

Le LHC au CERN

Yann Coadou



Origines, Constituants et Evolution de l'Univers

Summer Camp

11 juin 2018

Centre de physique des particules de Marseille



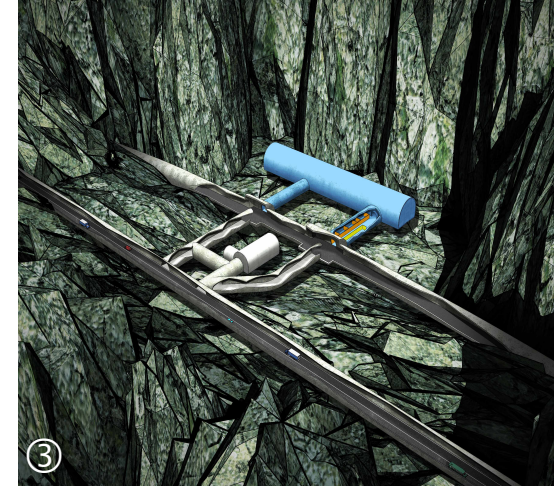
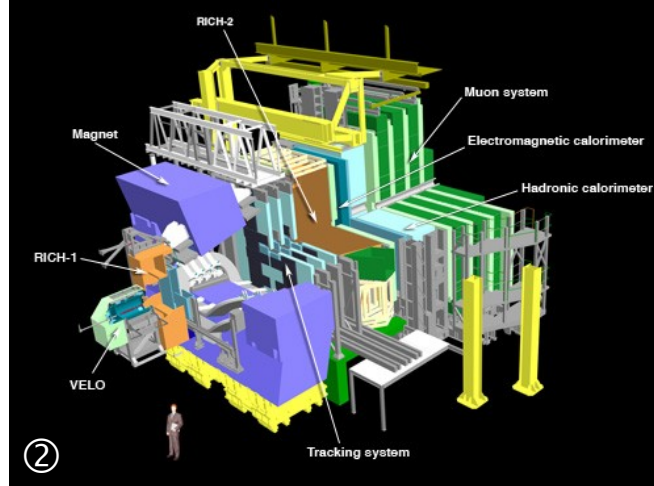
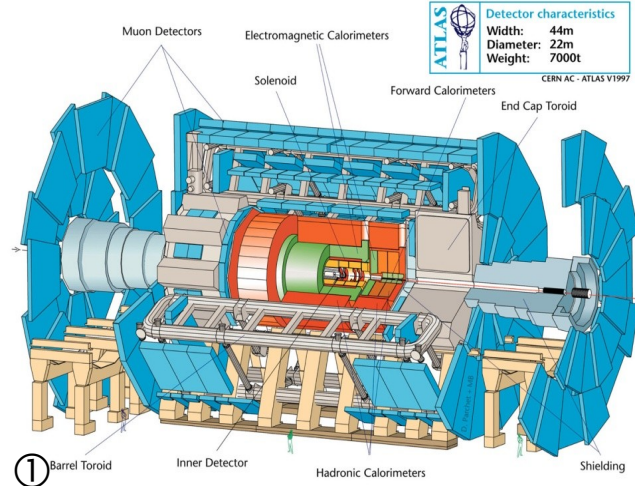
IN2P3
Les deux infinis





CENTRE DE PHYSIQUE DES
PARTICULES DE MARSEILLE

CPPM



Après d'accélérateurs :

- ATLAS @ LHC (Genève) p-p [7,8,13 TeV] ①
- LHCb @ LHC (Genève) p-p [7,8,13 TeV] ②

En profondeur :

- sous les montagnes : SuperNemo (Modane) ③
- fond marin : Antares, MEUST, KM3NeT, ORCA (Toulon) ④

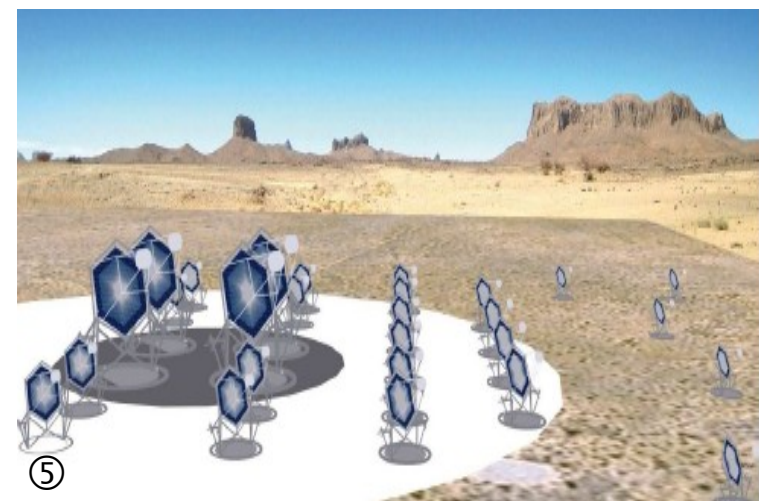
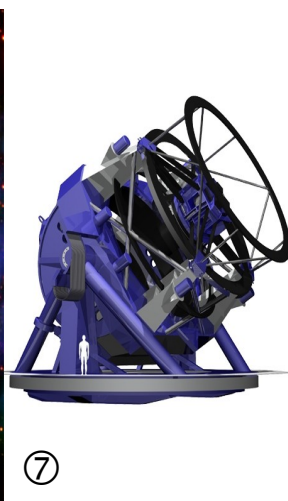
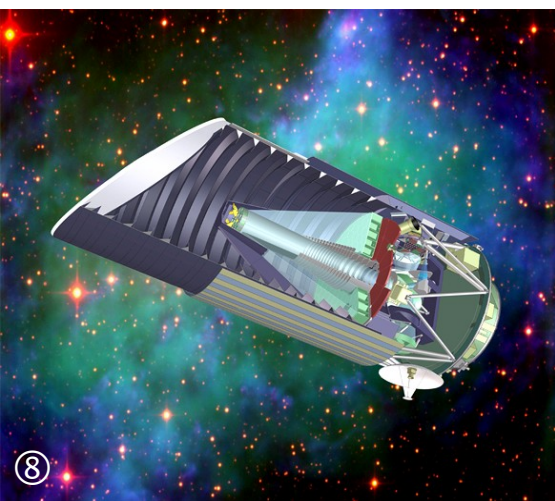
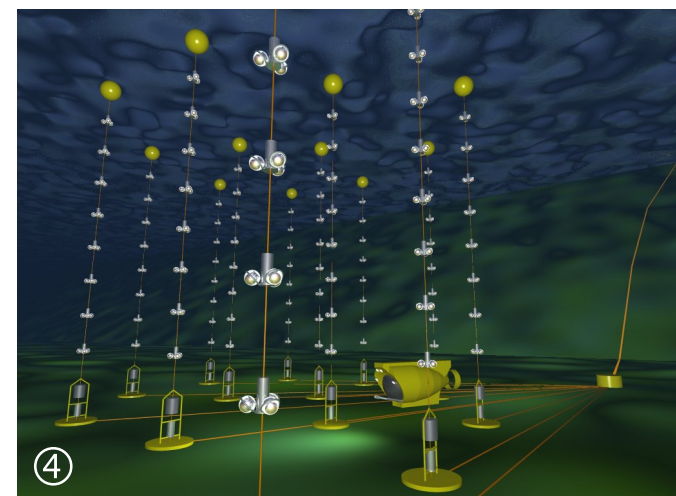
Face au ciel :

