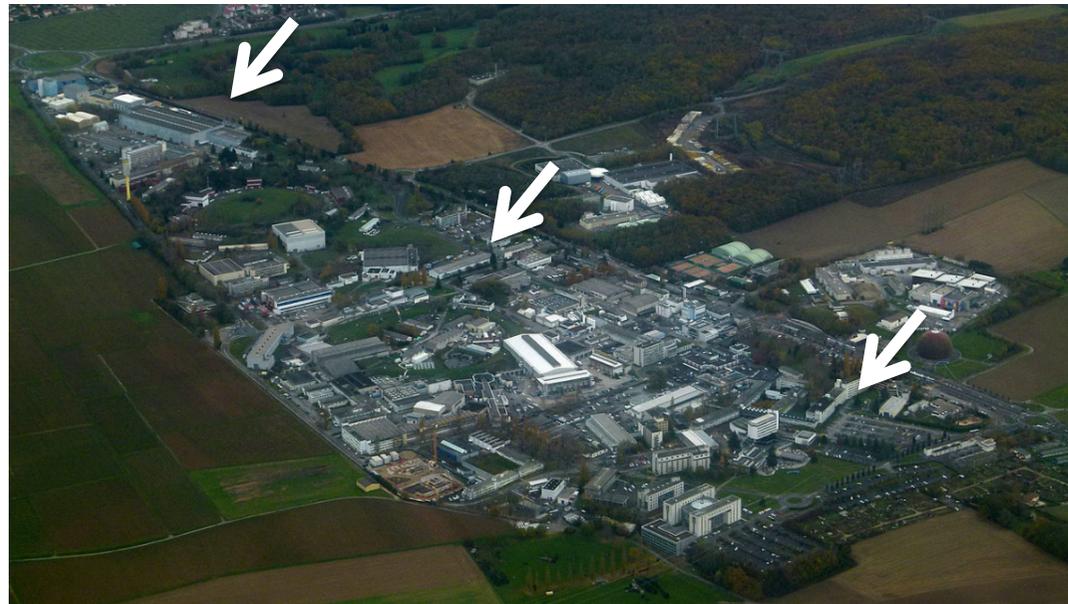
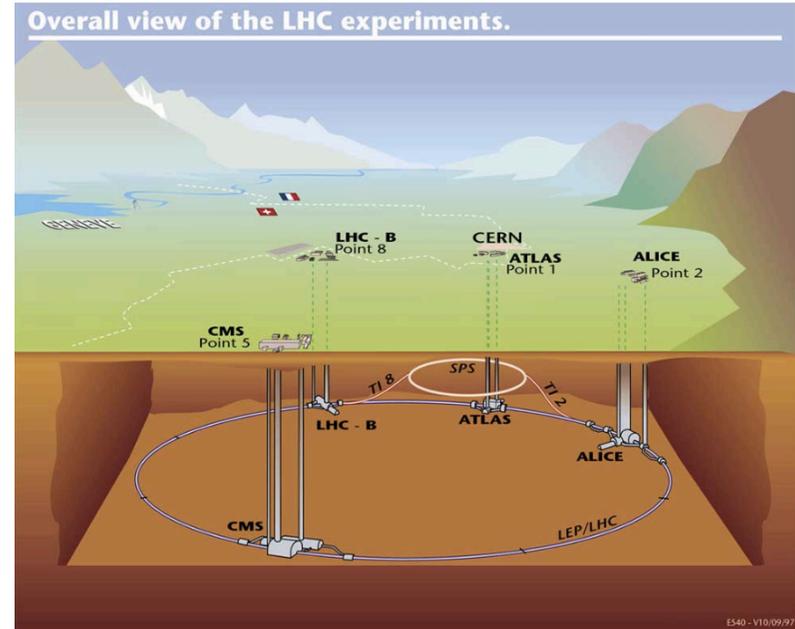


Où vous-êtes

Où vous irez





grandes machines souterraines

LHC \approx - 100 m

-- posées sur rocher solide

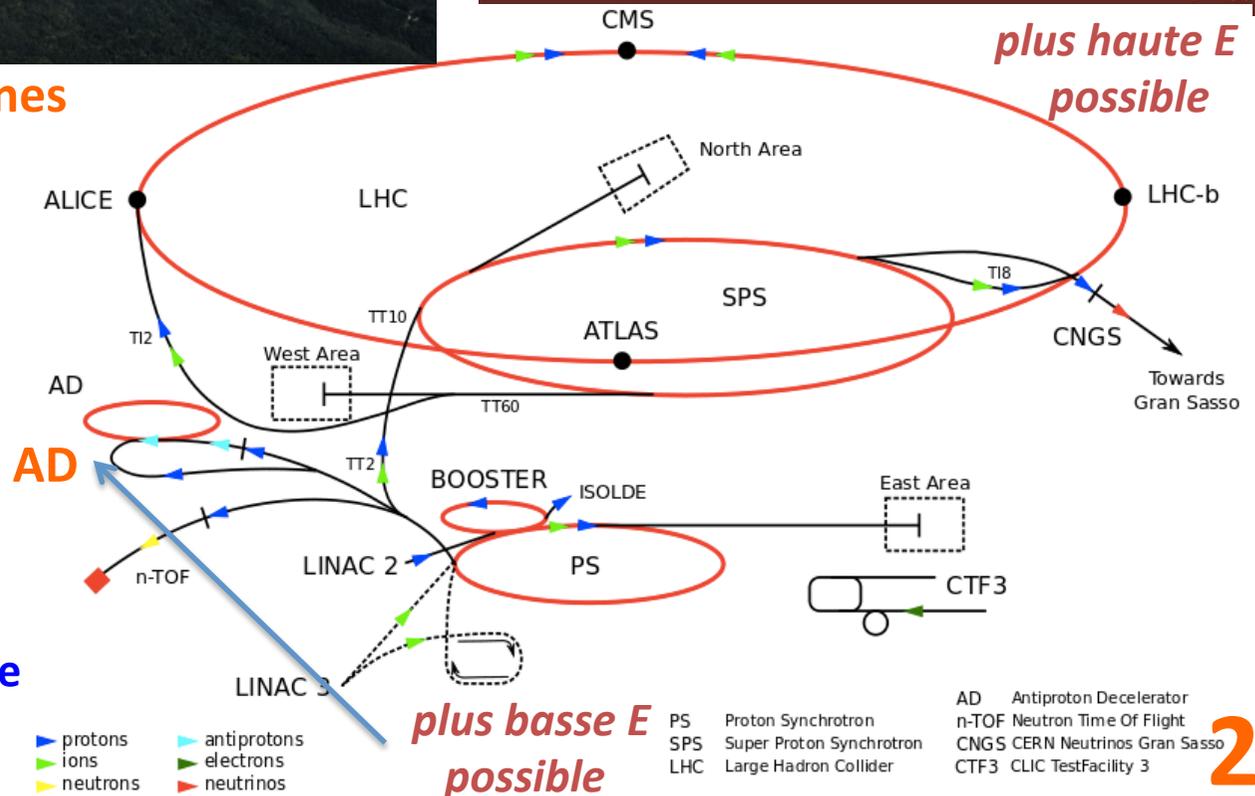
alignement: 0.1 mm sur 27 km

-- problème de radiation évité

-- paysage préservé

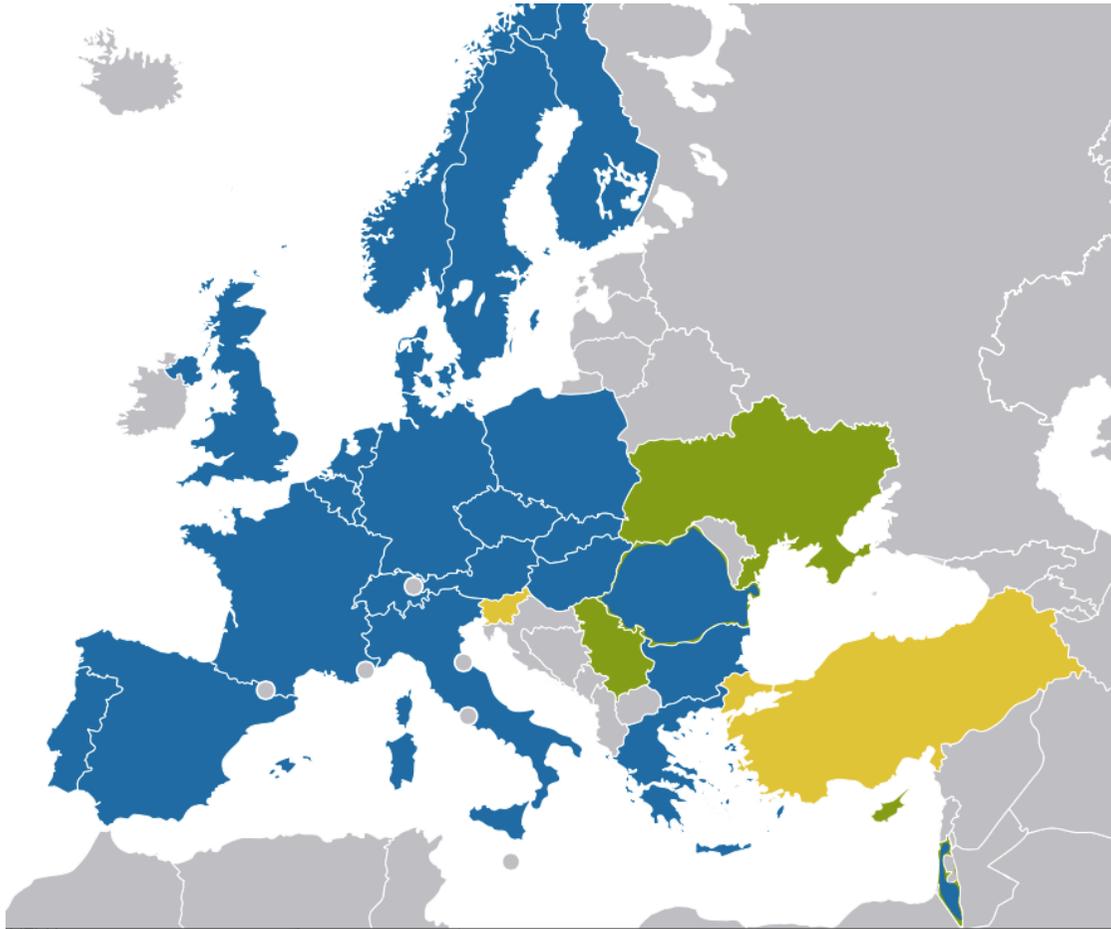
les "anciennes" machines sont les injecteurs des suivantes

→ réutilisation maximale des infrastructures et du savoir faire



L'expérience du CERN: le rêve, moteur de l'invention

- organisation européenne intergouvernementale dédiée à la recherche fondamentale en Physique des Particules (PP)*
- 21 pays membres européens. Mais déjà labo mondial.*
- budget annuel ~ 1000 millions de francs suisses
cf hôpital de Genève ou ETH Zurich, mais fait plus de la moitié de la PP mondiale*
- ~ 2500 employés: physiciens "applied", ingénieurs, techniciens.*
- ~10000 utilisateurs, de ~ 75 pays, 1/3 de pays non membres*
- rôle important de formation des jeunes, de promotion de technologies de pointe.
3/4 du budget du CERN "revient" à l'industrie. France ! Suisse !*
- gouvernance : Conseil et Direction. Comités scientifiques: jugement des pairs.
Défi de la gestion des grands projets et expériences: le « modèle du CERN »*
- le CERN fait de la physique fondamentale: son "produit" est de la connaissance sur l'identité et les interactions des constituants de base de la matière. Cela nourrit d'autres domaines, comme la Cosmologie*



21 pays membres

1954: 12 pays fondateurs

Israel (non européen) en 2014

candidats Roumanie 2015, Serbie 2017

Turquie Pays Associé 2015

Pakistan

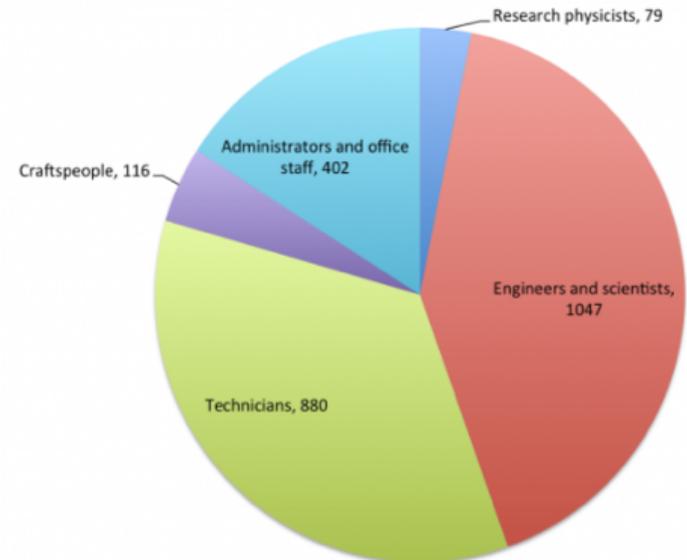
observateurs

Inde, Japon, Russie, USA

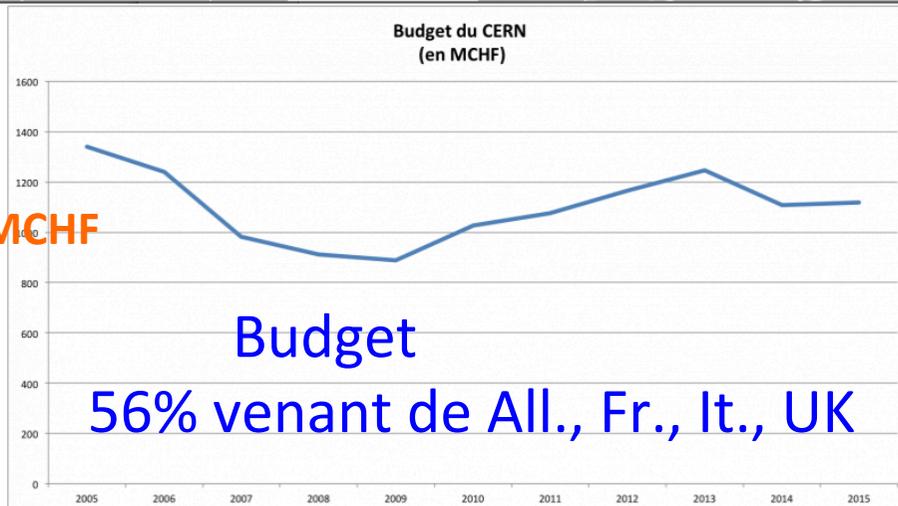
EU, JINR, UNESCO

nouvelle politique d'élargissement

profil des 2500 employés du CERN



4



Que fait le CERN?

