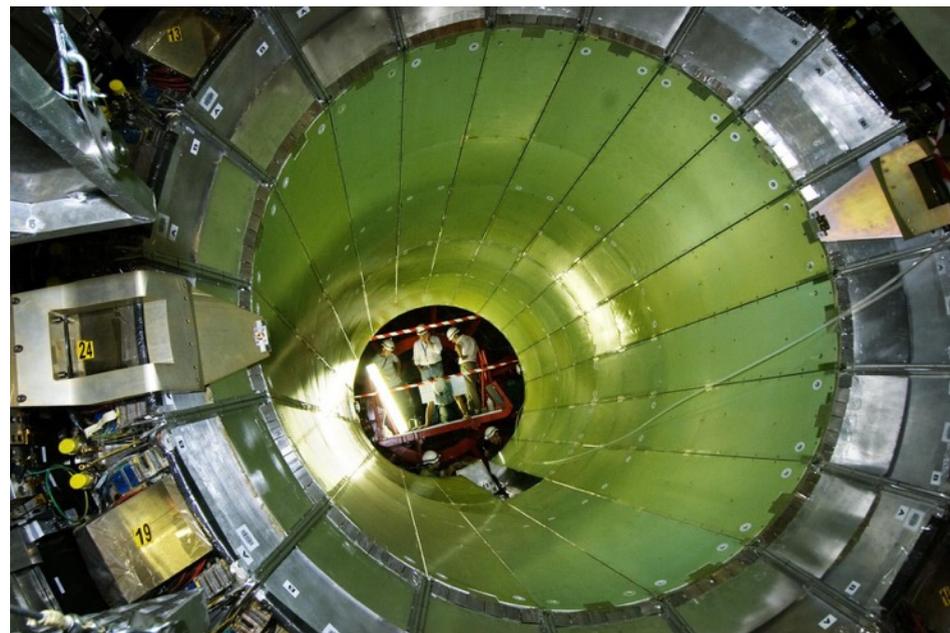
- Cristaux scintillants de tungstate de plomb (PbWO_4) 75848



Calorimètre électromagnétique

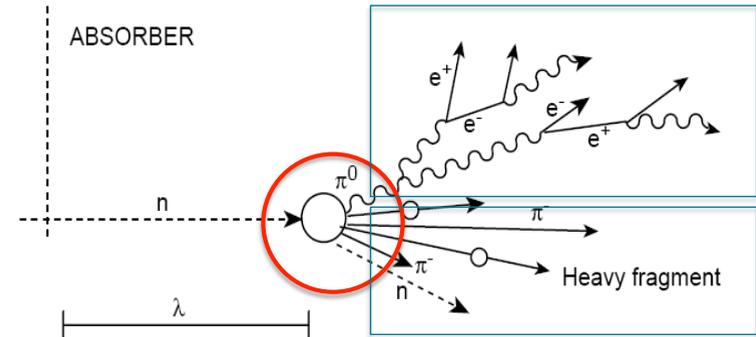


Calorimètre électromagnétique



Calorimètre hadronique

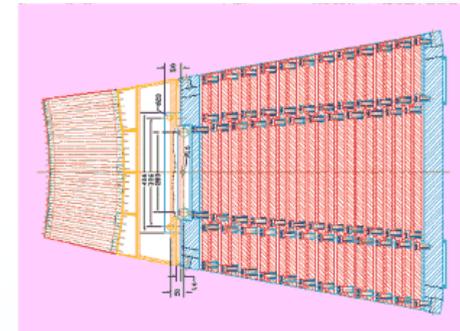
- ⚓ Particules détectées : hadrons (pions, neutrons, quarks sous forme de jets...)
- ⚓ Principe de détection



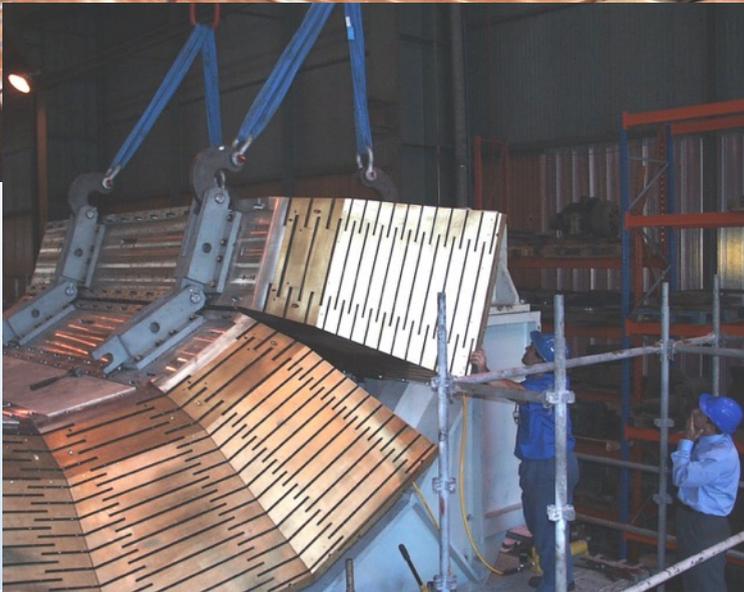
🗨 Couches successives :

- matériaux denses (absorbeurs) qui déclenchent une cascade hadronique
- matériaux de détection (scintillateurs) qui récoltent l'énergie

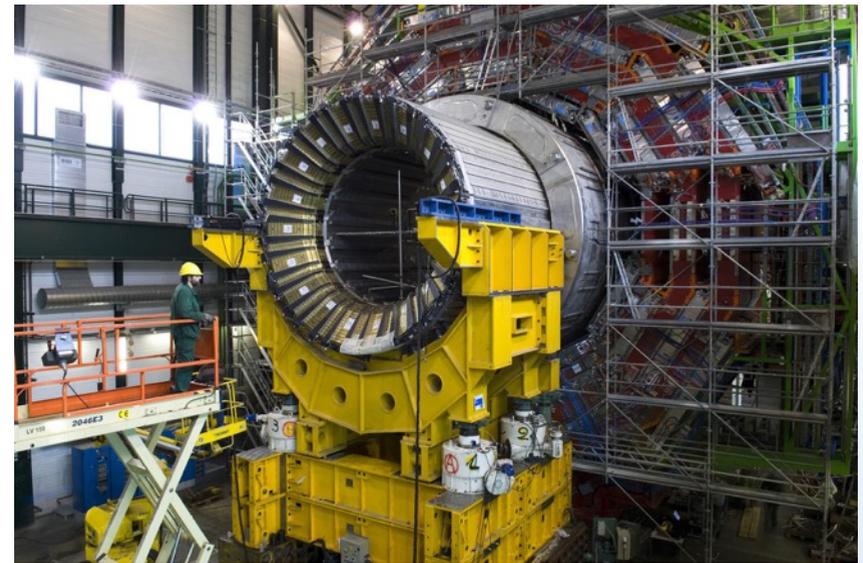
- 🗨 Perte totale d'énergie du hadron dans le calorimètre hadronique :
mesure par l'énergie récoltée
de l'énergie de la particule incidente