- dans le désert : CTA (Chili, Canaries) ⑤
- au sommet des montagnes : SNLS ⑥, SNFactory, BOSS, LSST ⑦
- dans l'espace : EUCLID ⑧

Etude des constituants élémentaires
Recherche de nouvelle physique

Astronomie neutrino, gamma
Approche multi-messagers

Caractérisation de l'énergie noire
Approche multi-sondes



⑧

⑦

⑥

⑤

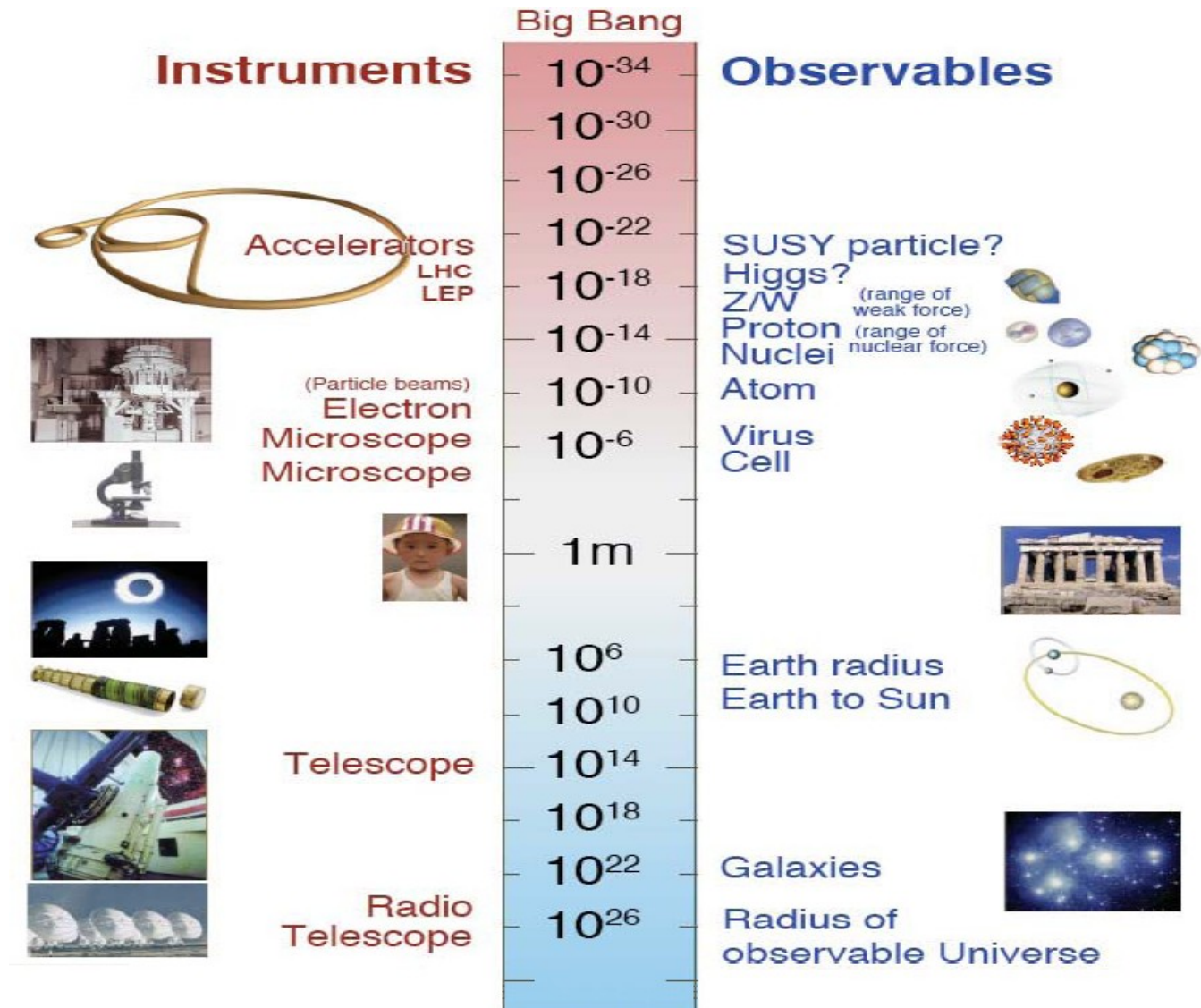
Pourquoi des accélérateurs de particules ?

- Pour voir des objets plus petits, il faut une énergie plus élevée :

