

Accélérateurs et détecteurs

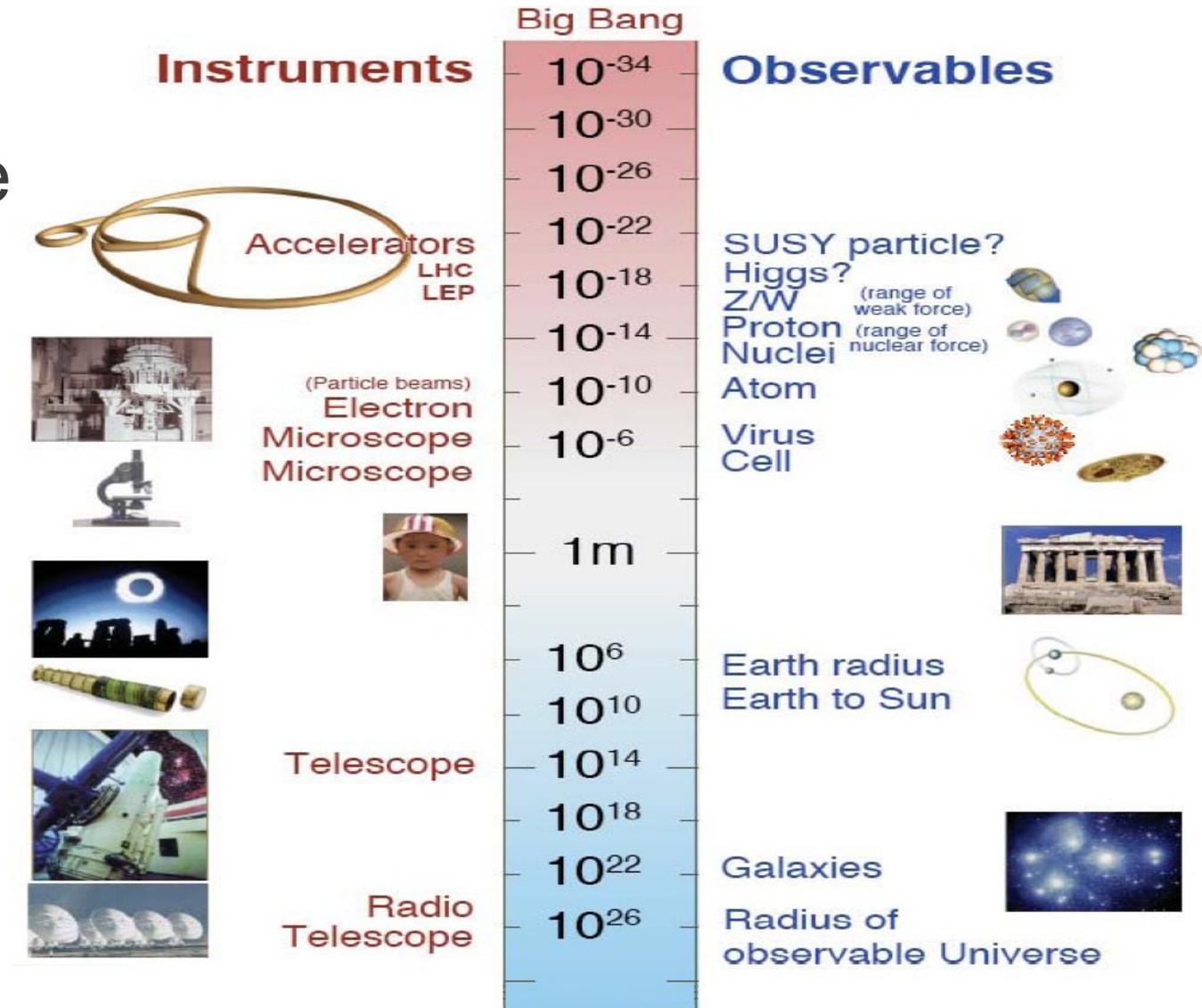
Yann Coadou

Centre de physique des particules de Marseille

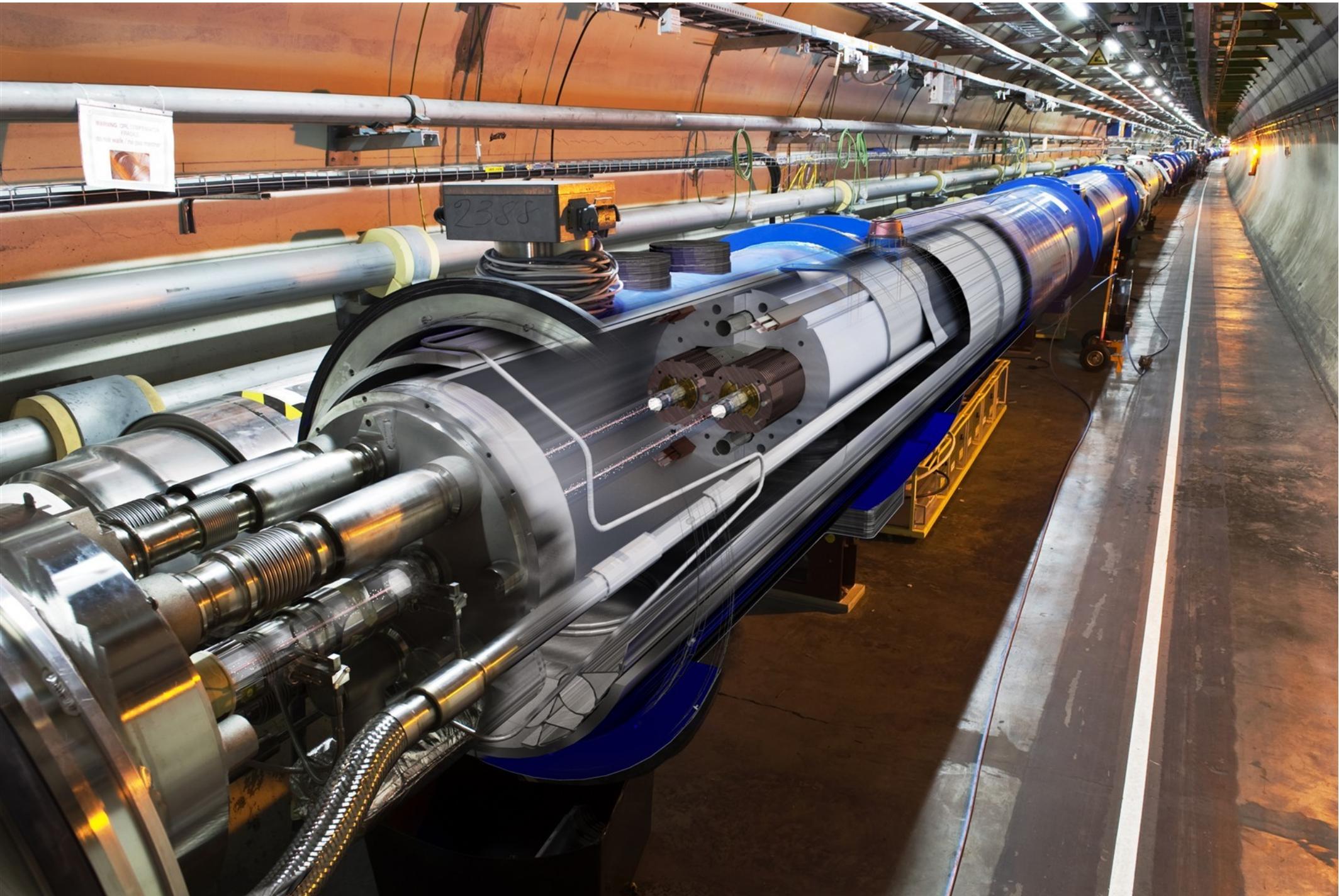
Lycée Laetitia Bonaparte, Ajaccio
3 décembre 2012

Pourquoi des accélérateurs de particules ?

- Pour voir des objets plus petits, il faut une énergie plus élevée :
 - cf longueur d'onde associée
- Pour créer des particules plus lourdes
 - $E = mc^2$