Calorimètre hadronique



Calorimètre hadronique

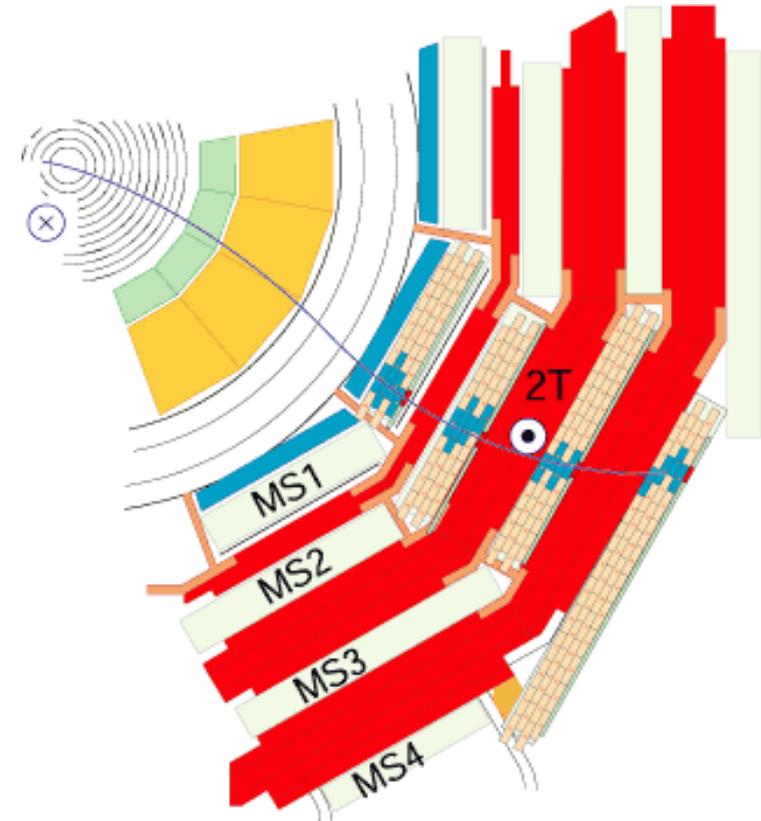


Détecteurs à muons

⚓ Particules détectées : muons

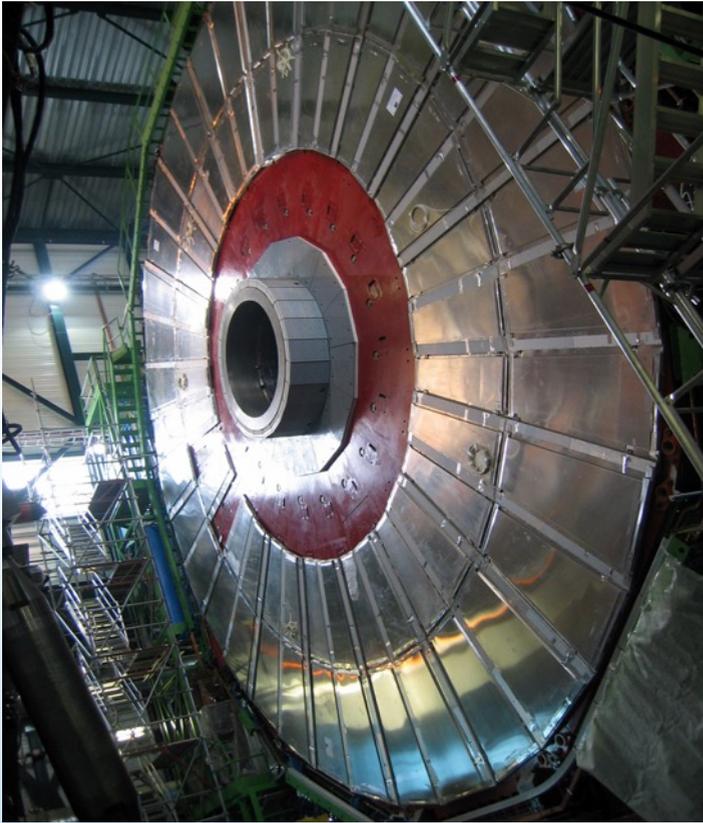
⚓ Principe de détection

- ➊ Plusieurs stations qui calculent la trajectoire par ionisation
- ➋ Champ magnétique de 2 Tesla au milieu des stations → trajectoires courbées, calcul de la quantité de mouvement
- ➌ Muons interagissent peu : non stoppés par le détecteur → détecteurs à muons à l'extérieur des autres sous-détecteurs
- ➍ Association avec info trajectographe