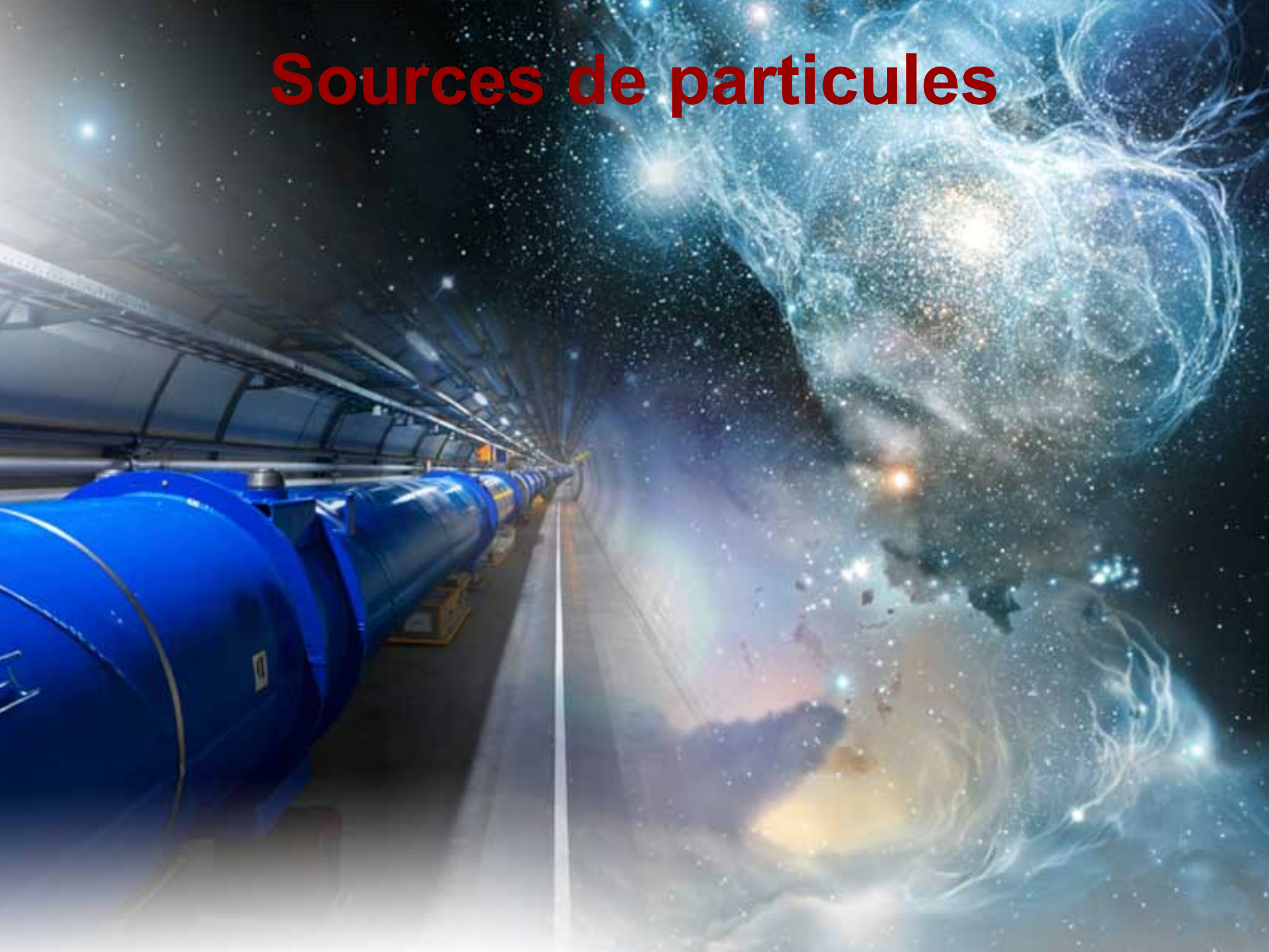
- ▶ longueur d'onde associée $\lambda = h/p$

- Pour créer des particules plus lourdes

- ▶ $E = mc^2$



Sources de particules



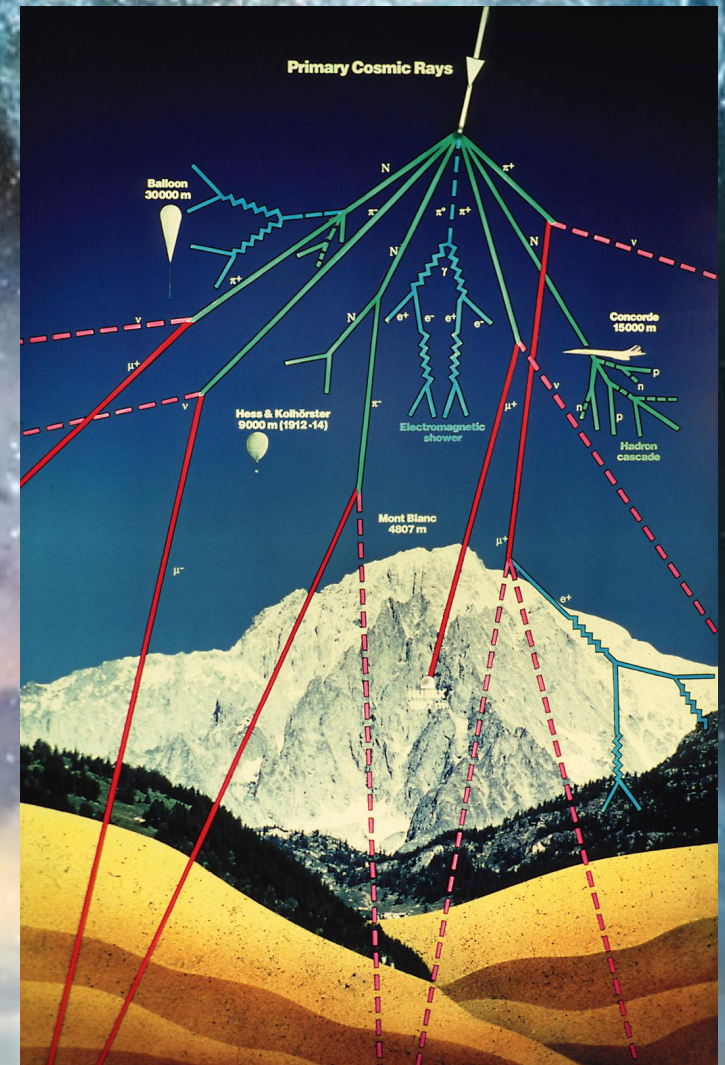
Sources de particules

**L'Univers et les
rayons cosmiques**
(protons, photons,
neutrinos, muons)



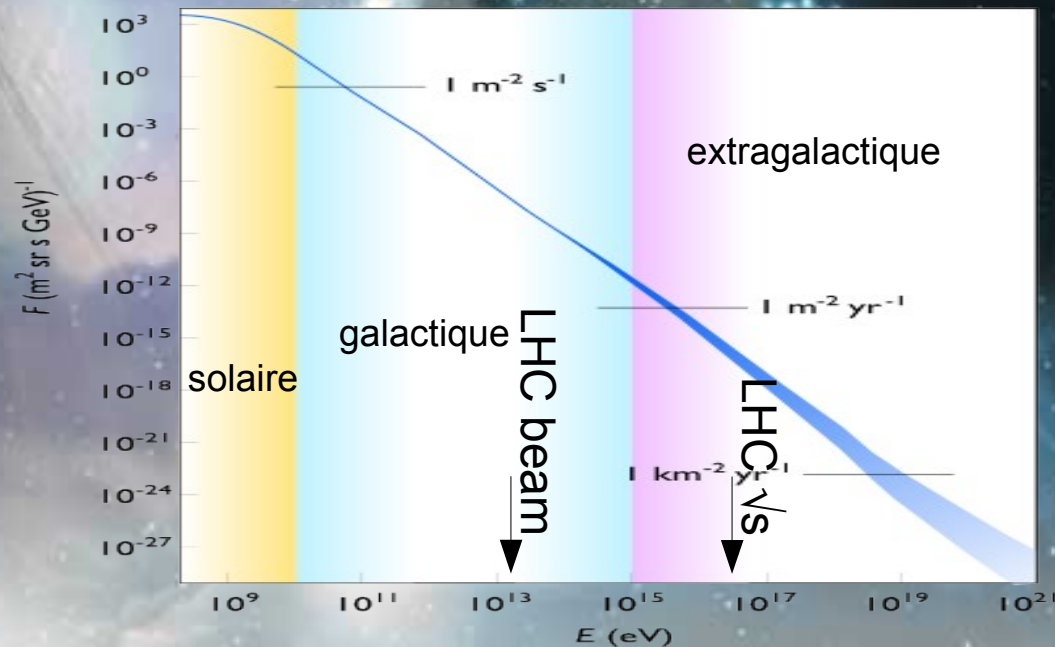
Sources de particules

L'Univers et les rayons cosmiques



Sources de particules

L'Univers et les
rayons cosmiques
(protons, photons,
neutrinos, muons)



