

PRÉSENTATION AU LYCÉE DE SAINT CÉRÉ

23 AVRIL 2007

LA MATIÈRE AUJOURD'HUI

François Touchard

Université de la Méditerranée et CPPM - Marseille



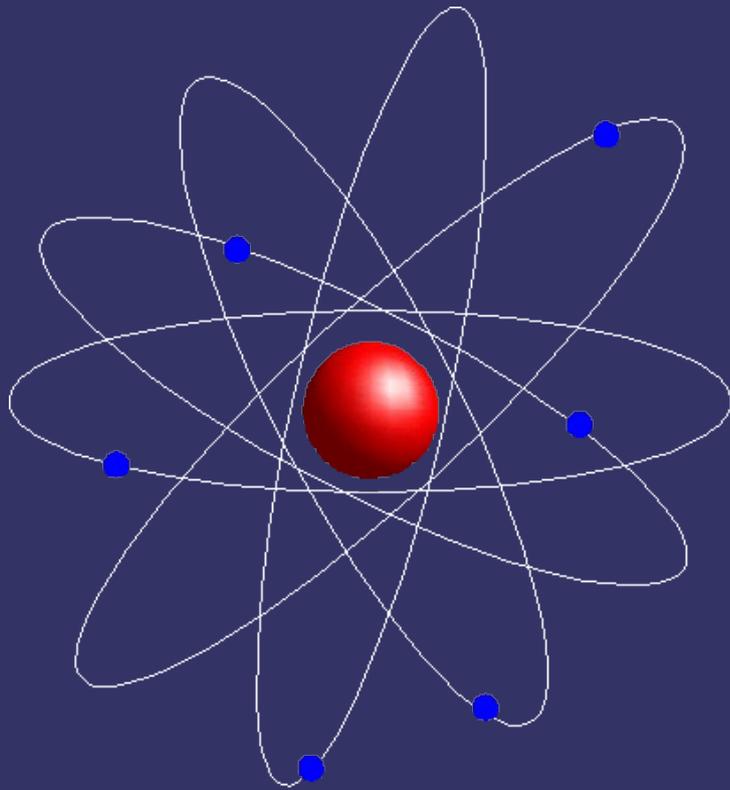
PLAN DE LA PRÉSENTATION

- du point de vue de la recherche fondamentale,
 - quelle est notre vision de la matière aujourd'hui ?
 - comment en savoir plus ?
- l'expérience ATLAS au CERN de Genève
- tout ça est-il bien utile ?

DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

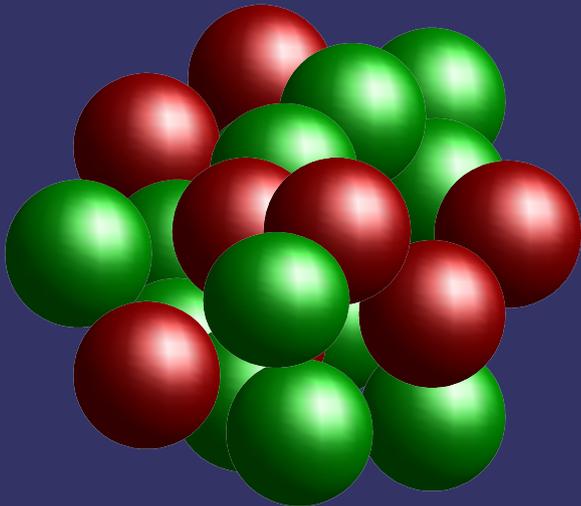
- l'atome, responsable des propriétés chimiques



- un **noyau** portant une charge électrique positive autour duquel tournent des **électrons** portant une charge négative

DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

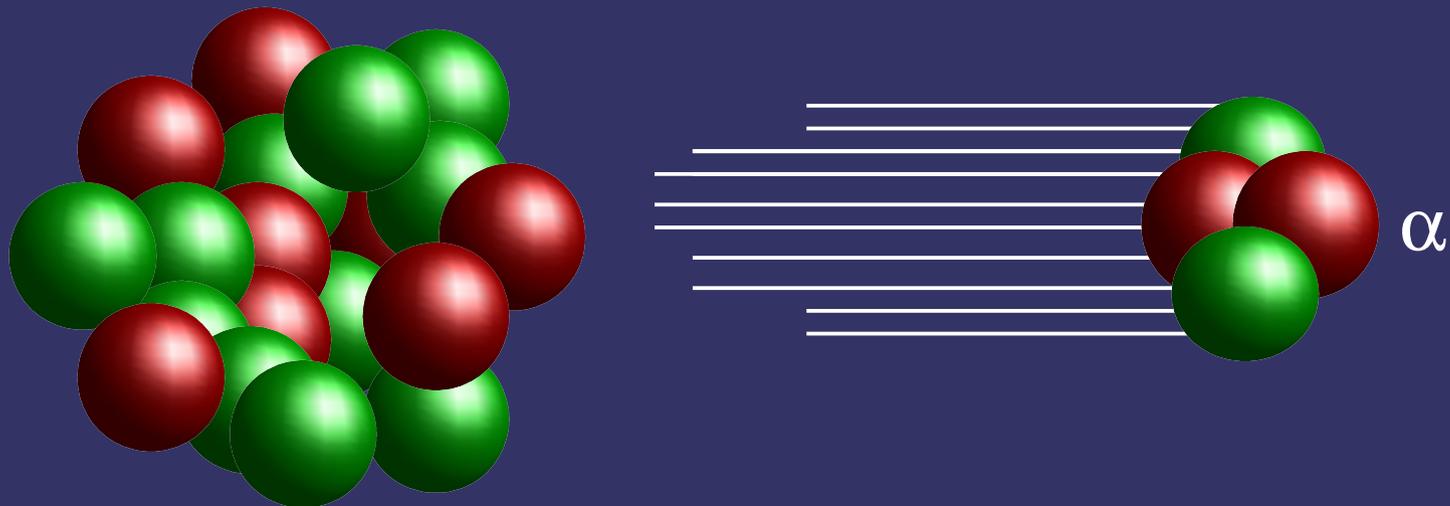
- le noyau, constitué de **protons** et de **neutrons**



- porte pratiquement toute la masse de l'atome
- la plupart des noyaux sont stables

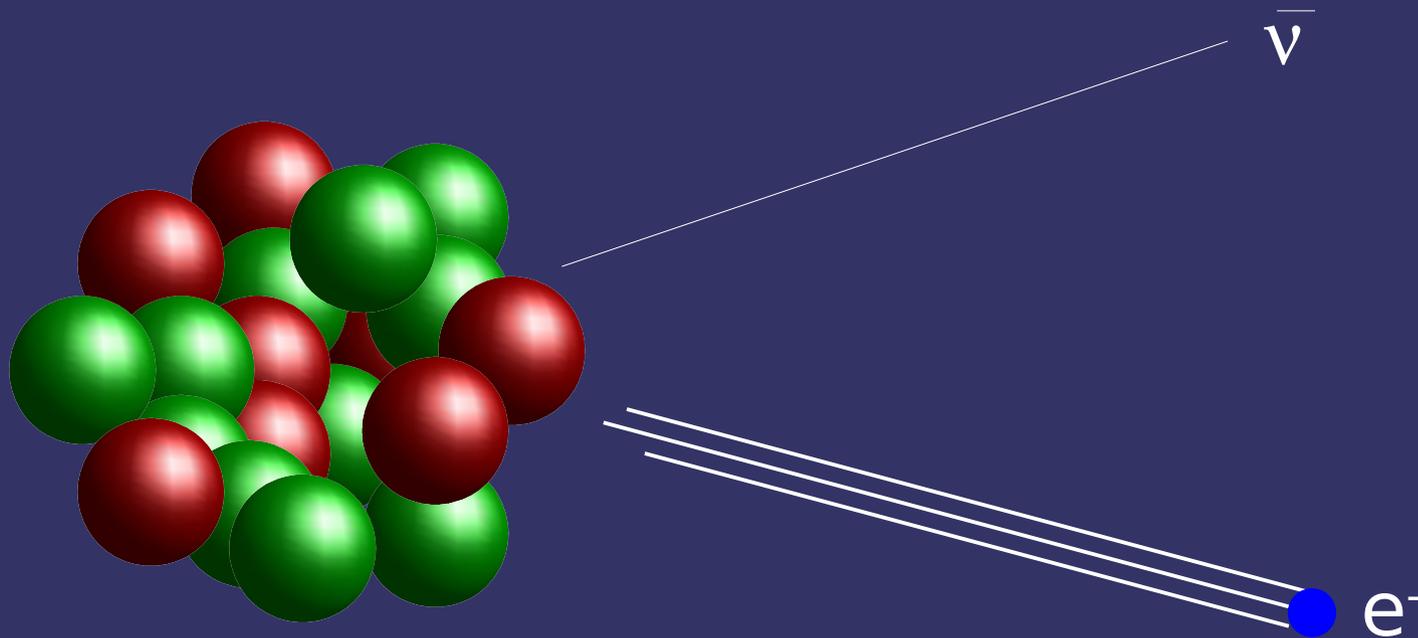
DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- certains noyaux ne sont pas stables
 - radioactivité **alpha**



DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- certains noyaux ne sont pas stables
 - radioactivité **beta**