Le LHC



LHC, le Grand collisionneur de hadrons



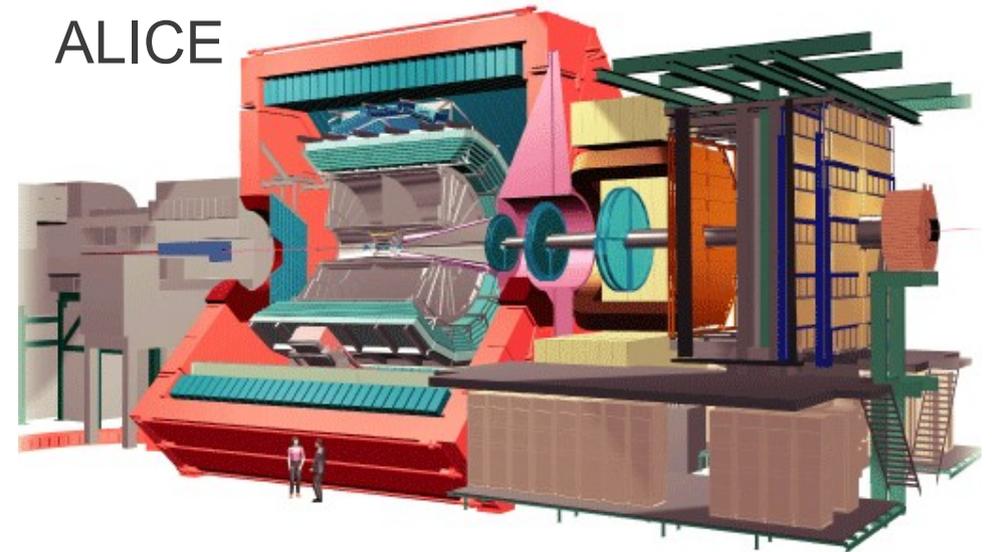
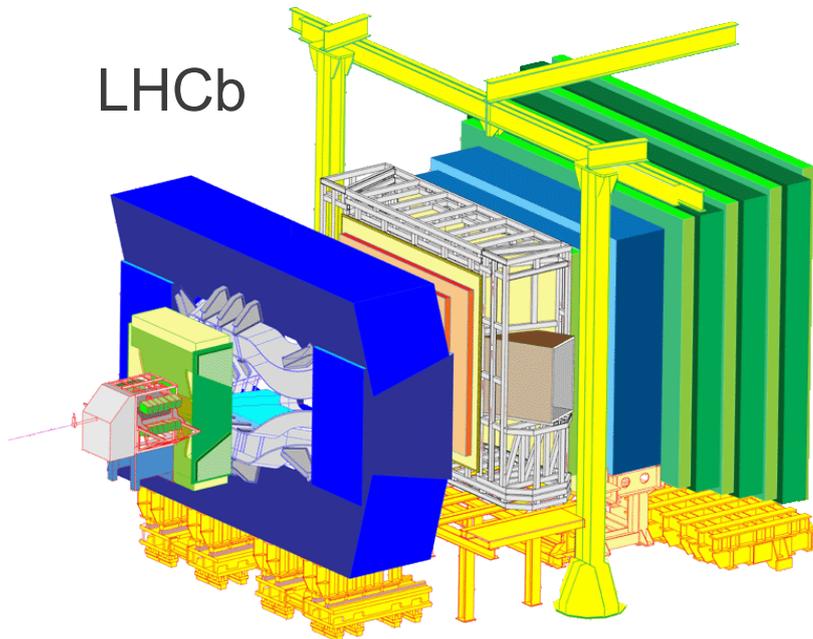
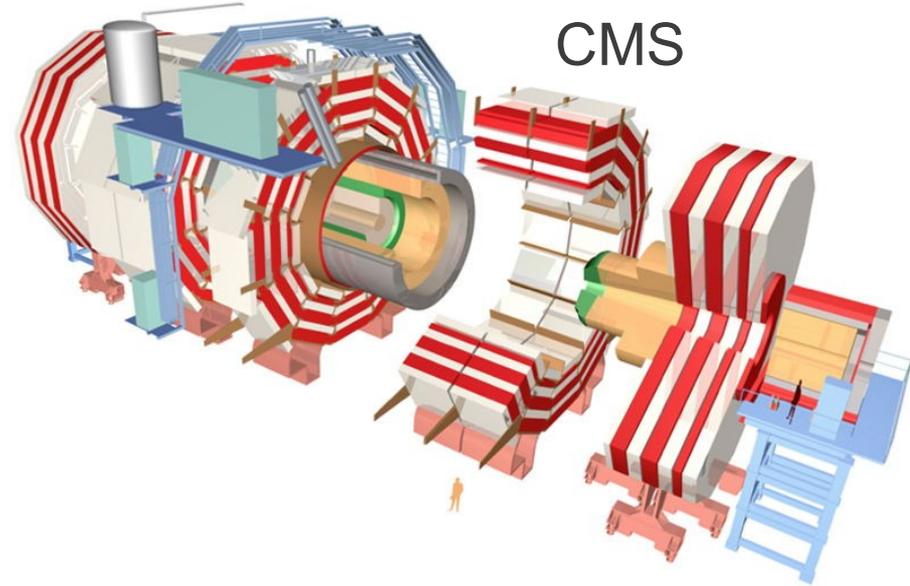
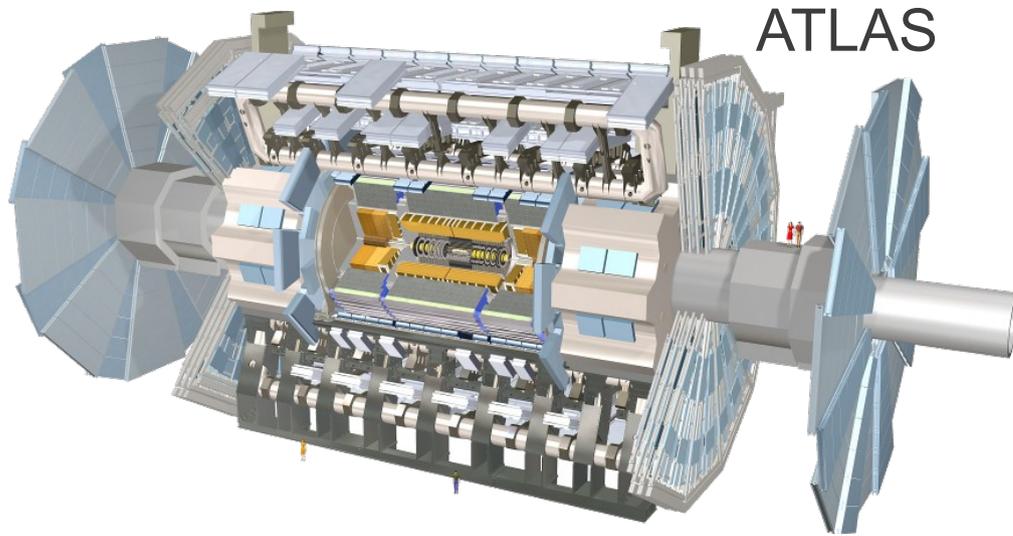
Un projet de longue haleine

1984	Études préliminaires
1992	Création de la collaboration ATLAS
1994	Approbation par le conseil du CERN
1996-1998	Approbation des quatre grandes expériences
1998-2008	Construction du LHC et des détecteurs
Septembre 2008	Mise en service, panne cryogénique
Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Fin 2014	Redémarrage à 13-14 TeV
2018-2020	Fin des collisions à luminosité nominale ?
2020-2030	Phase à haute luminosité ?

La machine à superlatifs

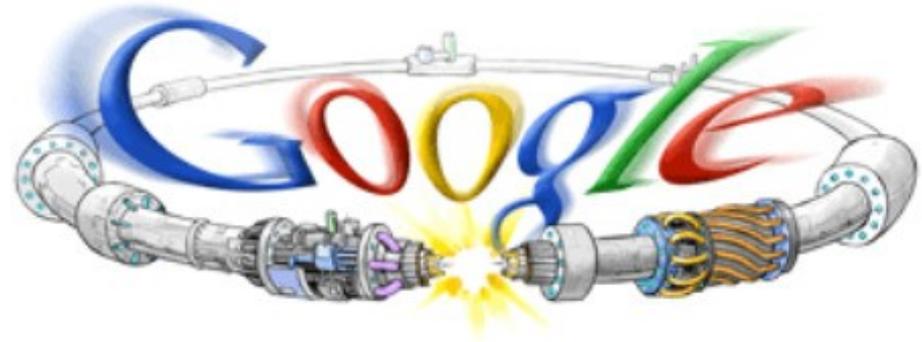
- La plus grande et la plus complexe machine scientifique jamais construite
- 27 km de circonférence
- Protons voyageant à 99,9999991% de la vitesse de la lumière, soit 11000 tours par seconde
- Le plus grand congélateur : 1,9 K (-271 °C), plus froid que l'espace intersidéral (2,7 K), avec de l'hélium superfluide pour rendre les câbles supraconducteurs et générer un champ magnétique de 8,4 T
- Longueur de câbles supraconducteurs : assez pour 5 aller-retours Terre-soleil
- Vide presque parfait (10^{-13} atm) : pression 10 fois plus faible que sur la Lune
- Énergie du faisceau : TGV à 150 km/h. Chaque proton a l'énergie d'un moustique en vol, mais il y en a 2800 paquets de 100 milliards !

