

Le LHC au CERN

Yann Coadou



Origines, Constituants et Evolution de l'Univers

Summer Camp

26 juin 2017

Centre de physique des particules de Marseille



IN2P3
Les deux infinis



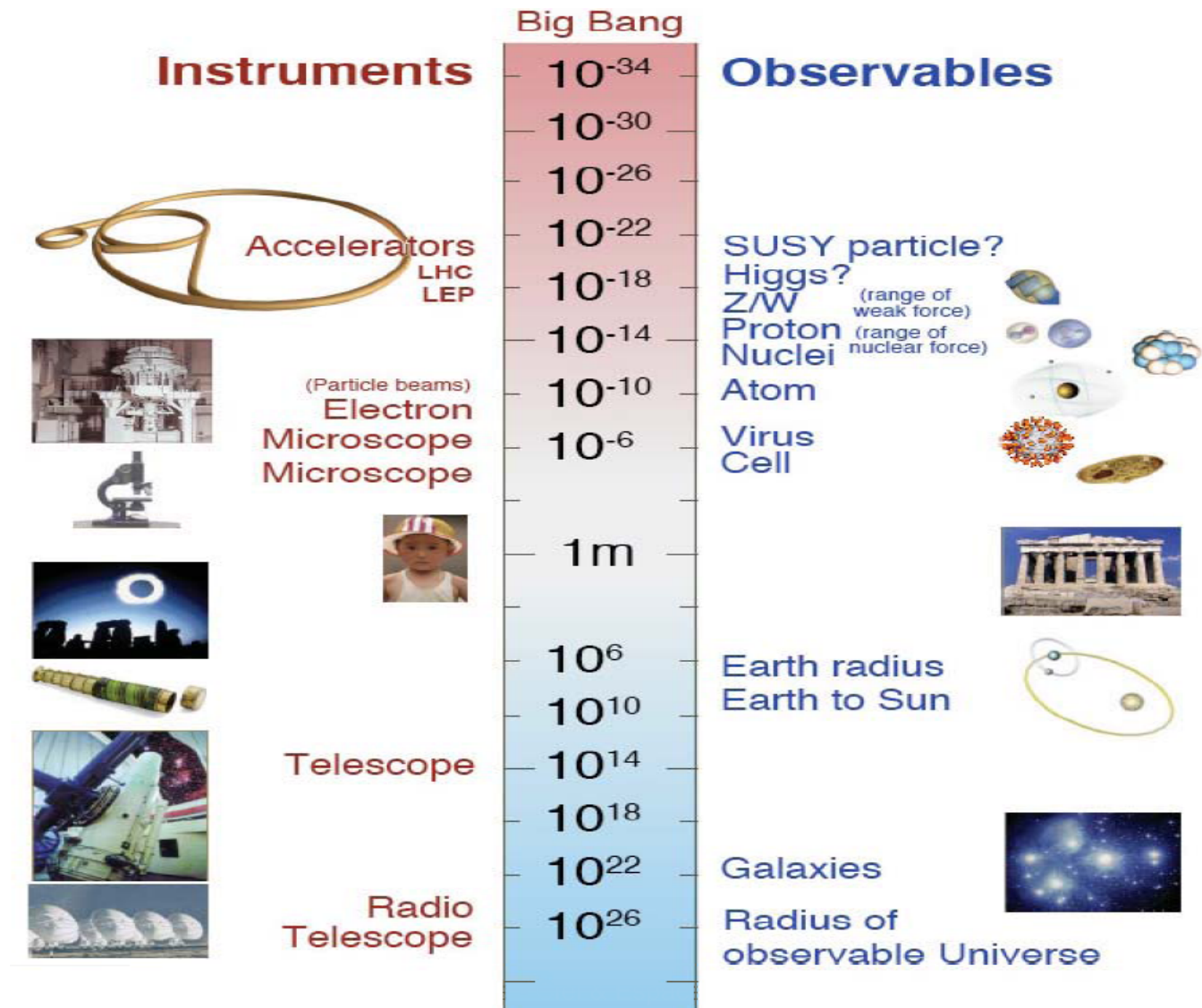
Pourquoi des accélérateurs de particules ?