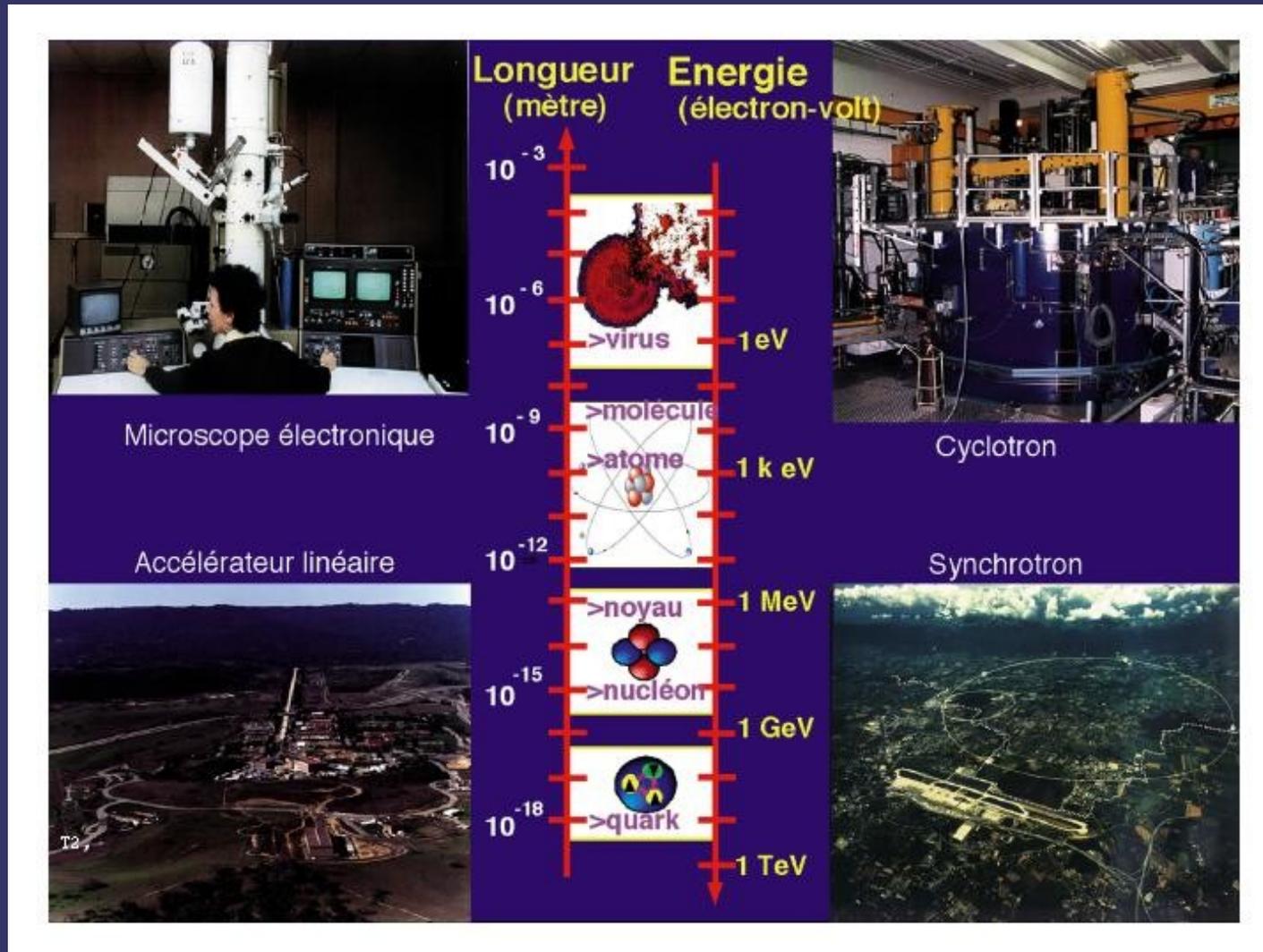
DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- jusque dans les années 60, on pensait que protons et neutrons étaient des particules élémentaires
- comme d'autres particules, observées en particulier dans les rayons cosmiques
 - muons μ^+ , μ^-
 - pions π^+ , π^- , π^0

DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- c'est l'observation de la radioactivité qui a fait penser que protons et neutrons n'étaient peut-être pas des particules élémentaires
- les chercheurs ont alors cherché à regarder à l'intérieur de leur jouet pour savoir ce qu'il y avait dedans
 - une seule solution : le casser !
 - construction des premiers accélérateurs de particules

DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?



DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- avec les accélérateurs de particules, on a découvert un très grand nombre de nouvelles particules
 - avec des masses très **différentes**
 - ◆ de quelques centaines d'eV/c² à plusieurs GeV/c²
(1eV/c² \approx 1,8 10⁻³⁶ kg)
 - avec des durées de vie très **différentes**
 - ◆ de quelques μ s jusqu'à 10⁻²³s
 - avec des nombres quantiques **différents**
 - ◆ spin, isospin, nombre baryonique, ...
 - et avec souvent des **similitudes** de comportement

DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- ces différences et les similitudes, ainsi que la façon dont elles interagissent, ont permis de trier et de classer les particules
- on a pu décrire les similitudes en termes de symétries
 - application directe de la théorie des groupes
- décrire les faits observés avec le moins de paramètres possibles
- recherche de la "beauté" du modèle

DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- les particules interagissent en échangeant d'autres particules (**bosons**)

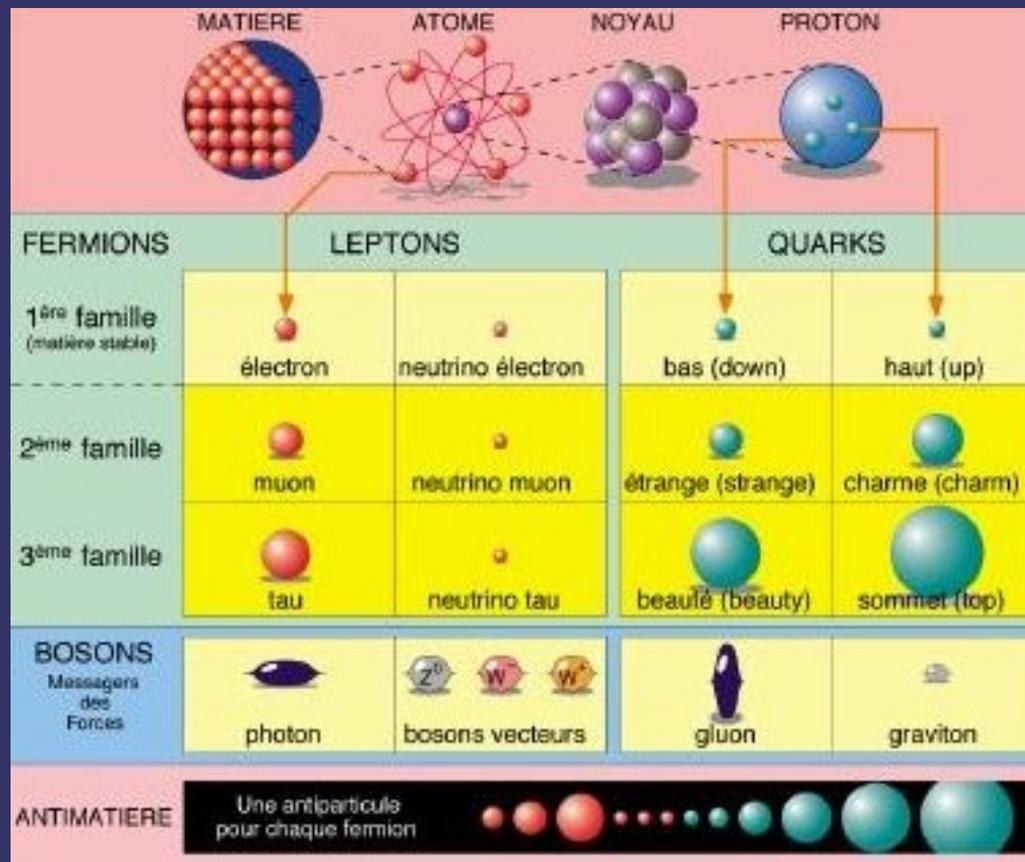


DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- notre vision présente de la matière
 - 2 familles de particules "de matière"
 - ◆ quarks
 - ◆ leptonschacune de ces familles est constituée de 3 sous-familles
 - 4 interactions véhiculées par des bosons
 - ◆ gravitation portée par le graviton
 - ◆ interaction électromagnétique portée par le photon
 - ◆ interaction faible portée par les W^\pm et le Z
 - ◆ interaction forte portée par les gluons

DE QUOI EST FAITE LA MATIÈRE ?

- en résumé...



ET MAINTENANT ?...

- le modèle décrit bien la plupart des observations expérimentales
- mais il y a encore des aspects du modèle qui ne sont pas complètement satisfaisants
- recherche de l'unification des forces
 - théories de grande unification
 - supersymétrie, super gravitation
 - cordes, membranes...

ET MAINTENANT ?...

- parmi les choses que nous ne comprenons pas bien, il y a en particulier l'origine de la **masse**
- le mécanisme de **Higgs** peut en rendre compte
- toutes les particules "baignent" dans un champ de force (le **champ de Higgs**) véhiculé par une particule : le **boson de Higgs**
 - très complexe
 - on peut donner une analogie

LE MÉCANISME DE HIGGS

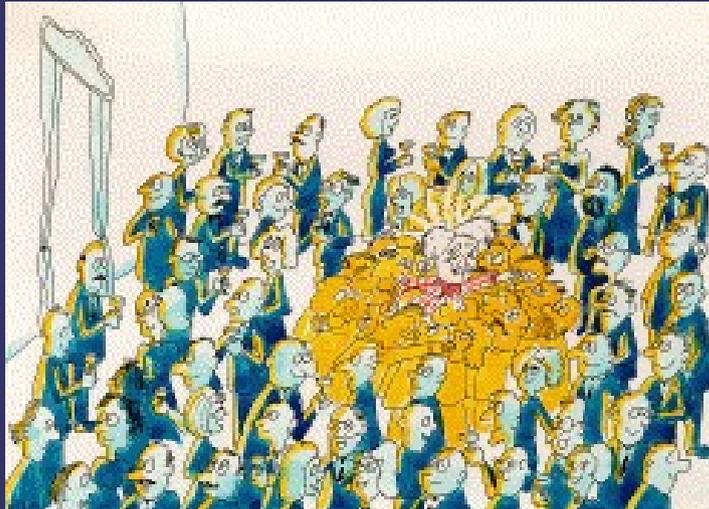


le jour des résultats du bac, la cour est pleine d'élèves en train de discuter calmement

quand un professeur amène les résultats pour les afficher de l'autre côté de la cour