Des détecteurs géants



Démarrage du LHC en 2008

- Événement planétaire
- ... et délire mondial : le LHC pourrait produire un trou noir qui détruirait la planète !
- En fait, tout s'est bien passé... pendant une semaine
- Un incident avec les aimants a retardé le programme de physique d'un an
- Depuis octobre 2009, la machine fonctionne au-delà des espérances, bien qu'à la moitié de son énergie nominale (faisceaux de 3,5 puis 4 TeV au lieu de 7 TeV)





Le CERN

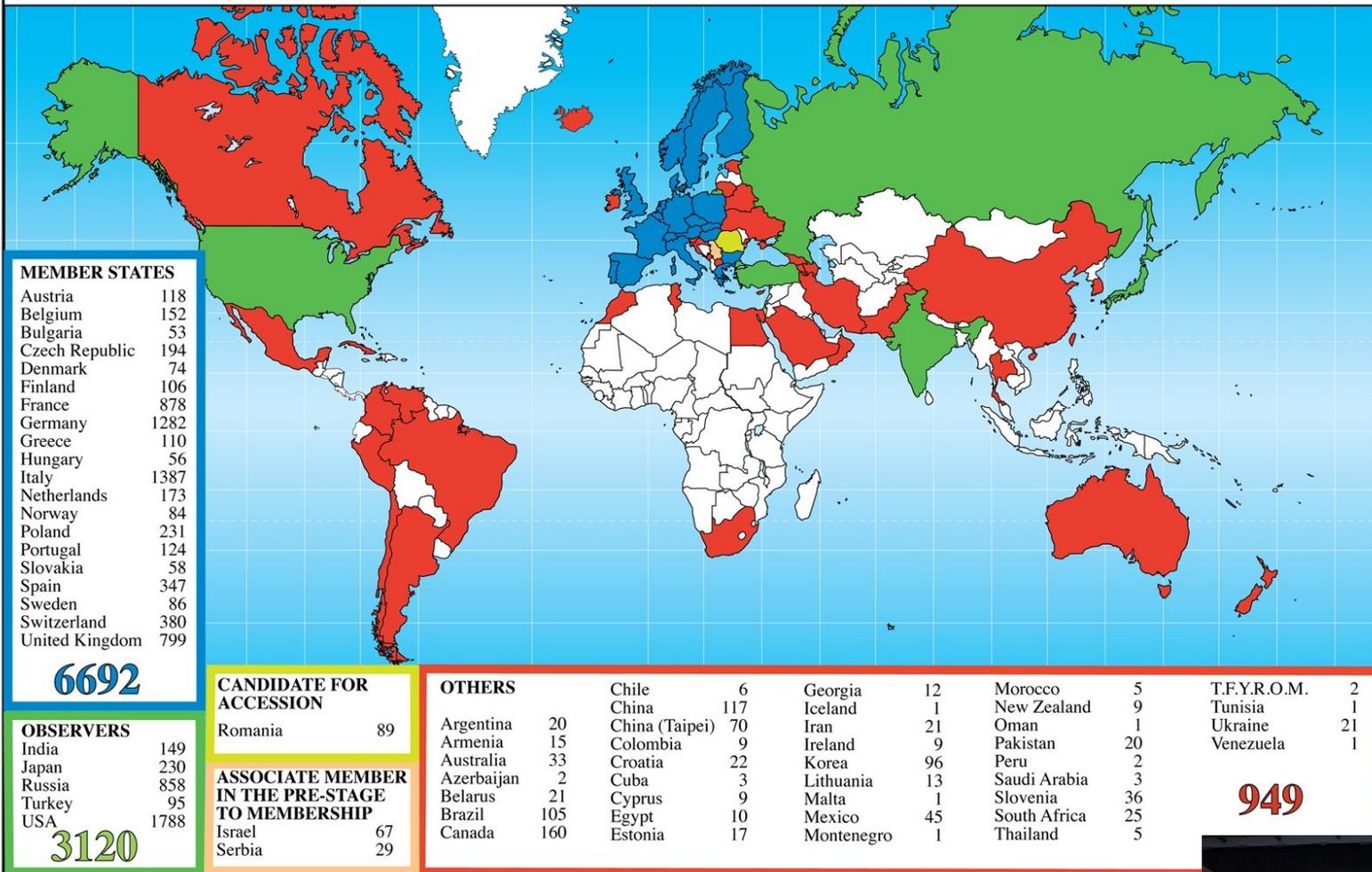


- Organisation européenne pour la recherche nucléaire
- Fondé en 1954
- Basé à Genève (Suisse), sites également en France
- Organisation internationale (les employés sont fonctionnaires internationaux)
- Nombreuses découvertes scientifiques et techniques
- Plusieurs prix Nobel
- Programme d'étudiant d'été



Le CERN : laboratoire mondial

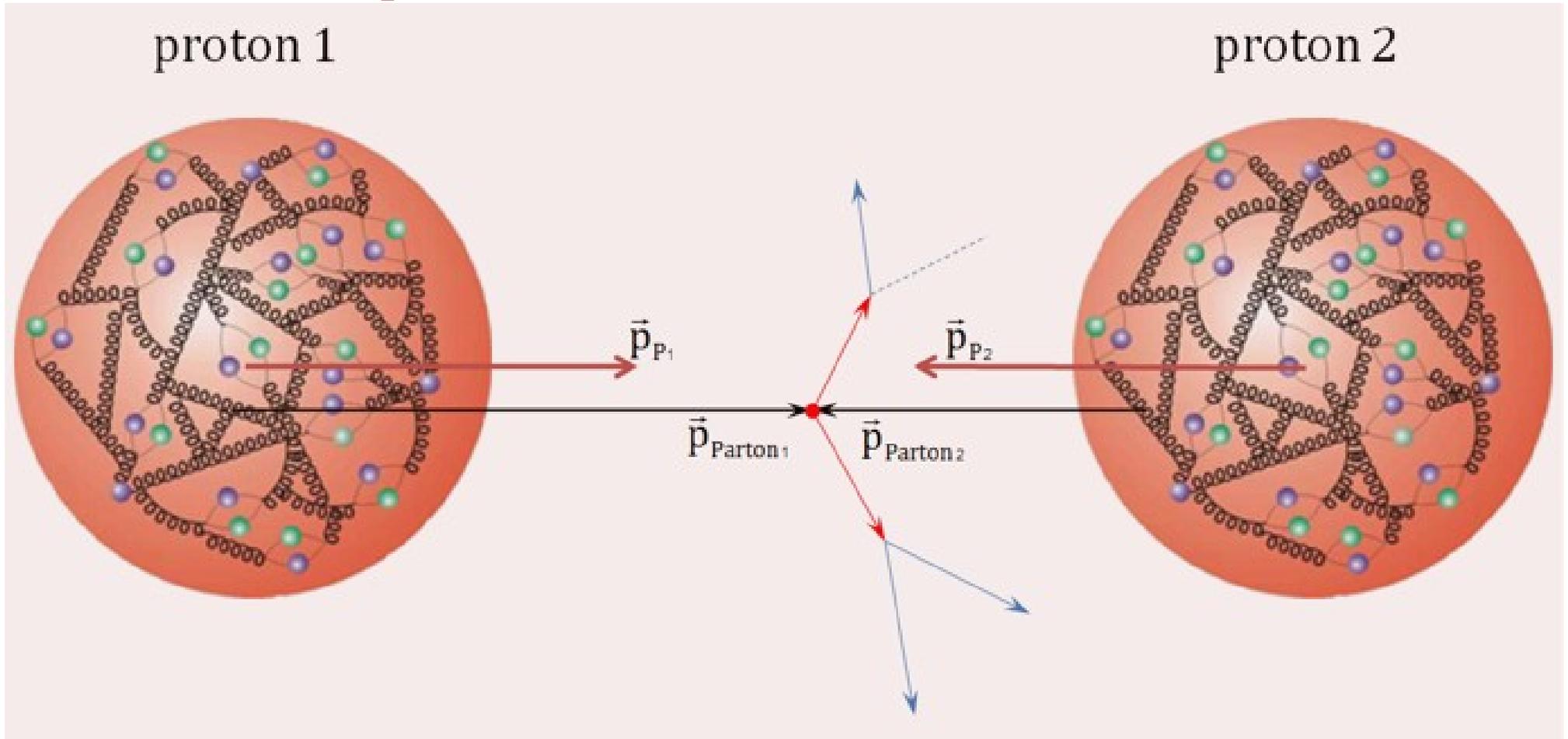
Distribution of All CERN Users by Nation of Institute on 3 September 2012



- 20 Etats membres
- Une centaine de nationalités, tout le monde coopère
- 10000 scientifiques



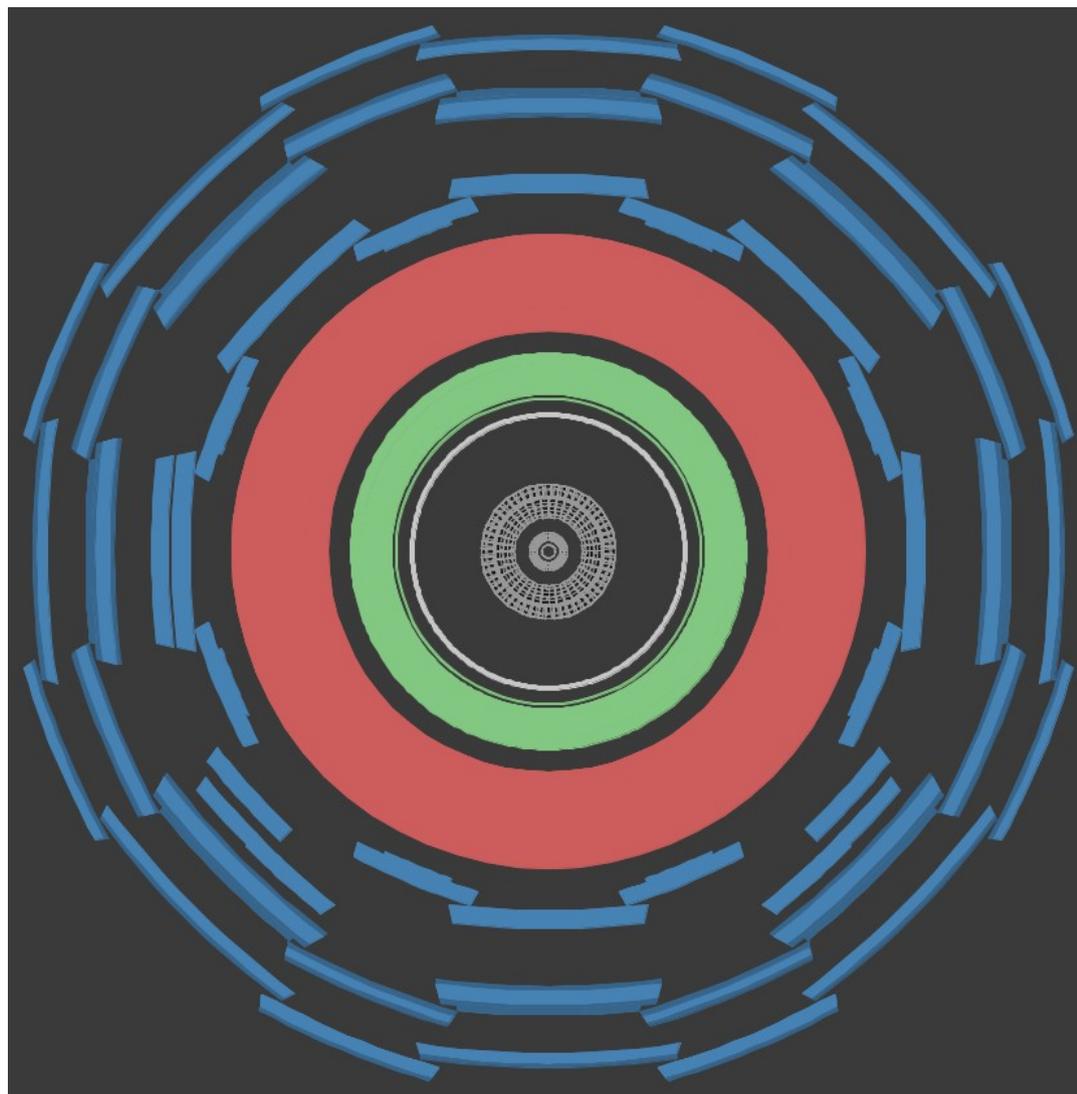
Deux protons se rencontrent...