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

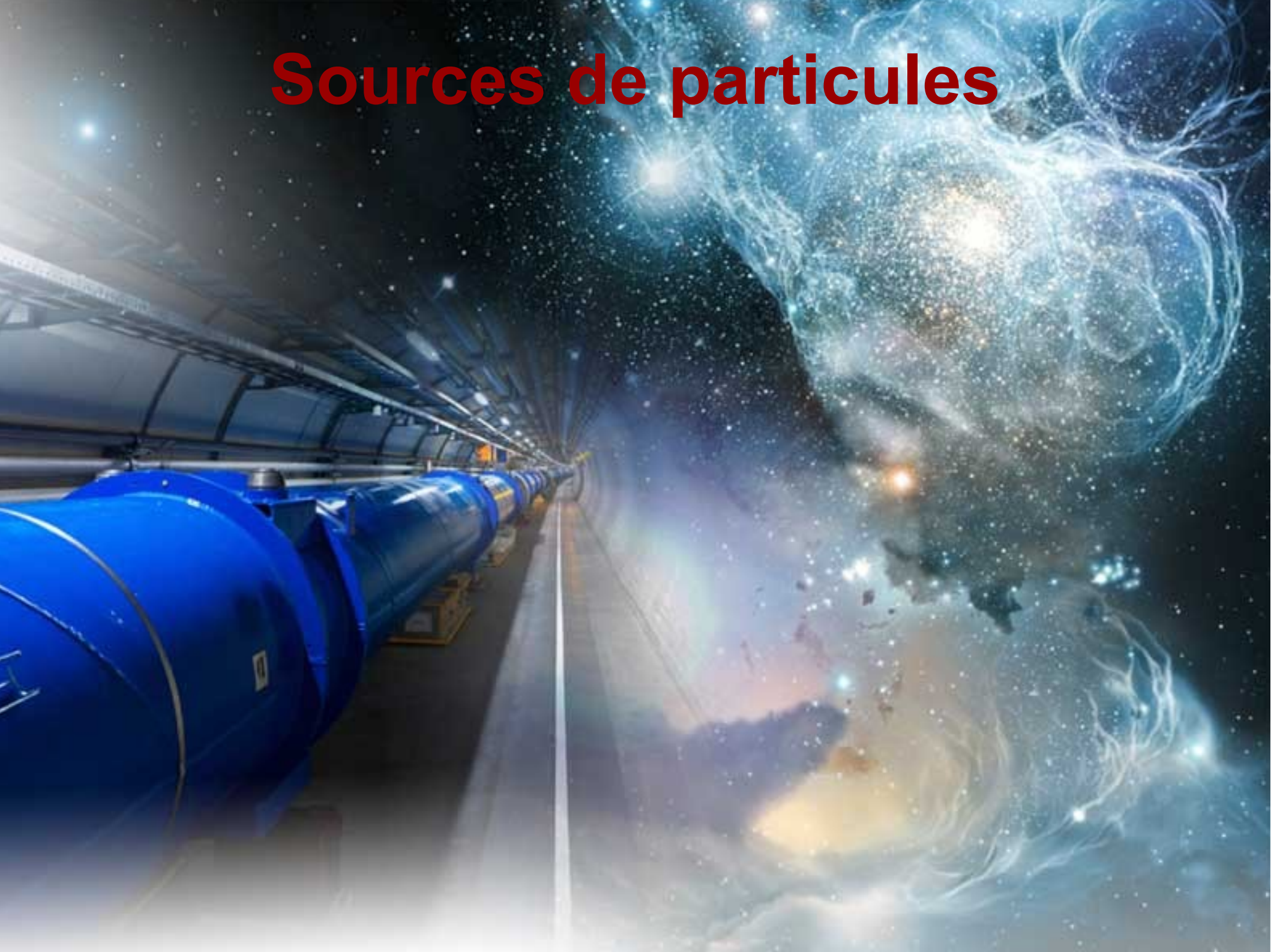
▶ longueur d'onde associée $\lambda = h/p$

