



CERN



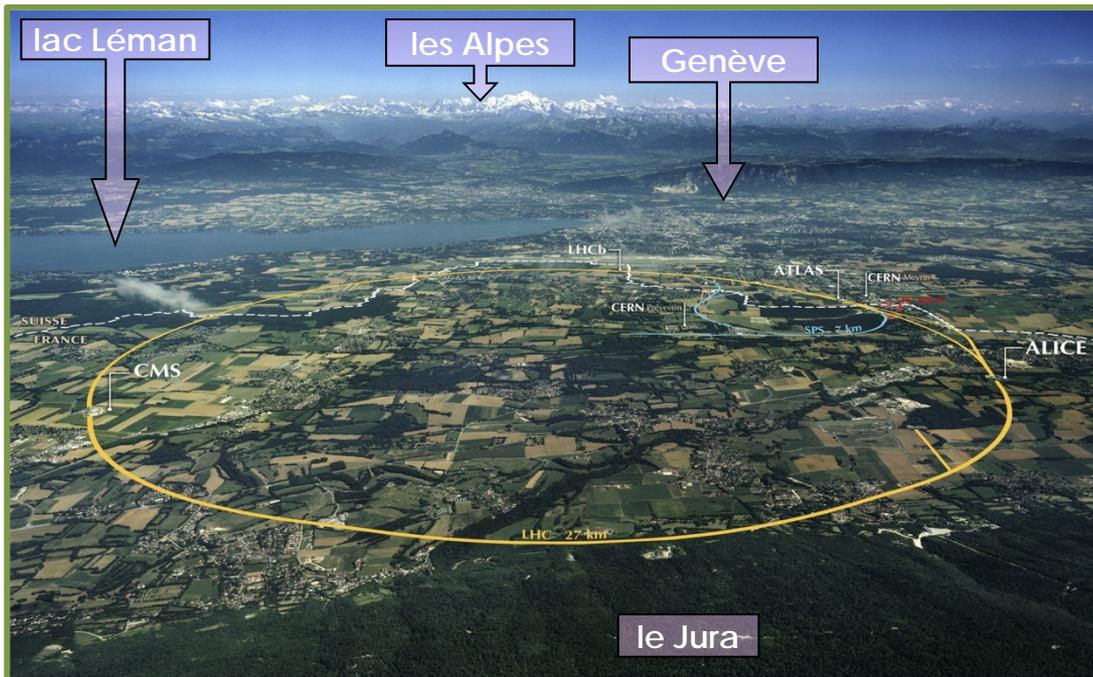
Le CERN & le LHC

Etudier la physique des particules

- Où et comment étudier les particules que vient de présenter Fabrice?
 - Dans de grands laboratoires qui regroupent les chercheurs, physiciens et techniciens que vous allez rencontrer aujourd'hui.
 - Certains de ces laboratoires sont des « facilities », qui facilitent la vie des chercheurs en fournissant :
 - Un lieu propice à la recherche, aux échanges constructifs, aux trouvailles
 - Des outils pour créer les particules, les accélérateurs, et détecter les particules, les détecteurs, que vous présentera Laurent
 - Le temps et les moyens de préparer le futur pendant qu'on exploite le présent, toute la logistique et le soutien : experts, R&D, informatique, communication (web)... bureaux, cantines, hôtels, salles de réunion, bibliothèque...
- Le CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) est un des plus grands et plus géniaux lieux de ce type.



1952 : les Européens s'unissent pour la science fondamentale, et s'installent « dans les champs » près de Genève.