- Collision proton-proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)
- Jamais deux fois la même collision → mesures statistiques
- Traces de la collision mesurées dans des détecteurs autour du point d'interaction

Un détecteur, qu'est-ce que c'est ?

- Détecteur interne (trajectographe)
 - Mesure charge et impulsion des particules chargées, dans un champ magnétique
- Calorimètre électromagnétique
 - Mesure l'énergie des électrons, positrons et photons
- Calorimètre hadronique
 - Mesure l'énergie des hadrons (particules contenant des quarks), comme les protons, neutrons, pions, etc.
- Détecteur à muons
 - Mesure la charge et l'impulsion des muons



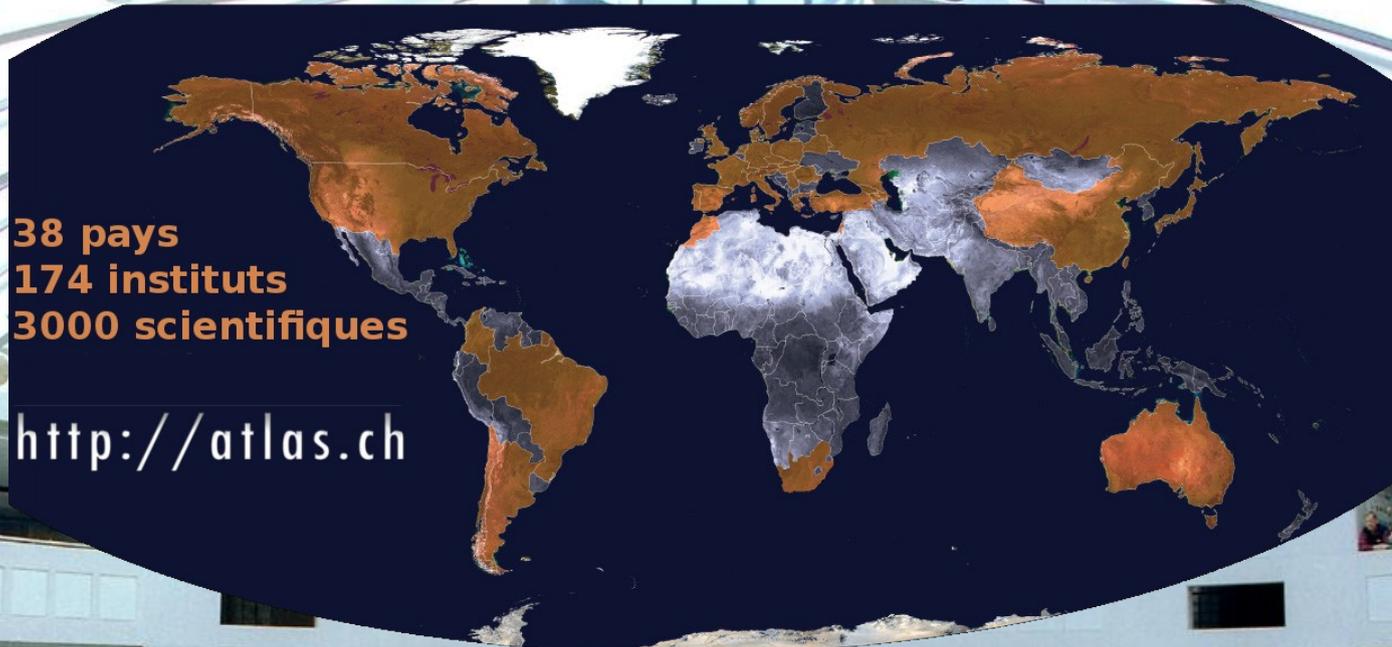
La collaboration ATLAS



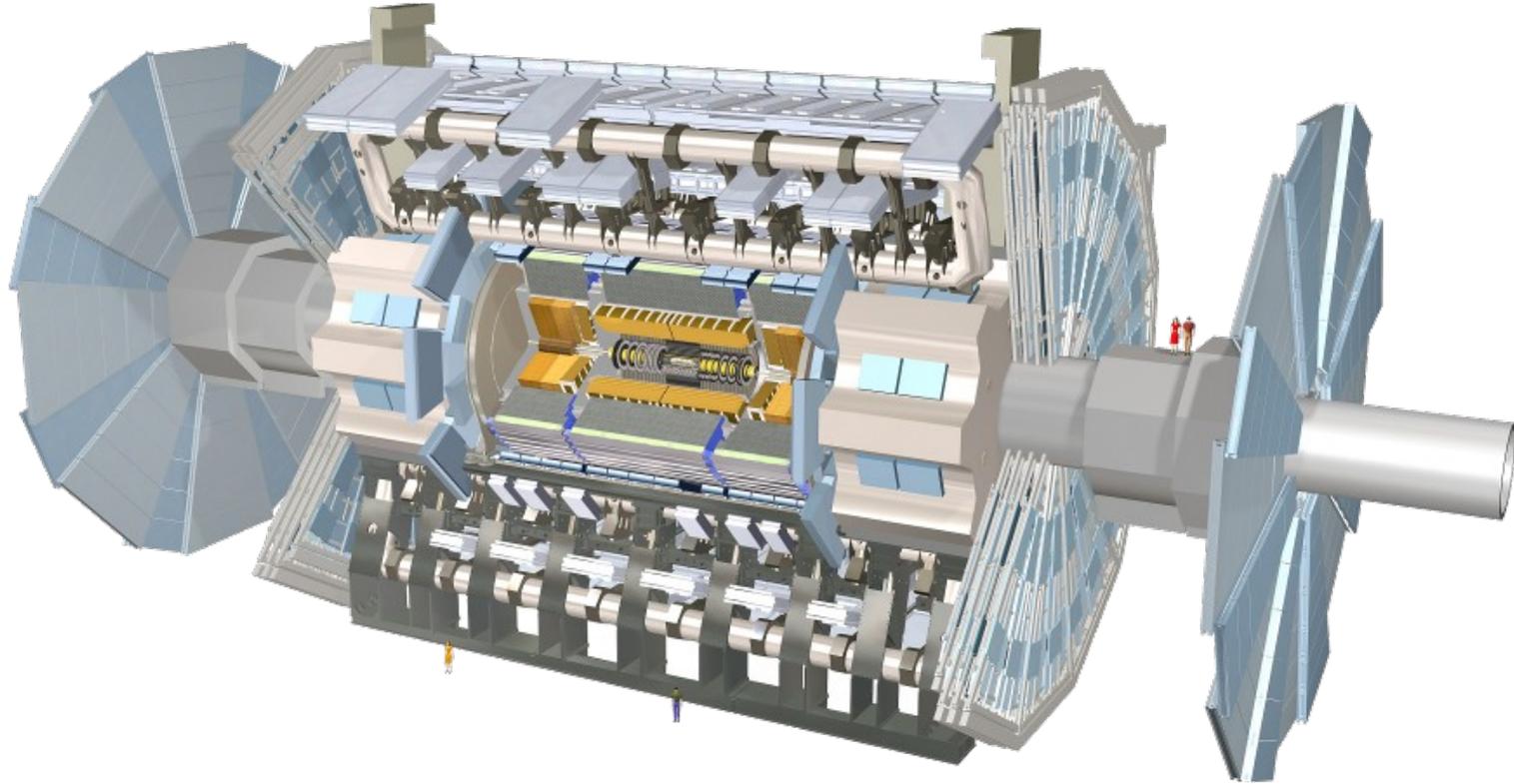
La collaboration ATLAS

38 pays
174 instituts
3000 scientifiques

<http://atlas.ch>



Le détecteur ATLAS



- 25 m de diamètre, 44 m de long
- 7000 tonnes (comme la tour Eiffel)
- 3000 km de câbles
- 100 millions de canaux
- En France : 6 laboratoires CNRS/IN2P3/Université et 1 CEA, 400 personnes (physiciens, ingénieurs, étudiants)