Sources de particules

**L'Univers et les
rayons cosmiques**
(protons, photons,
neutrinos, muons)

**Les accélérateurs
de particules**
(protons, photons,
électrons, muons,
pions, kaons, etc)

Quelques accélérateurs récents

- Le LEP

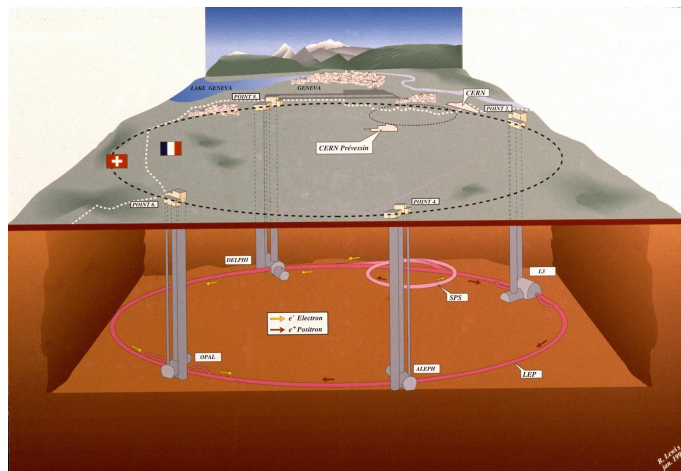
- ▶ Au CERN, Genève
- ▶ Collisions e^+e^-
- ▶ 1989-2000

- Le Tevatron

- ▶ Fermilab, Chicago
- ▶ Collisions proton-antiproton
- ▶ 1983-2011

- Le LHC

- ▶ Au CERN
- ▶ Collisions proton-proton
- ▶ Depuis 2009



Le LHC

(grand collisionneur de hadrons)



Le LHC

(grand collisionneur de hadrons)

LHCb

ATLAS

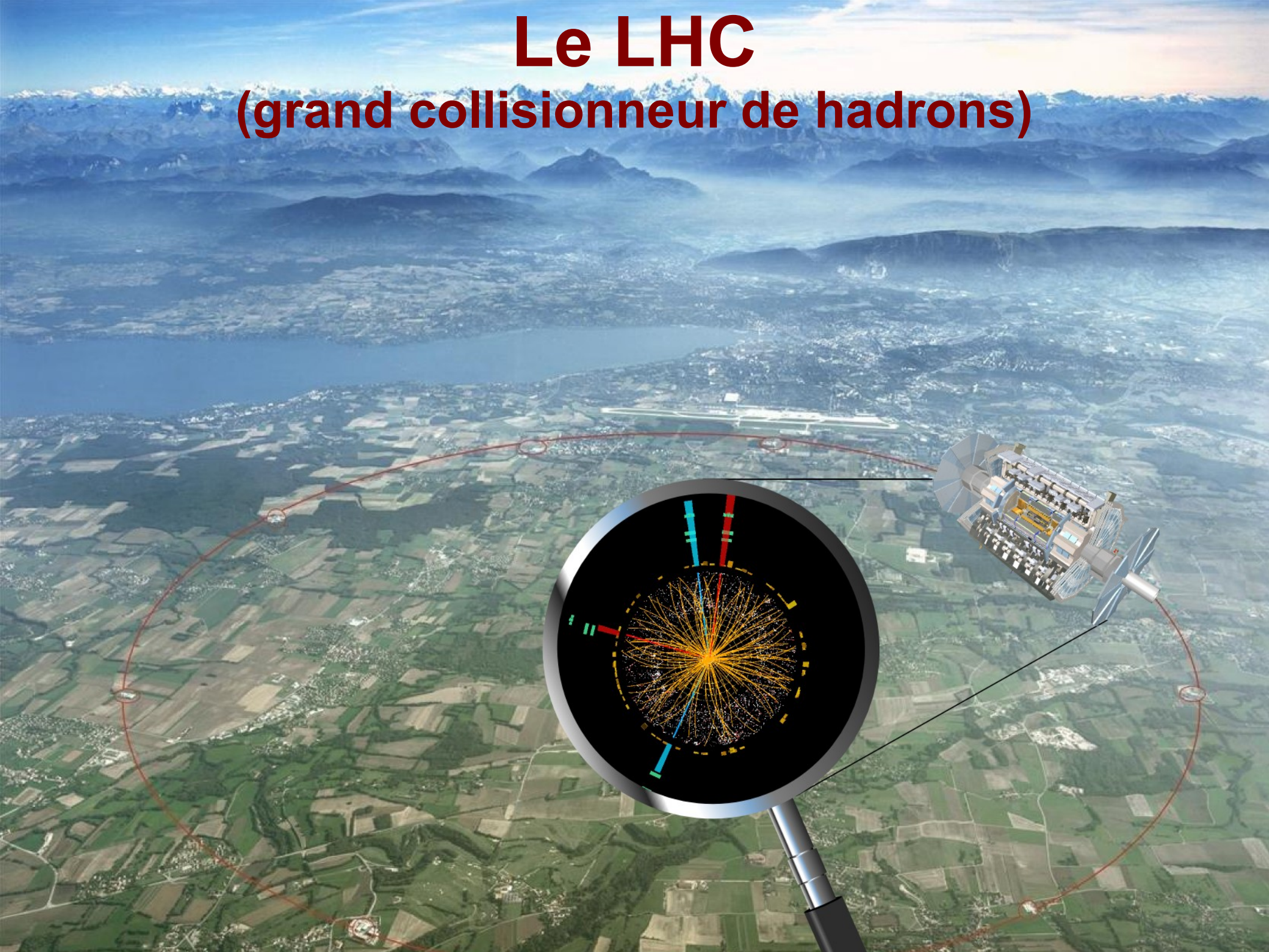
CMS

ALICE



Le LHC

(grand collisionneur de hadrons)



Le LHC

(grand collisionneur de hadrons)