→ “accélération” des particules
“projectiles”: e^\pm , p , \bar{p} , etc

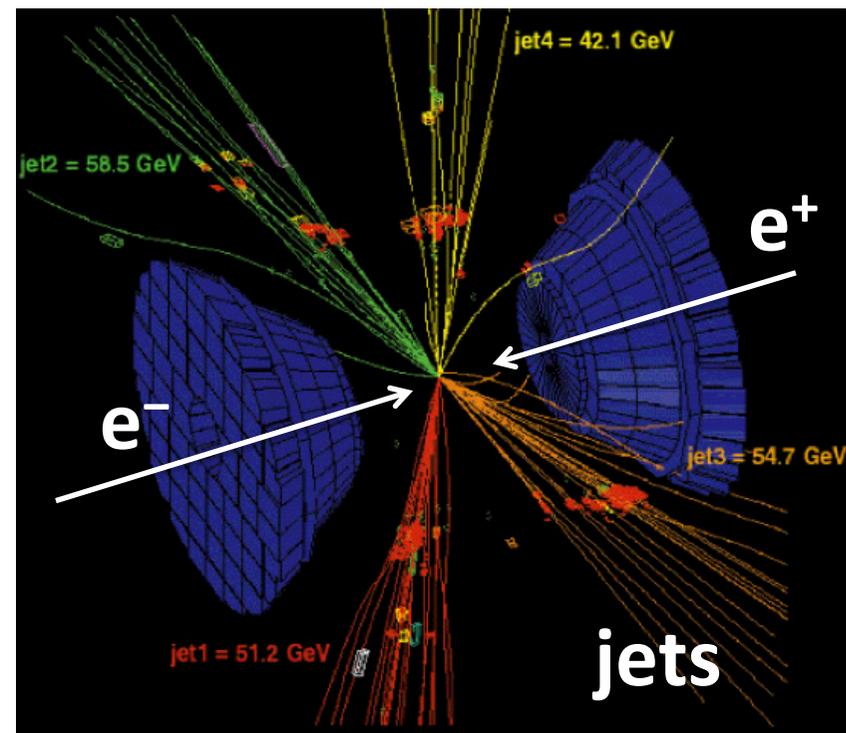
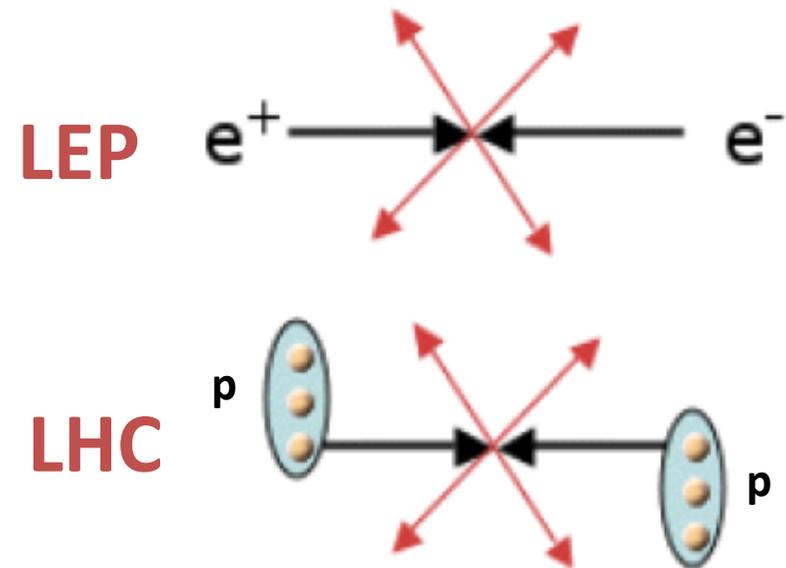
→ collisions entre projectiles:
l'énergie cinétique devient masse
“ $E = mc^2$ ”

Des particules “neuves” sont créées

Au LHC l'intérêt est dans les
collisions “dures” entre
constituants des protons,
quarks et gluons

→ notre travail: détection, mesure
et identification de ces particules

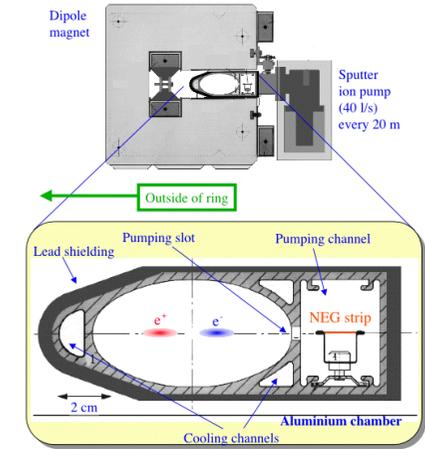
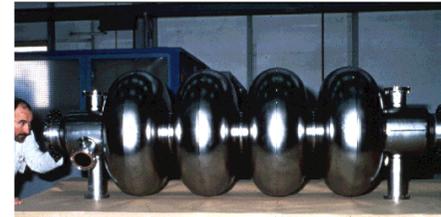
→ beaucoup de technologies de
pointe nécessaires



**On guide
et on
"accélère"**

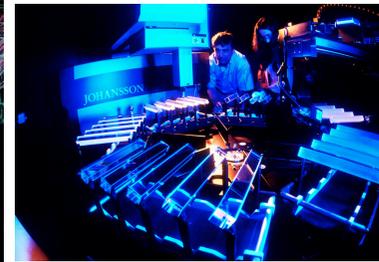
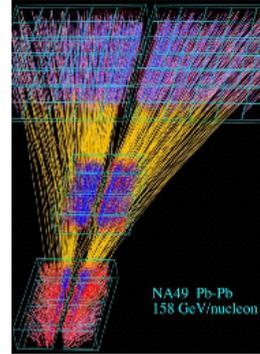


**supraconductivité, cryogénie
He superfluide, soudures, etc**



**matériaux,
surfaces, ultravide**

**On
détecte**



**On trie
et on
analyse**

**métrie, excellente résolution
spatiale et temporelle, électronique
rapide, durcie, bon marché**

**ATLAS
ou CMS
au LHC**

**sélectivité ~ 10⁷
volume à traiter ~ celui du réseau
mondial de télécom en 2003
volume à enregistrer ~ 10000
Encyclopedia Britannica par s**

**mécanique de haute
précision, intégration**

**nombre de physiciens ~ 2000
nombre d'instituts ~ 160
nombre de pays ~ 35
WEB, GRID, une gestion
scientifique intelligente...**

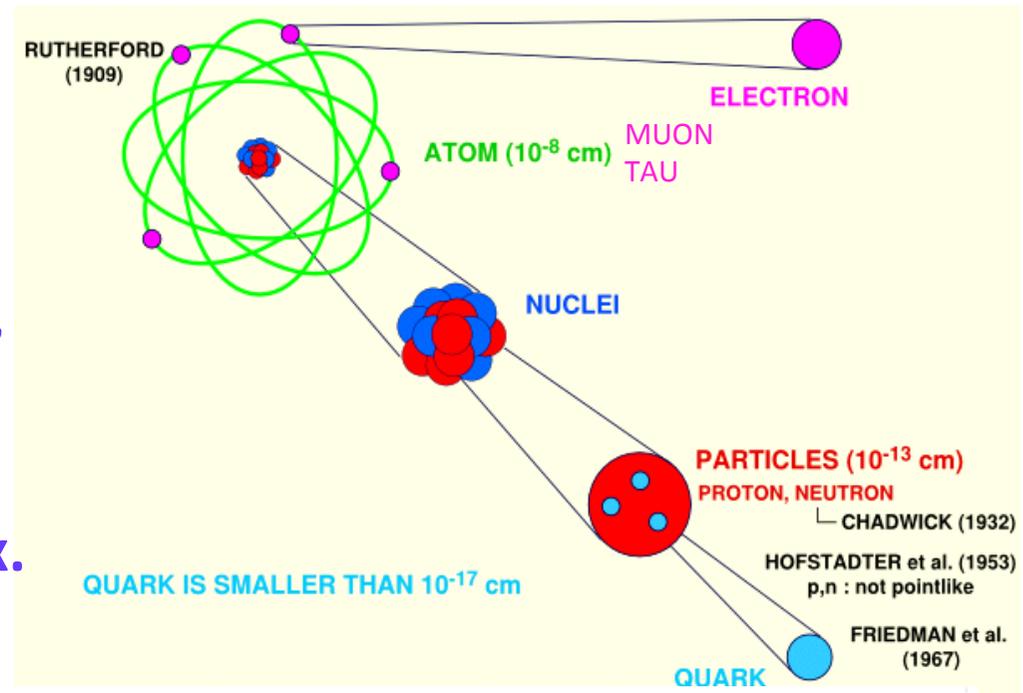
1989-2000 LEP (Large Electron Positron collider)
électrons contre positrons (anti-électrons)
énergie maximum par faisceau de **100 GeV**
Giga (10^9) eV

2007- ??? LHC (Large Hadron Collider)
protons contre protons
énergie maximum par faisceau de **7 TeV**
Tera (10^{12}) eV