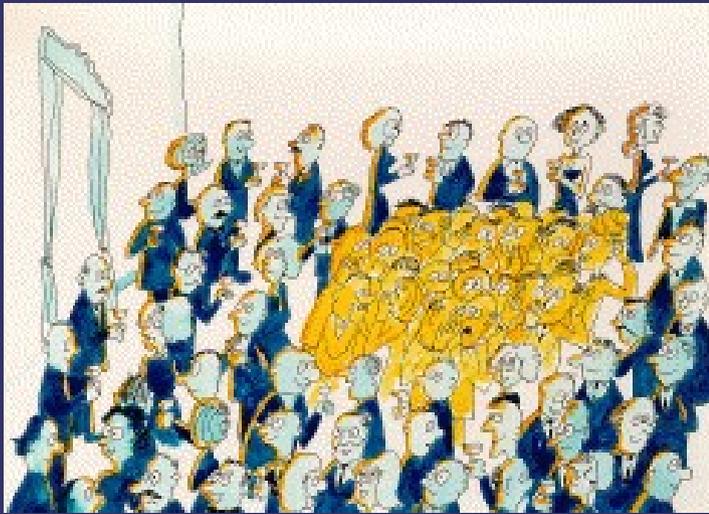
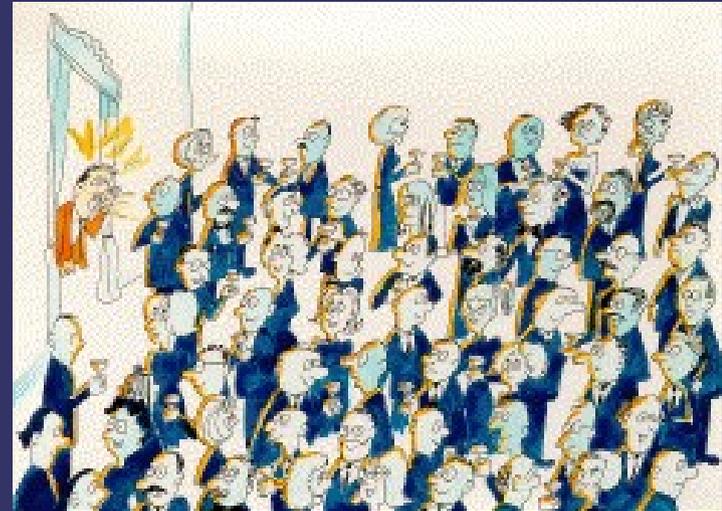
LE MÉCANISME DE HIGGS



et tous les élèves agglutinés
autour du professeur vont
rendre difficile la progression
de ce dernier à travers la cour,
lui donnant ainsi une "masse"

LE MÉCANISME DE HIGGS

si maintenant, c'est une rumeur
qui est lancée dans la cour



elle va créer une perturbation parmi
tous les élèves présents dans la cour,
qui vont s'agglutiner en "condensats".
Ces condensats représentent les
bosons de Higgs dans notre analogie

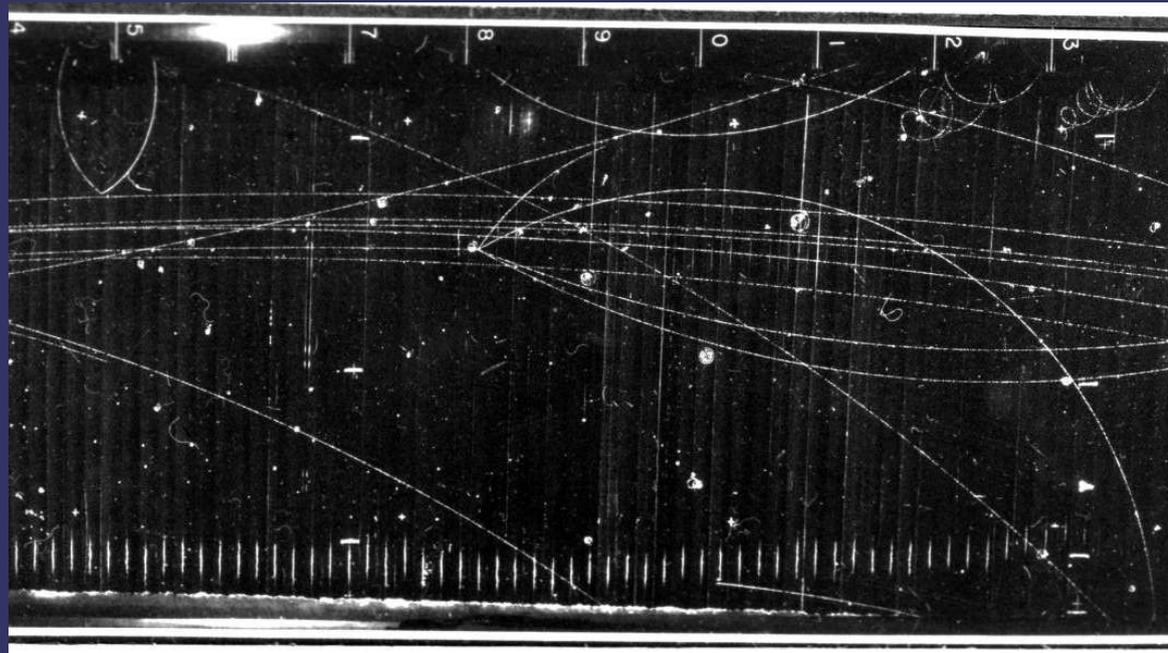
LA SUITE...

- la théorie prédit l'existence de ces particules
bosons de Higgs
- maintenant, c'est aux expérimentateurs
d'essayer de les observer
- si on y arrive, alors on peut penser que le
modèle va dans la bonne direction
- sinon...

COMMENT OBSERVER LES PARTICULES

COMMENT OBSERVER LES PARTICULES ?

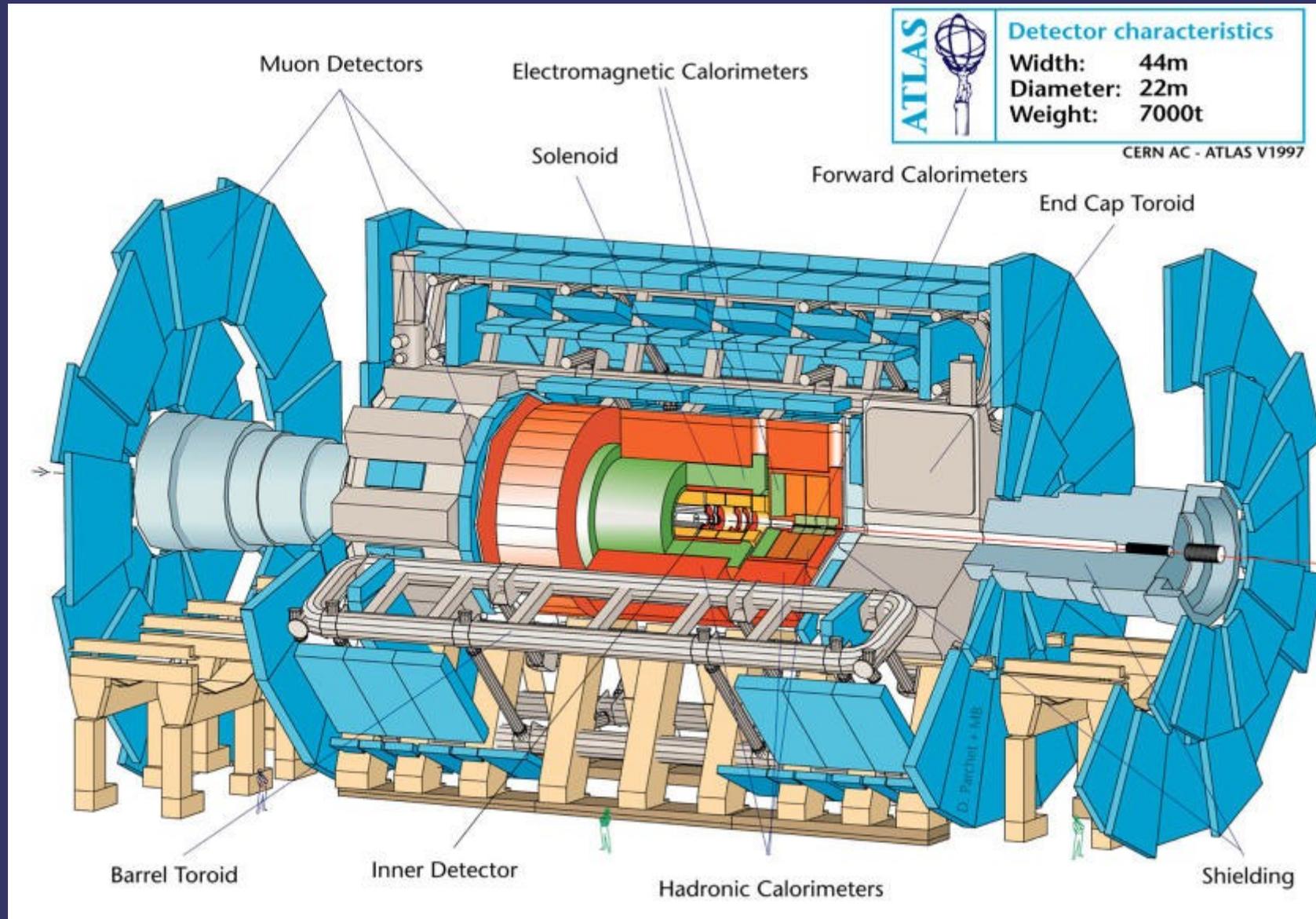
- la plupart des particules peuvent interagir avec la matière et laisser une "trace"
- chambres à bulles



COMMENT OBSERVER LES PARTICULES ?