- Pour créer des particules plus lourdes

▶ $E = mc^2$



Sources de particules



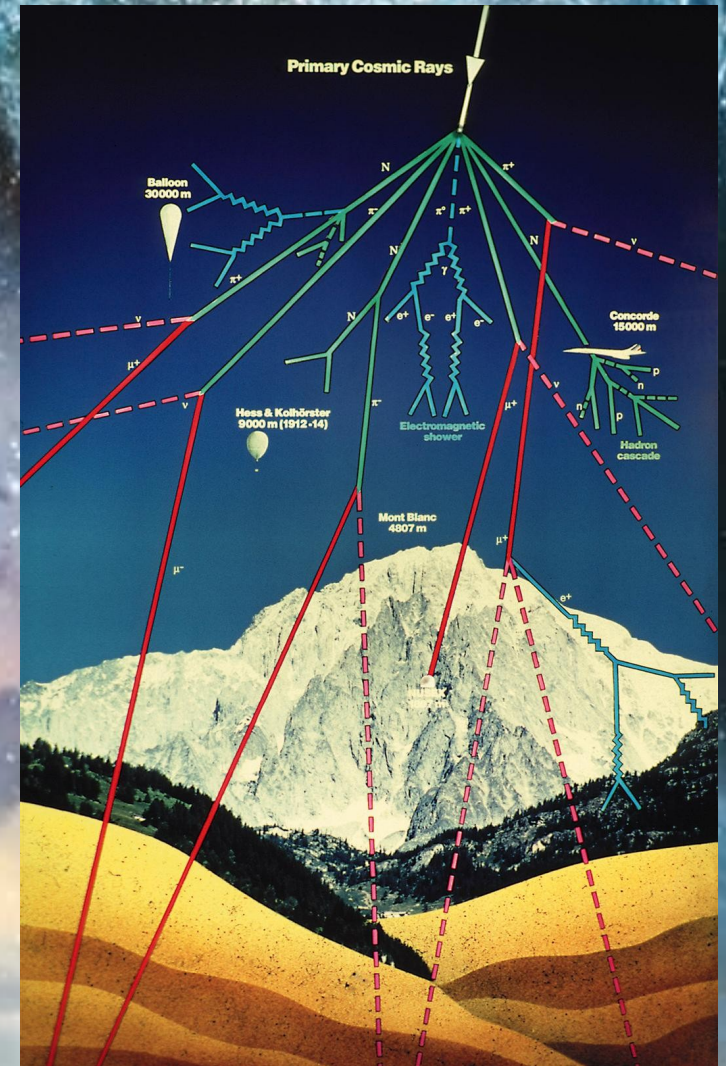
Sources de particules

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



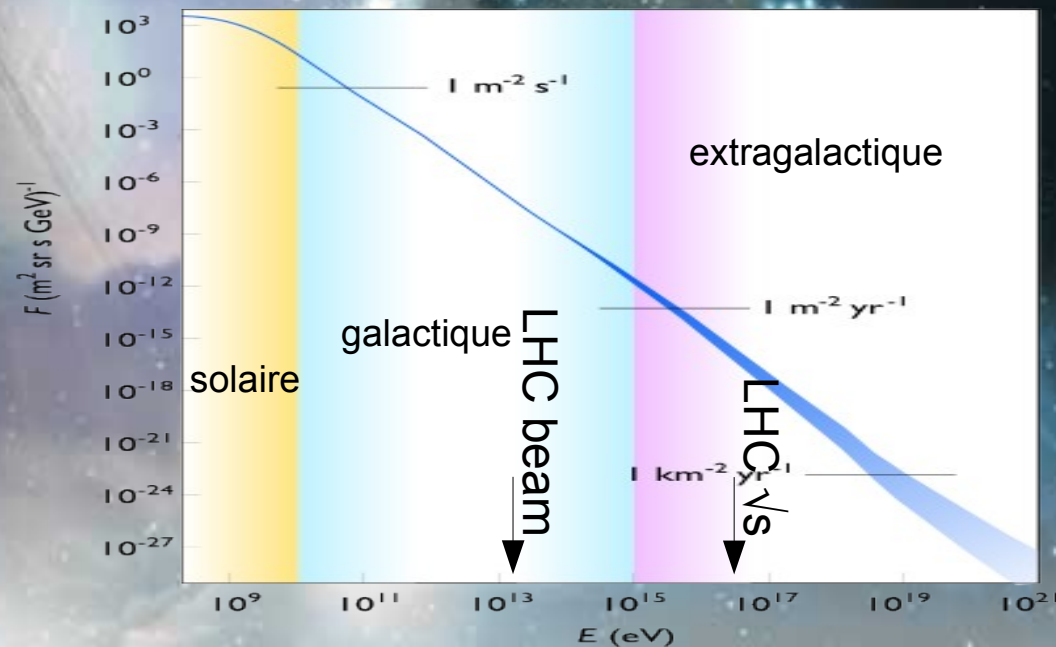
Sources de particules

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

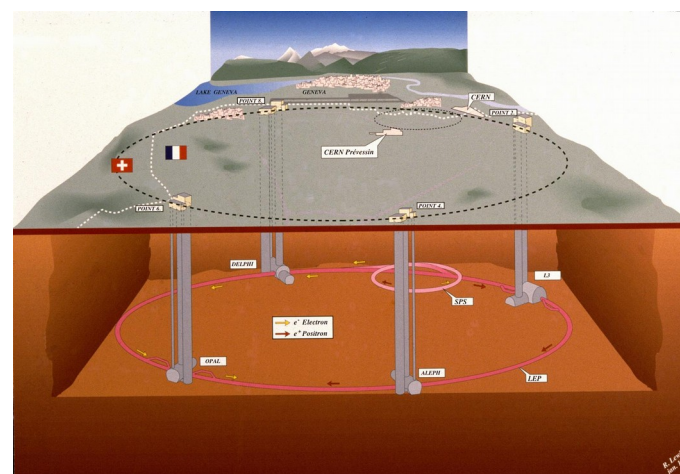
- ▶ Au CERN, Genève
- ▶ Collisions e^+e^-
- ▶ 1989-2000

- 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)