Le détecteur ATLAS construit en 1 minute



Le détecteur ATLAS avec des explications



Interaction des particules avec le détecteur



Mesurer le passage des particules dans le détecteur à pixels



- 80 Mégapixels
- 40 millions d'images par seconde
- 1,7 m² de silicium

Mesurer l'énergie des particules dans le calorimètre électromagnétique



- Argon liquide à -183°C

Mesurer l'énergie des particules dans le calorimètre hadronique



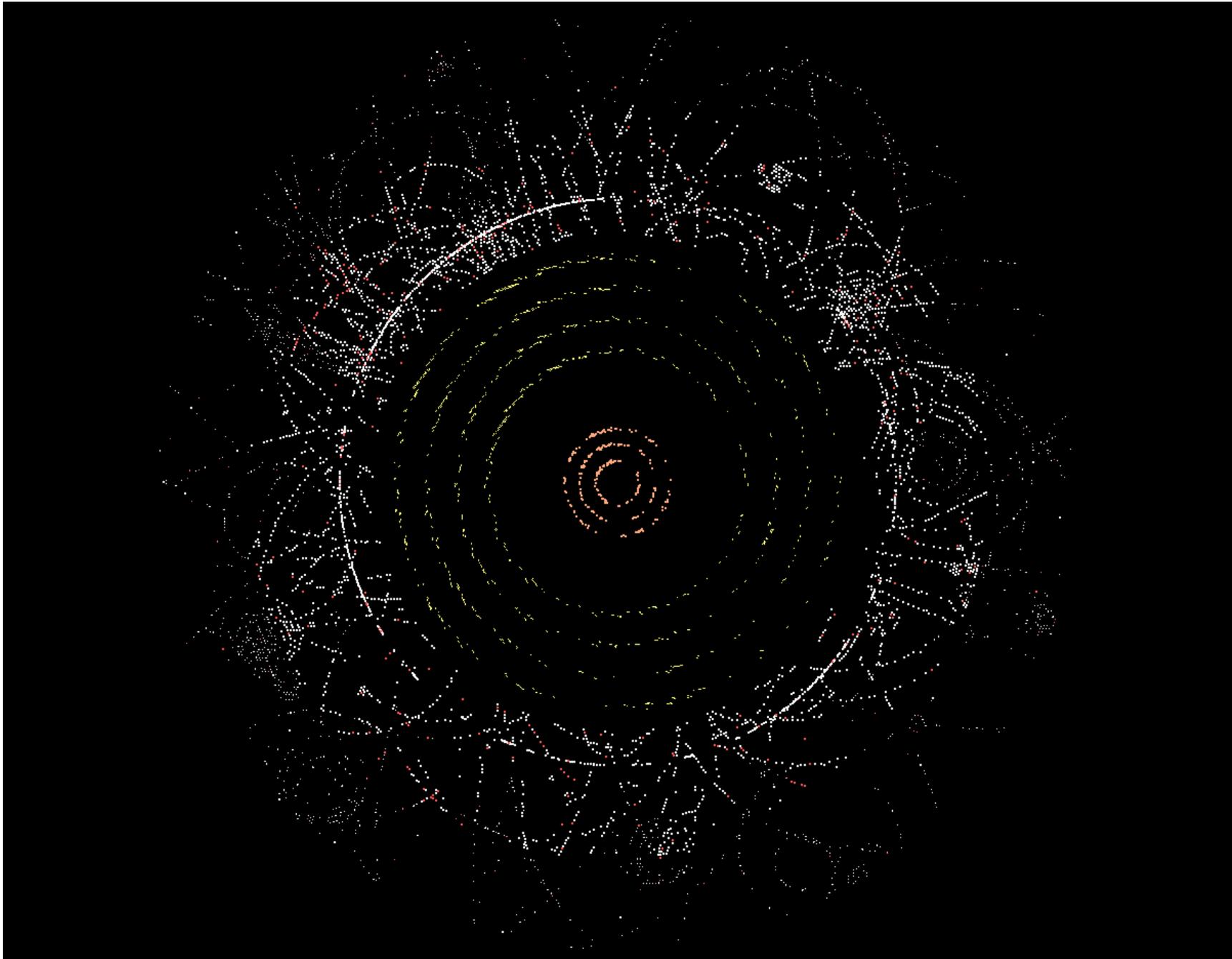
- 500 000 tuiles de plastique scintillant

Mesurer le passage des particules dans le système à muons

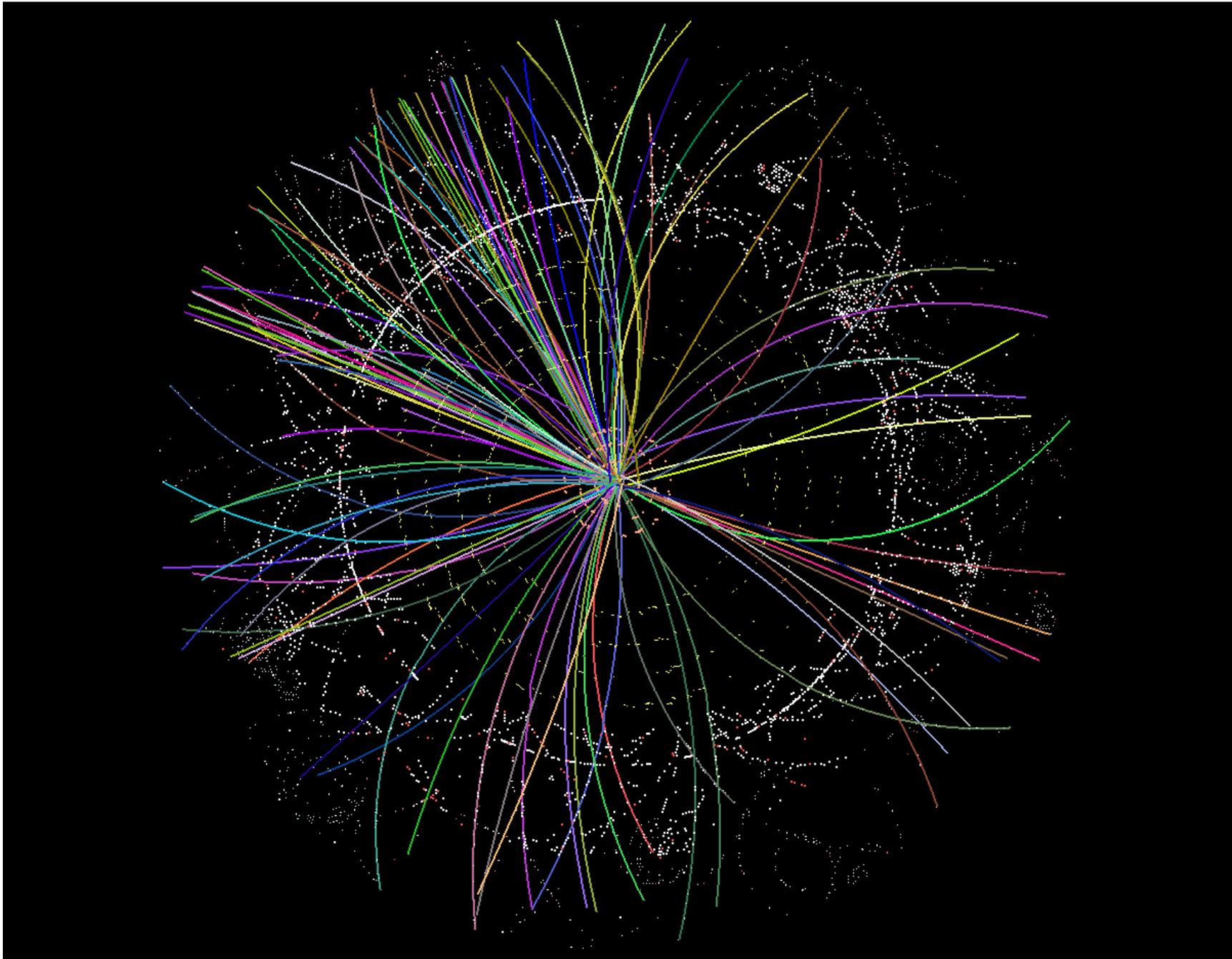


- Champ électrique de 5000 V/mm
- Alignement par faisceaux laser
- Précision de l'ordre de l'épaisseur d'un cheveu sur 25 m de distance