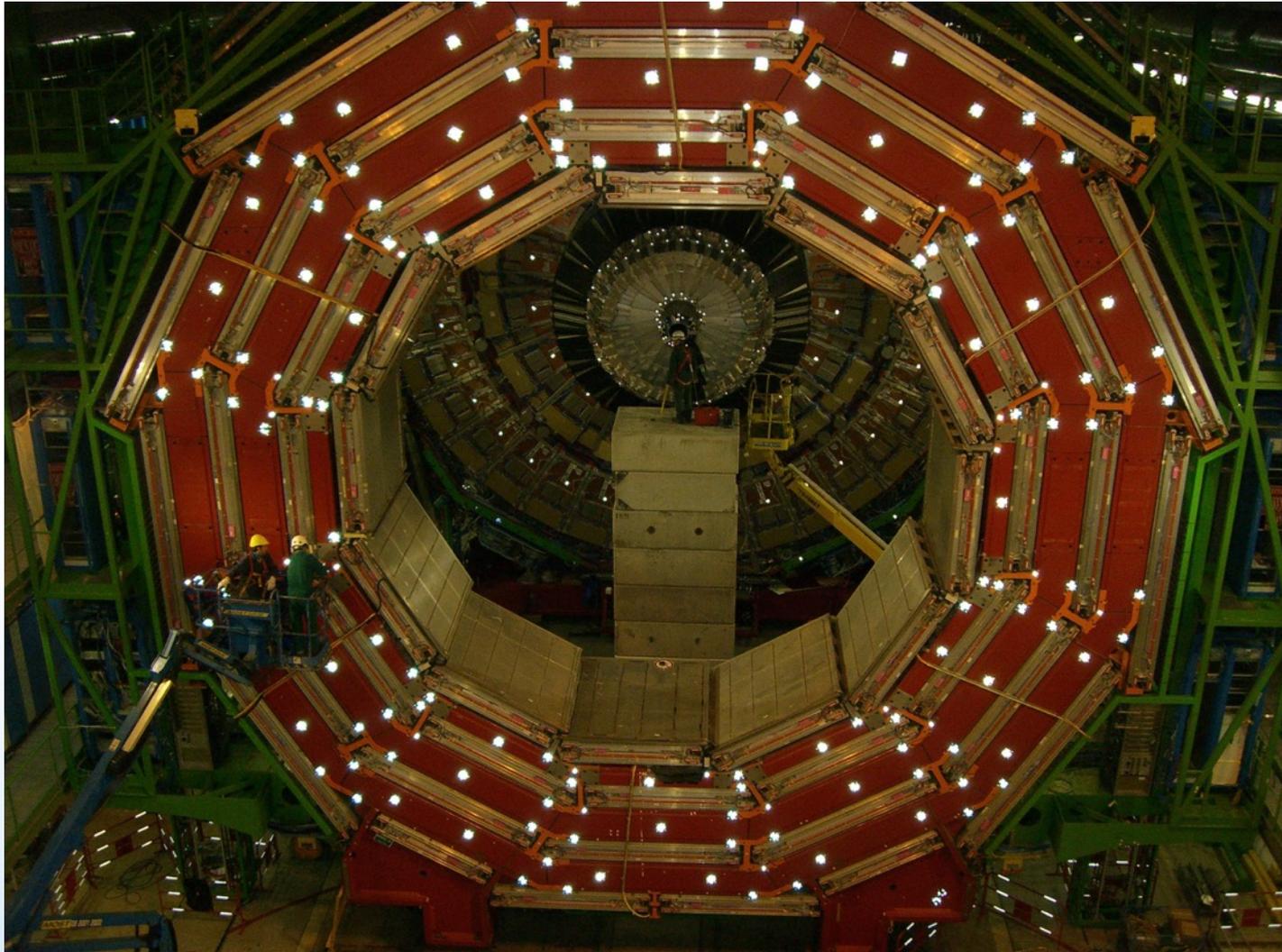


Détecteurs à muons

⚓ Particules détectées : muons



Détecteurs à muons

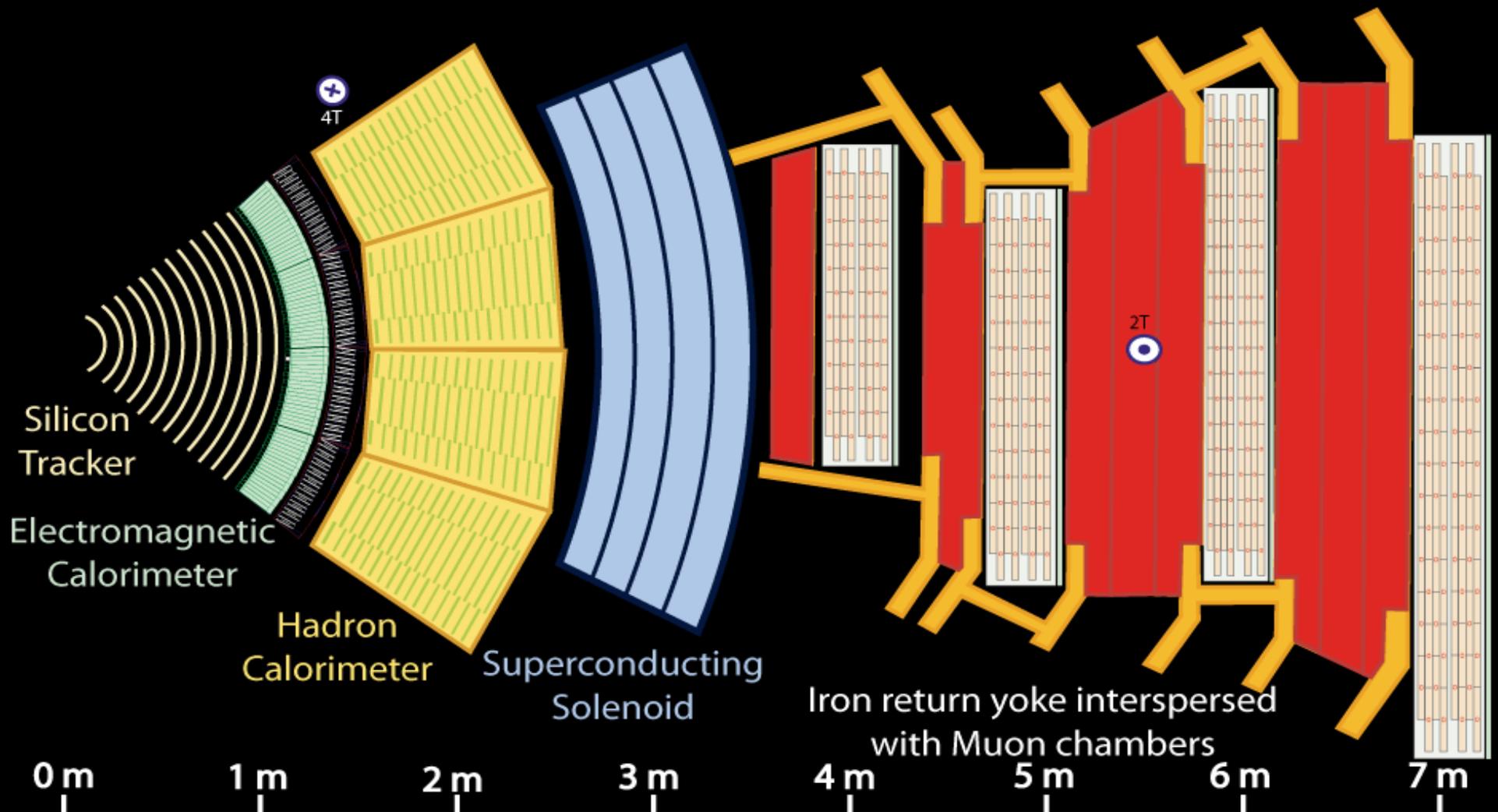


CMS en fonctionnement



➤ **Prise de données**

- Nov-déc 2009 : 900 GeV et 2.46 TeV
- 2010 - 2011 : 7 TeV
- 2012 : 8 TeV
- 2015 : 13 TeV
- 2016 : 13 TeV
- 2017 : 13 TeV
- 2017 : 13 TeV, très bientôt!



Key:

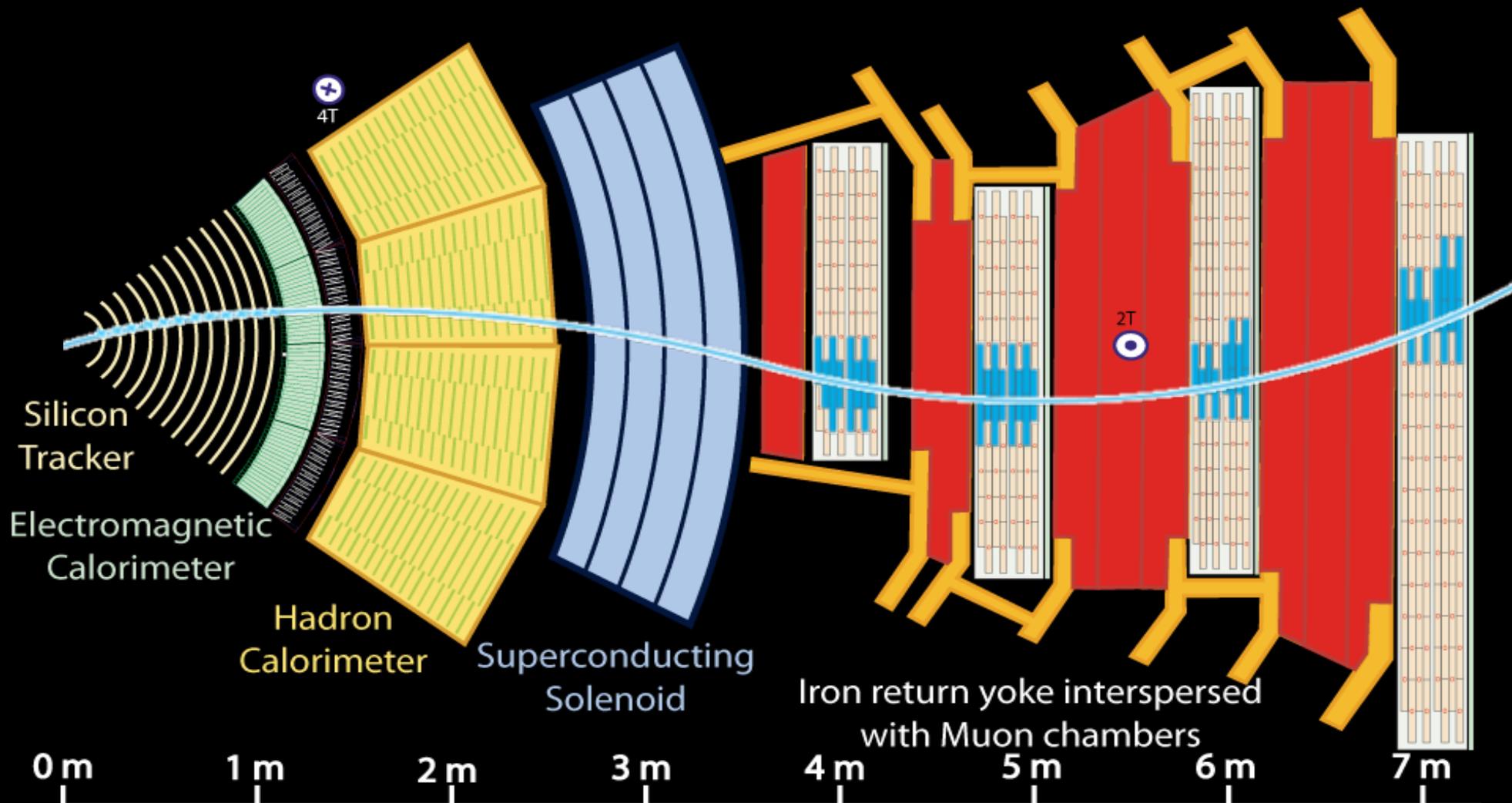
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