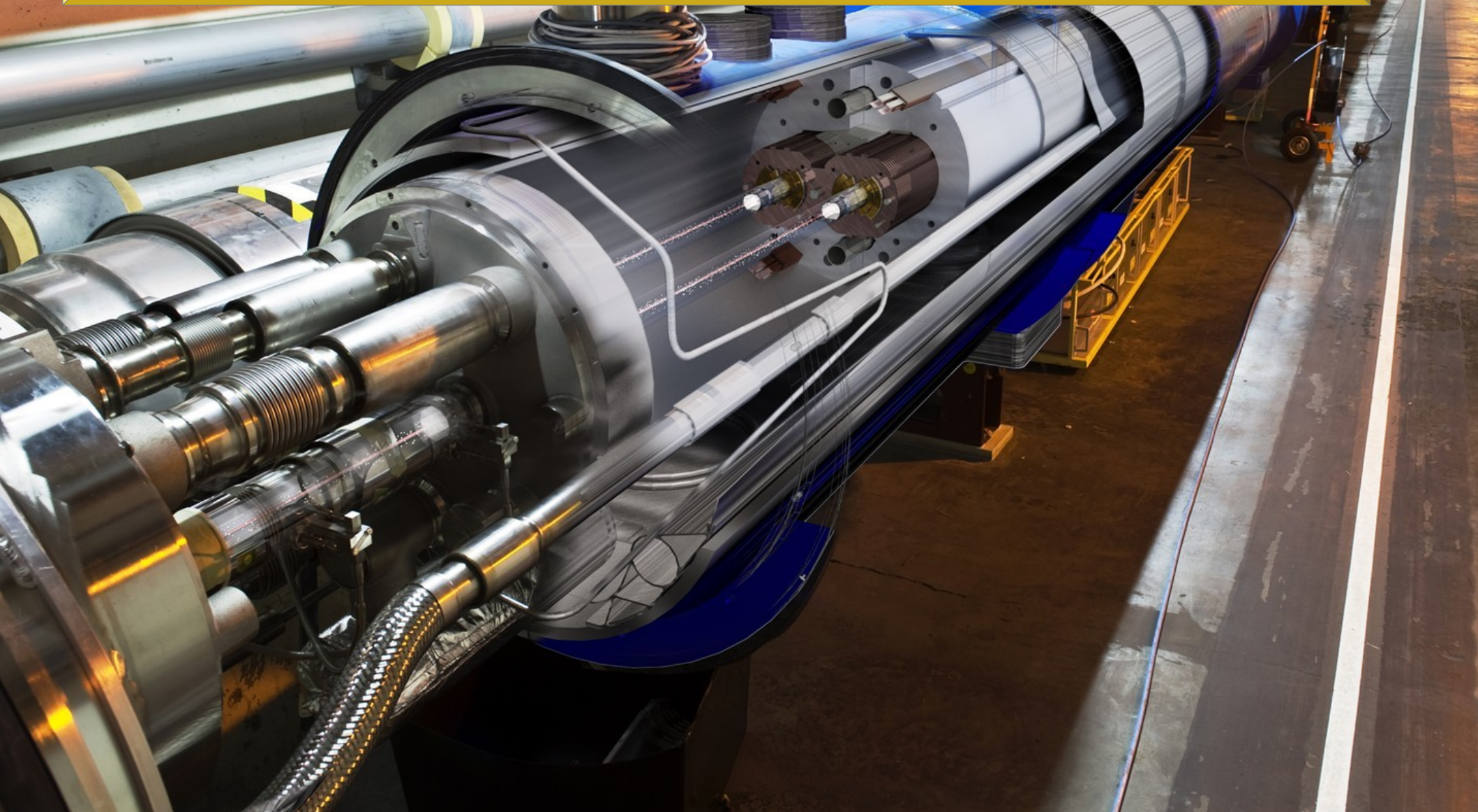


Le LHC : la machine à superlatifs



Le LHC : la machine à superlatifs

La plus grande et la plus complexe machine scientifique jamais construite



Le LHC : la machine à superlatifs

A photograph of the LHC tunnel showing a long row of superconducting magnets. The magnets are blue and silver, and are arranged in a long line that recedes into the distance. A yellow callout bubble is overlaid on the image, containing text. The background is a dark tunnel with overhead pipes and lights.

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

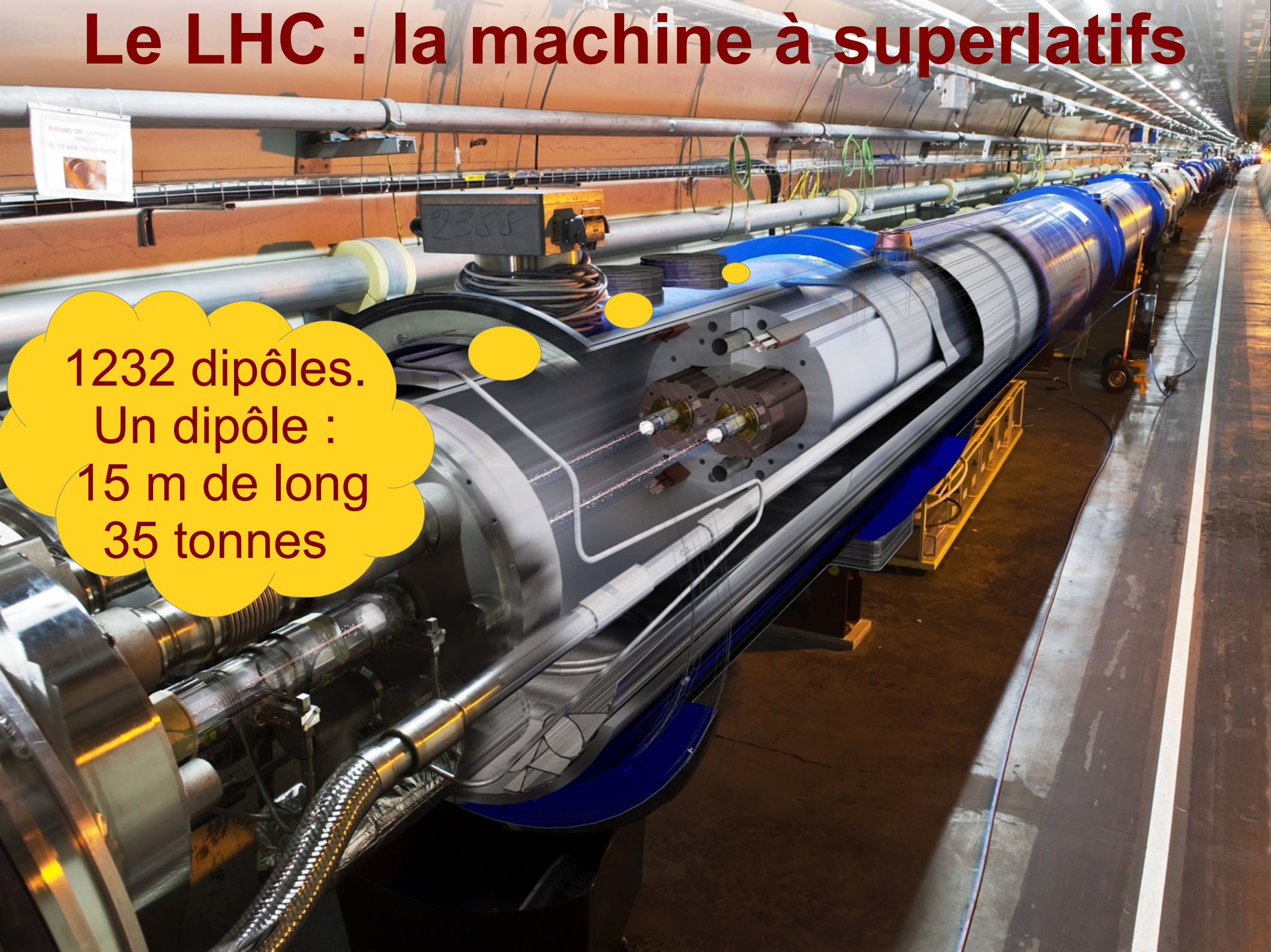
Le LHC : la machine à superlatifs



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 !