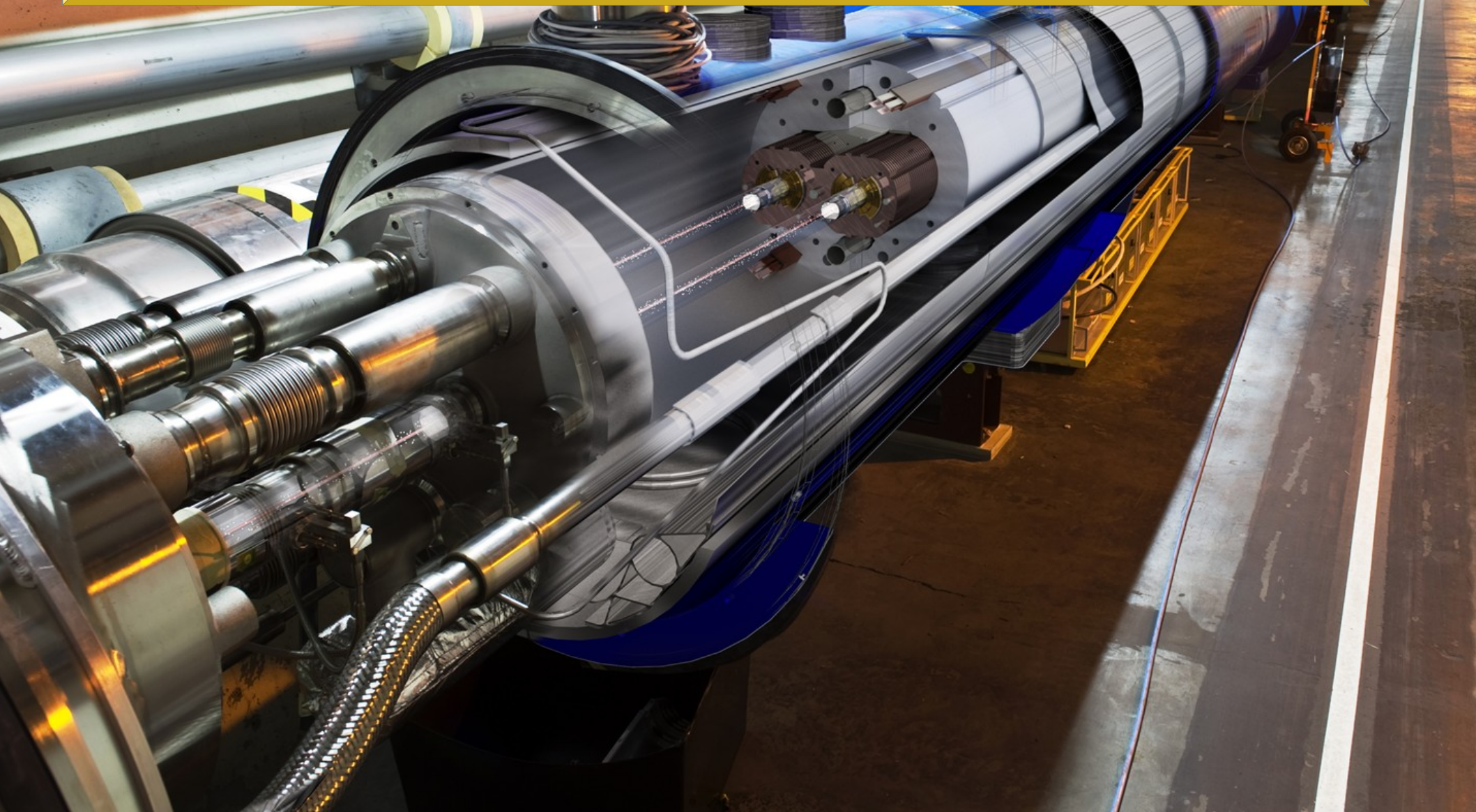


Le LHC : la machine à superlatifs



Le LHC : la machine à superlatifs

La plus grande et la plus complexe machine scientifique jamais construite



Le LHC : la machine à superlatifs



27 km de circonférence
100 m sous terre

Le LHC : la machine à superlatifs



Protons voyageant à
99,9999991%
de la vitesse de la lumière,
soit 11000 tours
par seconde

Le LHC : la machine à superlatifs



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 8,3 T (200000 fois le champ magnétique terrestre)

Le LHC : la machine à superlatifs

1232 dipôles.
Un dipôle :
15 m de long
35 tonnes



Le LHC : la machine à superlatifs

Longueur des câbles supraconducteurs :
assez pour 5 aller-retours Terre-soleil



Le LHC : la machine à superlatifs

Vide presque parfait (10^{-13} atm) :
pression 10 fois plus faible
que sur la Lune

Le LHC : la machine à superlatifs



Chaque proton a l'énergie d'un moustique en vol, mais il y en a 2800 paquets de 100 milliards !

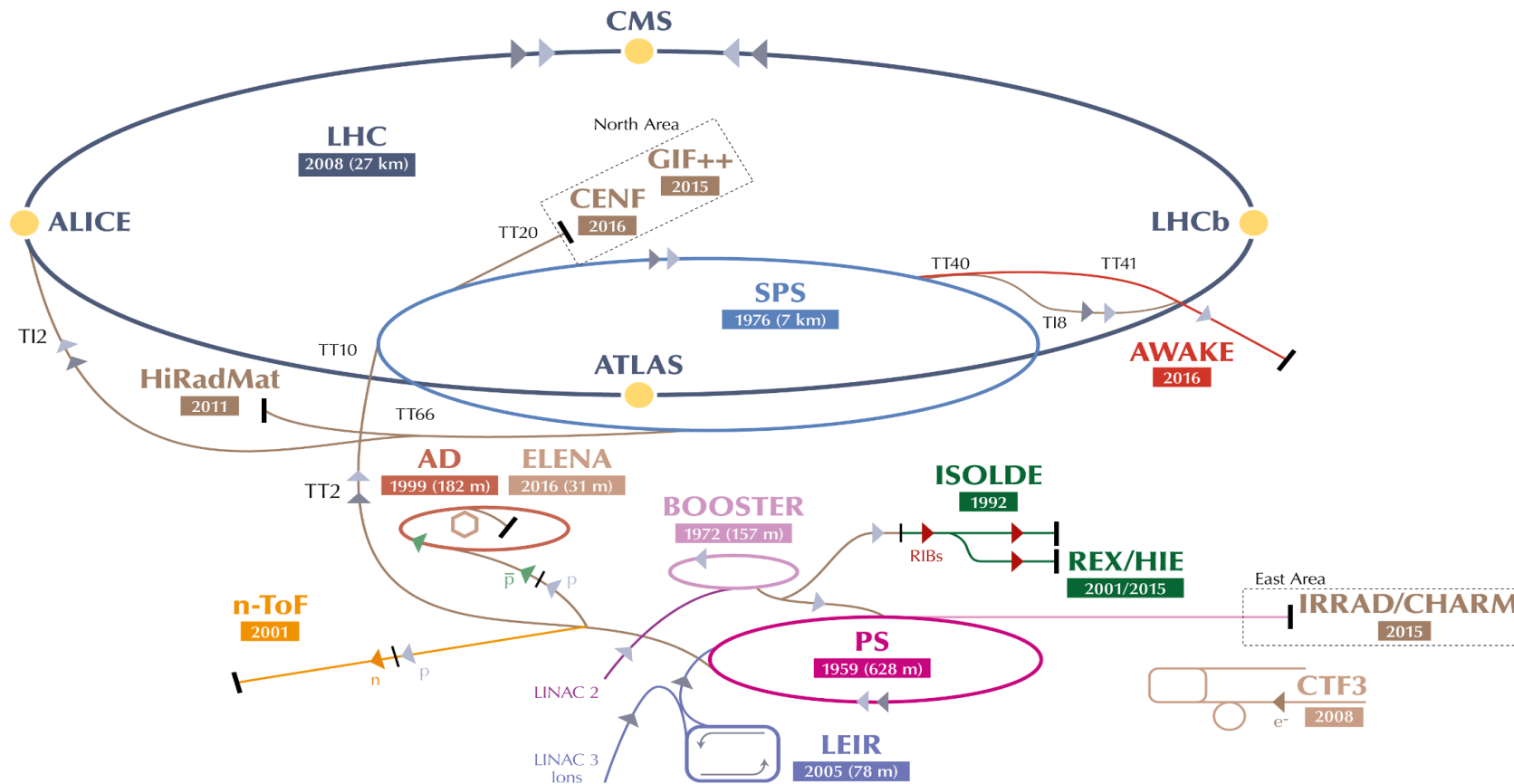
- ▶ Énergie du faisceau : TGV à 150 km/h.