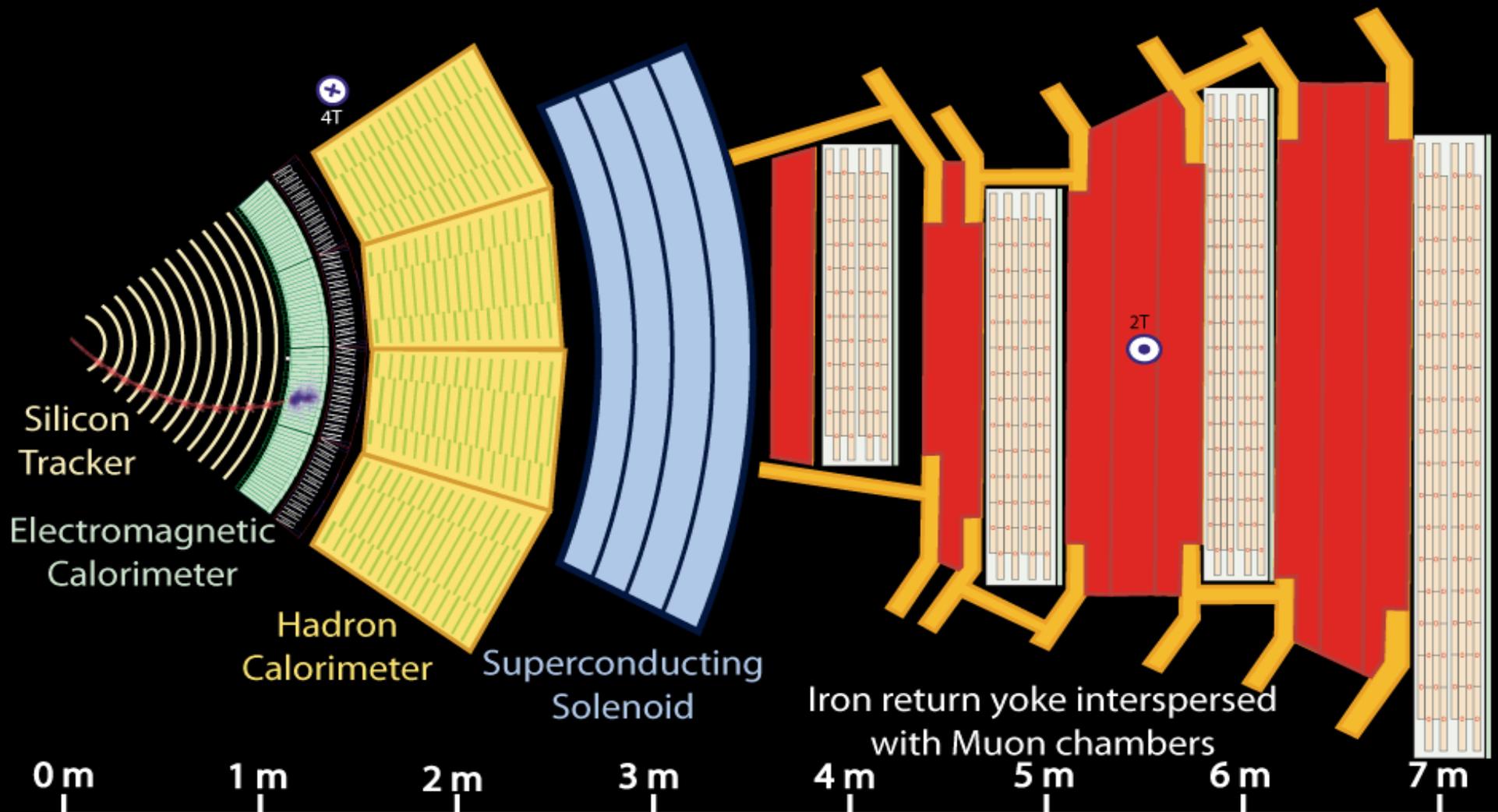
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



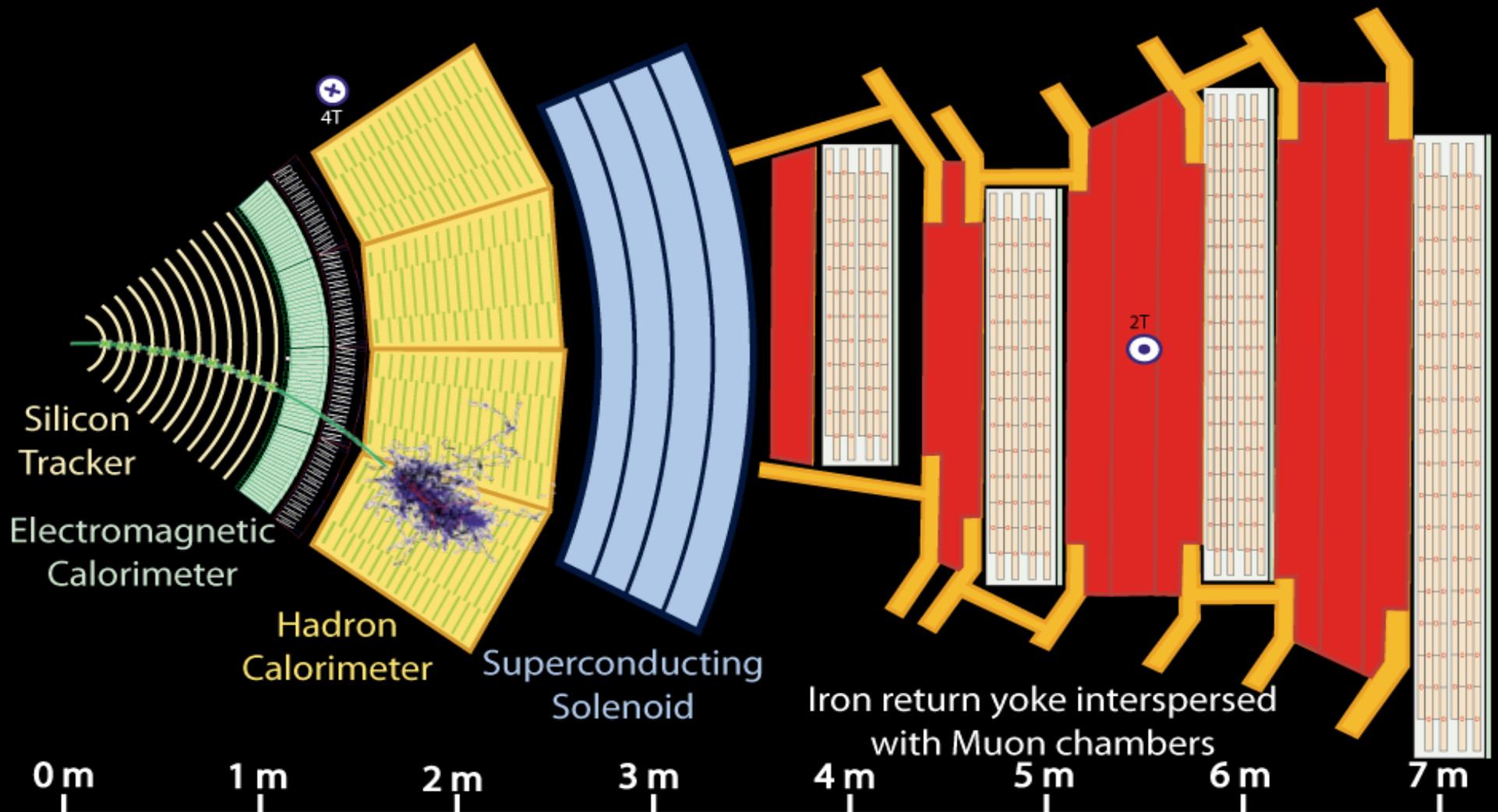
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