- dans les détecteurs actuels, on transforme le passage de la particule en un signal électrique produit par l'énergie déposée
- le détecteur est un gigantesque appareil photo de plusieurs centaines de millions de pixels capable de prendre une photographie toutes les 25 ns (nanosecondes)

LE DÉTECTEUR ATLAS



COMMENT OBSERVER LES PARTICULES ?

- pourquoi des détecteurs si gros ?
 - les particules que l'on veut observer ont une très grande énergie et il faut beaucoup de matière pour pouvoir les arrêter
- pourquoi si rapidement ?
 - les phénomènes que l'on cherche à observer sont extrêmement rares
 - ◆ avec une collision toutes les 25 ns, on peut espérer voir quelques événements par jour, perdus au milieu de 3×10^{12} événements (bruit de fond)

COMMENT OBSERVER LES PARTICULES ?

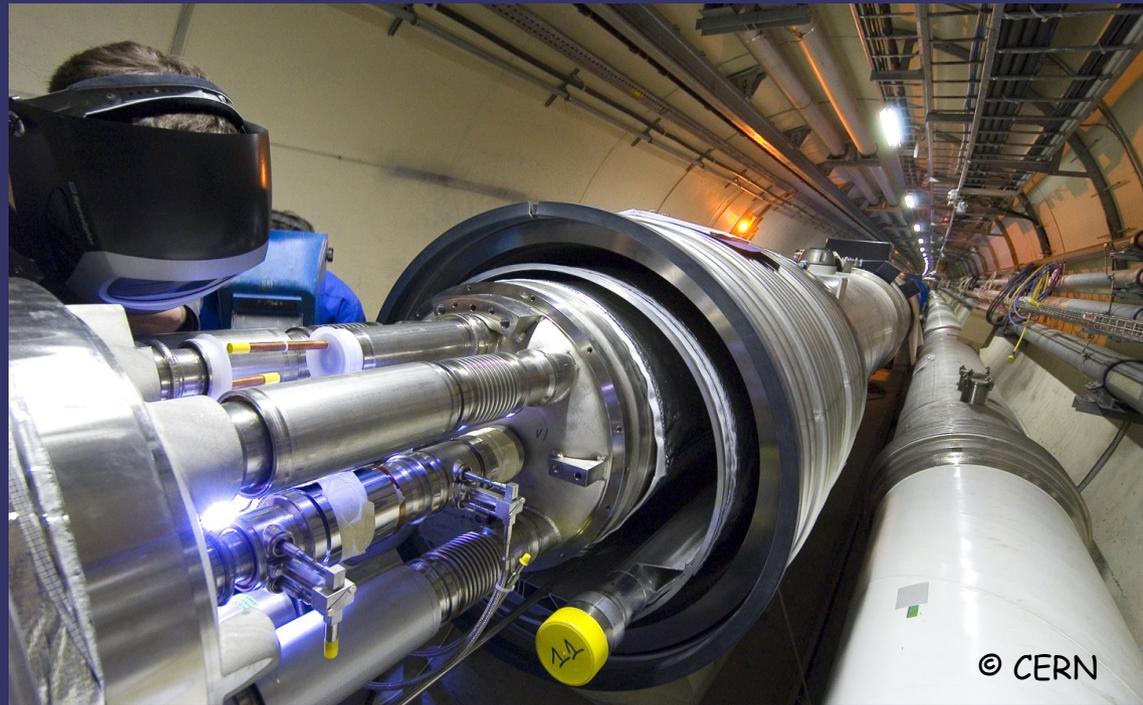
- pourquoi tant de pixels ?
 - pour essayer de mesurer le plus précisément possible toutes les caractéristiques de la particule (nature, masse, vitesse, énergie)

L'ACCÉLÉRATEUR LHC

- ◆ le LHC : *Large Hadron Collider*
 - ◆ construit dans le tunnel du LEP (27 km de long). Démarrage prévu en 2007
 - ◆ 14 TeV ($14 \times 10^{12} = 14$ mille milliards d'eV)
 - ◆ supraconducteur
 - ◆ 1 collision toutes les 25 ns
 - ◆ 2 milliards € (hors tunnel)

L'ACCÉLÉRATEUR LHC

- ◆ le LHC : *Large Hadron Collider*
 - ◆ construit dans le tunnel du LEP (27 km de long). Démarrage prévu en 2007
 - ◆ 14 TeV (14×10^{12} = 14 mille milliards d'eV)
 - ◆ supraconducteur
 - ◆ 1 collision toutes les 25 ns
 - ◆ 2 milliards € (hors tunnel)