Missions :

recherche fondamentale pour comprendre l'Univers

technologie qui fait reculer les limites au service de la science

collaboration entre les nations autour de la science & **éducation** par la formation des scientifiques

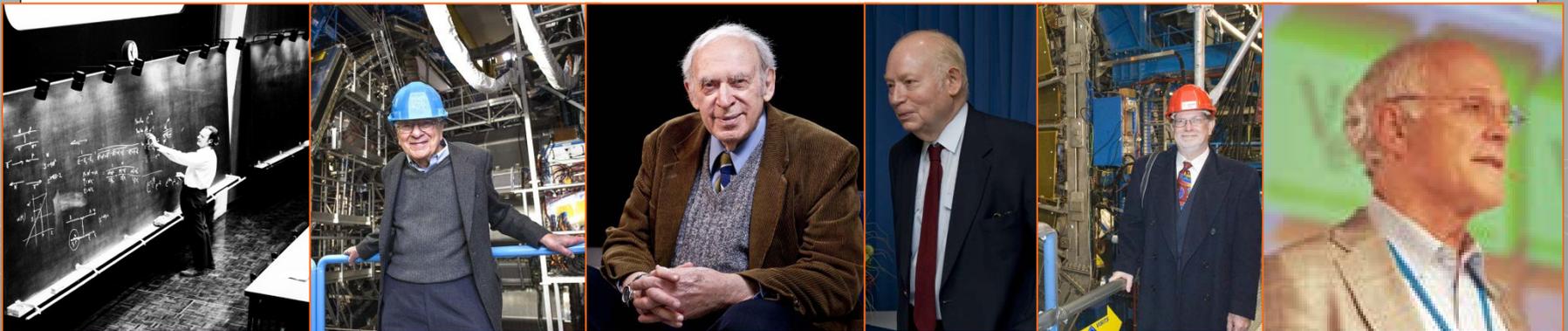
Outils : **accélérateurs** et **détecteurs**

Les prix Nobel du CERN

- Steinberger(88), Bloch(52), Ting(76), Charpak (92), Rubbia & Van der Meer(84)



- Mais aussi des visiteurs : Feynman(65), Gell-Mann(69), Friedman(90), Weinberg(79), Smoot(06), Gross(04)....