Le LHC : la machine à superlatifs

A long, complex tunnel filled with superconducting magnets and pipes, part of the LHC facility. The tunnel is dimly lit, with overhead lights illuminating the machinery. The magnets are large, cylindrical structures with blue and silver components. A yellow cart is visible on the right side of the tunnel. A sign with the number '2385' is attached to one of the magnets. A warning sign is visible on the left wall.

Consommation électrique :
Tous les foyers du canton de Genève

Le CERN : les accélérateurs



▶ p (protons)
 ▶ ions
 ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams)
 ▶ n (neutrons)
 ▶ \bar{p} (antiprotons)
 ▶ e^- (electrons)

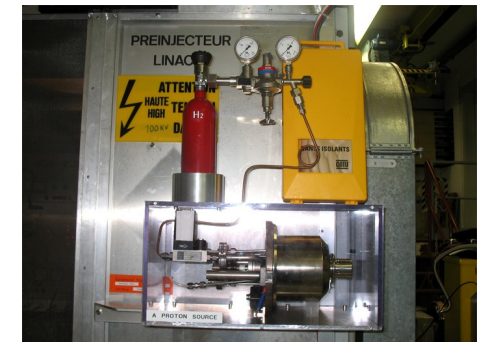
LHC Large Hadron Collider
 SPS Super Proton Synchrotron
 PS Proton Synchrotron
 AD Antiproton Decelerator
 CTF3 Clic Test Facility

AWAKE Advanced WAKEfield Experiment
 ISOLDE Isotope Separator OnLine
 REX/HIE Radioactive EXperiment/High Intensity and Energy ISOLDE

LEIR Low Energy Ion Ring
 LINAC LINear ACcelerator
 n-ToF Neutrons Time Of Flight
 HiRadMat High-Radiation to Materials

CHARM Cern High energy AcceleRator Mixed field facility
 IRRAD proton IRRADIation facility
 GIF++ Gamma Irradiation Facility

CENF CERN Neutrino platform



Bottle to bang

Large Hadron Collider : un projet de longue haleine

25 ans de préparation

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
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)

25 ans d'exploitation

Large Hadron Collider : un projet de longue haleine



25 ans de préparation

1984	Études préliminaires
1992	Création de la collaboration ATLAS
1994	Approbation par le conseil du CERN
1996-1998	Approbation des quatre grandes agences
1998-2008	Construction du LHC et des détecteurs
Septembre 2008	Mise en service, panne cryogénique

25 ans d'exploitation

Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)

Large Hadron Collider : un projet de longue haleine

25 ans de préparation

1984	Études préliminaires
1992	Création de la collaboration ATLAS
1994	Approbation par le conseil du CERN
1996-1998	Approbation des
1998-2008	Construction du L
Septembre 2008	Mise en service,



25 ans d'exploitation

Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)

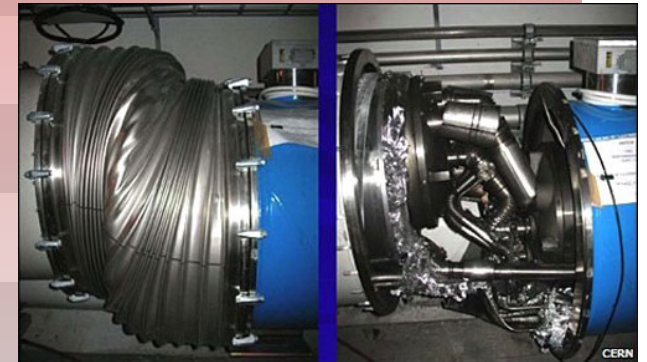
Large Hadron Collider : un projet de longue haleine

25 ans de préparation

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

25 ans d'exploitation

Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)



Large Hadron Collider : un projet de longue haleine

25 ans de préparation

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
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)

25 ans d'exploitation



Le CERN



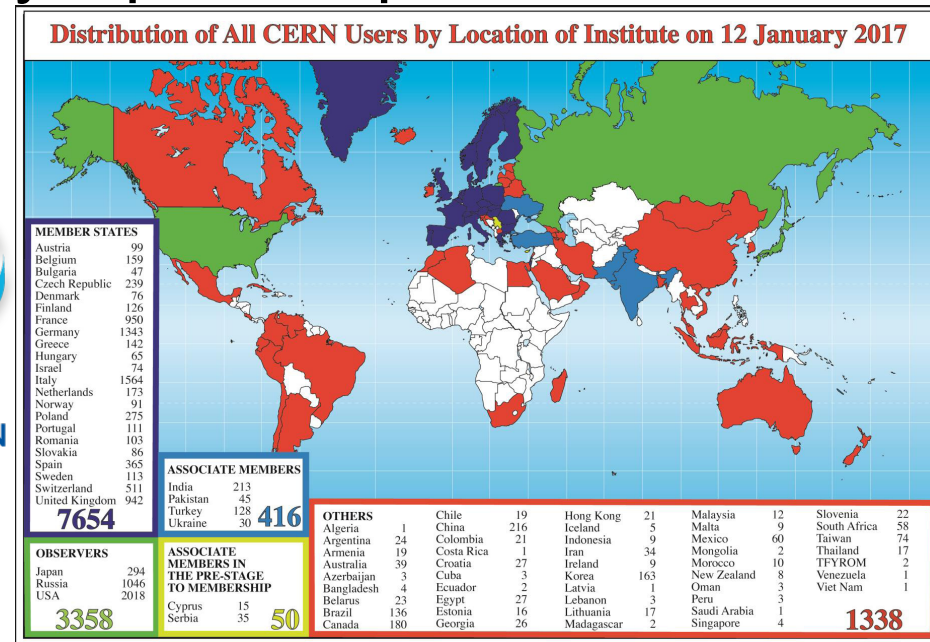
Organisation européenne pour la recherche nucléaire

Le laboratoire européen pour la physique des particules

- organisation internationale
- créé en 1954 (festivités pour ses 60 ans en 2014)
- 22 état membres
- Emploie ~2500
- ~12000 utilisateurs
- 500 instituts, 80 pays