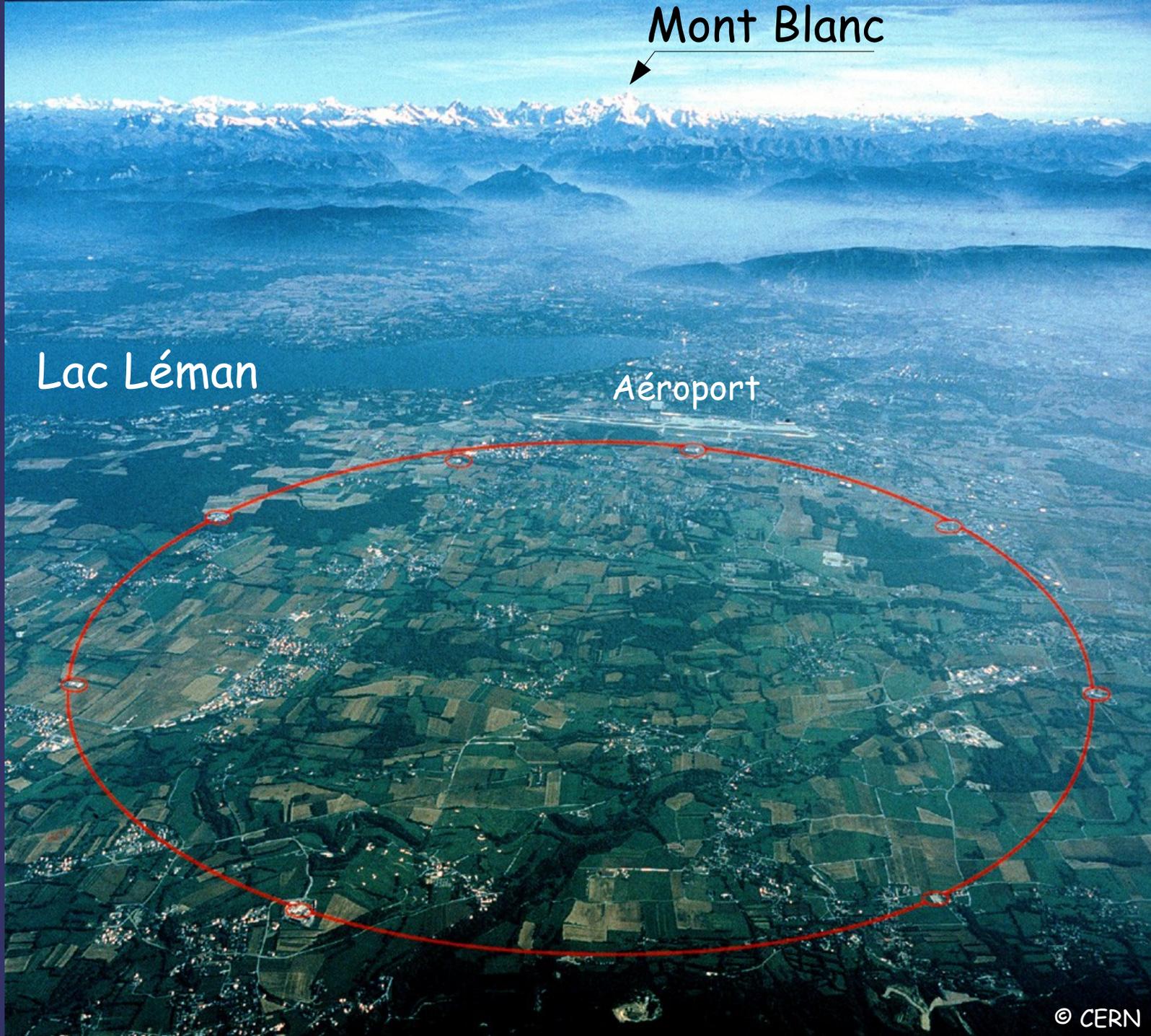


Mont Blanc



Lac Léman

Aéroport



© CERN



© CERN

LA COLLABORATION ATLAS





PHOTO@CERN-CE



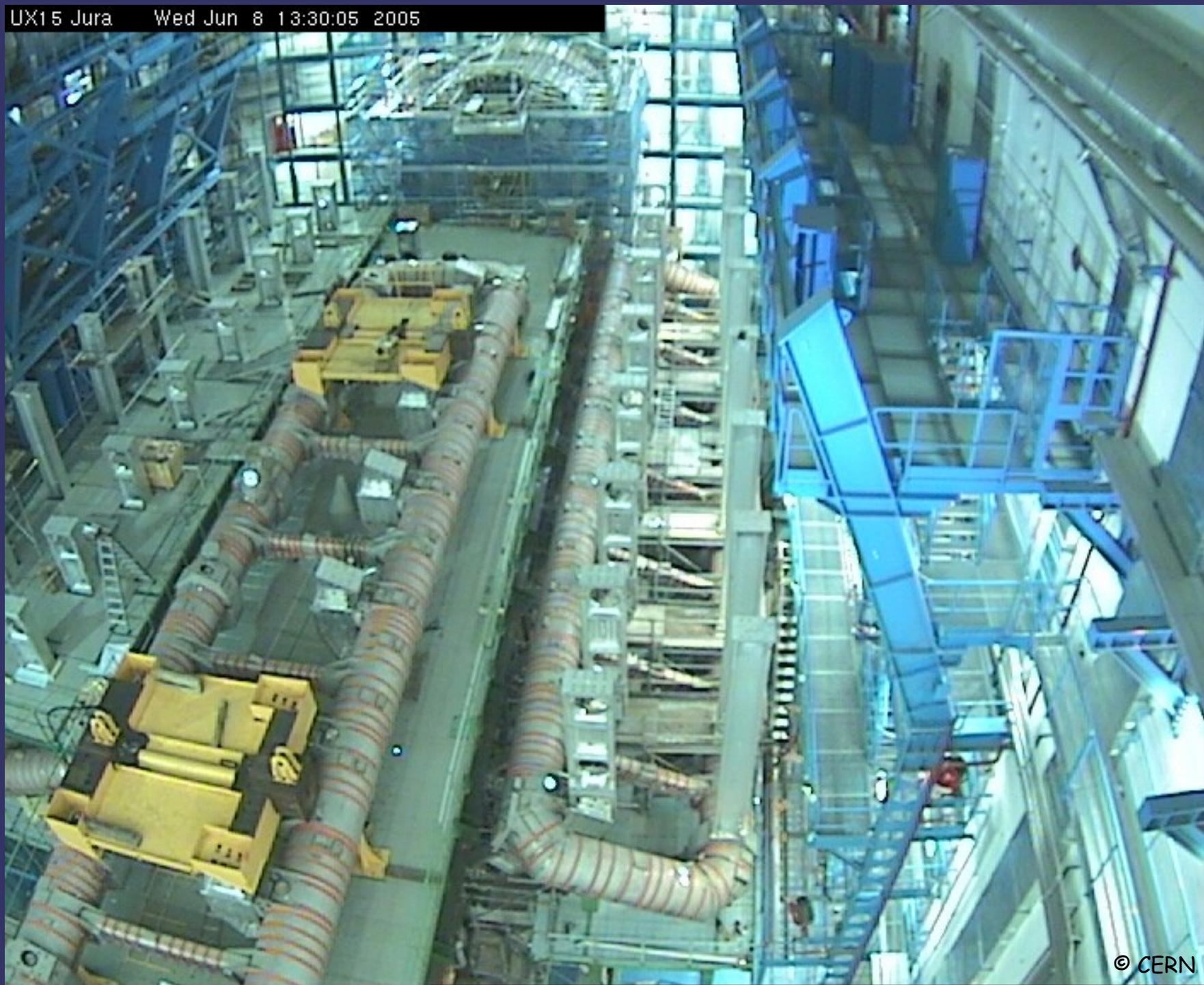
© CERN



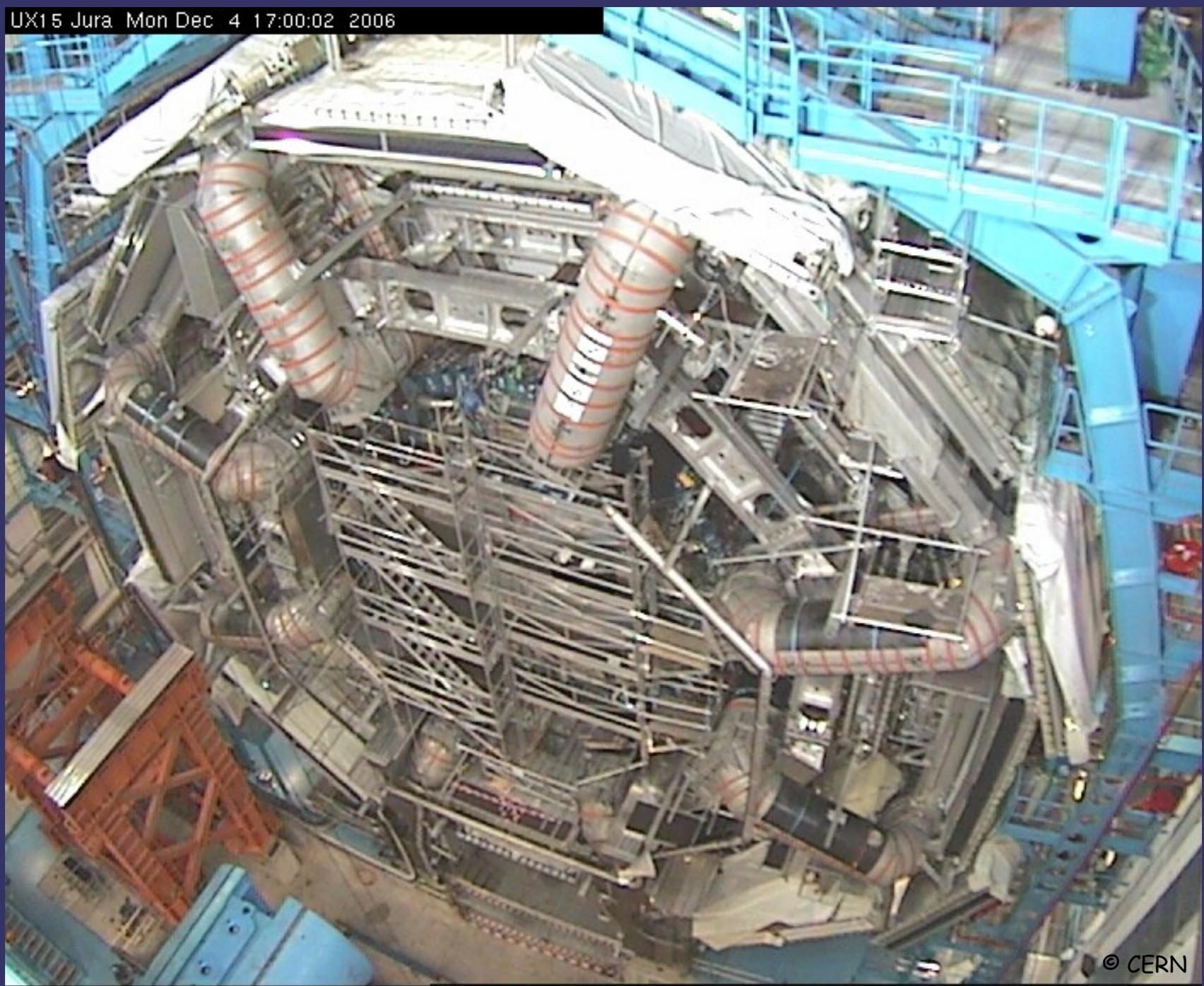




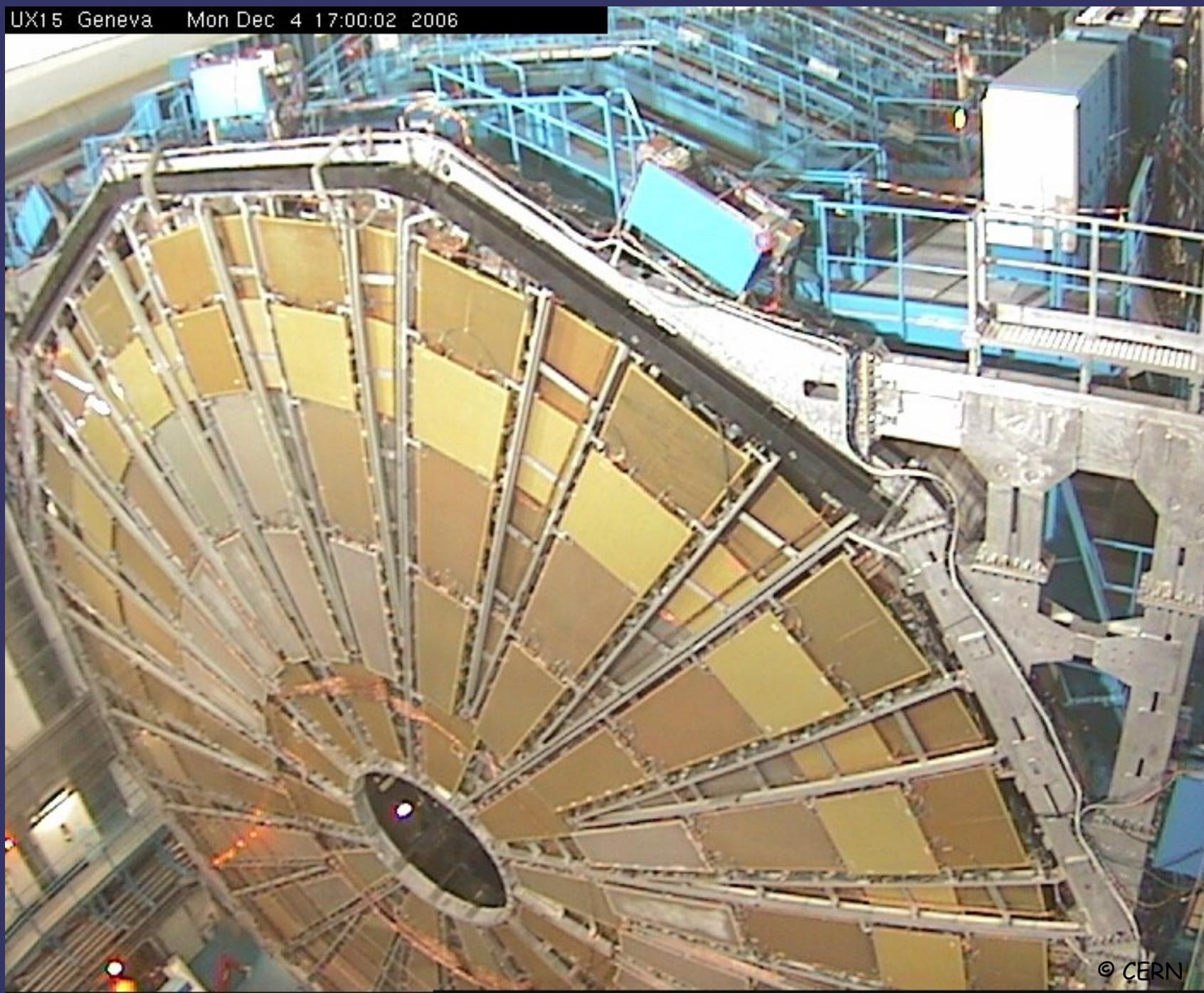
© CERN



© CERN



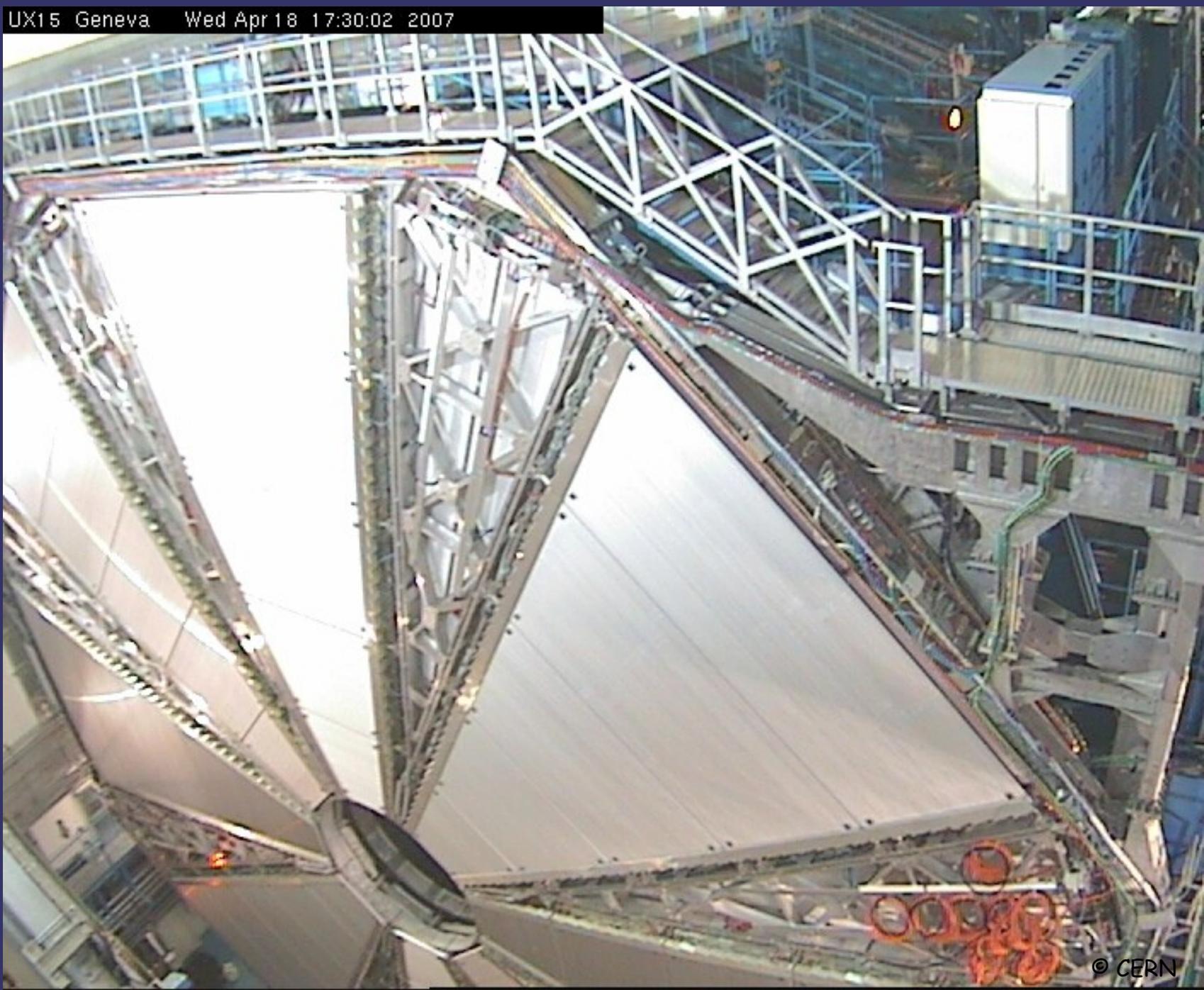
© CERN



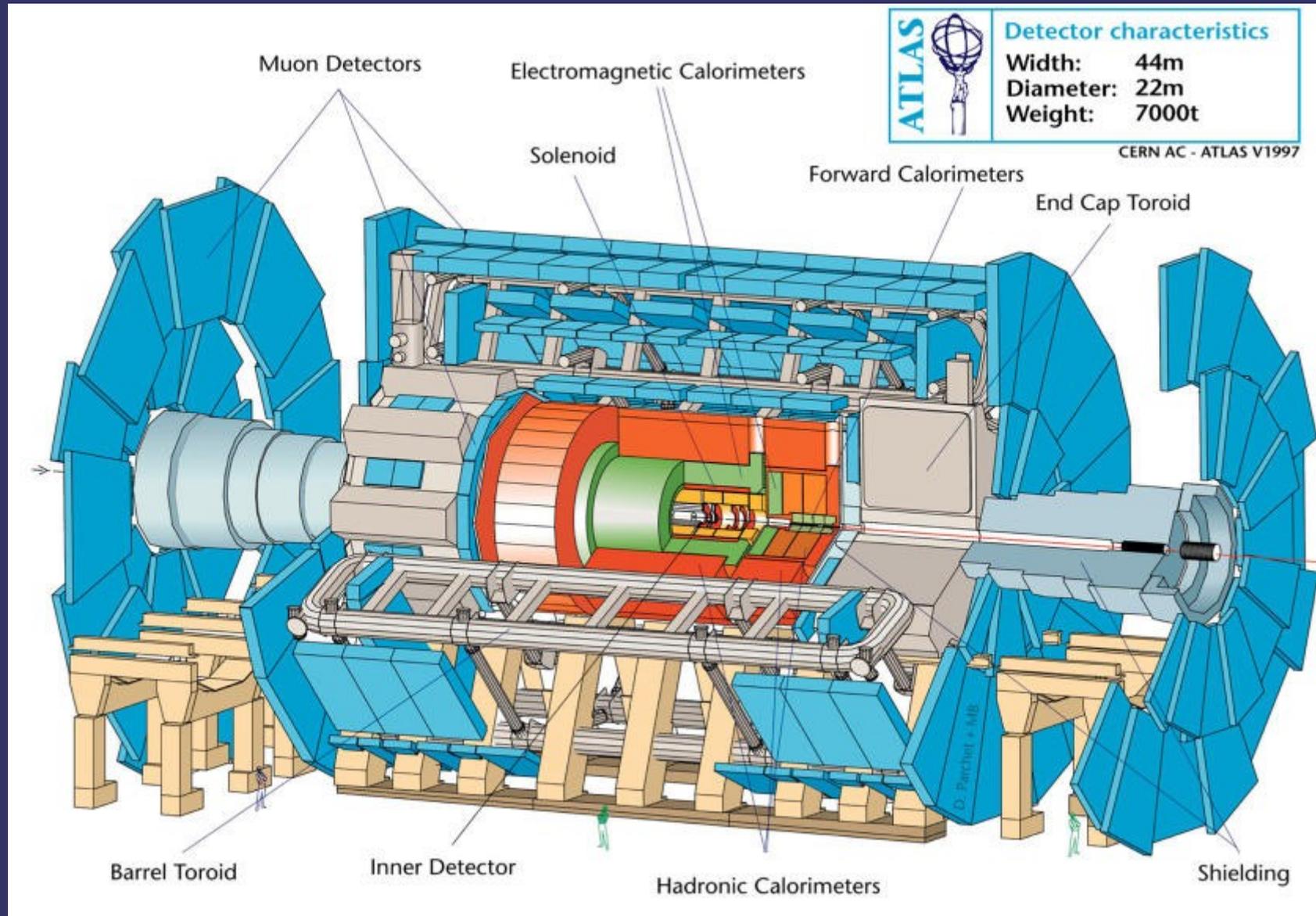
© CERN



© CERN



LE DÉTECTEUR ATLAS