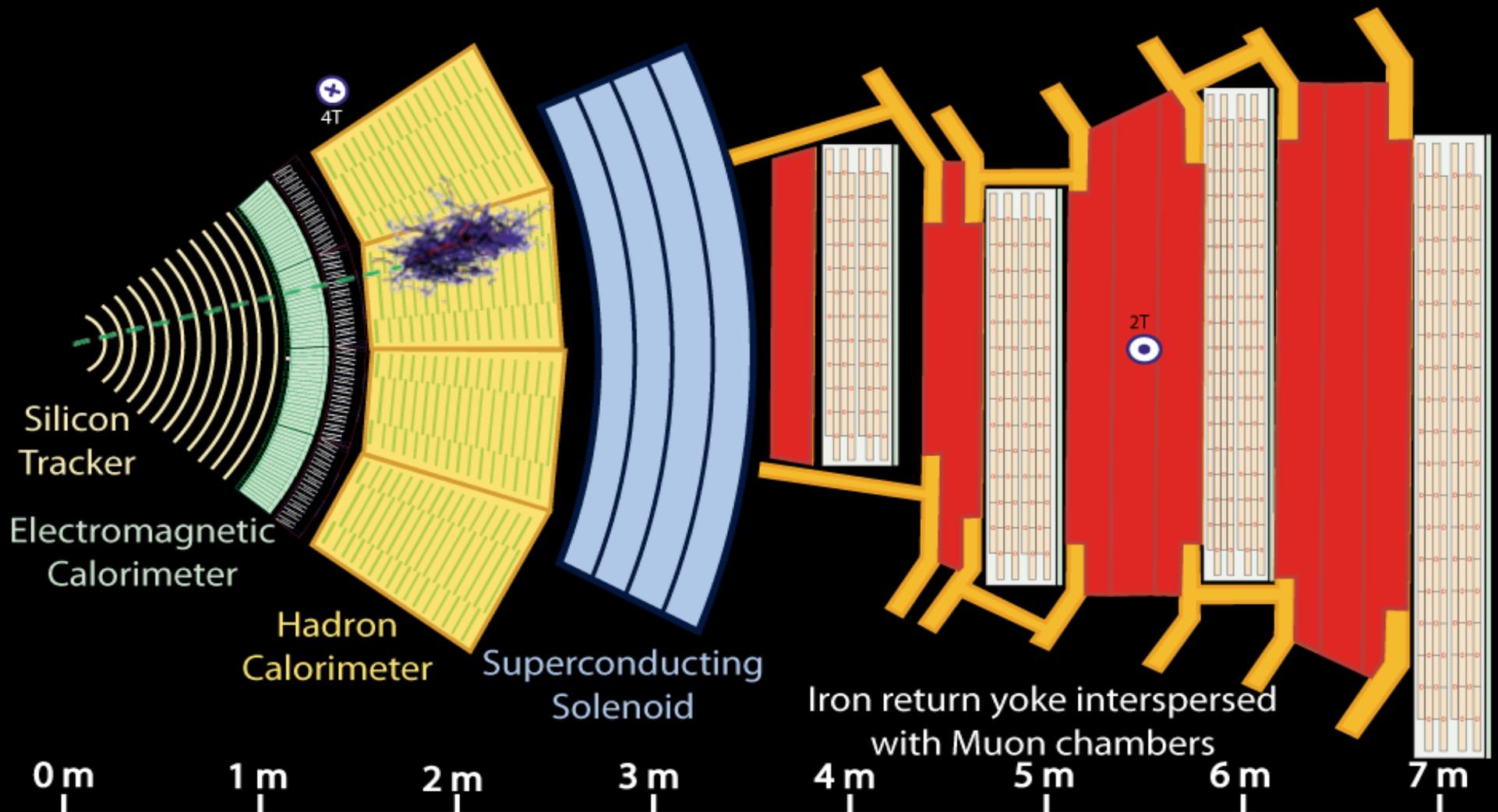
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



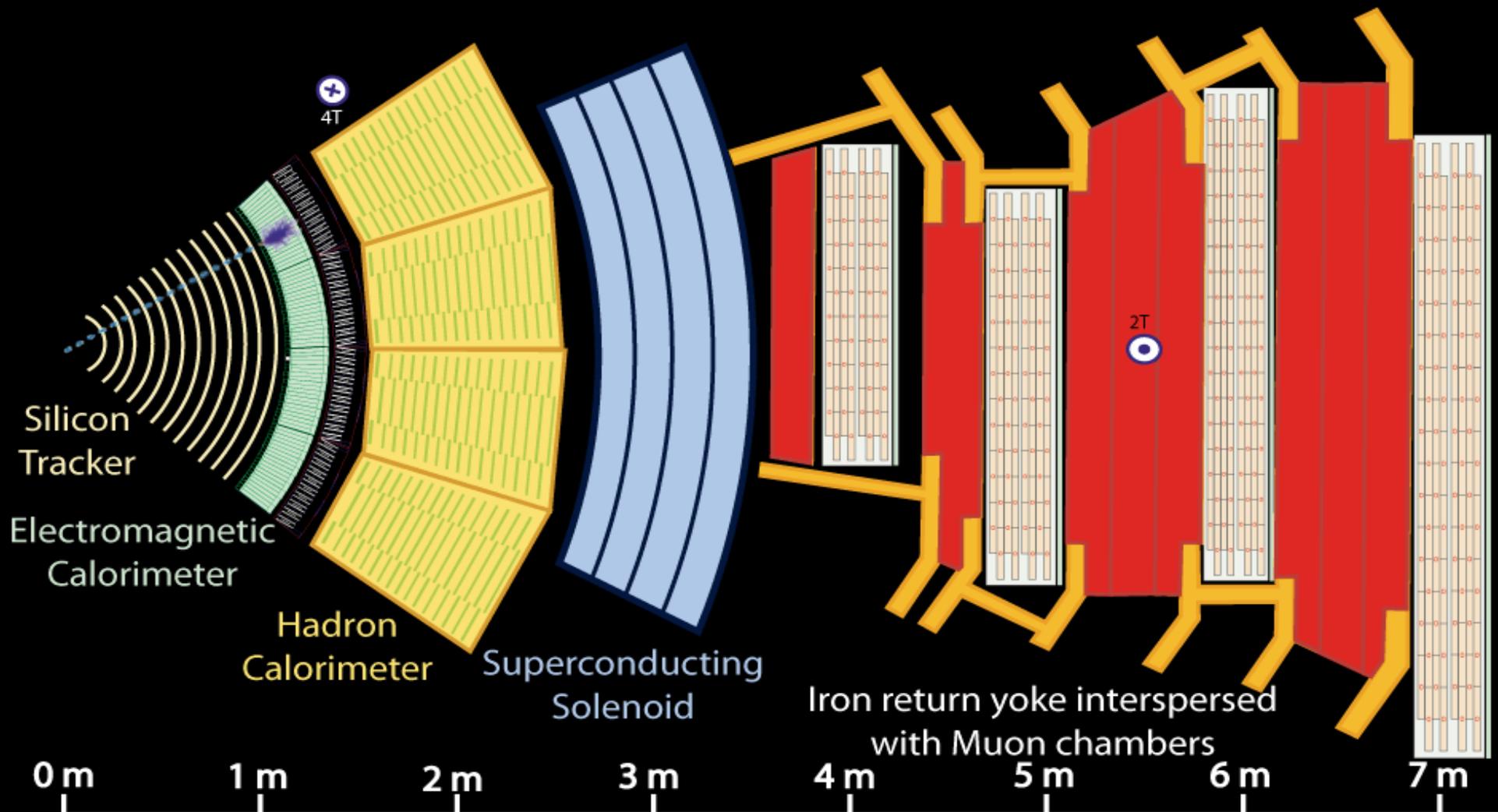
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