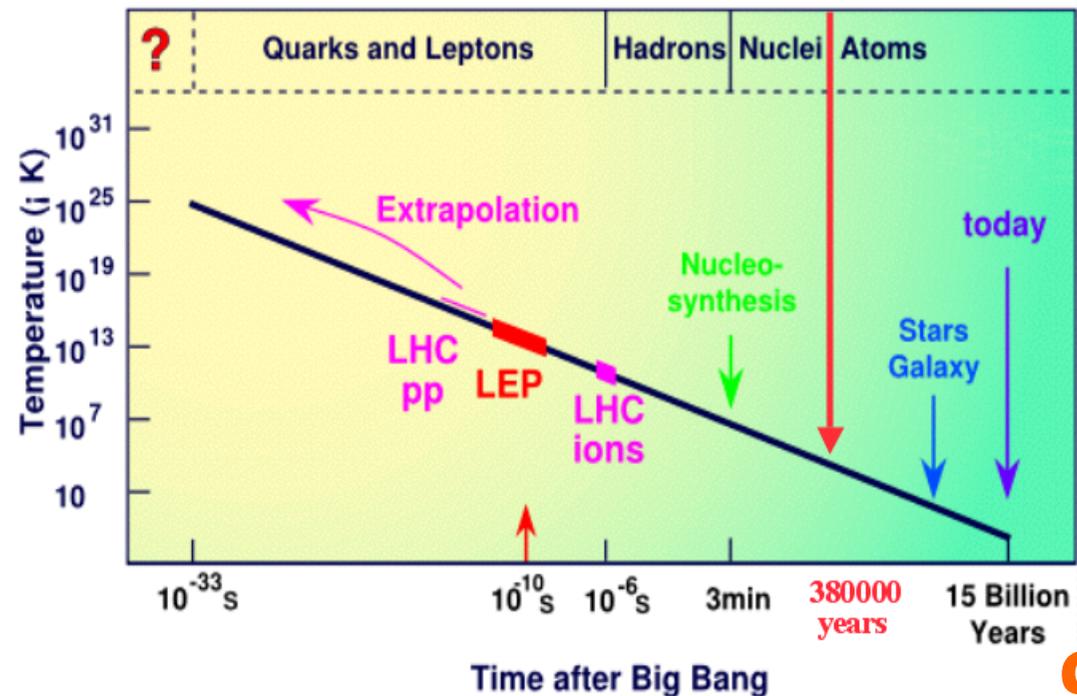
gain réel en énergie d' environ **10**

même tunnel, même infrastructure

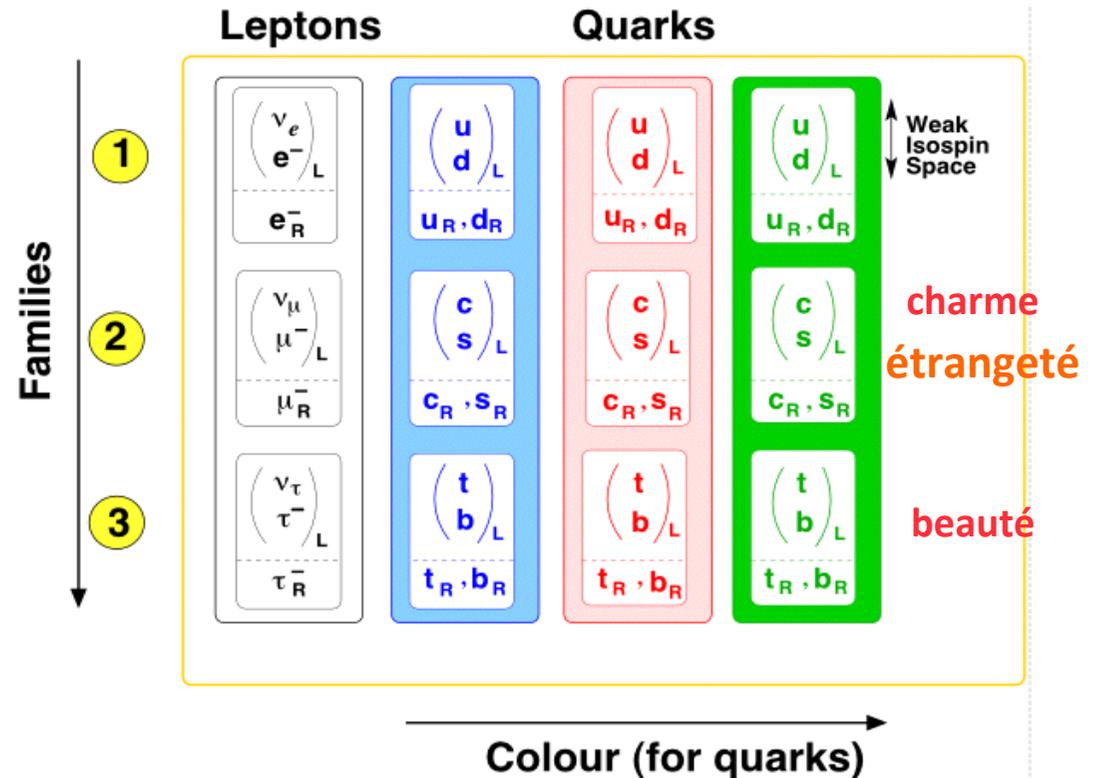
les objets d'intérêt sont les leptons, comme l'électron ou le muon, libres, et les quarks, confinés dans les hadrons, ainsi que les particules qui transmettent les forces entre eux.



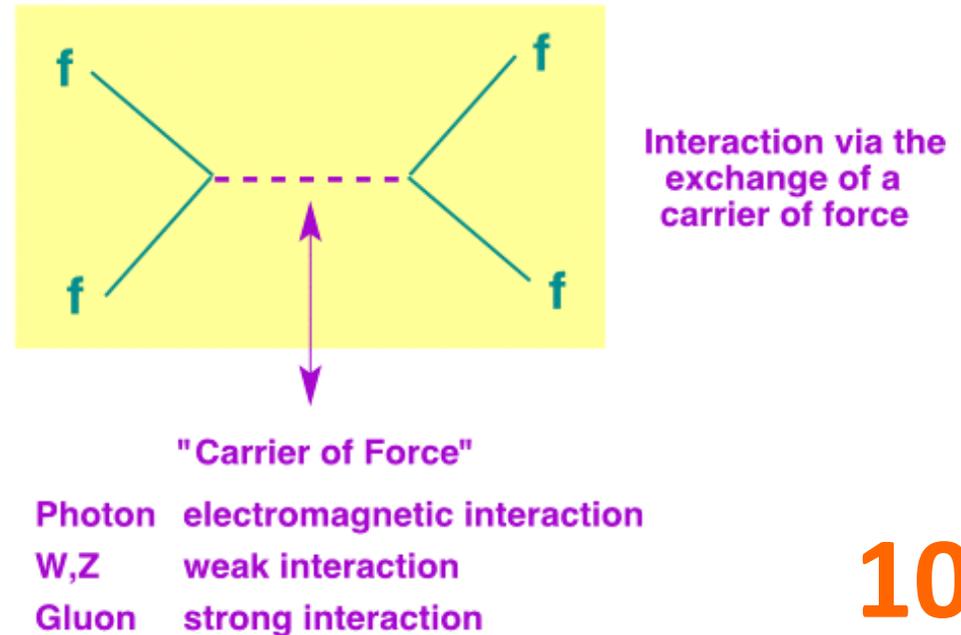
nos expériences re-créent à l'échelle microscopique la physique qui régnait aux premiers instants de l'Univers. Nous en étudions l' "archéologie".



quels sont les constituants:
 les quarks et les leptons,
 “répétés” en trois familles.
 Nous les considérons comme
 élémentaires parce que,
 jusqu’ à
 10^{-4} de la taille du proton
 (10^{-17} cm), ils sont ponctuels.



la manière dont ils interagissent:
 en échangeant des particules
 nommées bosons, comme le photon
 On a montré que les forces
 électromagnétique et faible ont la
 même structure et, d’un point de
 vue, sont “unifiées”
 (Courants Neutres en 73, découverte
 du W et du Z en 83, Nobel 84).





ADA 1965



RF cavities of LEP

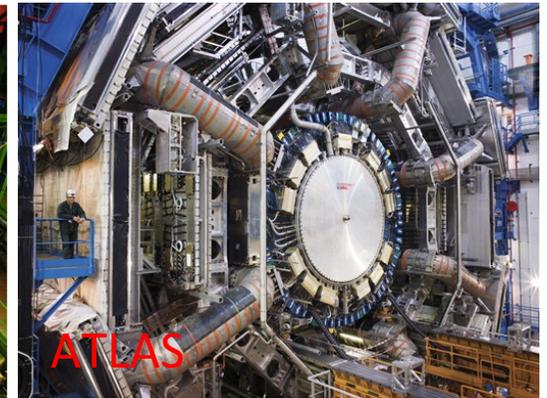


LHC tunnel

LEP/LHC

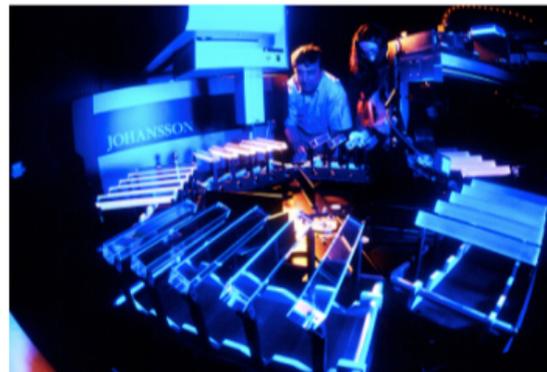


CMS



ATLAS

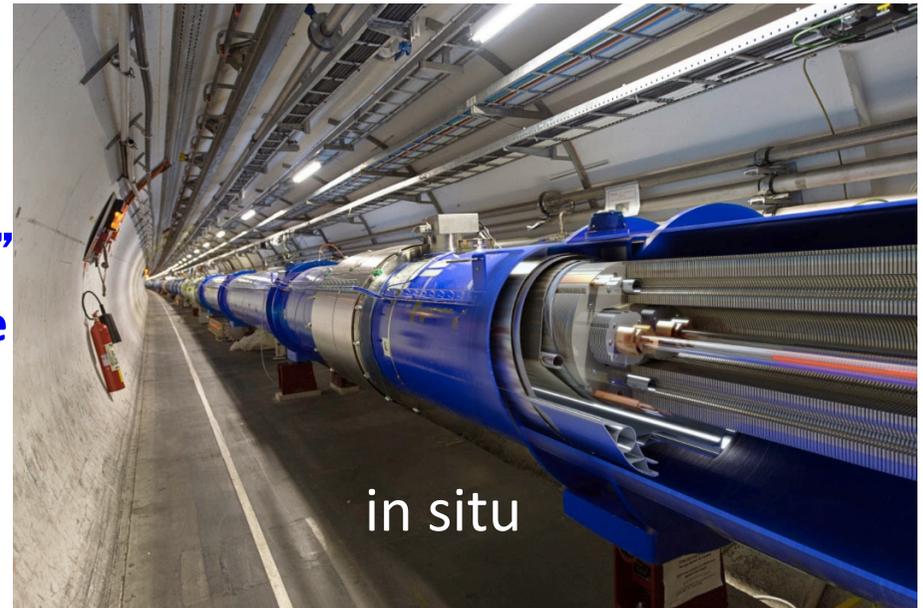
LHC detectors



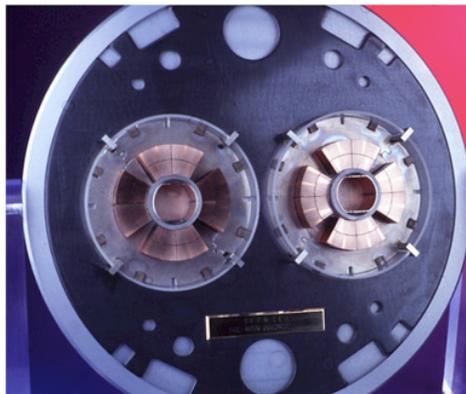
Les aimants du LHC, une aventure...



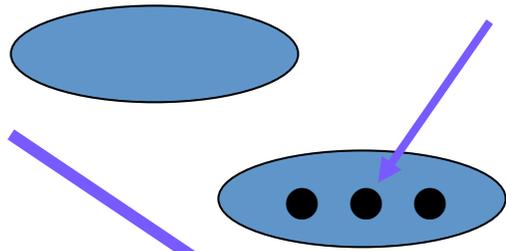
- 31000 tonnes de "masse froide"
- 1200 tonnes de supraconducteur
- 100 tonnes d'hélium



Un nouveau type d'aimant supraconducteur "deux-en-un", fonctionnant à la température de l'hélium superfluide (1.8 degré K). Il en faut ~1250.



petit calcul

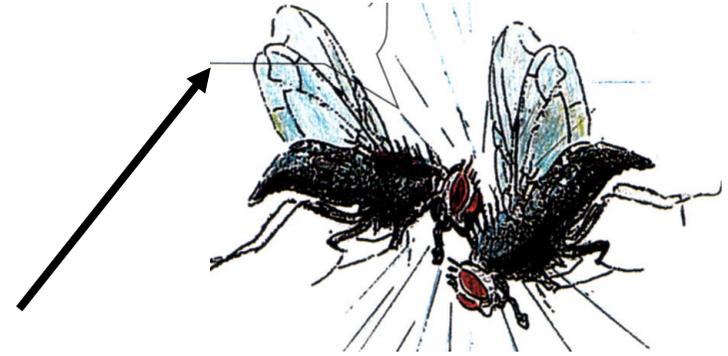


100
milliards
de protons
par paquet

~ 3000
paquets
par faisceau,
1 nanogramme de
protons stockés

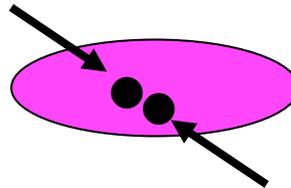
énergie stockée
dans les faisceaux
~ un train de 300t

à 150 km/h ($4 \cdot 10^8$ joule)



collisions:
~ 20 par croisement
~ 10^9 par seconde

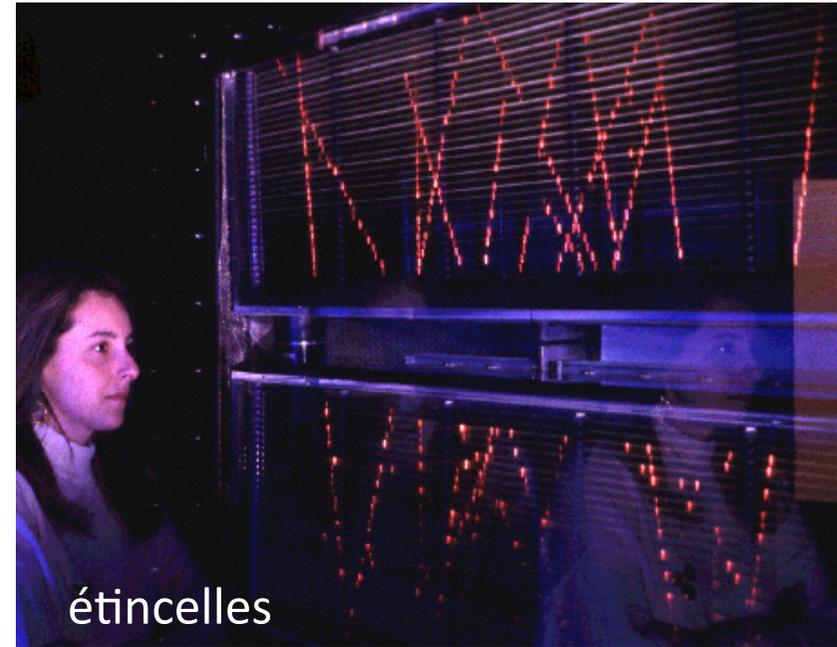
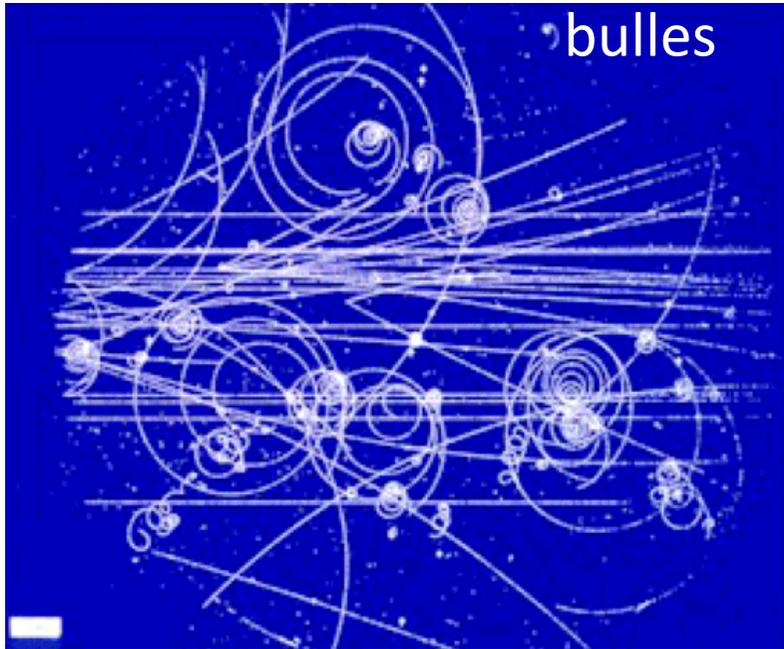
une collision: ~
deux moustiques
~ 10^{-6} joule