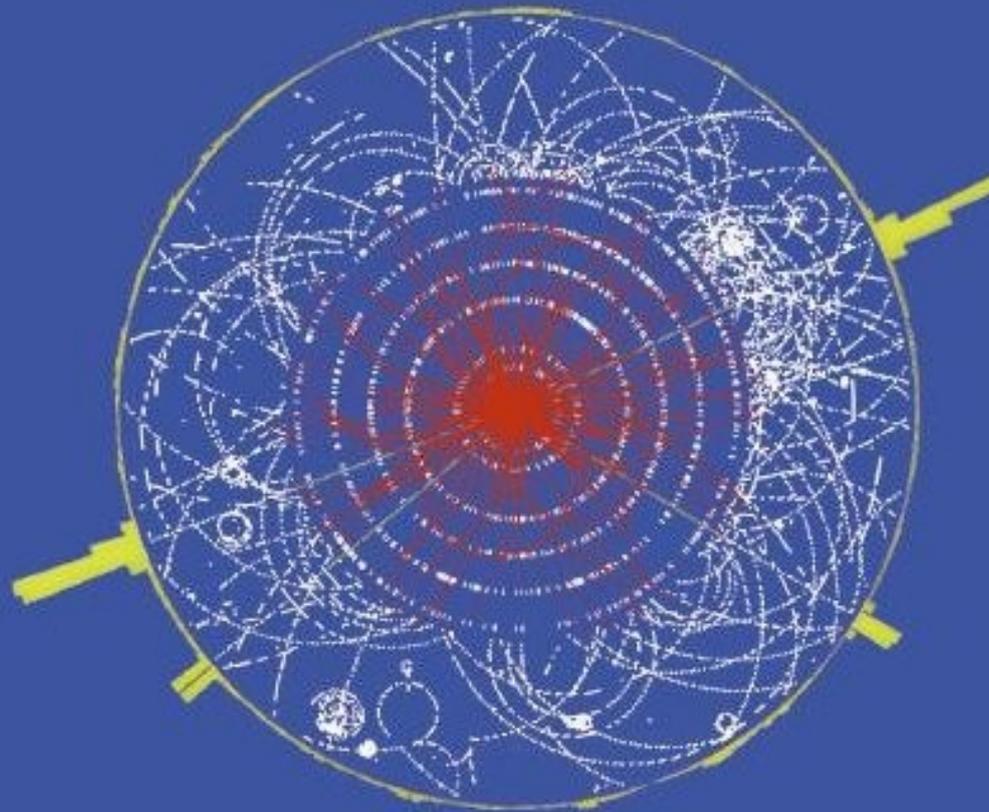


LE DÉTECTEUR ATLAS

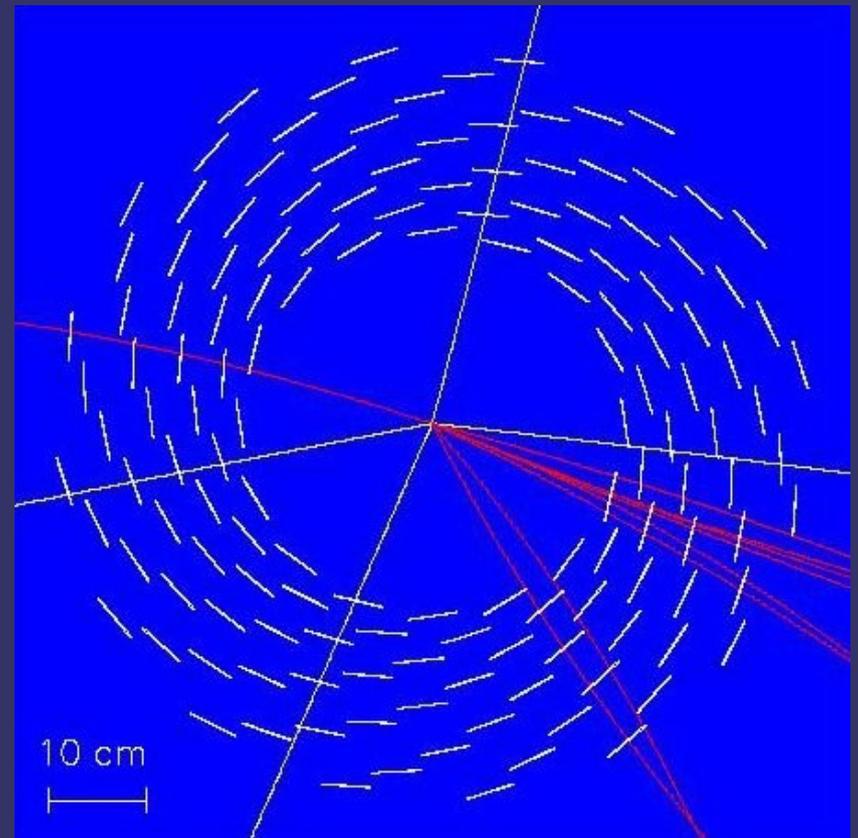
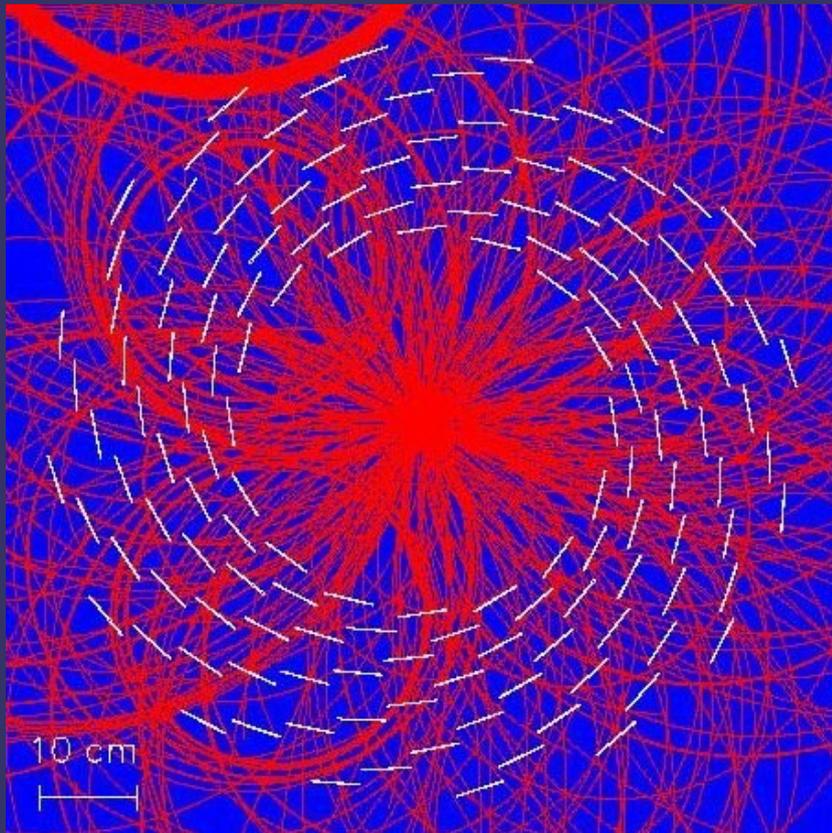
ATLAS

$H (130 \text{ GeV}) \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4e$

$L = 5 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



LE DÉTECTEUR ATLAS



(en fait, une simulation d'un autre détecteur, CMS)

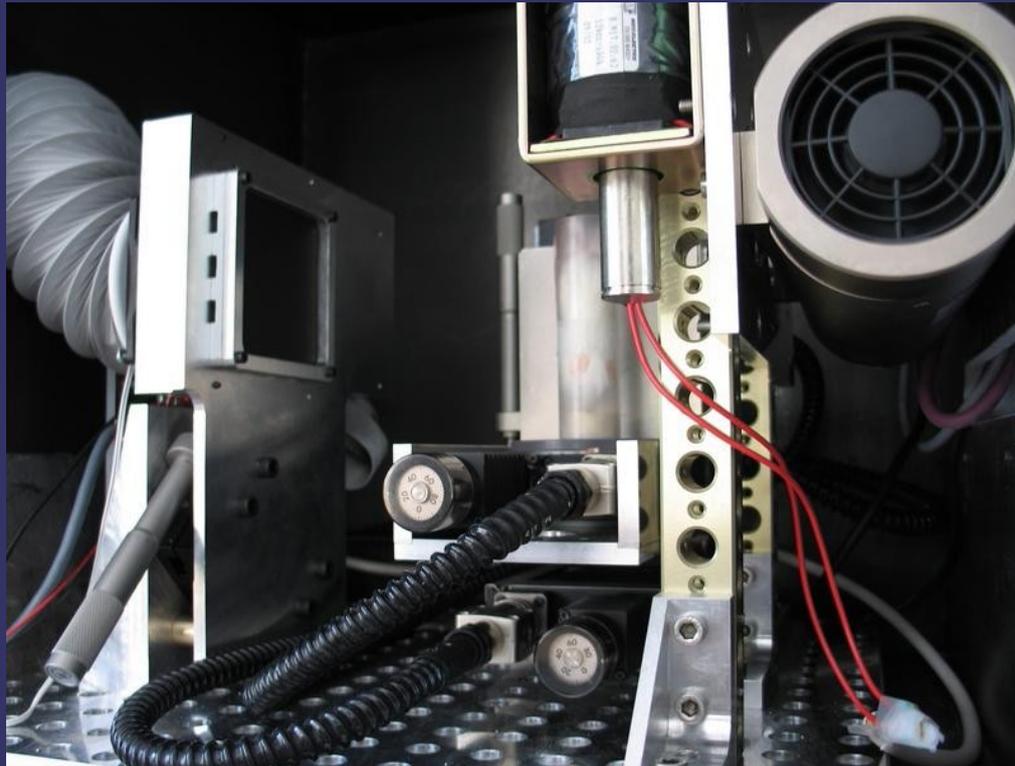
*EST-CE VRAIMENT UTILE DE