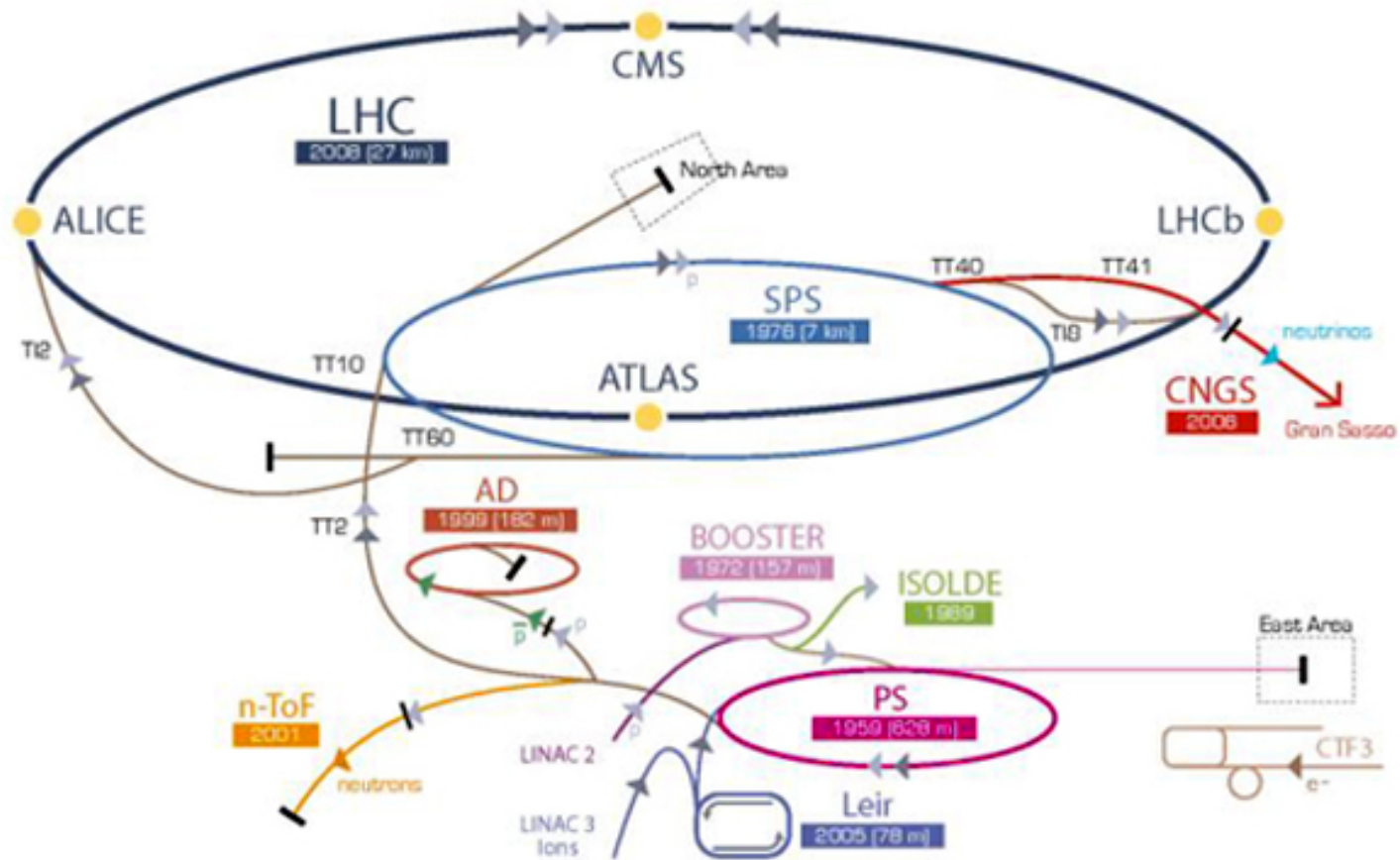
- ▶ Énergie du faisceau : TGV à 150 km/h.

Le LHC : la machine à superlatifs



Consommation électrique :
Tous les foyers du canton de Genève

Le CERN : les accélérateurs

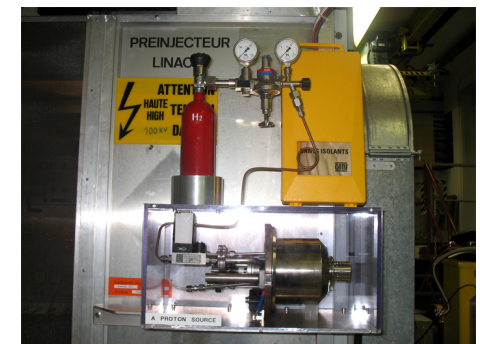


▶ p [protons] ▶ ions ▶ neutrons ▶ \bar{p} [antiproton] ↔ conversion proton/antiproton ▶ neutrinos ▶ électrons

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight



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
2022	Fin des collisions à luminosité nominale ?
2025-2035	Phase à haute luminosité ?