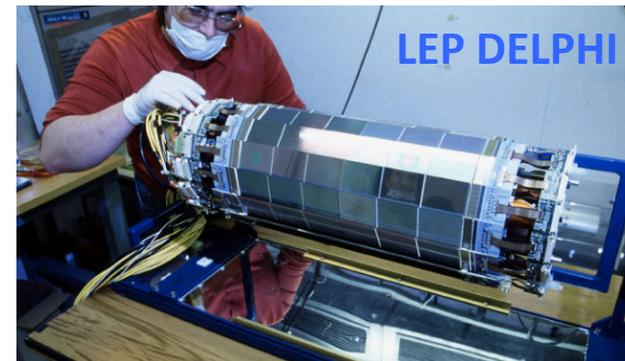
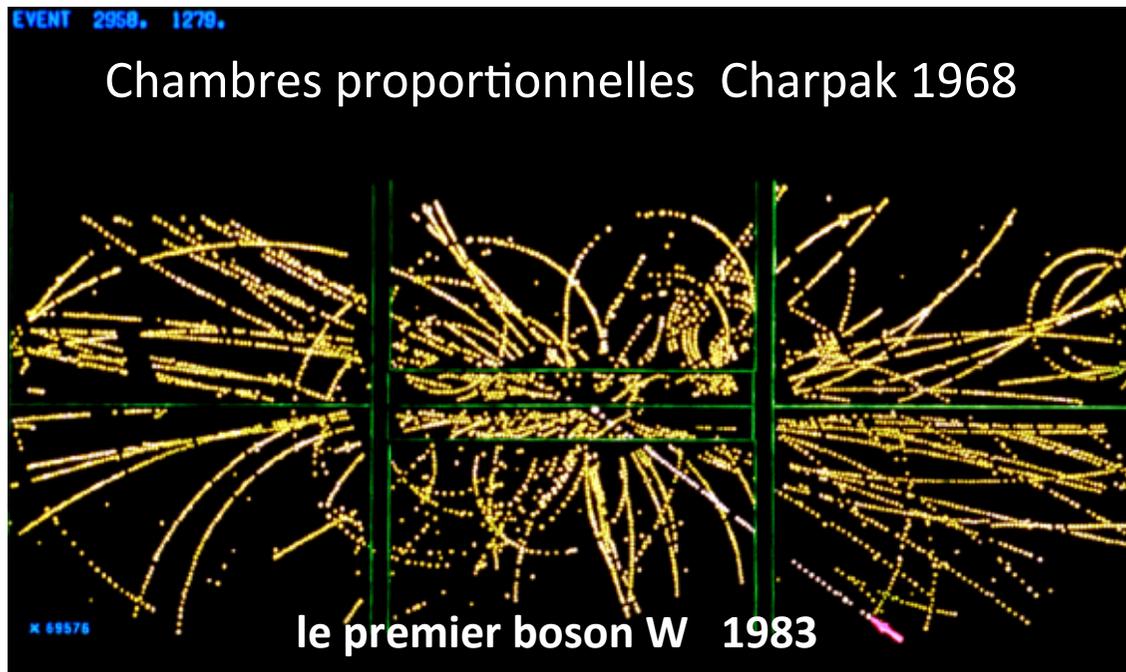
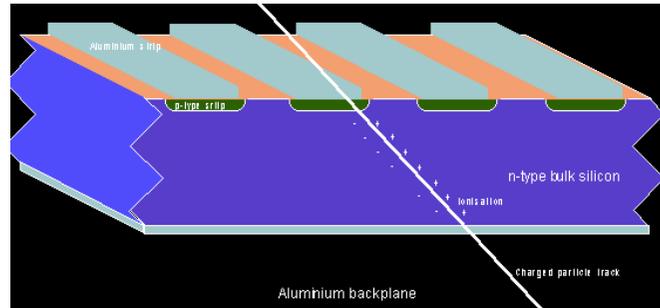
11000
tours par s

25 nanoseconde
(soit ~ 7.5 m)
donc $4 \cdot 10^7$
croisements par s

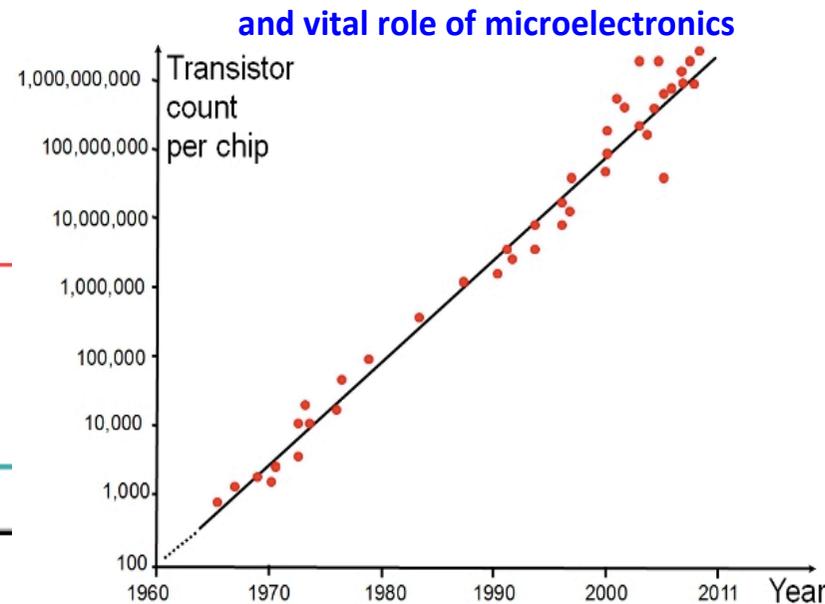
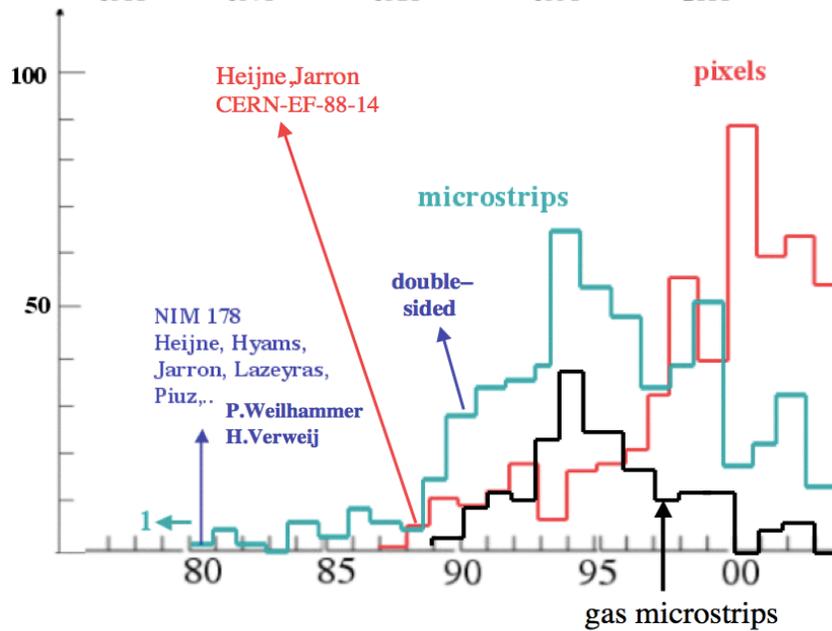
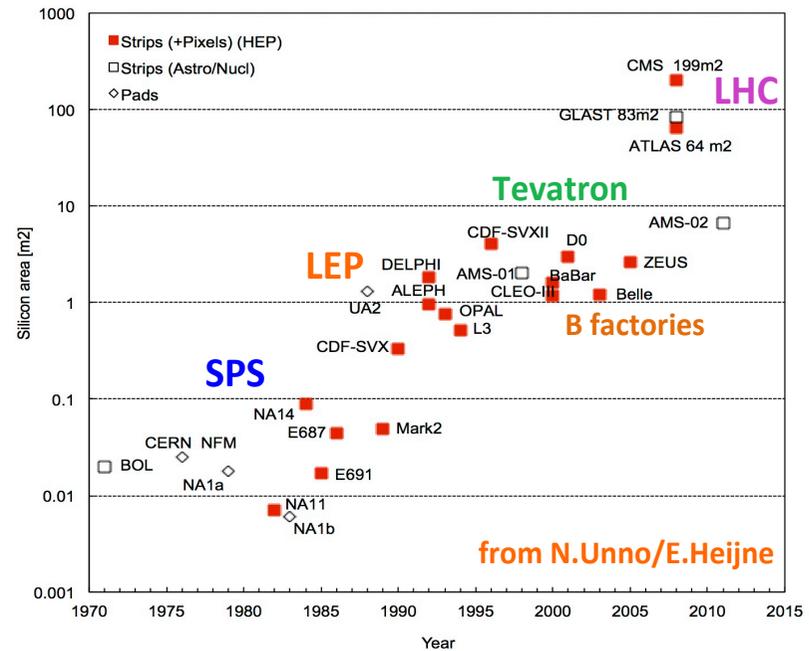
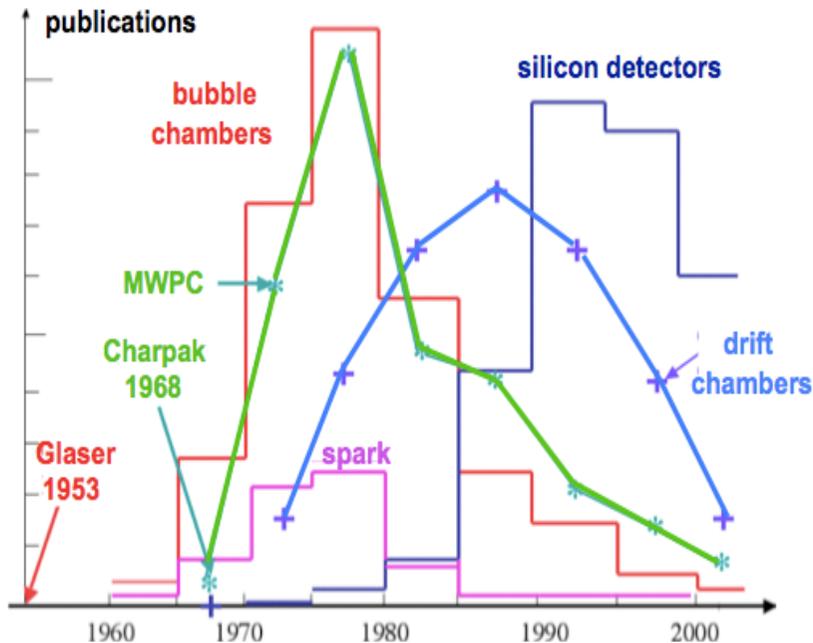
détecteurs