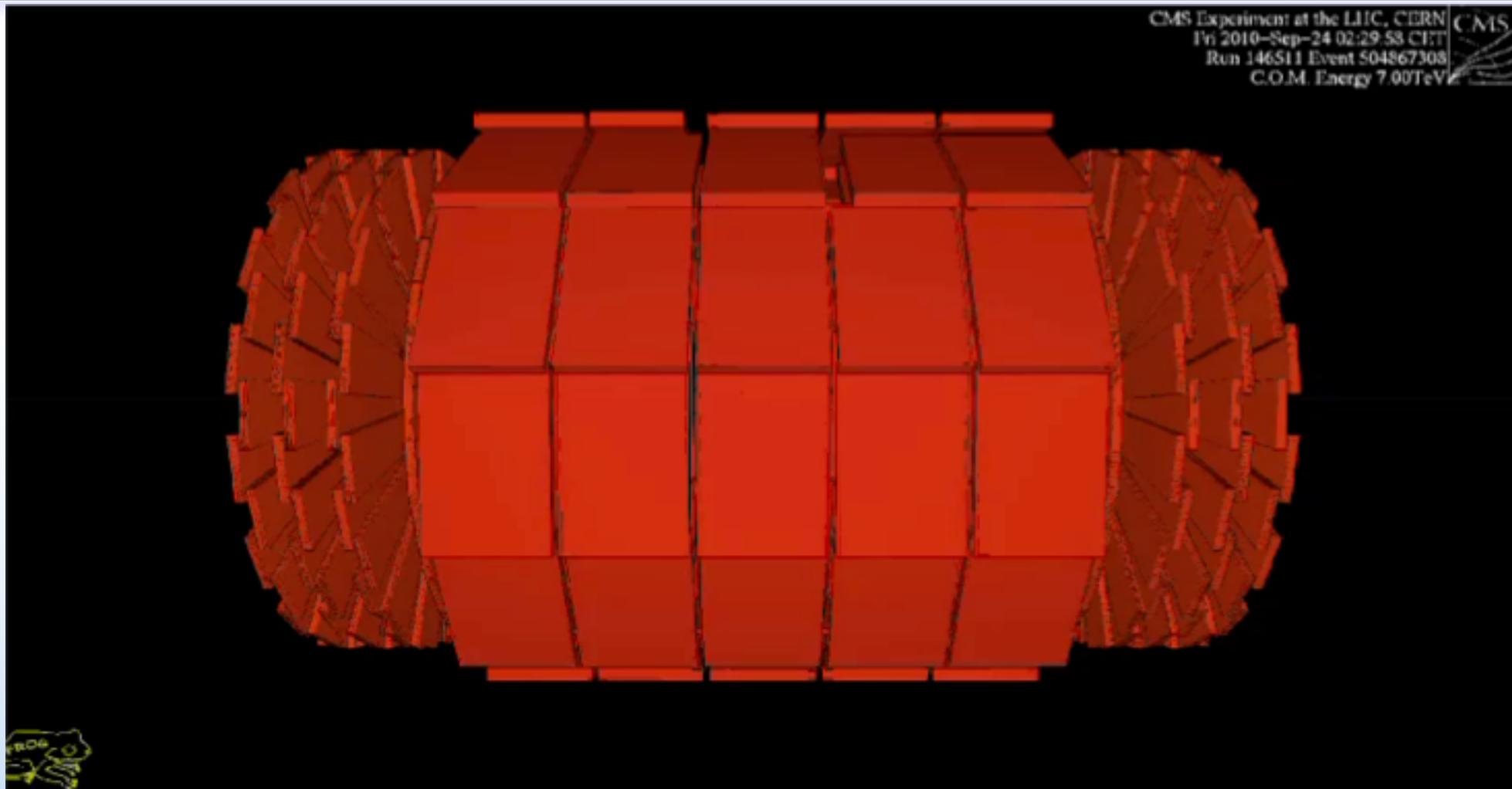
- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon