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 grands accélérateurs
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
2022	Fin des collisions à luminosité nominale ?
2025-2035	Phase à haute luminosité ?

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
2022	Fin des collisions à luminosité nominale ?
2025-2035	Phase à haute luminosité ?

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
2022	Fin des collisions à luminosité nominale ?
2025-2035	Phase à haute luminosité ?



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
2022	Fin des collisions à luminosité nominale ?
2025-2035	Phase à haute luminosité ?



Le CERN



Organisation européenne pour la recherche nucléaire

Le laboratoire européen pour la physique des particules

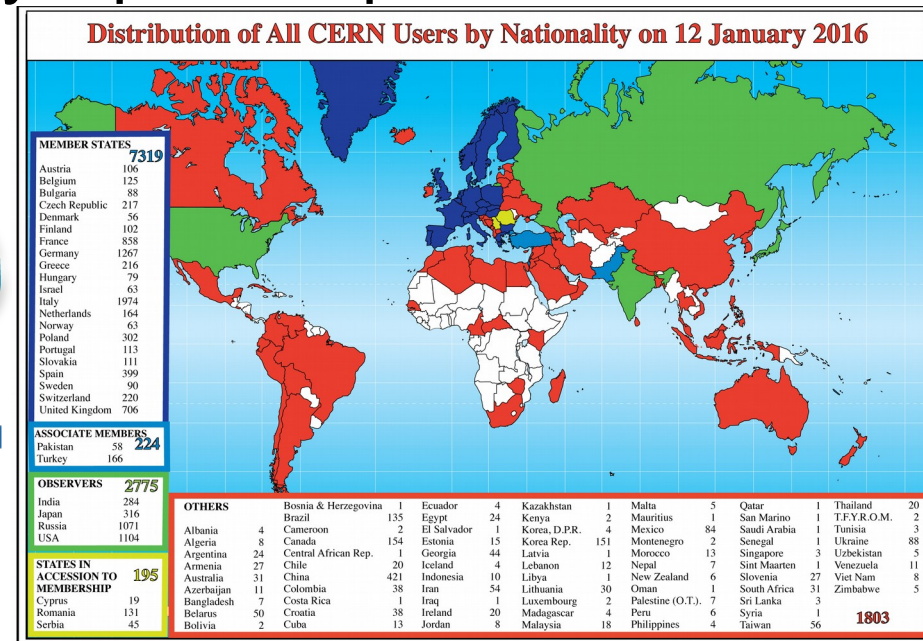
- organisation internationale
- créé en 1954 (festivités pour ses 60 ans en 2014)
- 22 état membres
- Emploie ~2500
- ~10000 utilisateurs

- 500 instituts, 80 pays



YEARS/ANS CERN

Distribution of All CERN Users by Nationality on 12 January 2016



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

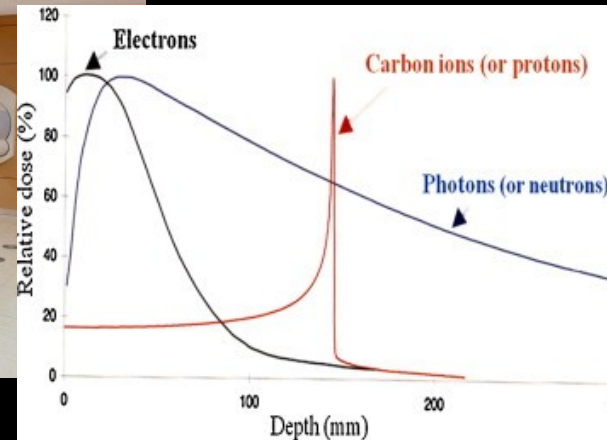
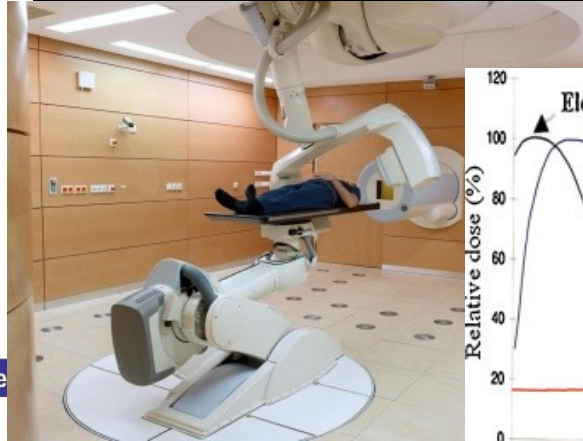
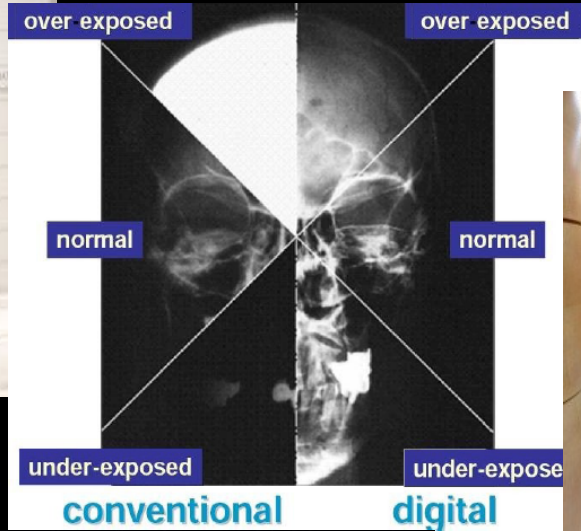
A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?