détecteurs au silicium



histoire





**G. Charpak
au travail sur
une chambre
proportionnelle**

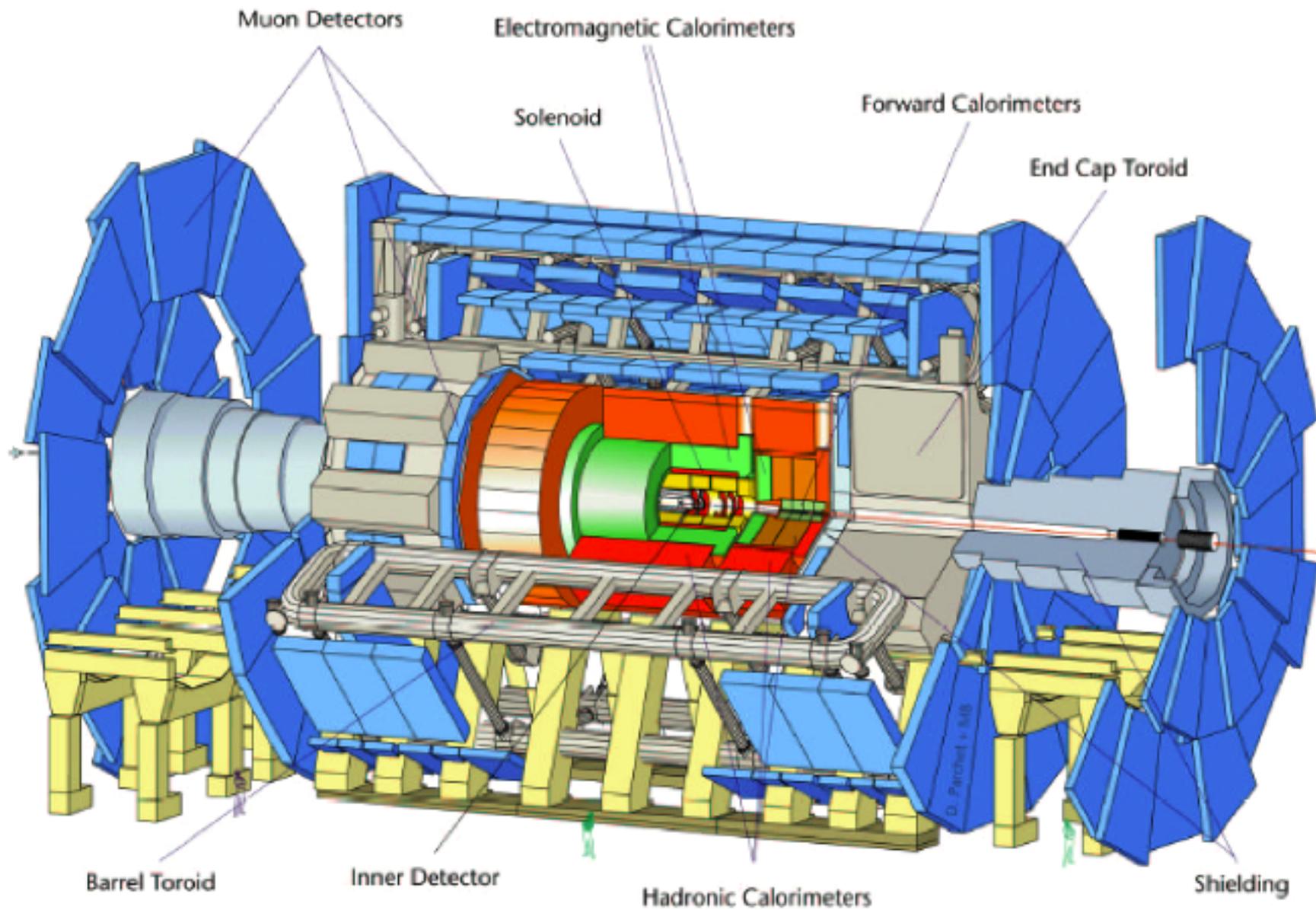


**expériences neutrino
vers 1980**



**une grande
chambre
proportionnelle**

LE DETECTEUR ATLAS





CMS Collaboration



36 Nations, 159 Institutions, 1940 Scientists (February 2003)

TRIGGER & DATA ACQUISITION

Austria, Finland, France, Greece, Hungary, Italy, Korea, Poland, Portugal, Switzerland, UK, USA

TRACKER

Austria, Belgium, Finland, France, Germany, Italy, Japan*, New Zealand, Switzerland, UK, USA

CRYSTAL ECAL

Belarus, China, Croatia, Cyprus, France, Italy, Japan*, Portugal, Russia, Serbia, Switzerland, UK, USA

PRESHOWER

Armenia, Belarus, Greece, India, Russia, Taipei, Uzbekistan

RETURN YOKE

Barrel: Czech Rep., Estonia, Germany, Greece, Russia
Endcap: Japan*, USA, Brazil

SUPERCONDUCTING MAGNET

All countries in CMS contribute to Magnet financing in particular:
Finland, France, Italy, Japan*, Korea, Switzerland, USA

FEET
Pakistan
China

FORWARD CALORIMETER

Hungary, Iran, Russia, Turkey, USA

HCAL

Barrel: Bulgaria, India, Spain*, USA
Endcap: Belarus, Bulgaria, Russia, Ukraine
HO: India

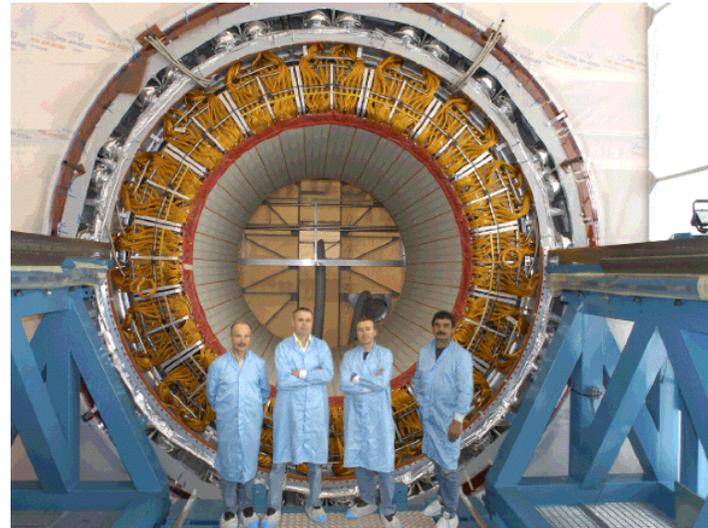
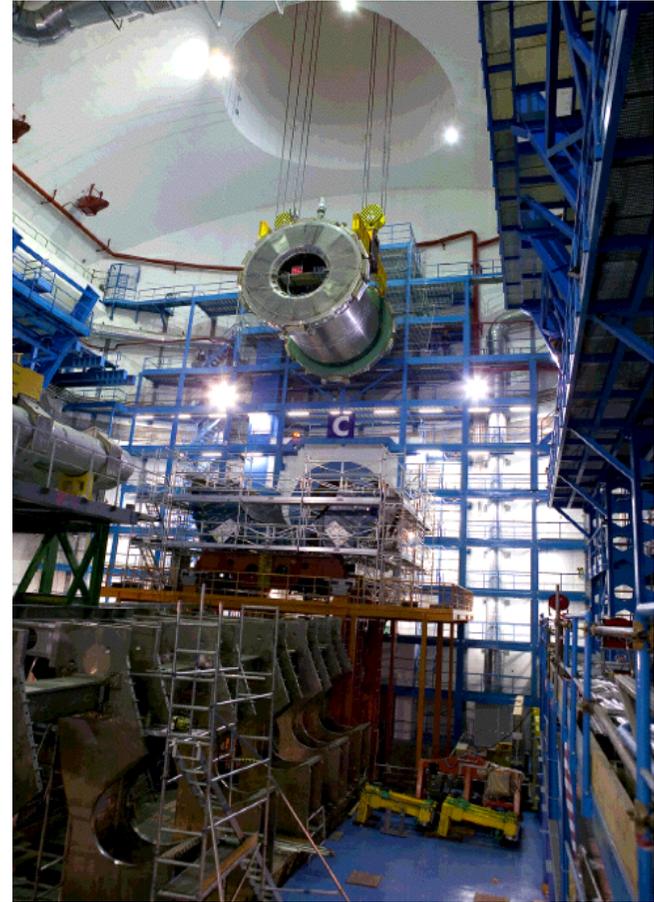
MUON CHAMBERS

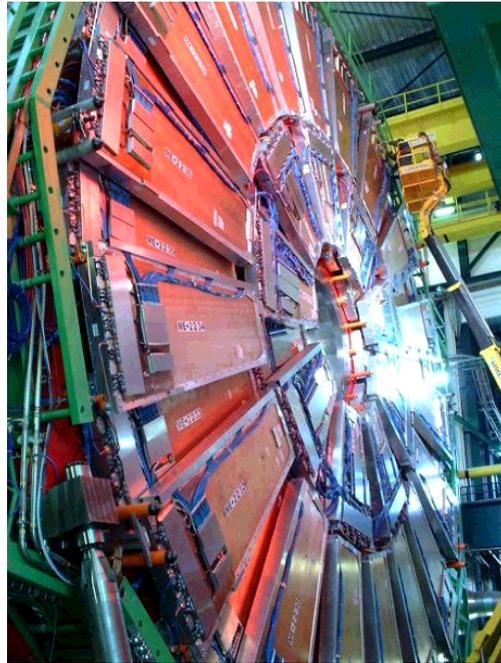
Barrel: Austria, Bulgaria, China, Germany, Hungary, Italy, Spain,
Endcap: Belarus, Bulgaria, China, Korea, Pakistan, Russia, USA

* Only through industrial contracts

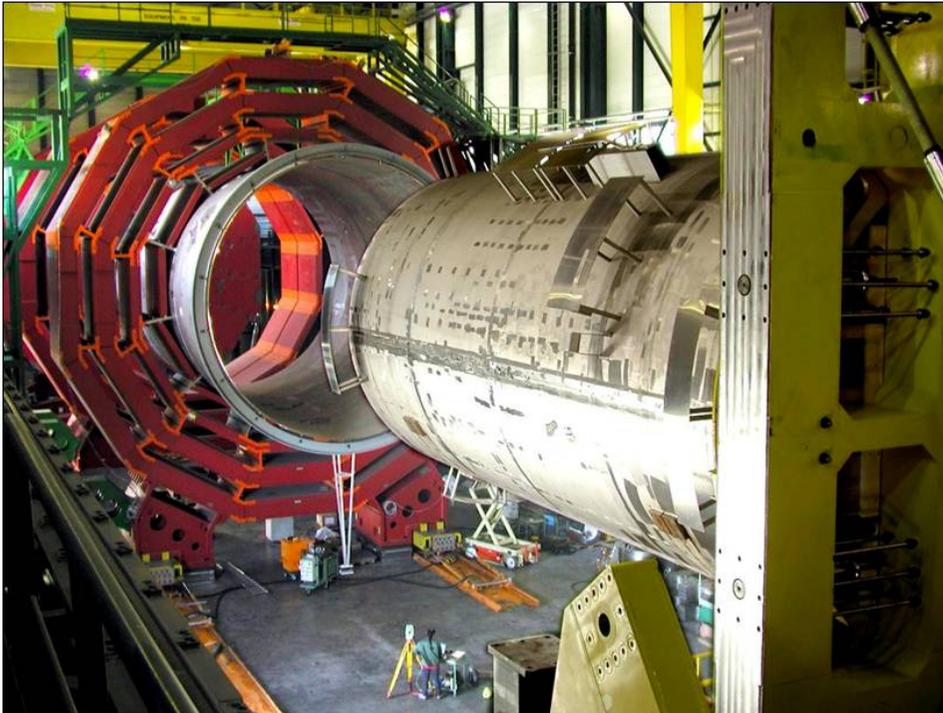
Total weight : 12500 T
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 21.5 m
Magnetic field : 4 Tesla

MOMENTS INTENSES DANS ATLAS

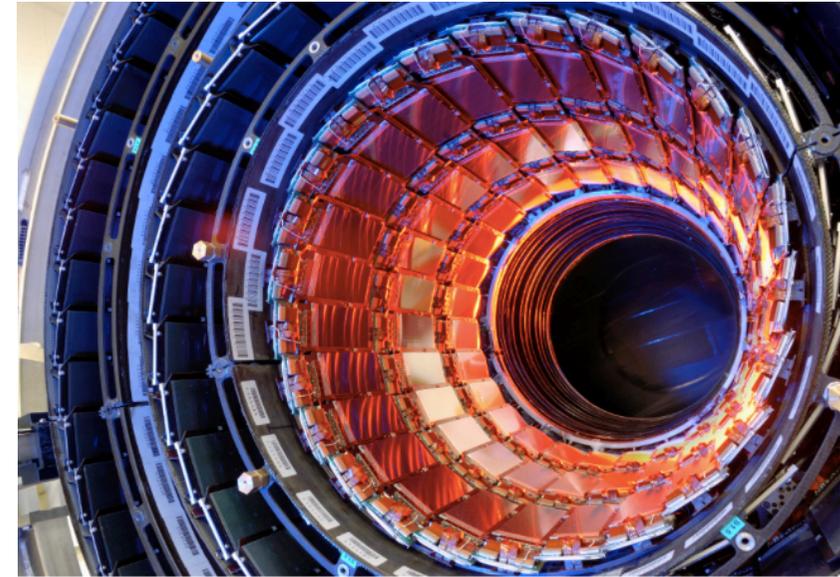
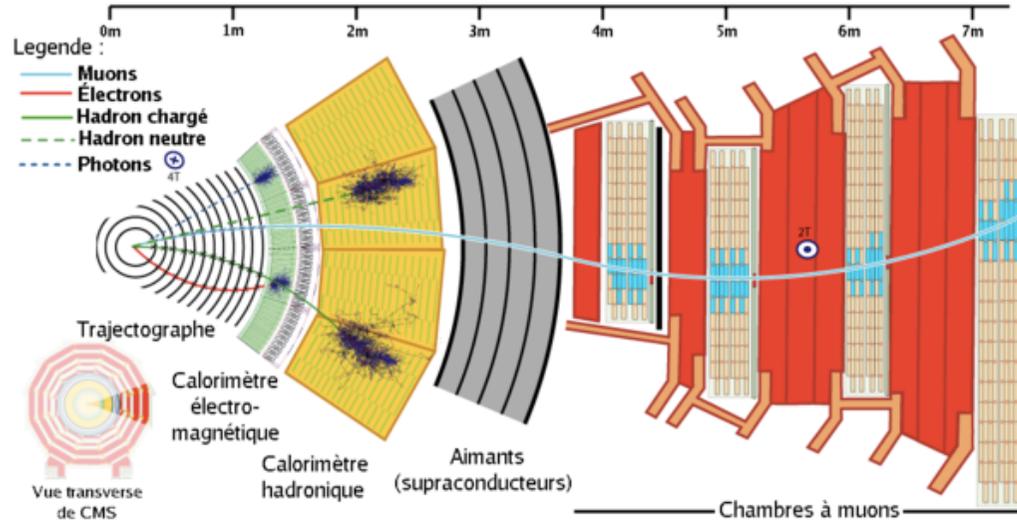