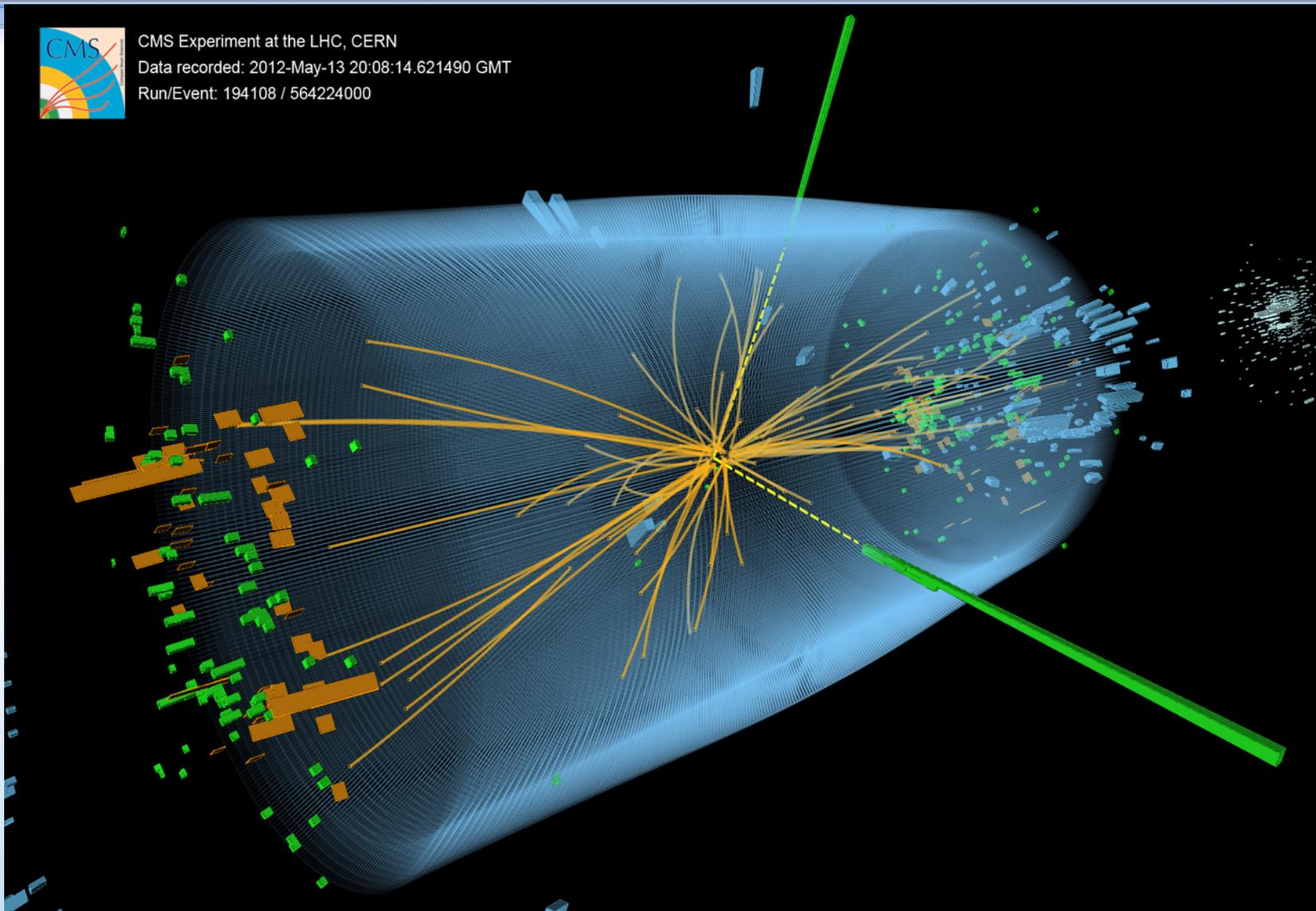
$ZZ \rightarrow 4\mu$



Candidat $H \rightarrow \gamma\gamma$



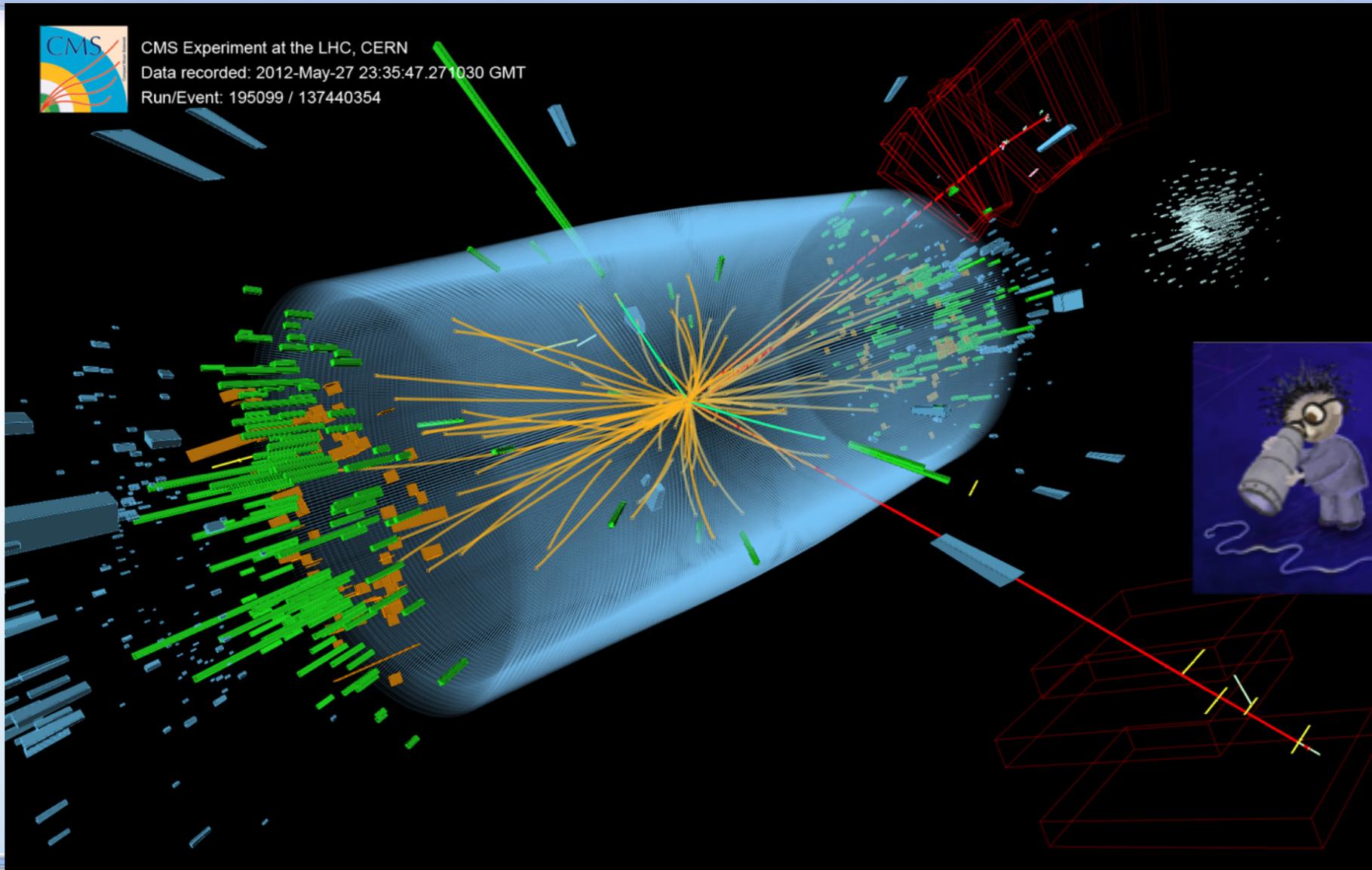
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000



Candidat $H \rightarrow 2e2\mu$



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354

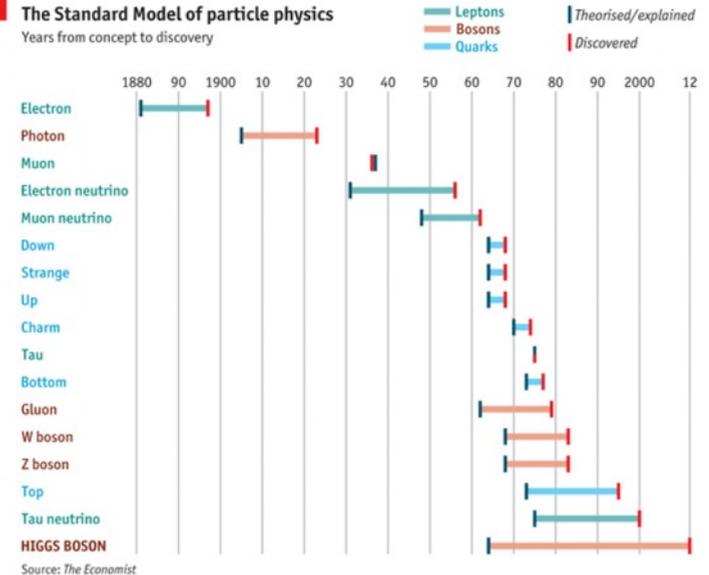


Boson de Higgs

1964 : Mécanisme de Brout-Englert-Higgs

- masse aux bosons W et Z
- Interaction champ → masse aux fermions
- **Boson de Higgs** (excitation du champ)
- Masse paramètre libre du modèle standard
- Contraintes théoriques: $\lesssim 1 \text{ TeV}$

The Standard Model of particle physics
Years from concept to discovery



2012 : Découverte d'un nouveau boson

2015 : Boson de Higgs du modèle standard

$$m_H = 125.09 \pm 0.24 (\pm 0.21 \text{ (stat.)} \pm 0.11 \text{ (syst.)}) \text{ GeV}$$

Standard Model of Elementary Particles



Des événements rares



@125 GeV

~0.5 Higgs produits / 10^9 collisions



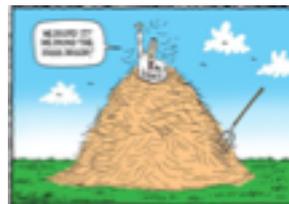
Chercher une aiguille ...

- Parallélépipède rectangle de $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 4\text{cm}$
- dans une botte de foin de $\sim 80\text{ m}^3$ ($\sim 4.3\text{ m}$ de coté)

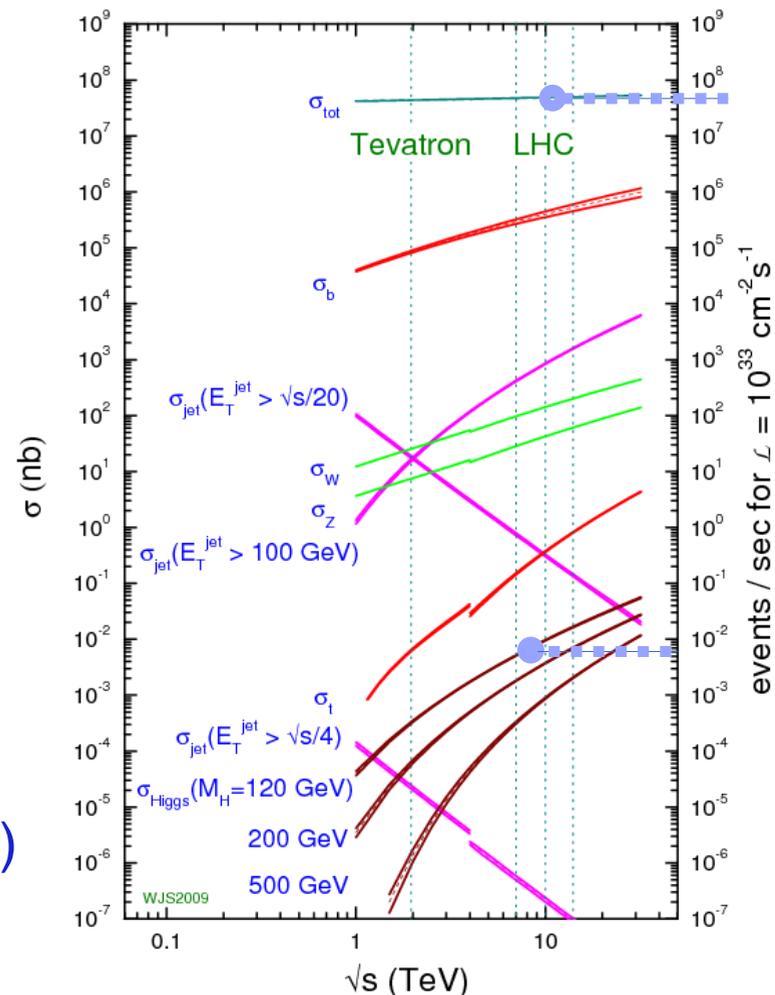


Importance du système de déclenchement

- Première sélection d'événements
- 20 MHz \rightarrow 100 kHz \rightarrow <1 kHz (2 niveaux)
- + grille de calcul ~ 10 PBytes /an produits