- Et bien d'autres merveilleux scientifiques que l'on croise au CERN

Le mot d'une utilisatrice du CERN

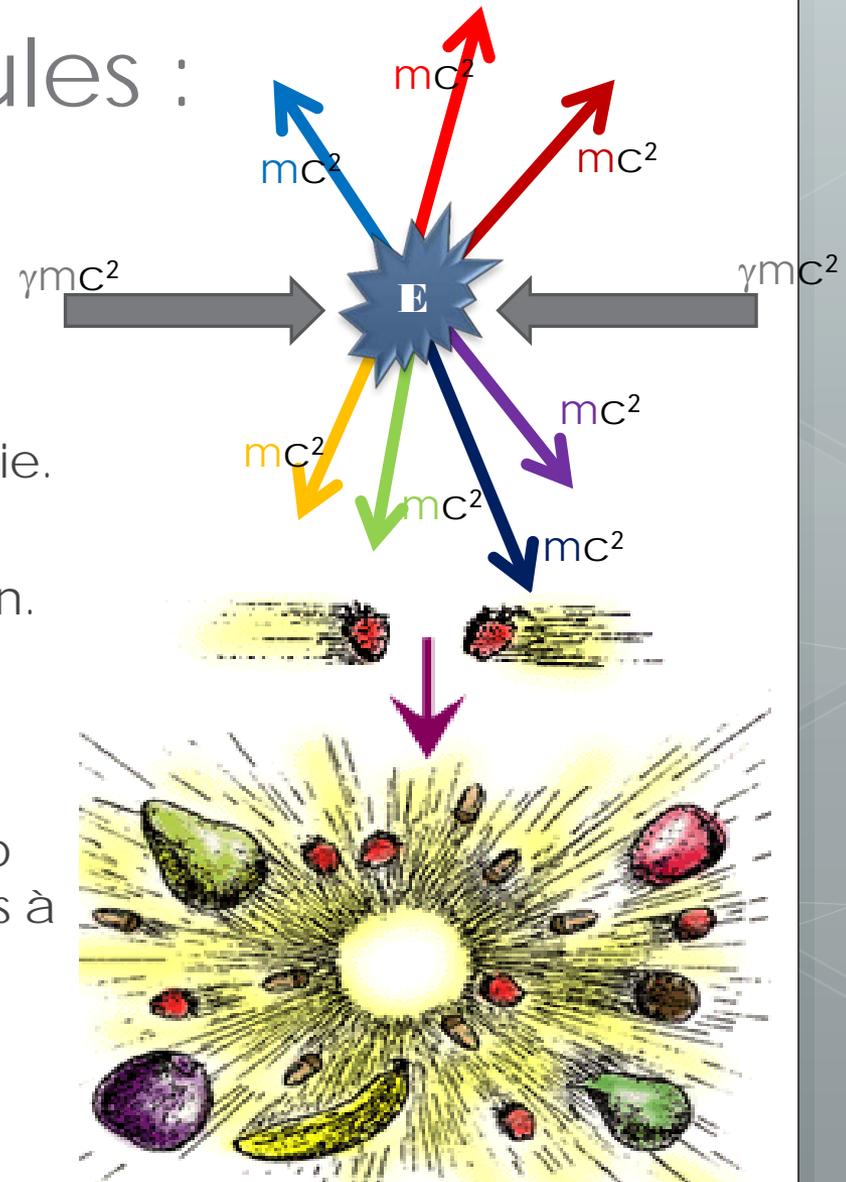


- Un lieu génial :
 - Grand air et laboratoires, bureaux, lieux d'échange où se croisent et évoluent la moitié des physiciens du monde :
 - Tous différents : langue, culture, formation, expertise, centres d'intérêt, temps de présence, métier, théoriciens, expérimentateurs, experts en tout genre.
 - Tous habités par la même passion : esprit ludique, envie d'avancer et d'inventer, de découvrir, partager le savoir, apprendre, comprendre, transmettre, le même enthousiasme.
 - Multi culturel et polyglotte où tout est fait et organisé pour que les gens aient la liberté de chercher, d'essayer, de tester leurs idées.
 - Bouillonnement de neurones très efficace!
- Grosse machine bien huilée derrière tout ça pour faciliter la vie et laisser les chercheurs libres de penser et travailler!



L'outil pour produire des particules : l'accélérateur

- Les particules peuvent être « instables ». Il faut les produire.
-  $E=mc^2$: particules \leftrightarrow énergie.
- Energies de masse et cinétique \Rightarrow accélération.
- On accélère des particules faciles à produire ou à récupérer (ex. proton i.e. noyau d'hydrogène)
- On les fait se collisionner : beaucoup d'énergie = beaucoup de particules à observer! Collisions de particules \leftrightarrow d'autres particules.



Comment accélère-t-on des particules?

- Particules chargées de charge q
- Avec des champs électrique et magnétique
- 2 composantes du champ :

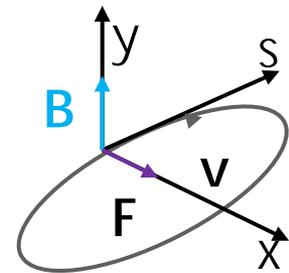
$$F = q\mathbf{E} + q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