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



Running jobs: 246791
Transfer rate: 13.98 GiB/sec

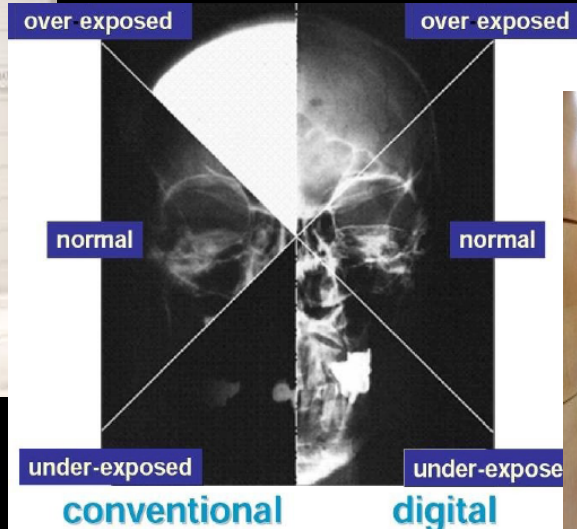


Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
© 2012 Google
US Dept of State Geographer
© 2009 GeoBasis-DE/BKG

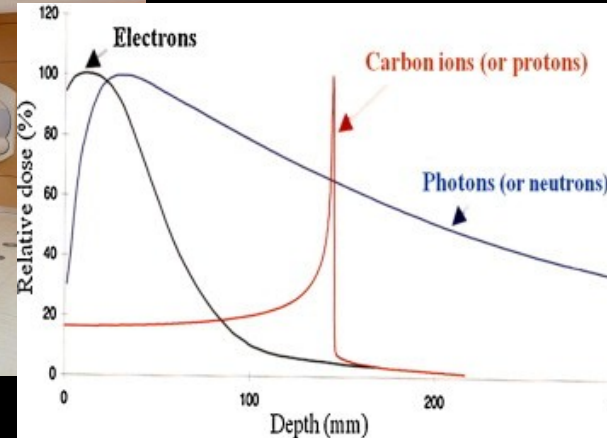
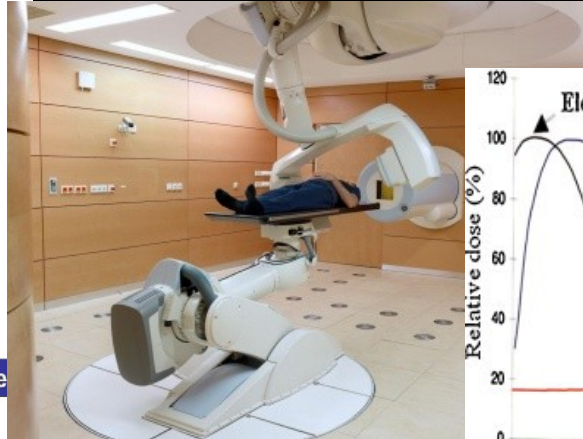


A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?