YEARS/ANS CERN



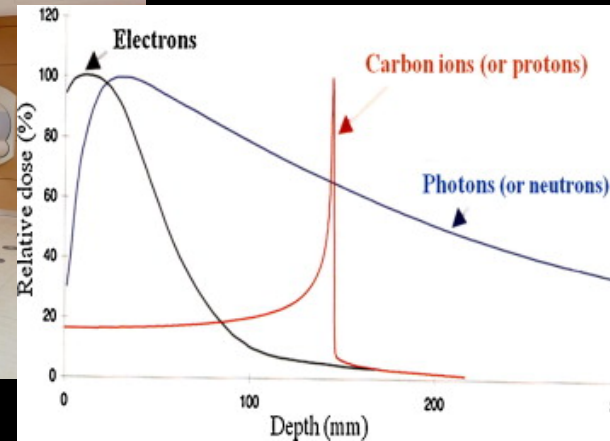
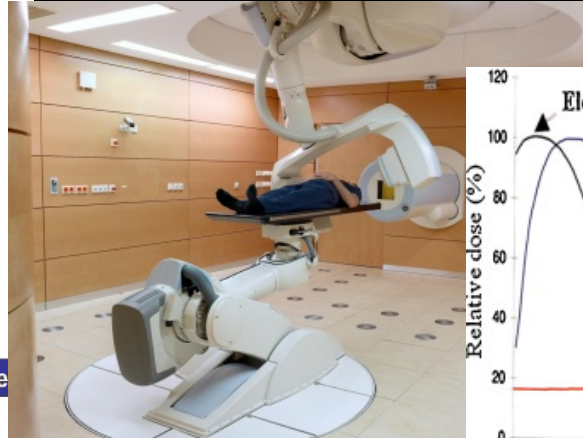
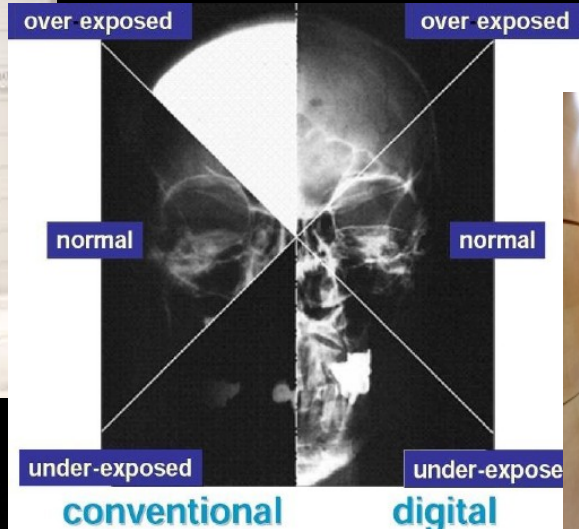
- Nombreuses découvertes scientifiques et techniques / Plusieurs prix Nobel
- Formidable lieu de collaboration internationale
- Programme d'étudiant d'été

A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?

Avant tout : curiosité humaine

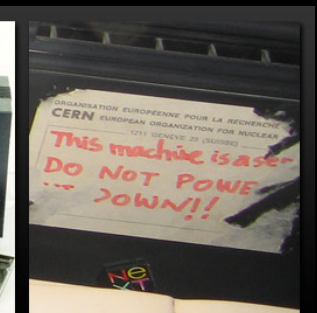
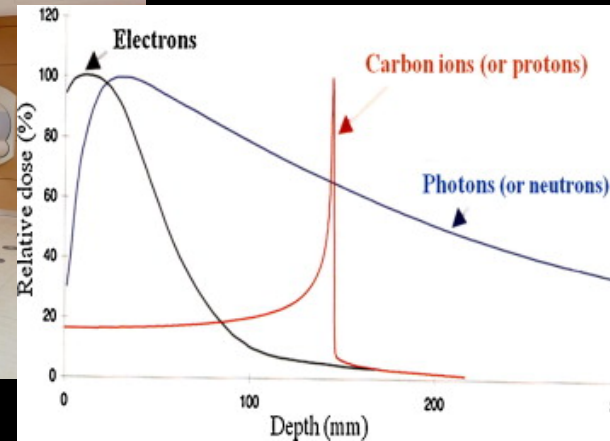
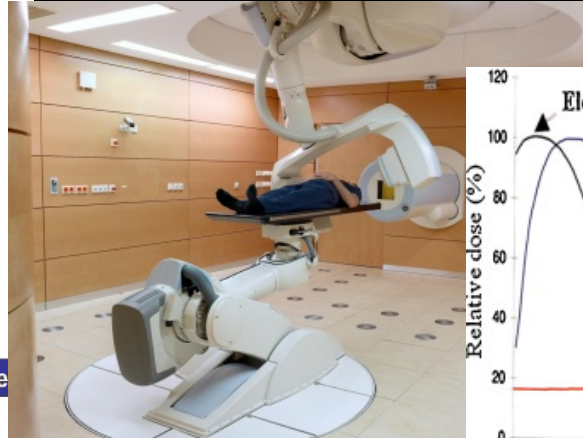
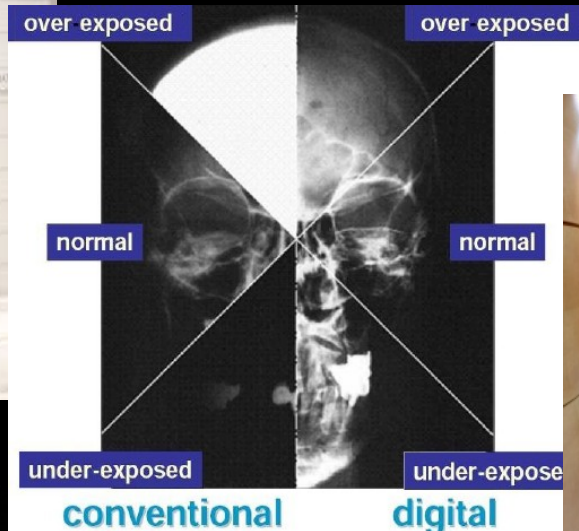
A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?