électrique : énergie

cavités accélératrices

magnétique : courbure

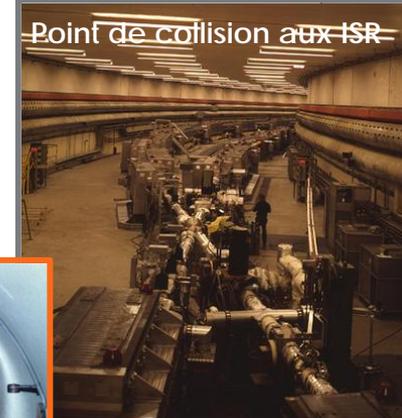
aimants dipolaires



- Collisionneur ou cible fixe
- Circulaire ou linéaire

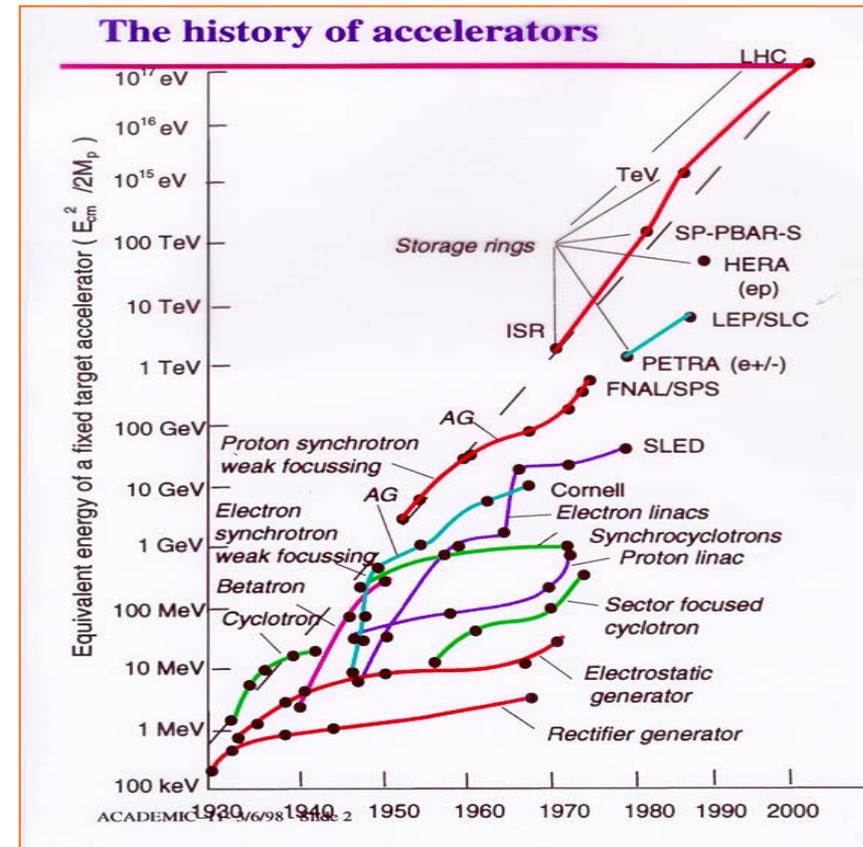
Les accélérateurs du CERN

- 1957 le premier accélérateur est mis en service, le SC (synchrocyclotron de 5 m de diamètre) à 600 MeV.
- 1959 démarrage du PS (Proton Synchrotron) à 28 GeV. 628m de circonférence.
- 1971 ISR : premier collisionneur pp au monde, alimenté par le PS
- 1976 le Supersynchrotron à protons, 7 km de circonférence avec une énergie de faisceau de 300 GeV : premier des anneaux géants du CERN.
- 1989 LEP le grand collisionneur électron-positon mis en service. Un projet colossal!
 - un tunnel de 27 km de long à une profondeur d'environ 100 mètres, avec 4 immenses cavernes souterraines pour abriter les détecteurs.
- Accélérateur d'électrons et de positrons le plus grand du monde : énergies de faisceau de 90 à 101 GeV.



LHC

- Buts fixés dès 1984 :
 - recherche du boson de Higgs
 - Au-delà du MS
 - Mesures de précision et tests
 - Interaction forte
- Par exemple pour le boson de Higgs :
 - **Haute énergie** pour sonder de hautes masses (limites posées par les accélérateurs précédents)
 - **Haute luminosité** : par exemple on attend la production de 1 boson de Higgs pour dix milliards de collisions!!!!