Avant tout : curiosité humaine

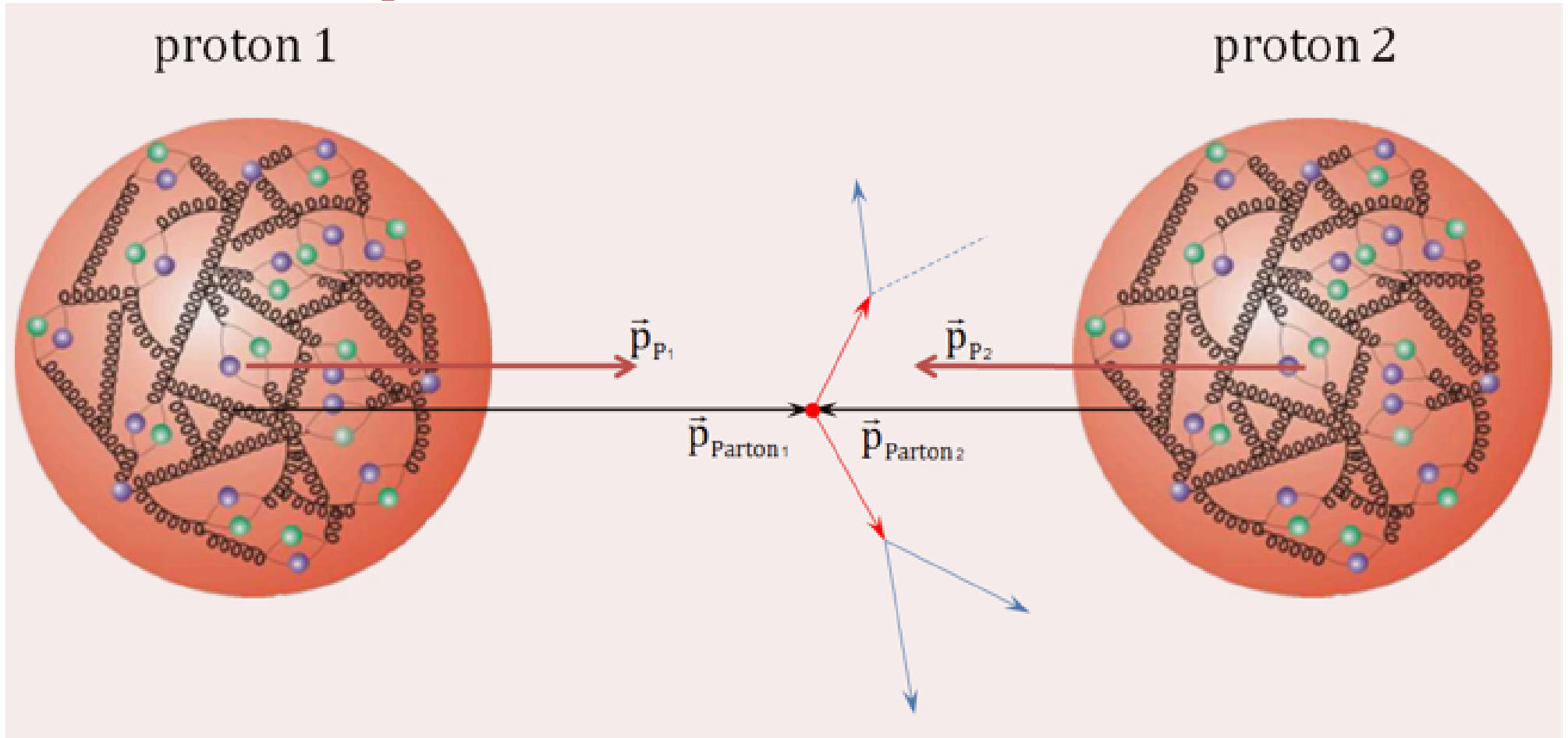


Running jobs: 246791
Transfer rate: 13.98 GiB/sec



► Le Web a été inventé au CERN !

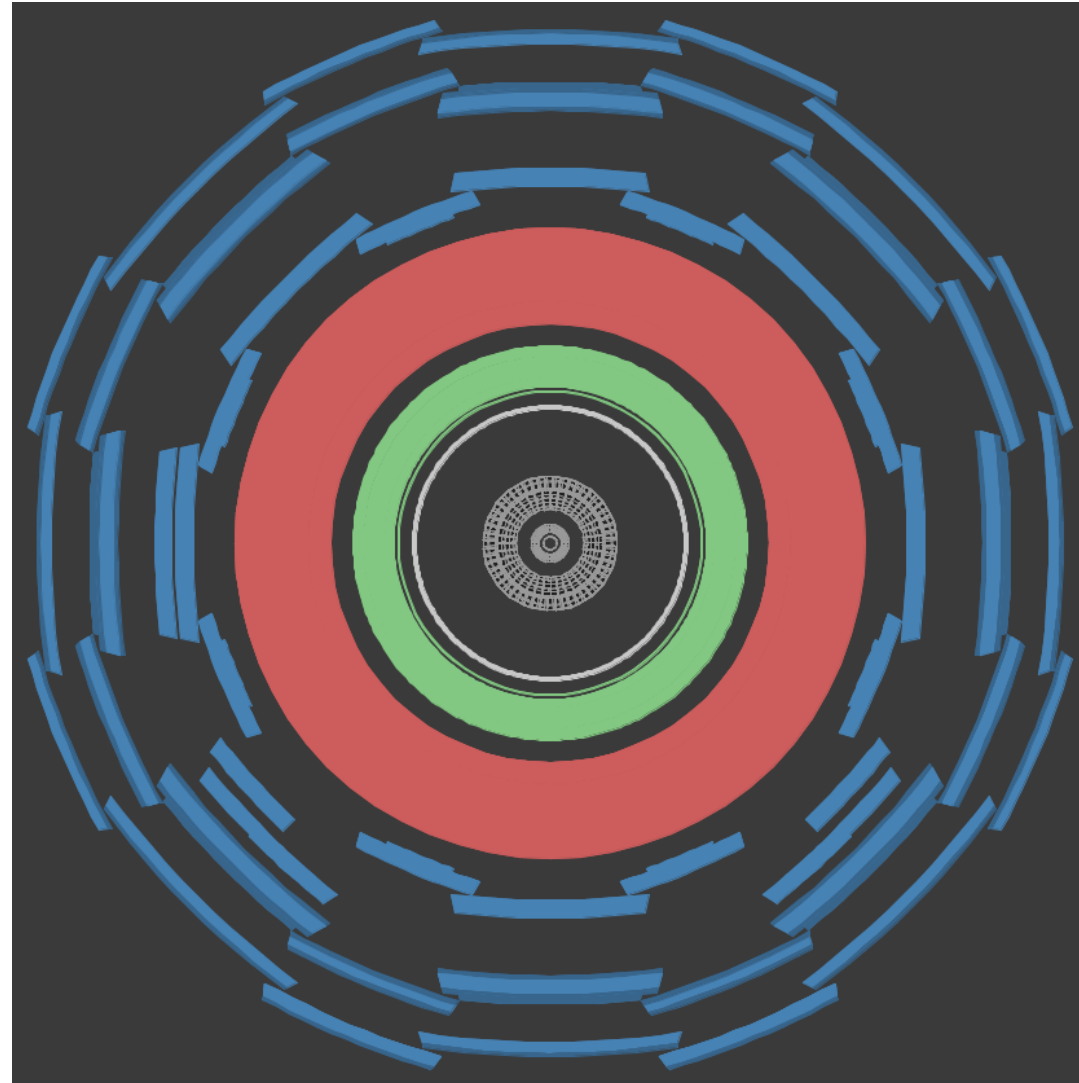
Deux protons se rencontrent...



- 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