250 m² de détecteurs micro-pistes en silicium
20 millions de canaux d'électronique
80000 cristaux de tungstate de plomb
du fer récupéré des obus des bateaux de guerre russes
10⁹ interactions par seconde
par seconde, un volume de données égal à 10000 Encyclopedia Britannica
un taux de données traitées par son "event builder" égal à celui du réseau mondial de télécom 2003

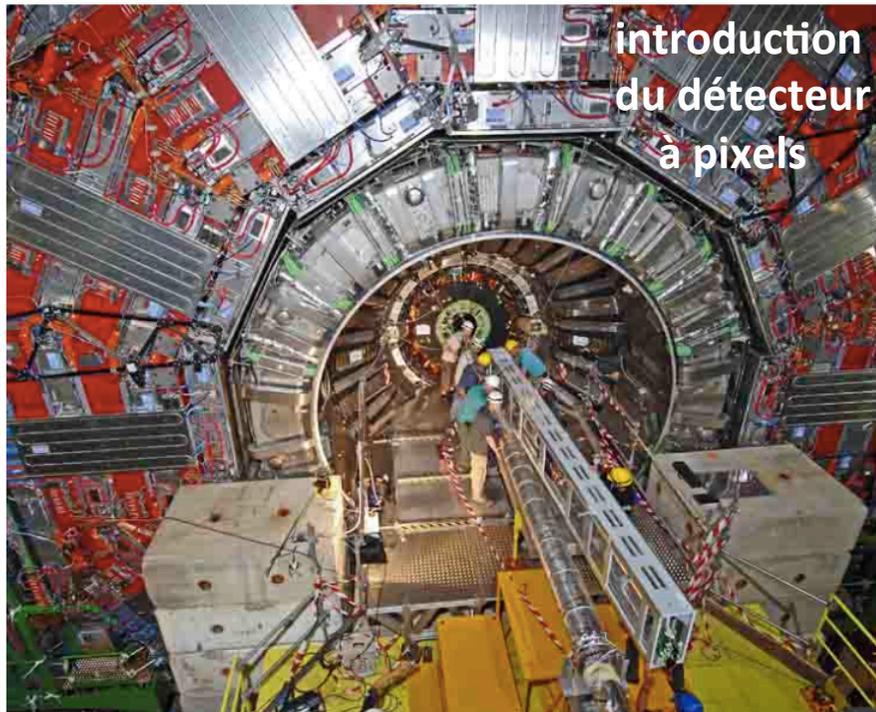


une caméra de ≈ 100 megapixels
prenant 40 millions de photos par s

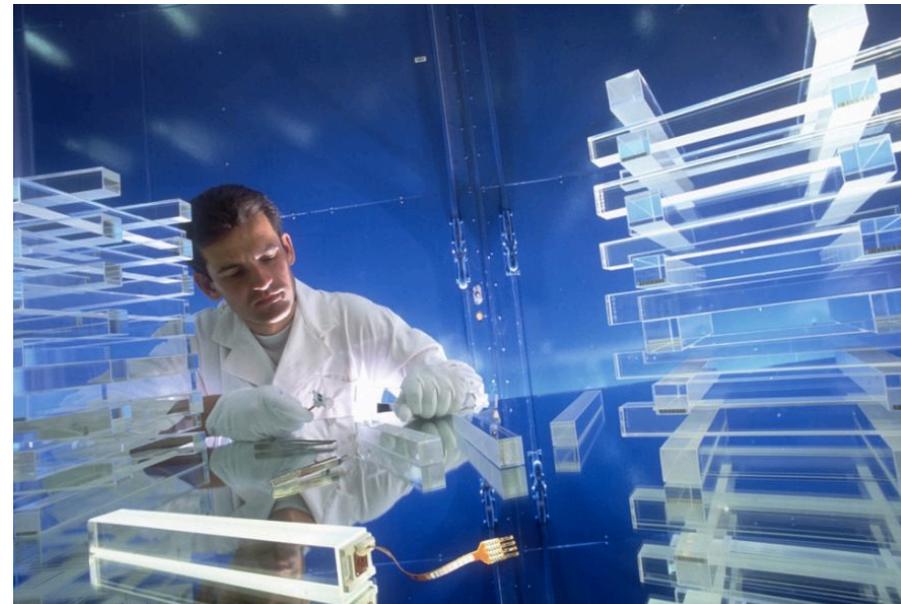


trajectographe de micropistes au silicium

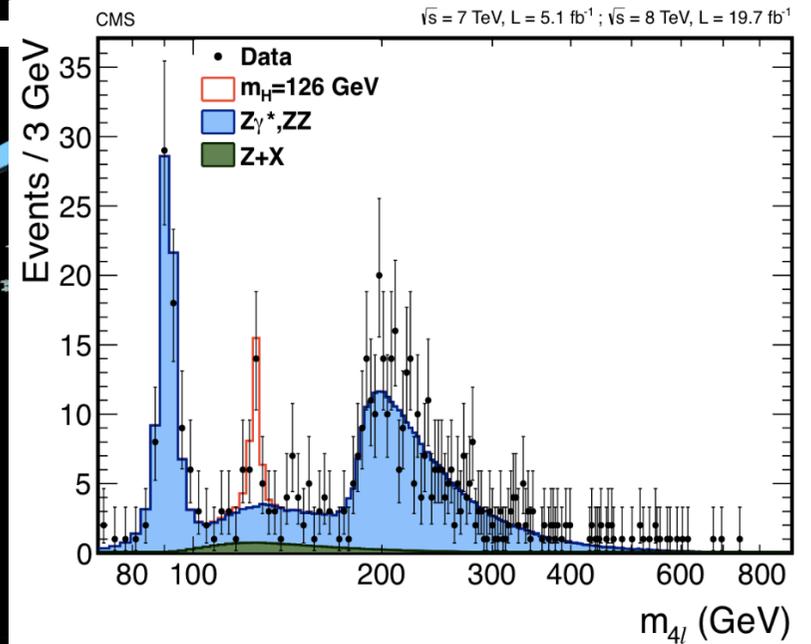
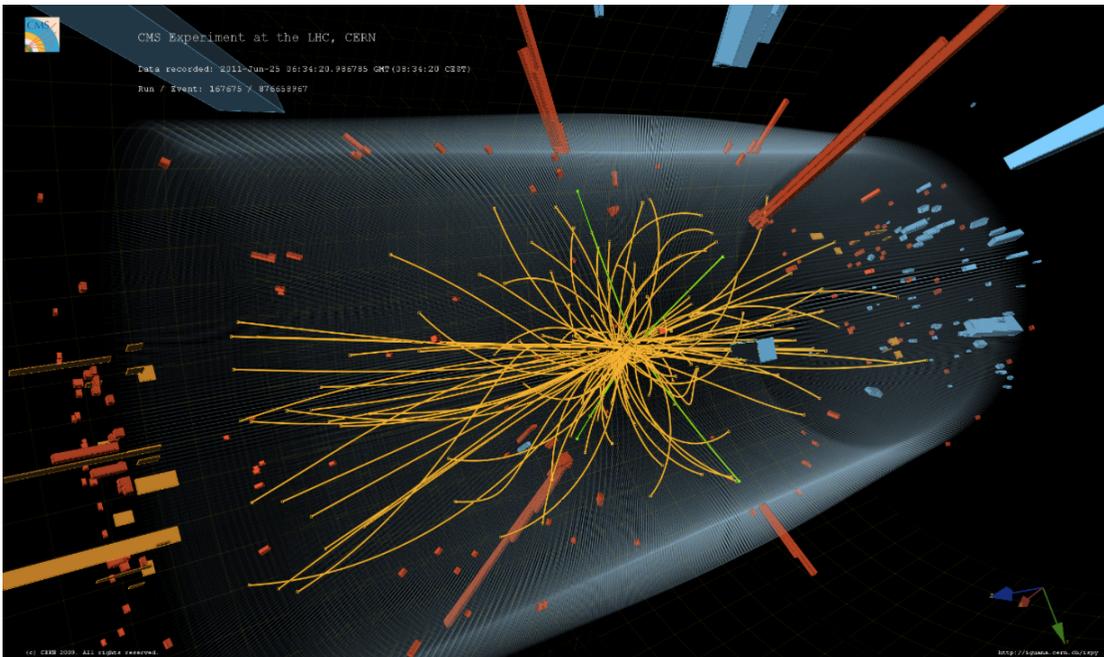
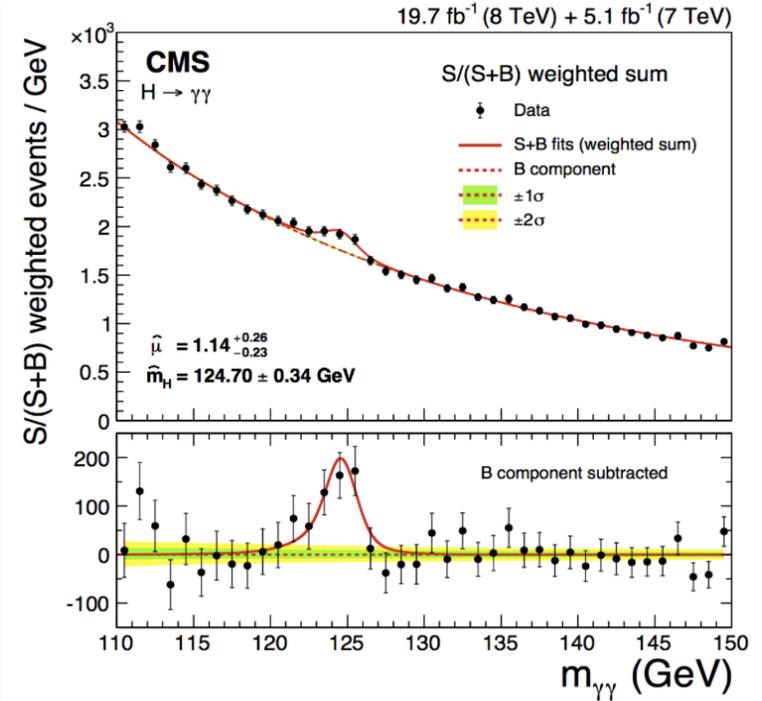
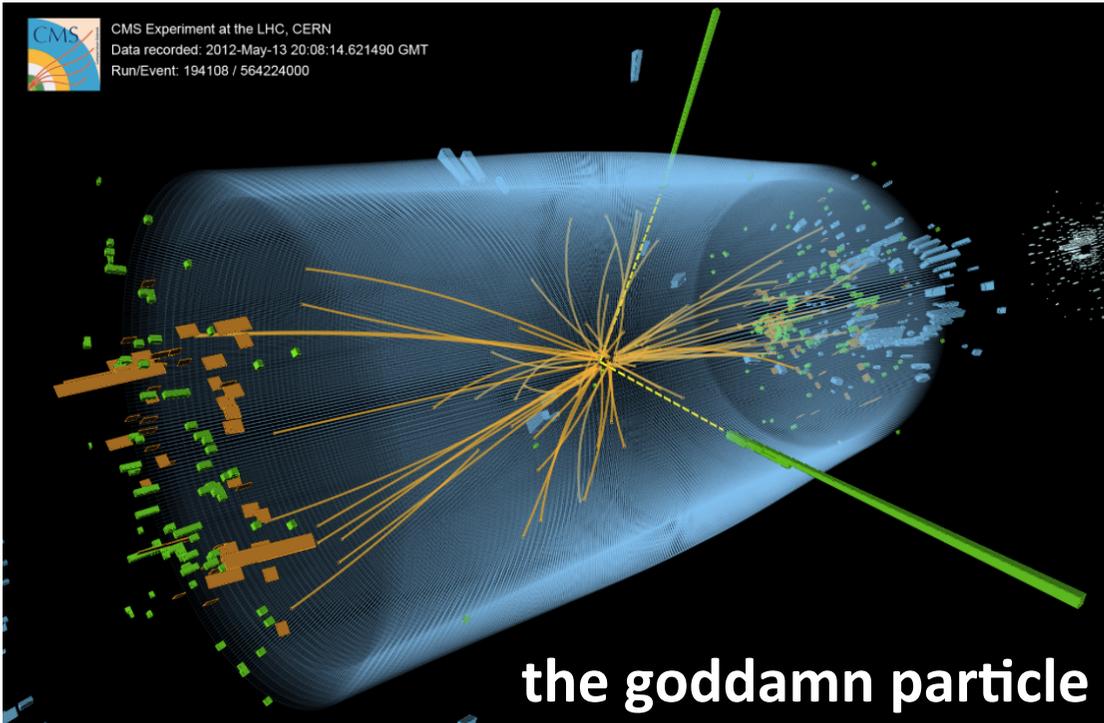
80000 cristaux scintillants de tungstate de plomb