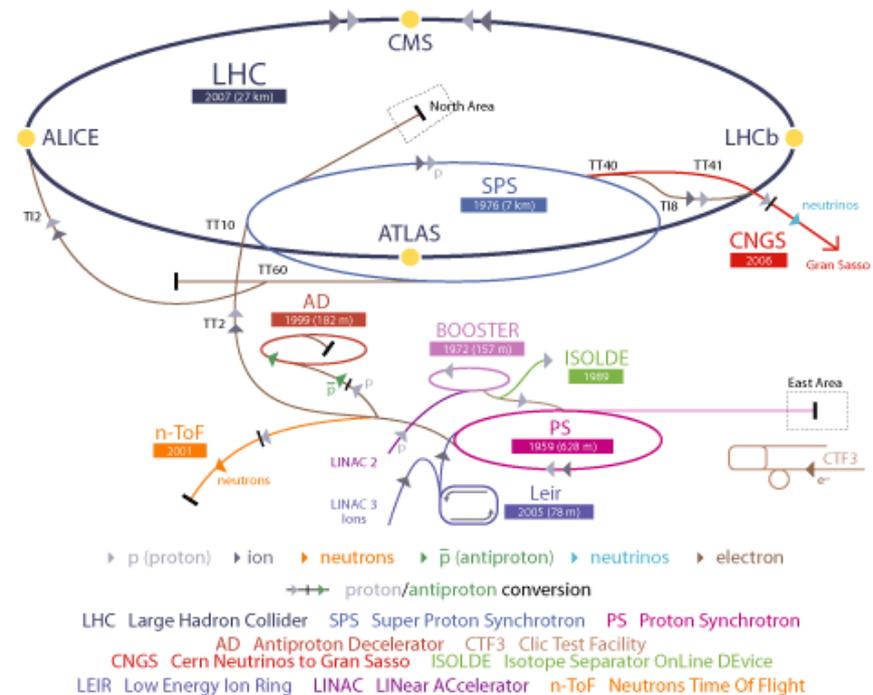


Le dernier étage de la fusée

LHC = « Seulement » de 450 GeV à 7 TeV

- H « dépiauté » de ses électrons injecté dans le **Linac2** à $1/3 c$.
- **Injecteur** (157m de circ.) amène les protons à $91.6\% c$.
- **PS** (628m de circ.) amène les p à $99.9\% c$, la vitesse n'augmente plus mais l'énergie de masse, les protons à 25 GeV.
- SPS (7km de circ.) amène les protons à 450 GeV.
- Deux points d'injection pour deux faisceaux circulant en sens inverses. Temps de remplissage : 4 mn 20 s.
- Le LHC donne l'accélération finale en 20 mn.
- 4 **points** de croisements pour les collisions, le tout à 100m sous terre.

Le complexe d'accélérateurs du CERN



Large Hadron Collider

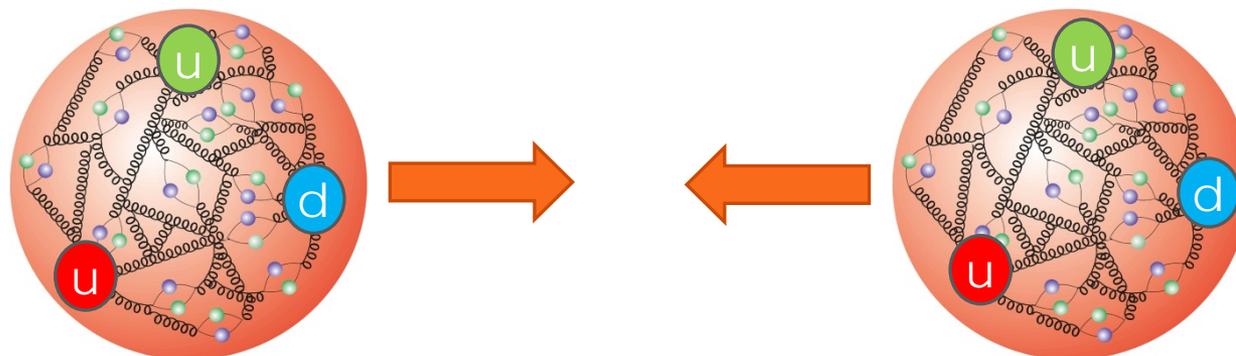
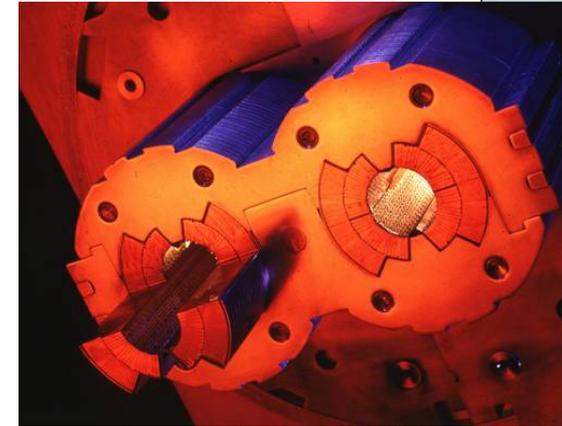
COLLIDER : $E = E1 + E2$ (> cible fixe)