proton - (anti)proton cross sections



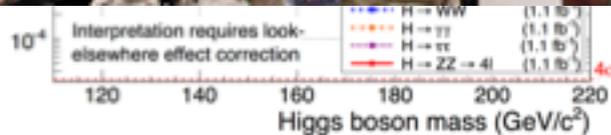
Découverte du boson de Higgs

juillet 2011

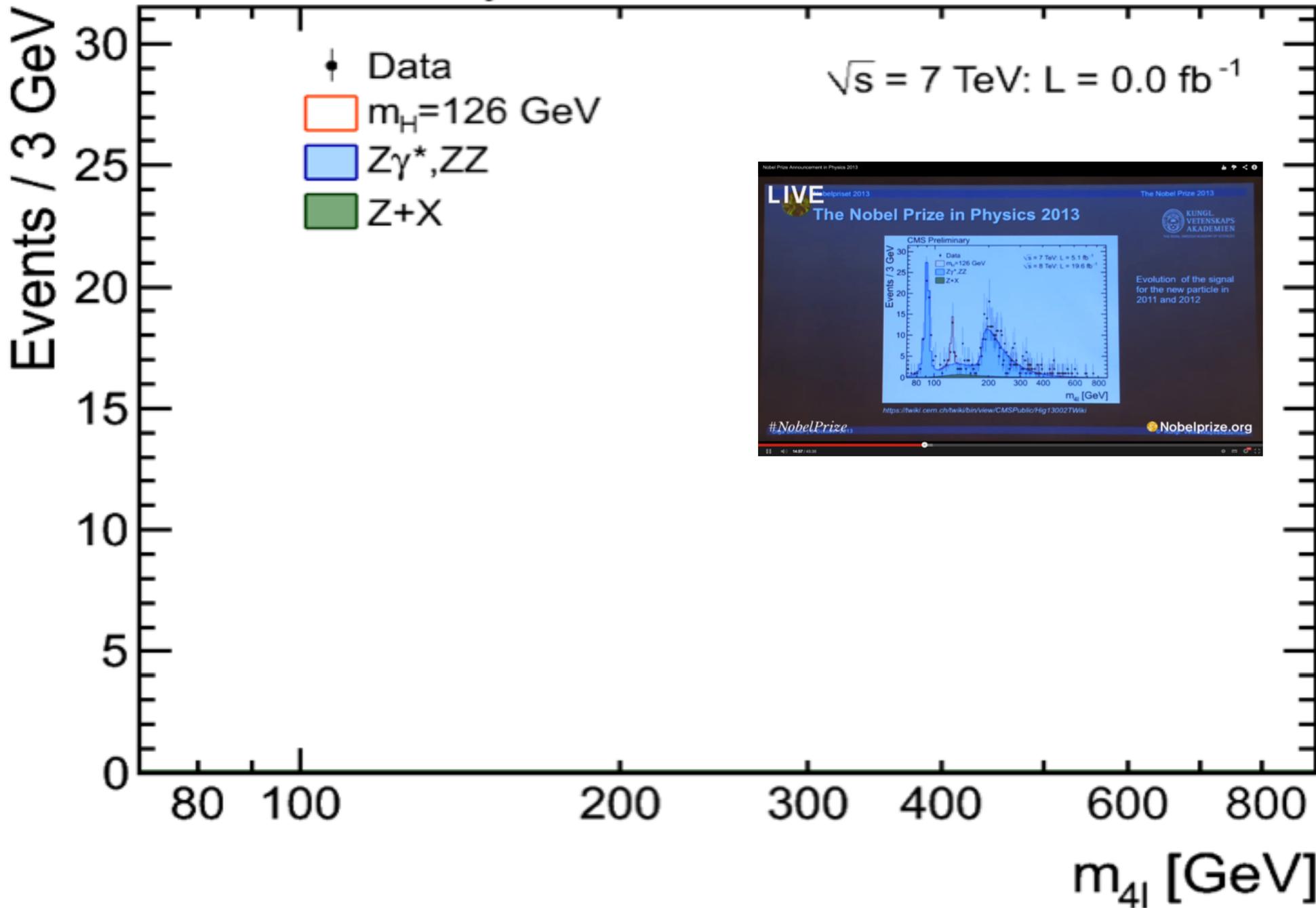
décembre 2011

4 juillet 2012

Limites sur la section efficace relative au modèle standard



CMS Preliminary



LIVE Nobelpriset 2013

The Nobel Prize 2013

KUNGLIGA VETENSKAPSAKADEMIEN

Evolution of the signal for the new particle in 2011 and 2012

#NobelPrize

Nobelprize.org

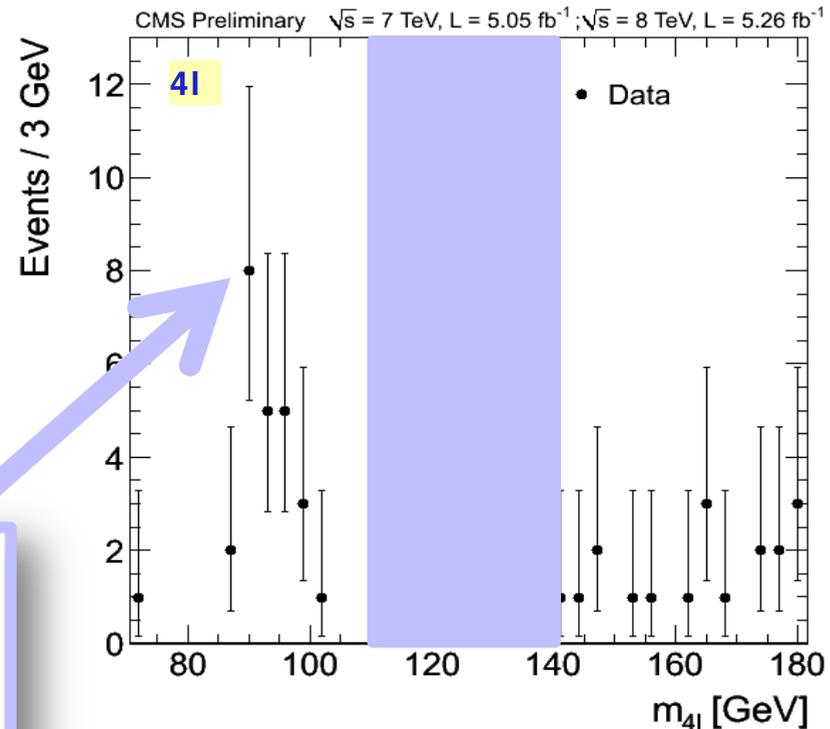
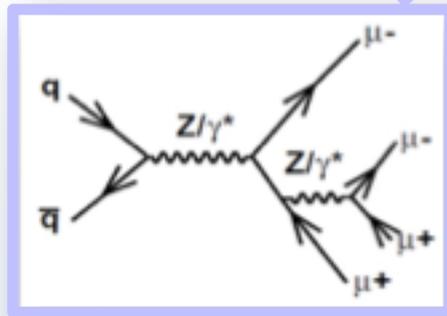
https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMS/Public/Hig13002TWiki

Observation $H \rightarrow 4\mu$



Distribution $m_{4\mu}$

- Zone basse masse
- Deuxième combiné attendu
- Blinded
- Avec signal attendu $m_H = 126 \text{ GeV}$



Cet après-midi

Ce sera votre tour !