Passage des particules

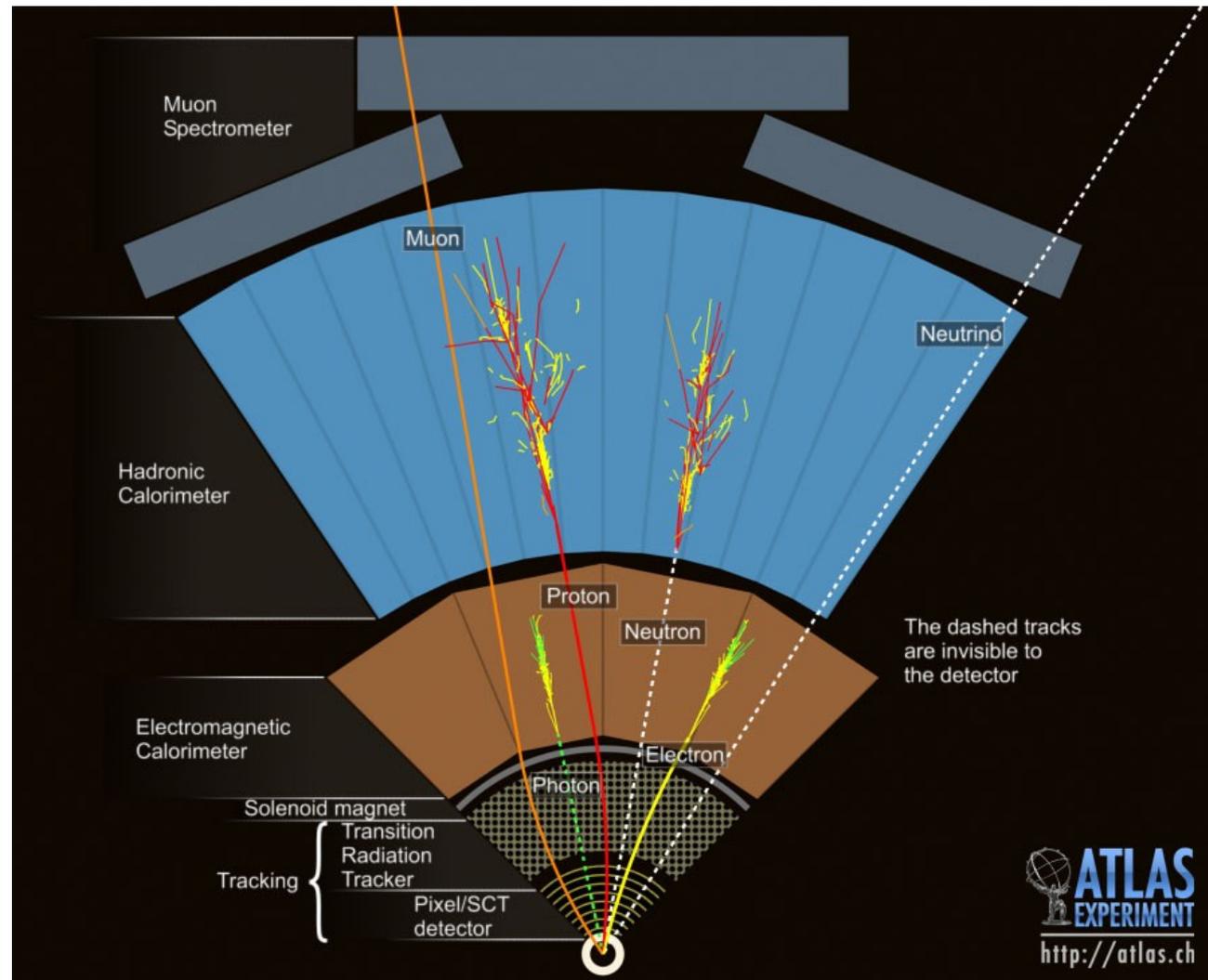
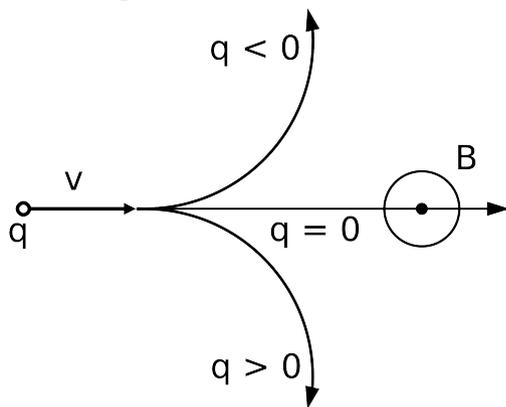


Reconstruction des trajectoires



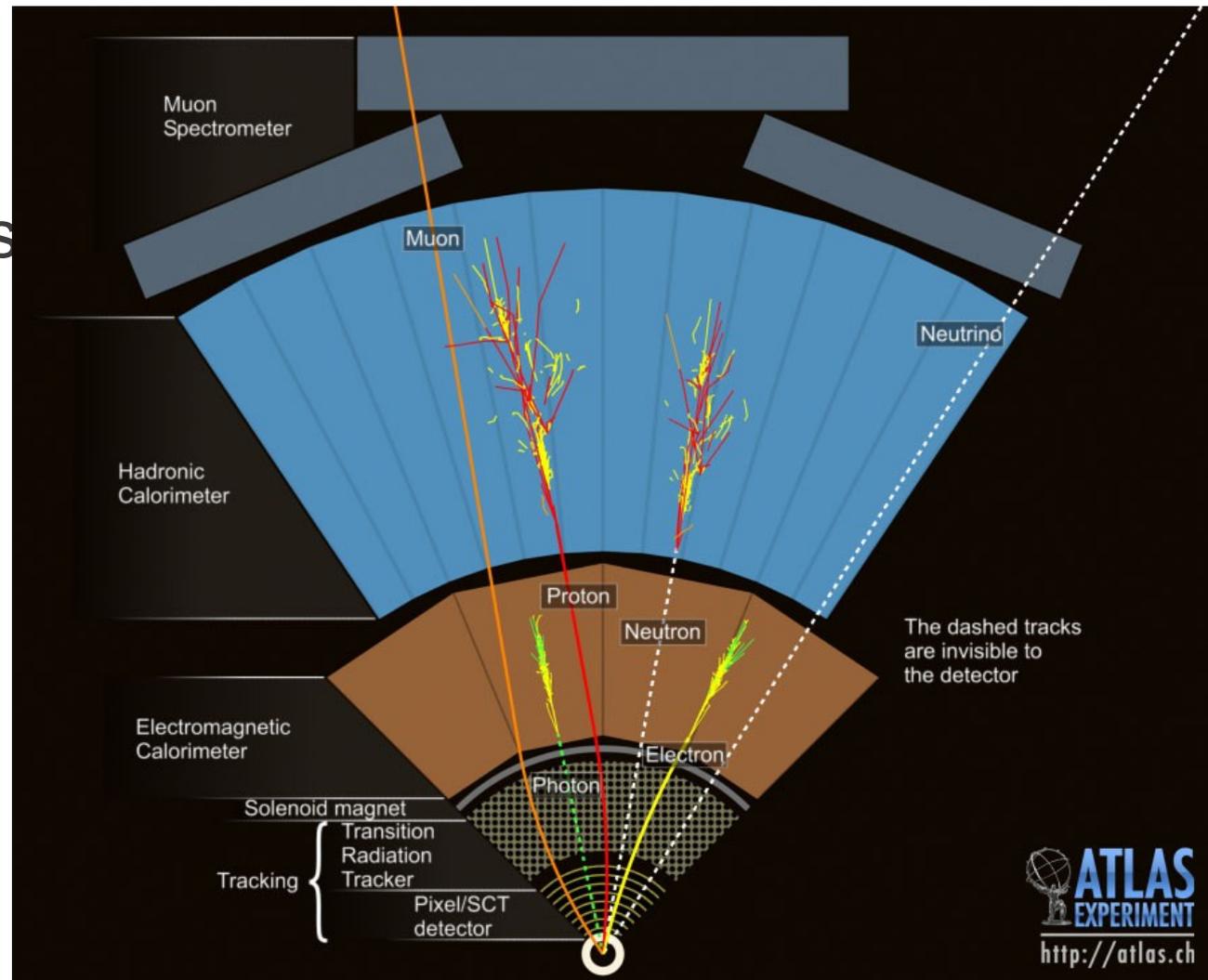
Identifier les électrons/positrons et photons

- Gerbe dans le calorimètre EM
- e^+/e^- : particule chargée, trace dans le trajectographe
- Courbure de la trace \rightarrow signe de la charge électrique