Circulaire : E proportionnelle au nb de passages des faisceaux dans les cavités accélératrices

LARGE : $p \propto B\rho$ Rayon de courbure le plus grand possible = $26.7\text{km}/2\pi$ Champ magnétique le plus grand possible = dipole supraconducteur $B = 8.33\text{ T}$ (4.5 T @ TeVatron)

HADRONS :

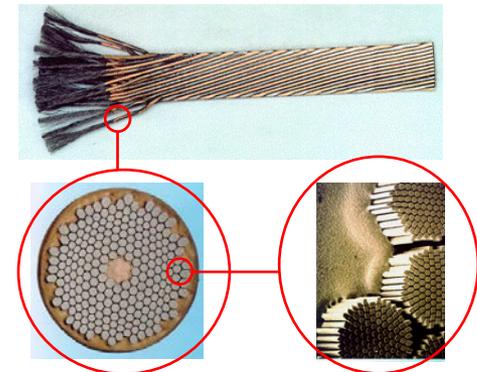
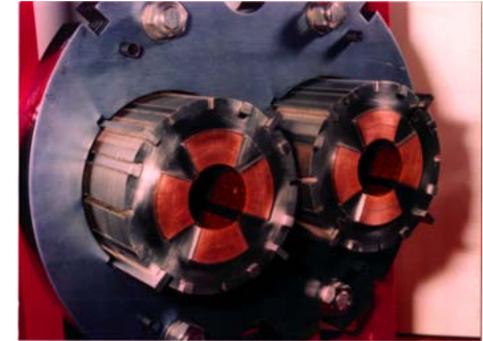
Plus massifs que les leptons, infiniment moins de rayonnement synchrotron et grande gamme d'énergie balayée



Une machine exceptionnelle : aimants & cryogénie

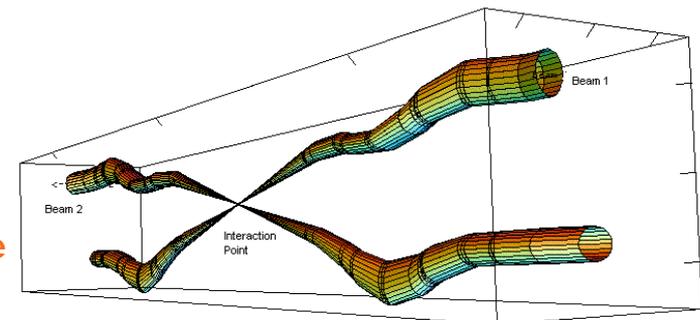
- La circonférence du LHC est de 26 659 m et la machine contient 9300 aimants :
 - 392 quadripôles supraconducteurs (focalisation)
 - 2464 sextupôles, 1232 octupôles, plus de 1200 autres petits aimants de correction
 - 1232 dipôles, le plus gros défi à relever (14.3m et 35t par dipôle = 18 km de dipôles sur les 27 km de LHC)

- Caractéristiques
 - Supraconducteurs:
 - NbTi température de transition 10K utilisé à 1.9K \Rightarrow champs de 8.33T
 - Courant énorme donc forces magnétiques énormes (>200t/m)
 - Energie stockée énorme > 10GJ (\approx un A380 à 700 km/h) (200x les précédents accélérateurs)
 - Bobinage
 - 1 câble (\varnothing 1.5cm) = 36 brins torsadés (\varnothing 15mm)
 - 1 brin = 6400 filaments (\varnothing 7 μ m)
 - 7600km de câbles = en brins 5 AR Terre-Soleil plus un aller sur la Lune!
 - Cryogénie:
 - Le plus gros frigo du monde: 40000t de matériel à 1.9K (120t d'He superfluide)
 - L'endroit le plus froid de l'univers (le fond diffus est à 2.7K)
 - Avec des températures générées par les collisions plus de 100 000 fois supérieures à celles qui régnent au centre du Soleil.