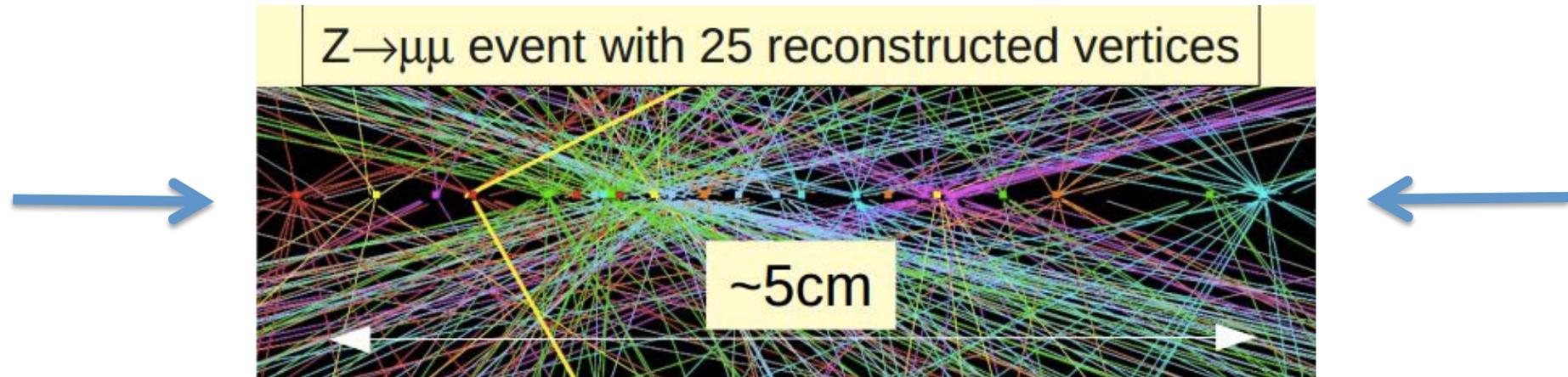
introduction
du détecteur
à pixels



In full activity: Research group of PSI, ETH and University of Zurich installing the pixel detector at CMS. (Photo: H.R. Bramaz)



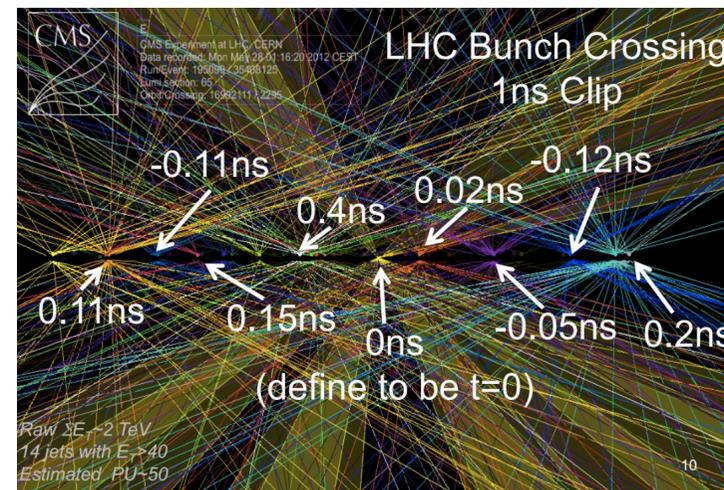
toutes les 25 nanoseconde les paquets de protons se rencontrent
 il en résulte ≈ 25 interactions dont chacune produit une centaine de particules
 la plupart des 50 millions de “photos” sont sans intérêt
 Il faut décider vite (quelques microsecondes) lesquelles on garde (≈ 200 par s)



Ce tri se fait en deux étapes, hardware puis software, sur la base de la présence de particules de grande énergie produites à grand angle, signalant ce qui nous intéresse, des collisions dures entre quarks et gluons à l’intérieur du proton

Vitesse de la lumière 300000 km/s
 1 nanoseconde 30 cm
 1 picoseconde 300 microns
 (durée de vie de charme, beauté)

Un défi pour le futur
 distinguer les interactions à l’échelle
 de temps de 10 picoseconde



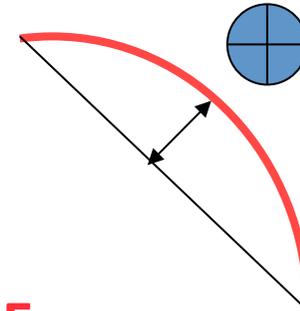
Pourquoi si grand?

On veut atteindre la plus haute énergie possible pour produire les particules nouvelles éventuelles les plus lourdes et pour obtenir les plus petites longueurs d'onde afin de sonder le plus fin possible.

Il faut courber les trajectoires par des champs magnétiques

rayon de courbure $\sim E / B$

angle de déviation $\sim B L / E$ flèche $\sim L^2 B / E$



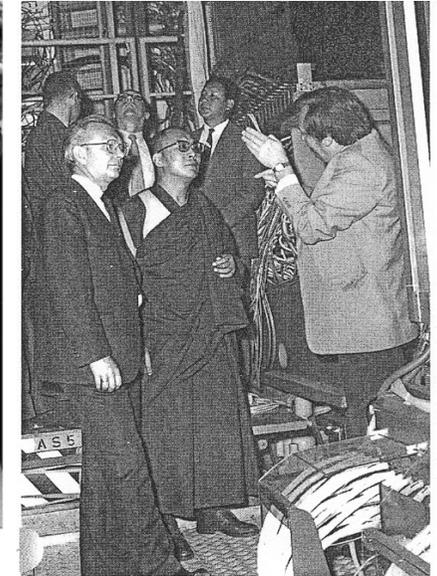
A présent il est impossible d'obtenir plus que 10 Tesla dans les aimants de la machine. Donc il faut que l'anneau ait un grand rayon.

Il est impossible d'obtenir plus de 2 à 4 Tesla dans les aimants des expériences. Il est également impossible de mesurer la flèche d'une trajectoire à mieux que 100 microns environ. Donc une mesure précise de l'énergie réclame une grande longueur de champ magnétique, et par conséquent des détecteurs de grand rayon.

LA PHYSIQUE DES PARTICULES N'EST PAS UN ROMAN...

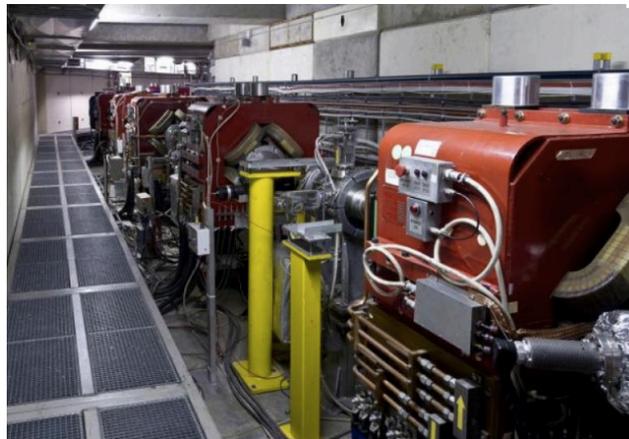
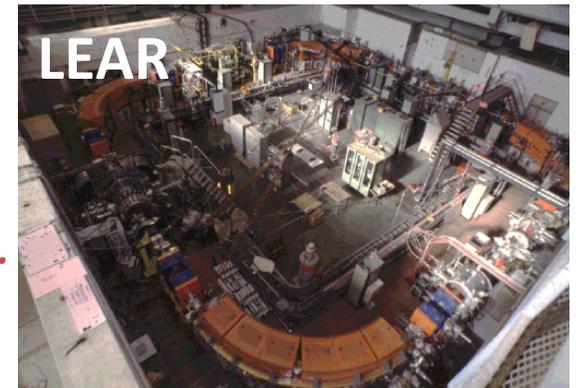
Excellentes relations avec le Vatican...

Oui, les antiparticules existent et on en produit autant que de particules. Mais les antiprotons sont rares. Concentrer, ralentir et stocker des \bar{p} dans une "bouteille électromagnétique" est bien compliqué et de rendement infinitésimal.



En 1996 sur l'anneau LEAR, quelques atomes d'antihydrogène furent créés. En 2002, sur l'AD (Anneau de Décélération) on en a fait quelques 10^4 . A ce rythme il faudrait $25 \cdot 10^{15}$ années pour remplir un ballon d'enfant d'antihydrogène.

Si même on savait stocker toute l'antimatière jamais produite au CERN et l'annihiler cela ne tiendrait allumée une ampoule électrique que quelques minutes. Pour faire la bombe du roman il faudrait $\sim 2 \cdot 10^9$ années.



Vues de
l'AD

25

CERN Computing Center

Data Storage

Internet Exchange Point



Computing Power	http://sls.cern.ch/sls/service.php?id=dcbynum <ul style="list-style-type: none">- Processors: 17.000- Cores: 85.000
Storage	http://castorold.web.cern.ch/castorold/global_statistics.png http://sls.cern.ch/sls/service.php?id=dcbynum <ul style="list-style-type: none">- Tape: 90 PB- Disk: 120 PB
WLCG grid	http://wlcg.web.cern.ch/ <ul style="list-style-type: none">- 157 sites: CERN + 11 Tier 1 sites + 145 Tier 2 sites- Sites from two main grid infrastructures : European EGI + US OSG- 6000 LHC experiment users worldwide: 40M jobs a month average- 20 PB of data in 2011 + 30 PB of data in 2012- Full copy of data at CERN + replication in 11 Tier 1 sites- CERN grid users consume 99% of CERN resources.- CERN provides 33% of the total resources used by EGI grid users.



AEGIS

direct measurement of the Earth's local gravitational acceleration g on \bar{H}

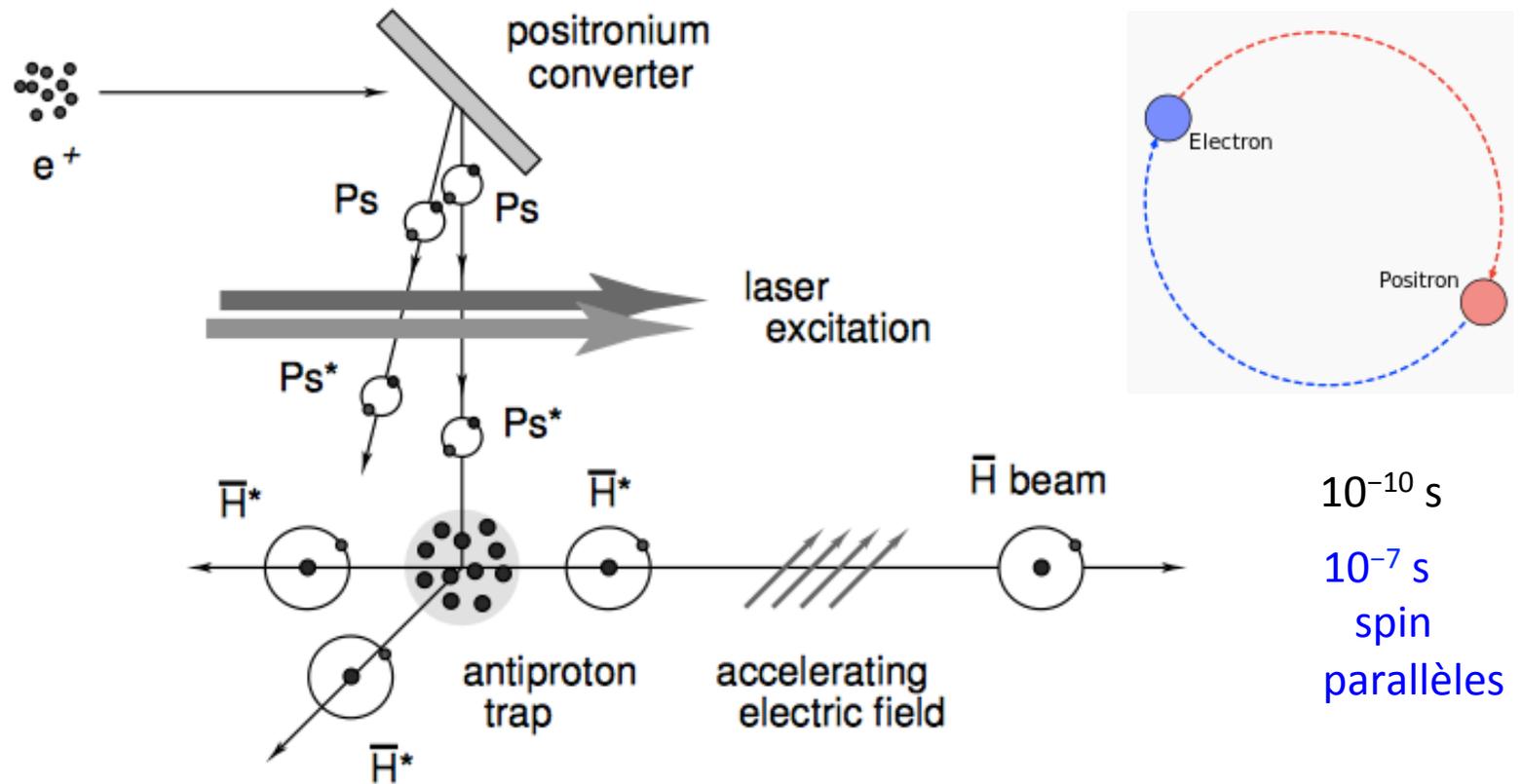
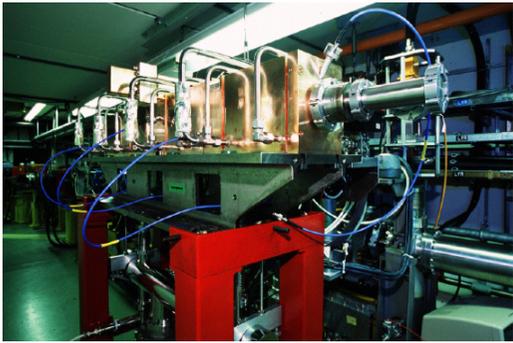


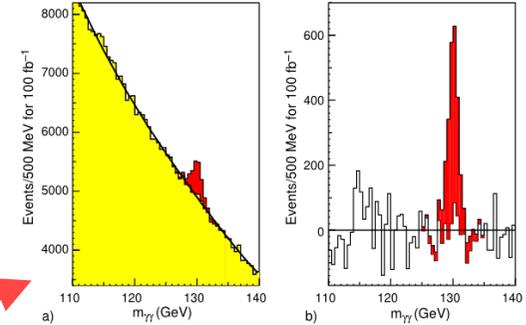
Figure 1. Proposed method for the production of a pulsed beam of cold \bar{H} atoms.