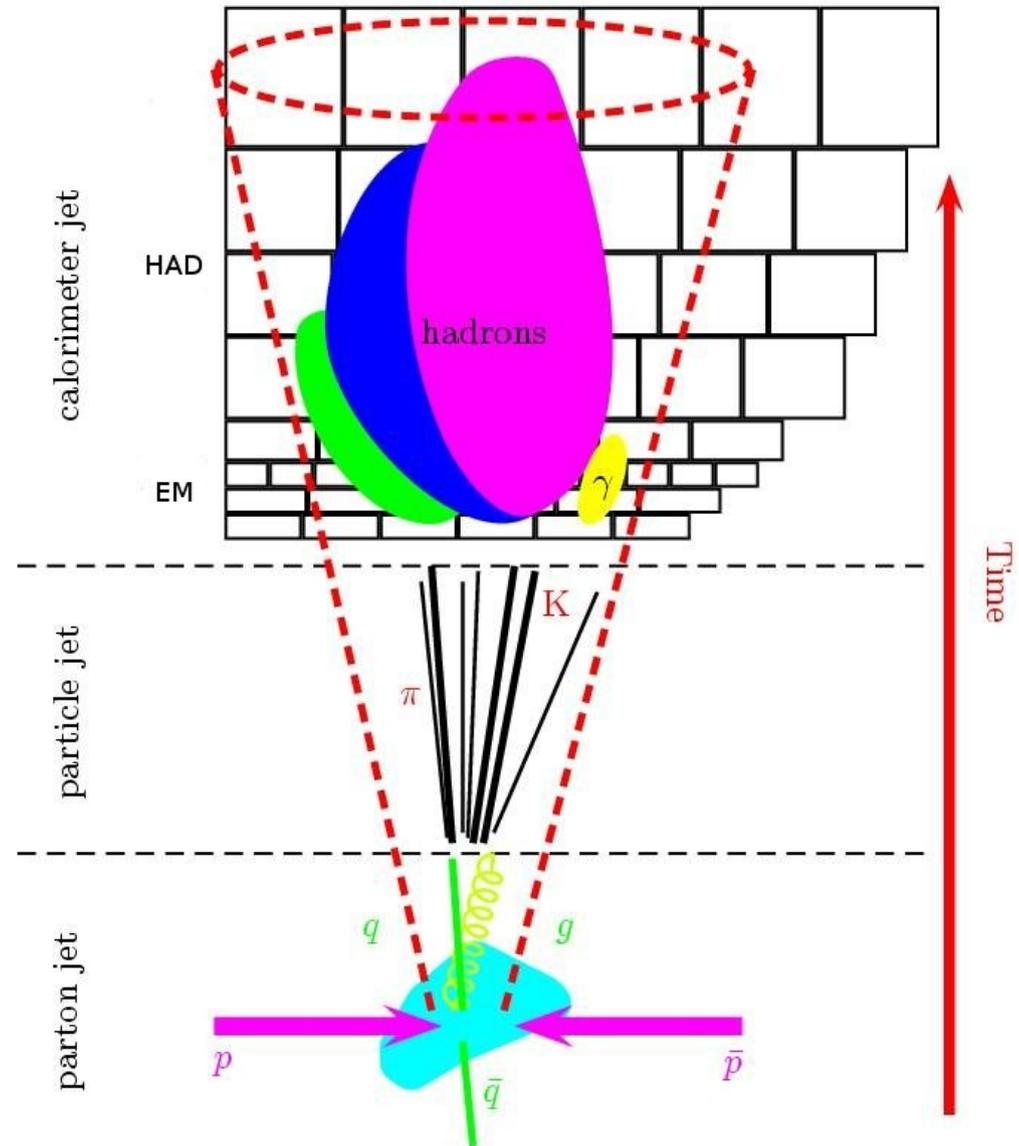
Identifier les muons et antimuons

- Particule chargée, trace dans le trajectographe
- Un peu d'énergie dans le calorimètre
- Trace dans le détecteur à muons
- Courbure de la trace → signe de la charge électrique



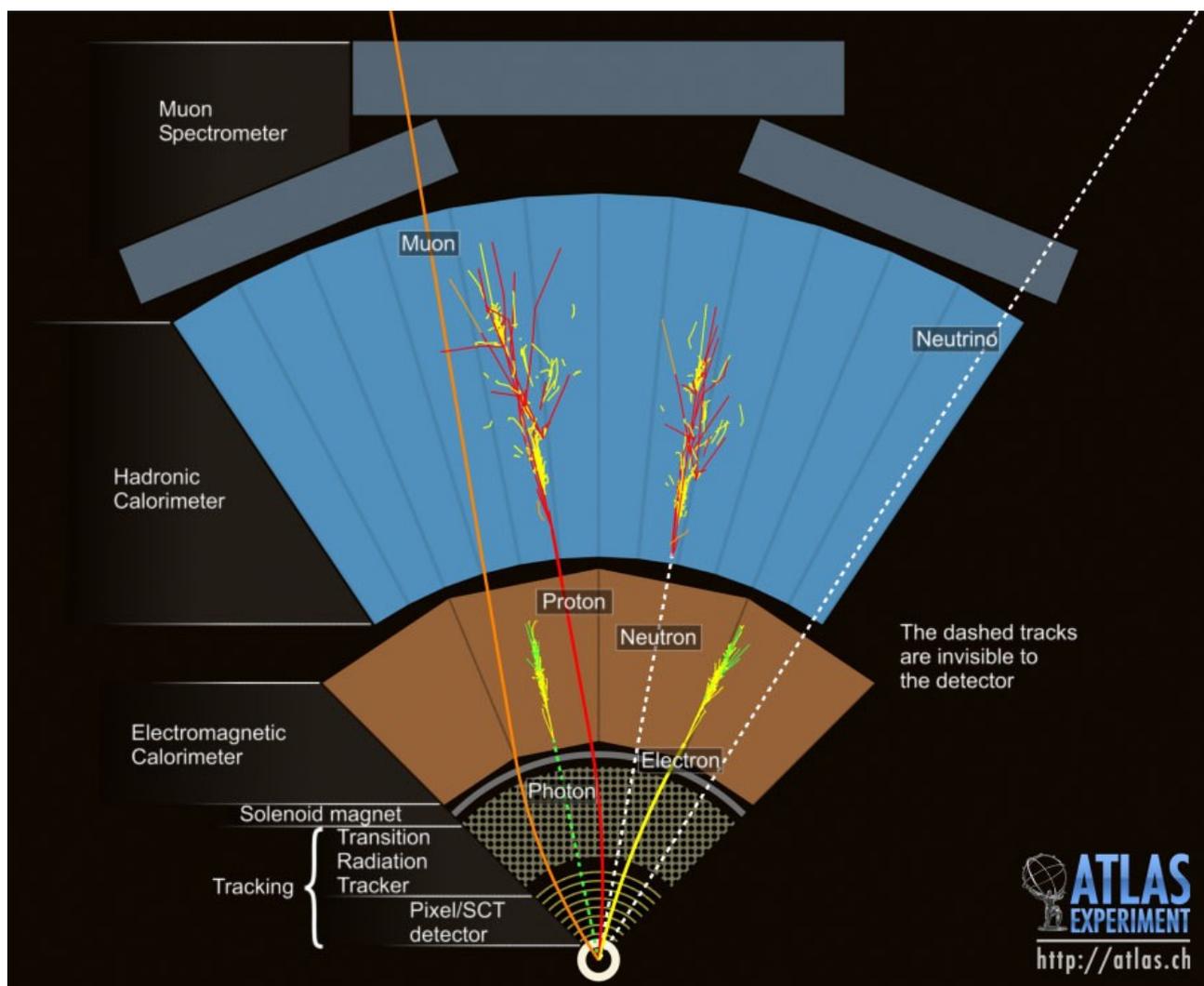
Identifier les quarks/antiquarks et gluons

- Jamais seuls, forment des hadrons
- Gerbes dans le calorimètre EM et surtout hadronique
- Particules chargées, traces dans le trajectographe



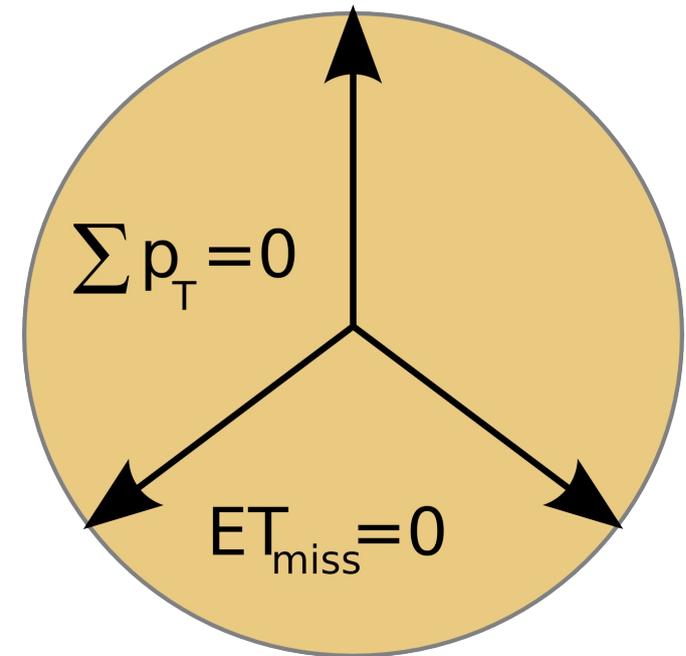
Identifier les neutrinos

- Particule neutre qui n'interagit presque pas avec la matière
- Aucune trace dans le détecteur
- Identifié par induction, en utilisant la conservation de l'impulsion

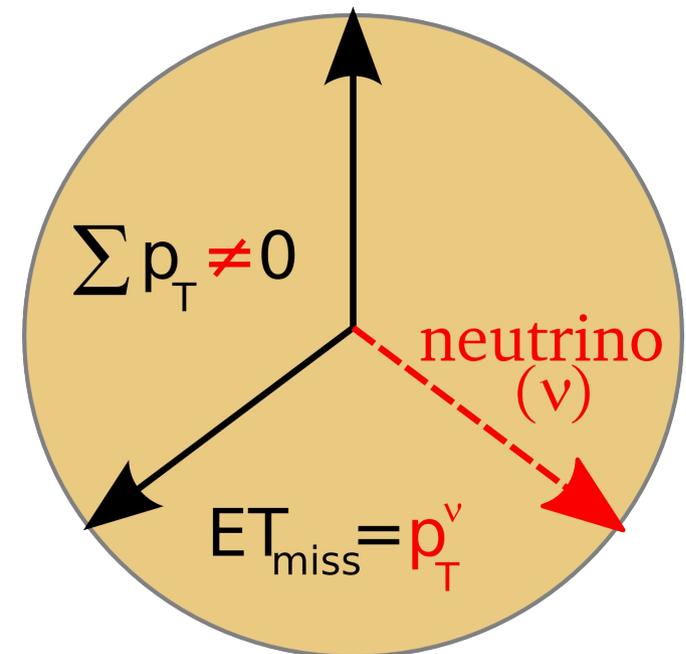


Energie transverse manquante

- Sans neutrino
 - 3 particules reconstruites
 - Somme des impulsions dans le plan transverse : 0
 - Donc $E_T^{\text{miss}} = 0$