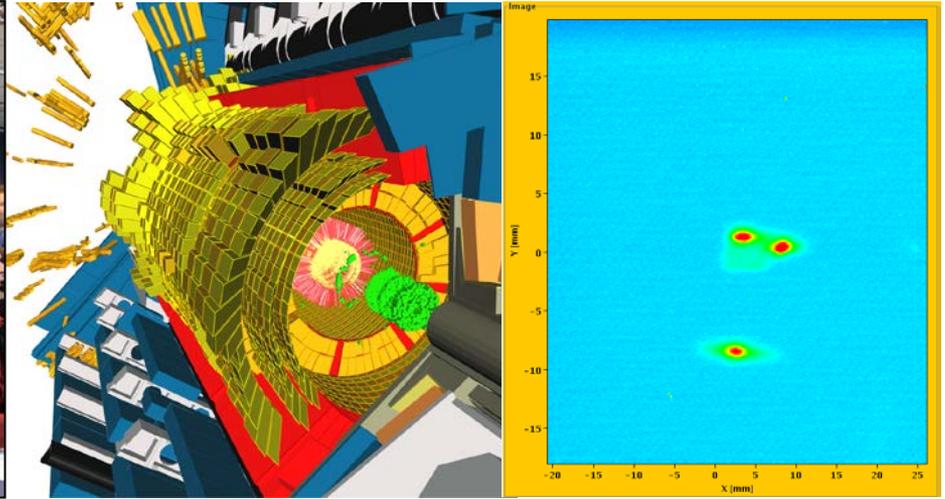
Une machine exceptionnelle : vide & faisceaux

- L'espace le plus vide du système solaire
 - **Ultravide** 10^{-13} atm (10 fois moins que sur la Lune) sur 27 km de circonférence!
- Les faisceaux:
 - **2808 paquets** de $\sim 10^{11}$ protons de qqes cm de long et 1mm de large sauf aux points de collision alors $16\mu\text{m}$ (1/4 de cheveux humain!), espacés de 25 ns (7m environ), 11245 tours par seconde. Durée de vie $\sim 10\text{h}$.
 - **L'énergie** stockée dans chaque faisceaux est comparable à celle de quelques moustiques en vol. Pas très impressionnant? C'est dans un espace 1000 milliards de fois plus petit! Ou 90 kg de dynamite, 8l d'essence, 15 kg de chocolat... Tout dépend de comment on utilise cette énergie!
 - **Des trillions de protons, lancés à 99,9999991% de la vitesse de la lumière à « cornaquer »!**



Relative beam sizes around IP1 (Atlas) in collision

Et ça marche! Très bien même!



- Le 20 novembre 2009, le faisceau 1 puis le 2 circulent à nouveau dans le LHC, sans problème depuis l'injection jusqu'à la capture RF. Les 4 détecteurs peuvent enregistrer des événements.
- Depuis, montée en énergie et en luminosité : 500 Higgs/manip 1 million de Z/manip/fb-1 en lepton 10 millions de W pareil

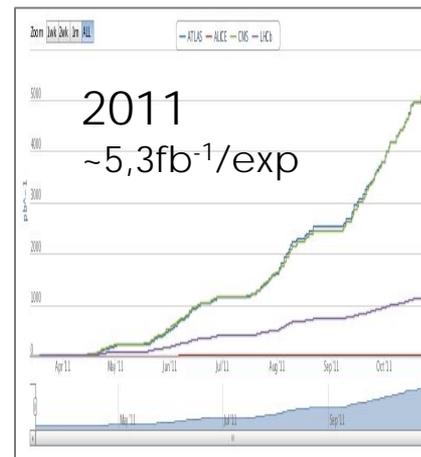
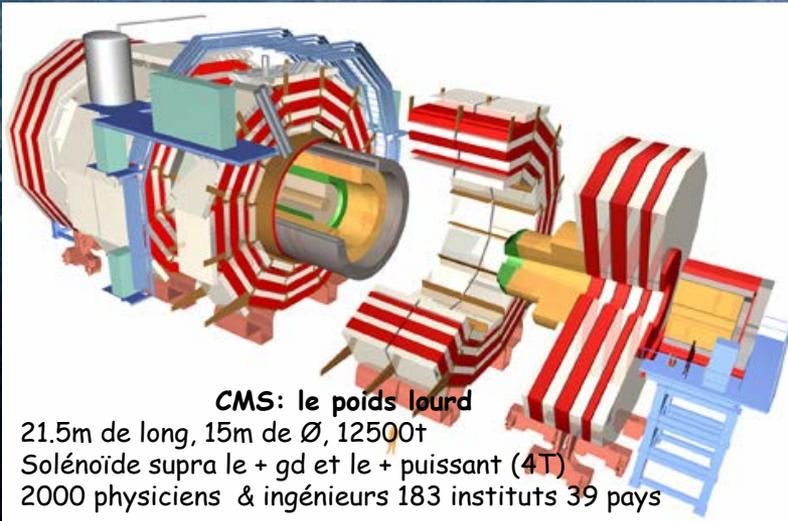