FAIRE TOUT CE TRAVAIL ?*

EST-CE VRAIMENT UTILE ?

- chercher à comprendre la nature qui l'entoure a toujours été une préoccupation humaine
- c'est nécessaire pour essayer de maîtriser notre environnement
- les efforts de recherche produisent souvent des retombées inattendues
 - informatique (Internet, Grilles de calcul)
 - appareillages médicaux (IRM, TEP, etc...)

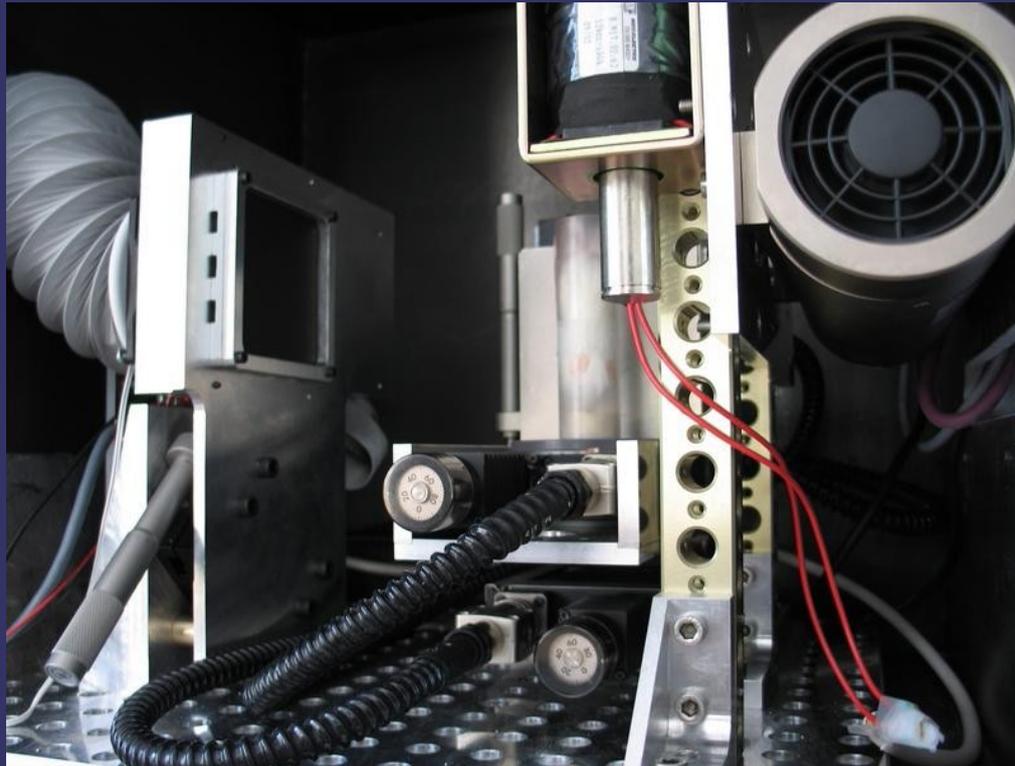
EST-CE VRAIMENT UTILE ?