The WEB,
then the GRID
(LHCG, EGEE,
OpenLab)



from photon detection,
for the Higgs boson,
to tomography



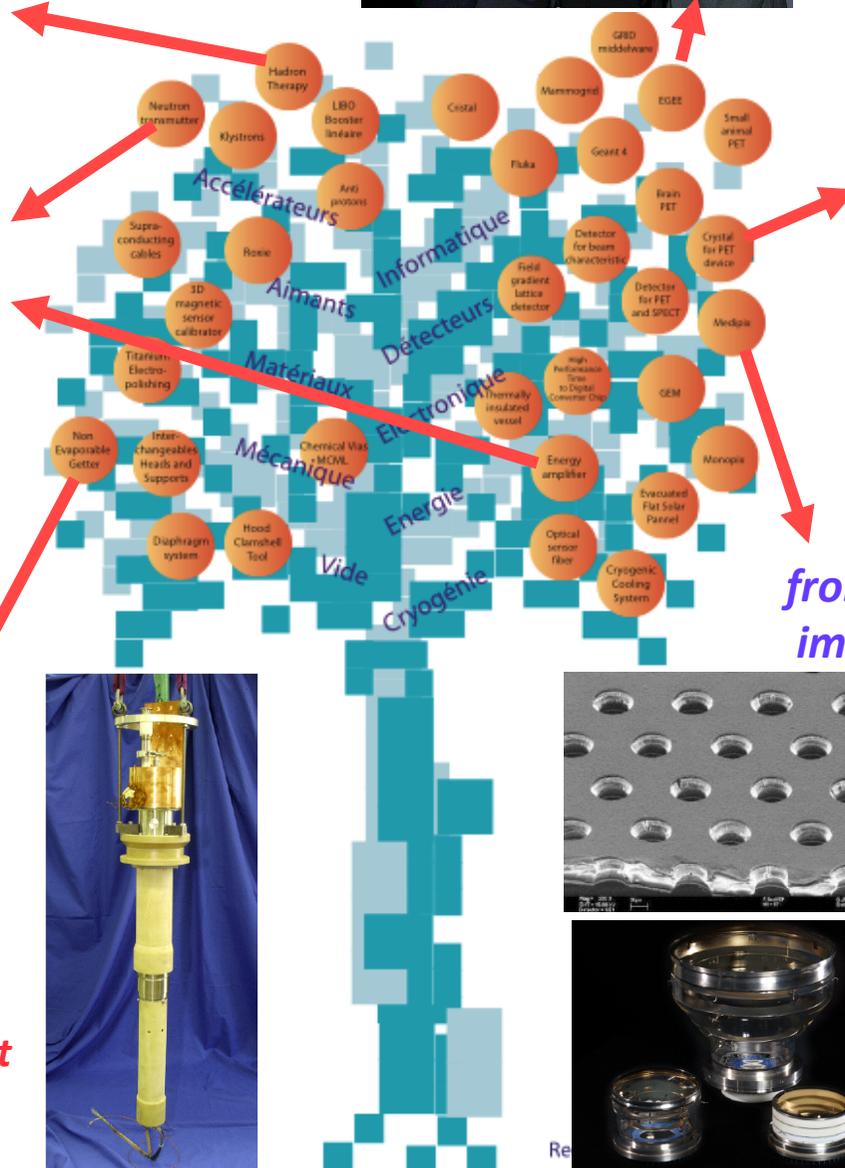
LIBO, for cancer
hadrontherapy



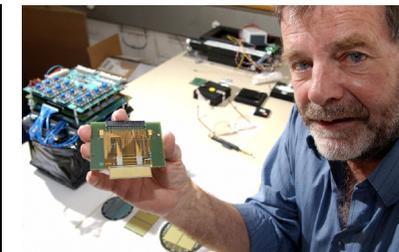
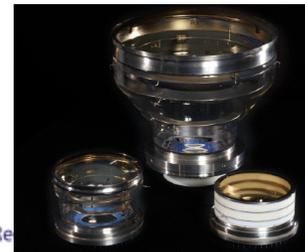
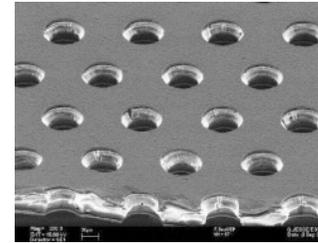
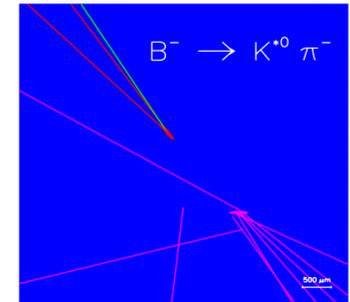
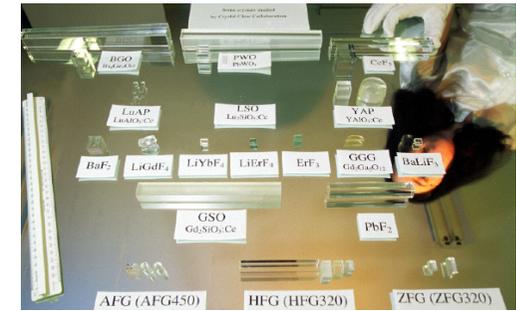
energy amplifier
ultravacuum

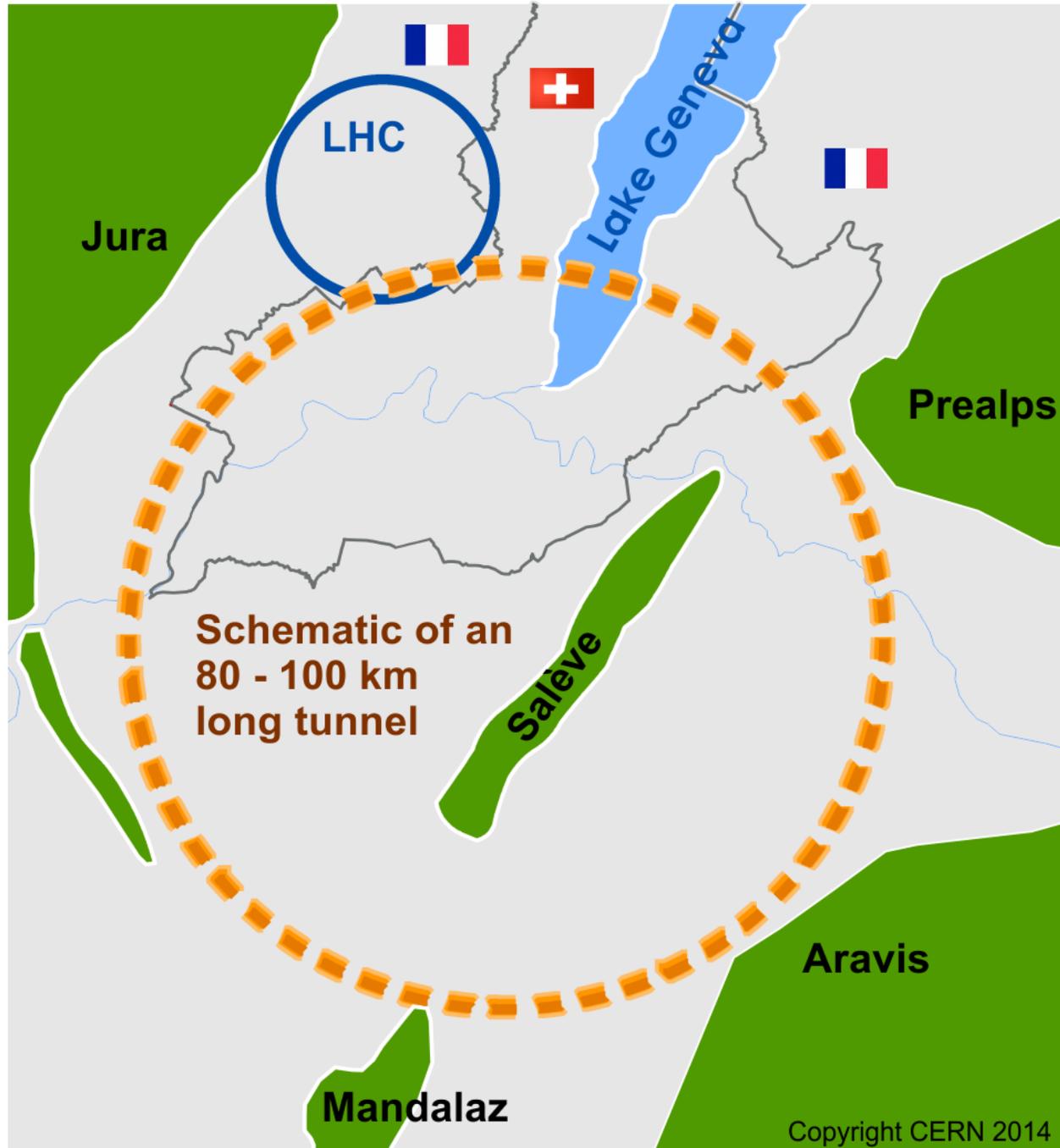


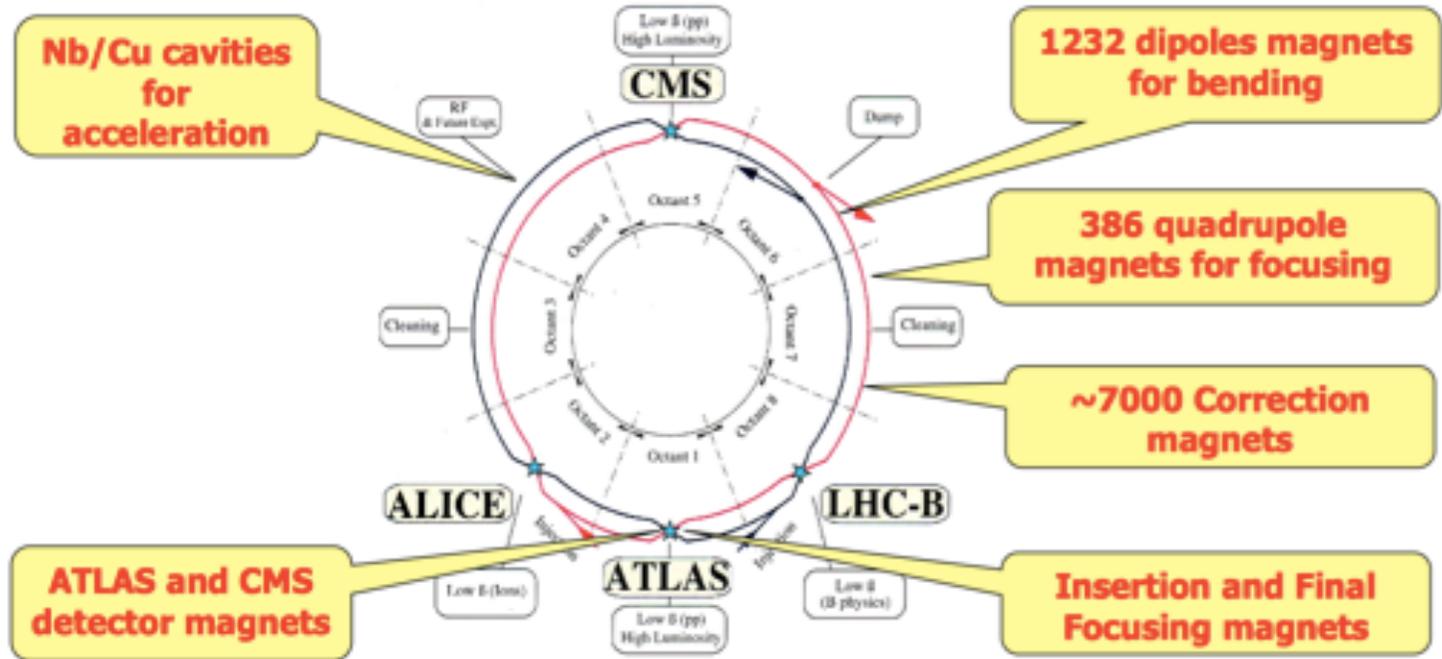
warm
current
entry



from beauty tag to medical
imaging







No Higgs without Superconductivity !