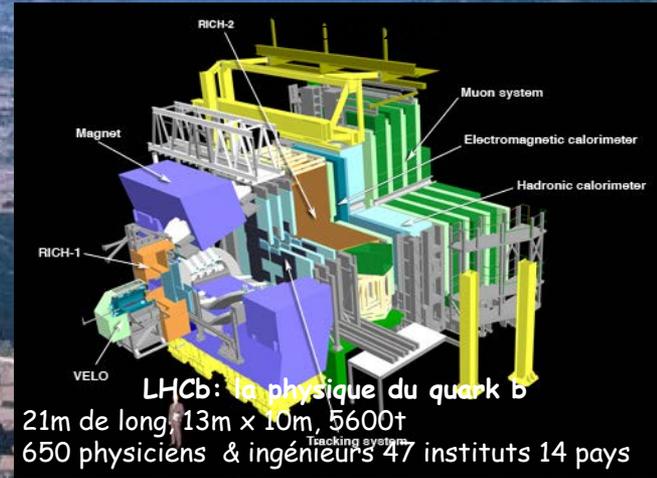
Illustration :



The LHC accelerator

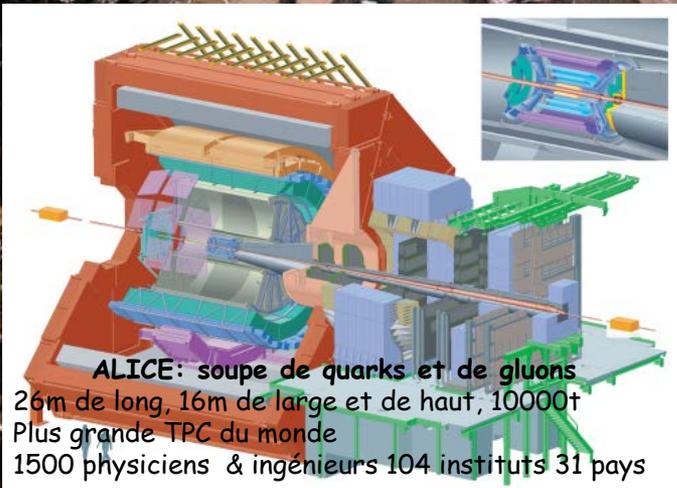


CMS: le poids lourd
 21.5m de long, 15m de Ø, 12500t
 Solénoïde supra le + gd et le + puissant (4T)
 2000 physiciens & ingénieurs 183 instituts 39 pays



LHCb: la physique du quark b
 21m de long, 13m x 10m, 5600t
 650 physiciens & ingénieurs 47 instituts 14 pays

On a produit des particules : détectons-les!



ALICE: soupe de quarks et de gluons
 26m de long, 16m de large et de haut, 10000t
 Plus grande TPC du monde
 1500 physiciens & ingénieurs 104 instituts 31 pays



ATLAS: le géant
 44m de long, 22m de Ø, 7000t
 Assemblé dans la caverne comme un légo géant
 1800 physiciens & ingénieurs 167 instituts 37 pays