Avant tout : curiosité humaine



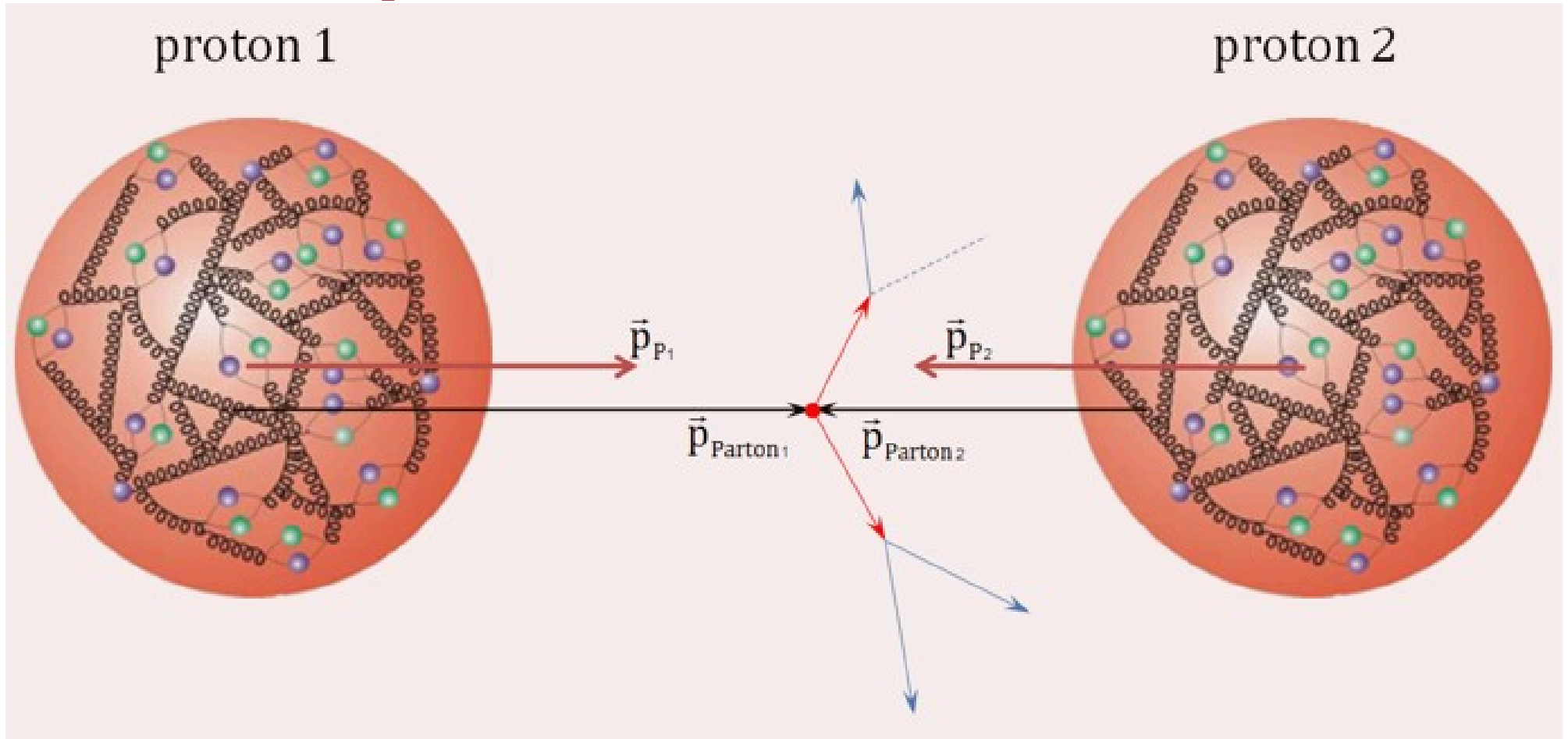
A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?

Avant tout : curiosité humaine



► Le Web a été inventé au CERN !

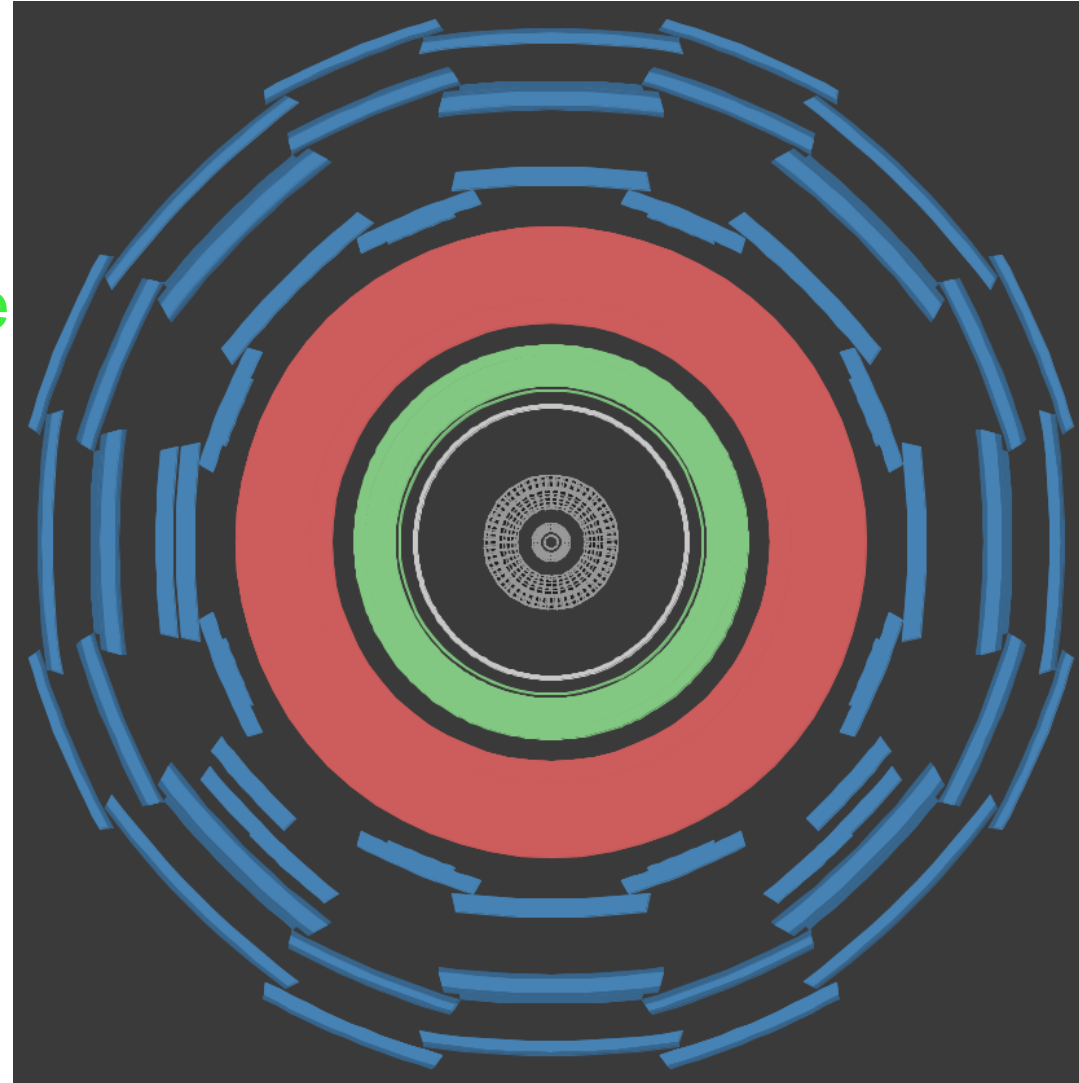
Deux protons se rencontrent...



- 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



Les détecteurs géants du LHC