- imagerie médicale au CPPM



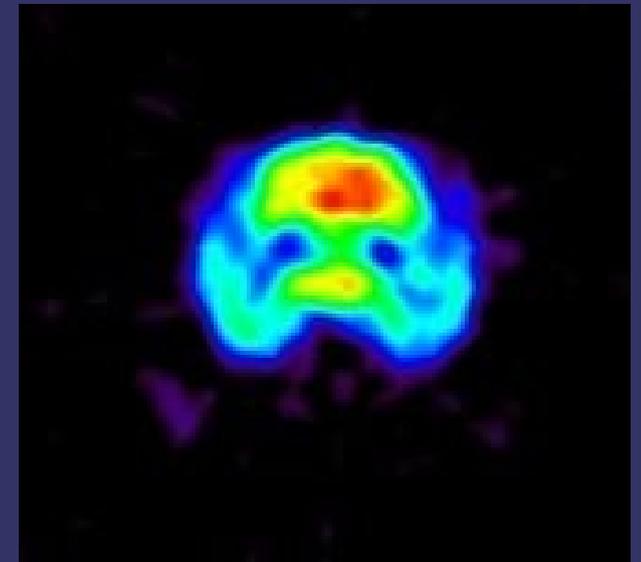
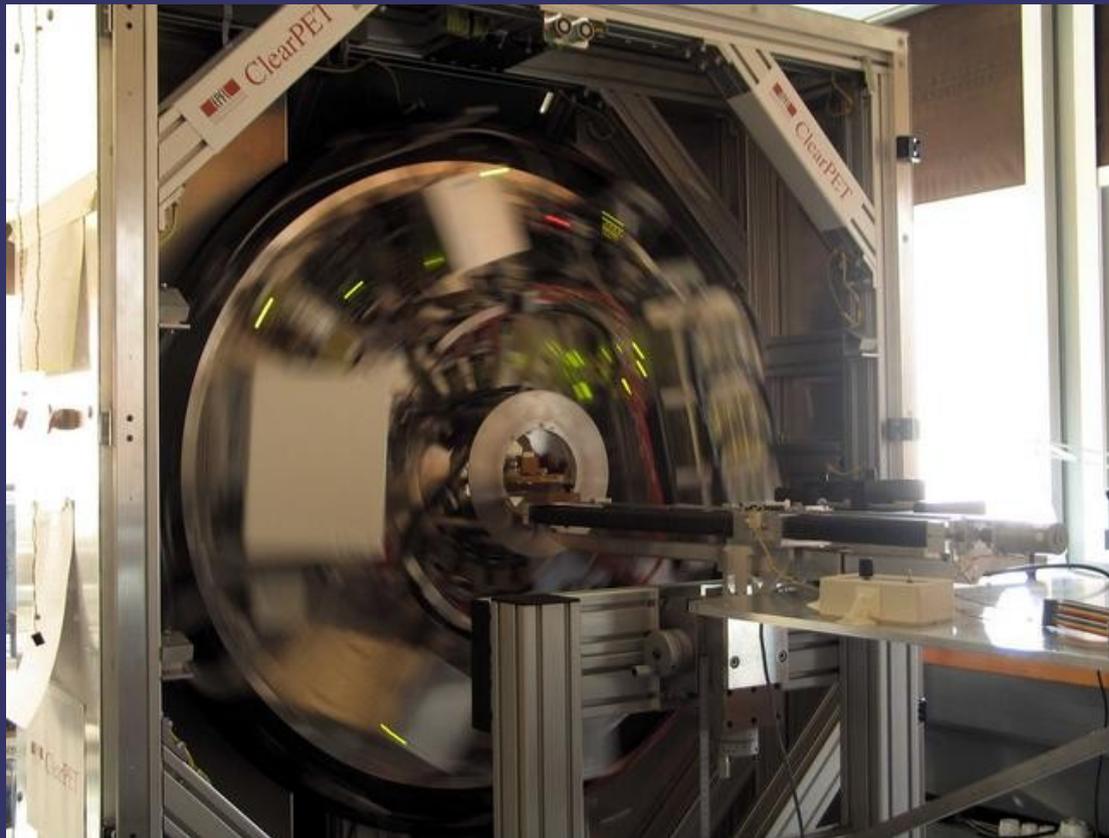
EST-CE VRAIMENT UTILE ?

- imagerie médicale au CPPM

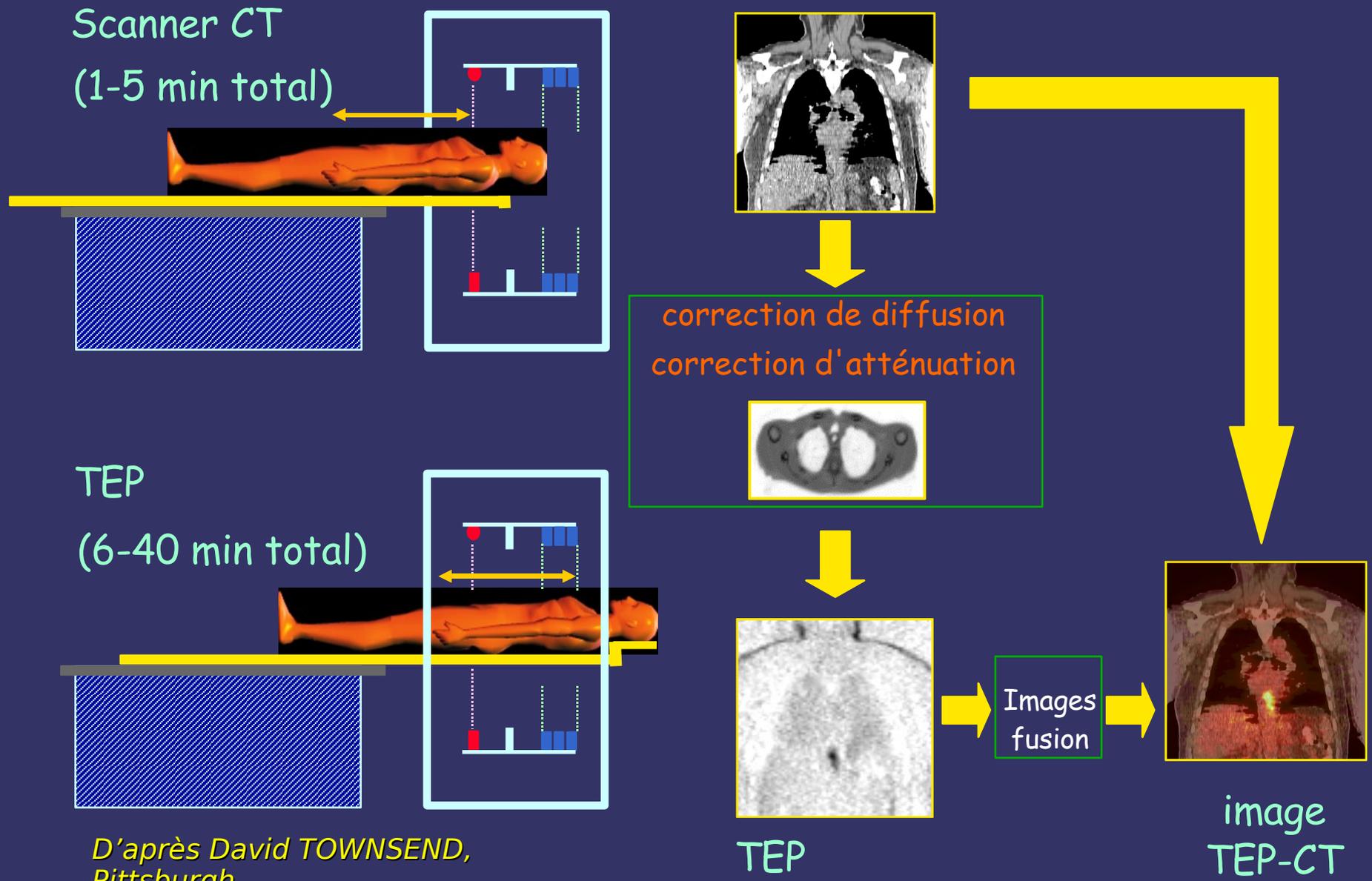


EST-CE VRAIMENT UTILE ?

- imagerie médicale au CPPM



BIENTÔT...



D'après David TOWNSEND,
Pittsburgh

CONCLUSIONS

- nous continuons à progresser vers une meilleure compréhension de la matière
- c'est vraiment de la physique fondamentale dont les applications directes ne sont pas évidentes
- mais il y a énormément d'applications indirectes et très souvent inattendues
- il reste encore beaucoup de travail passionnant

MERCI DE VOTRE ATTENTION

AVEZ VOUS DES QUESTIONS ?

POUR EN SAVOIR PLUS...

- Voyage au cœur de la matière : <http://voyage.in2p3.fr/>
- IN2P3 :
http://www.in2p3.fr/physique_pour_tous/informations/sites/sites.htm
- le CERN : <http://www.cern.ch>
- l'expérience ATLAS : <http://atlas.ch>