- Avec un neutrino
 - On « voit » seulement une partie de l'événement
 - La somme des impulsions n'est pas nulle
 - La différence est E_T^{miss} , associée au neutrino

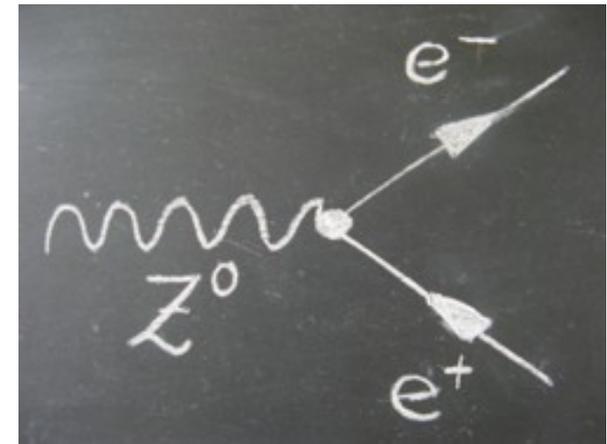
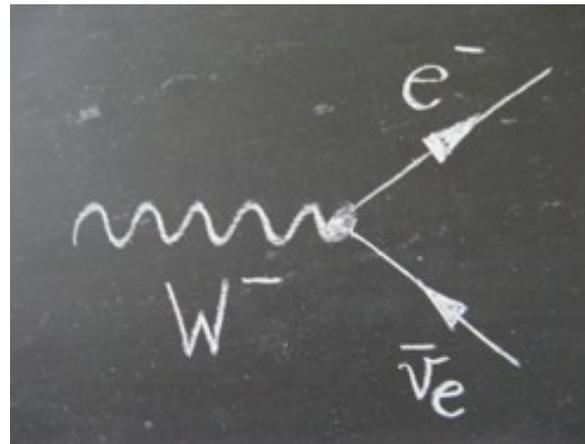
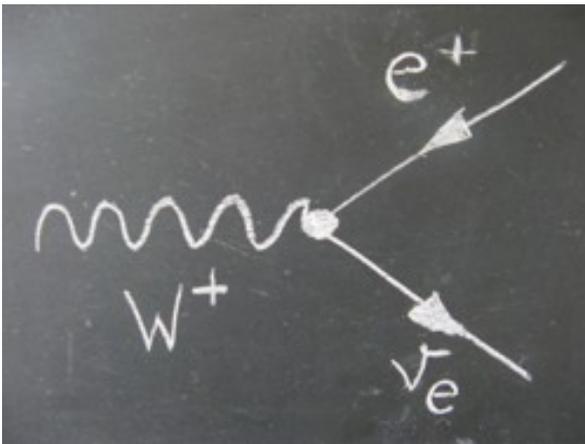


Difficulté : le bruit de fond

- Signature similaire à ce que l'on cherche, mais venant d'une source différente
- Peut être un vrai processus qui fournit le même état final
- Ou bien dû au fait qu'une particule n'est pas vue dans le détecteur
 - par exemple s'échappe le long du faisceau
- Ou bien à une mauvaise reconstruction dans le détecteur
 - il y a un jet et je crois que c'est un électron
- Ou encore à la présence d'autres particules dans l'événement
 - chaque événement contient plusieurs collisions

Exemple de signal et bruit de fond

- Signal : désintégration de bosons $W \rightarrow ev$
- Bruit de fond : $Z \rightarrow ee$
- Un des e n'est pas reconstruit

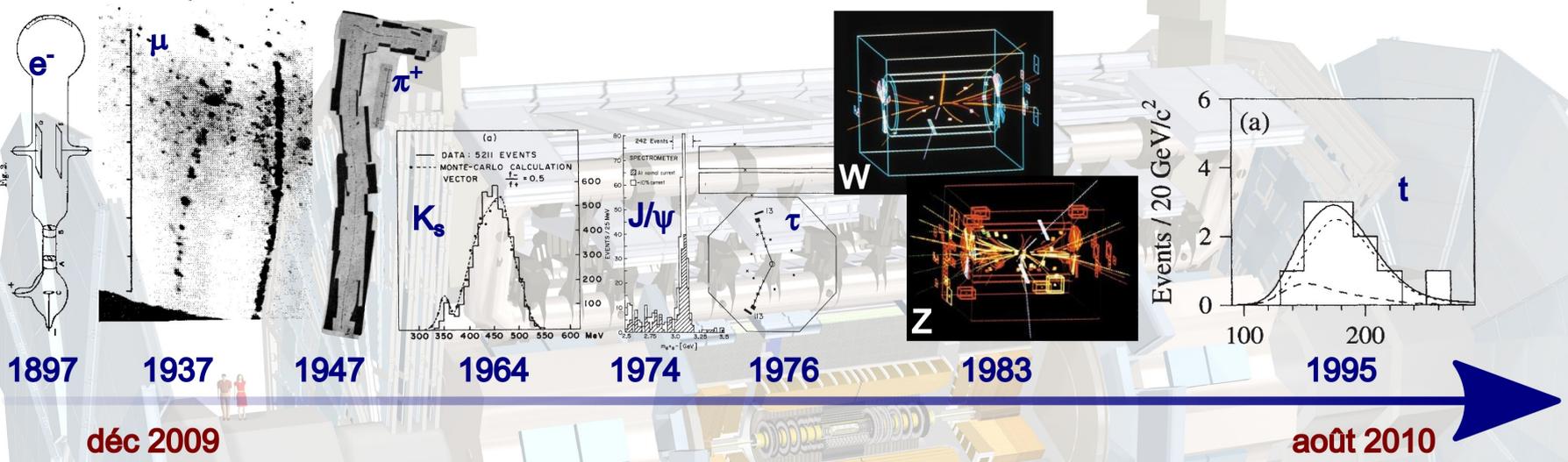


- Si on cherche des événements Z , alors les W peuvent être un bruit de fond !

Le modèle standard redécouvert

LHC 2010 : un siècle en un an

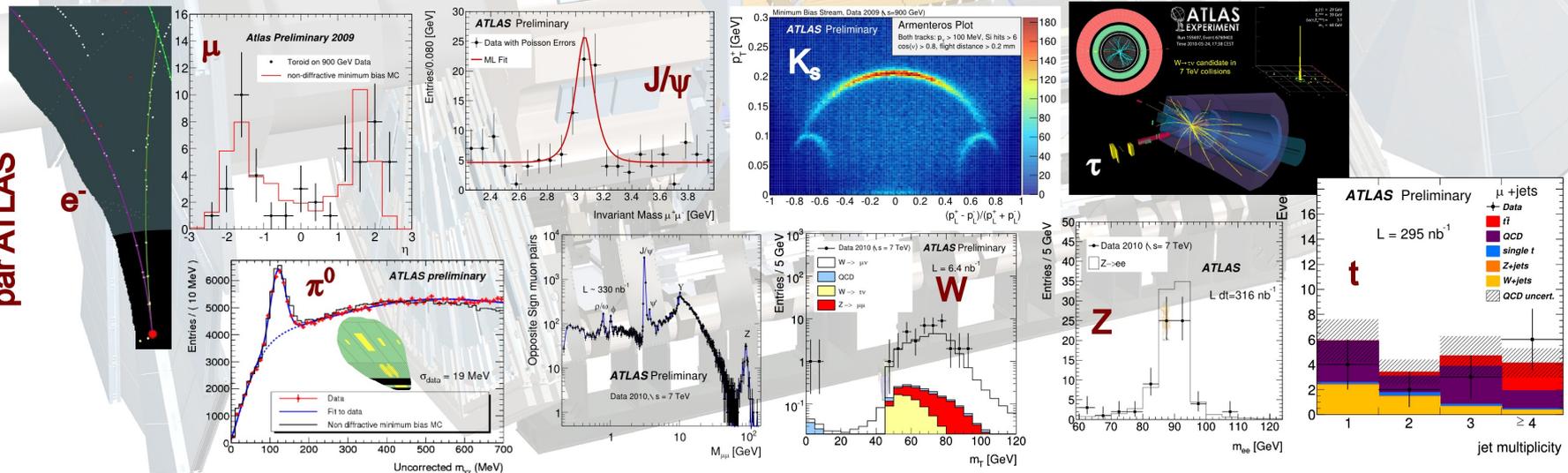
Découverte historique



déc 2009

août 2010

Redécouverte par ATLAS



A quoi sert cette recherche ?

- Première raison d'être : curiosité humaine pour comprendre le monde qui nous entoure
- Applications :
 - Technologie des détecteurs utilisée en médecine
 - Faisceaux utilisés en hadronthérapie
 - Concepts théoriques comme l'antimatière utilisé dans les PET scans
- Plus inattendu :
 - Isolation des panneaux solaires de l'aéroport de Genève
 - Le Web a été inventé au CERN

