

[WWW.PHYSICSMASTERCLASSES.ORG](http://WWW.PHYSICSMASTERCLASSES.ORG)

# **INTERNATIONAL MASTERCLASSES**

**HANDS**

**ON PARTICLE**

**PHYSICS**

# Programme : matin

09:00 - 12:45

Introduction à la physique des particules

Location: CPPM ( Amphithéâtre )

09:00 **Bienvenue** 30'

*Déroulement de la journée.  
Le CPPM.  
La physique des particules.  
Le CERN & le LHC.*

09:30 **Les objets de la Physiques de Particules** 1h0'

*Qu'est qu'une particule élémentaire ?  
Le Modèle Standard : la description actuelle des particules élémentaires et de leurs interactions*

10:30 **Pause café** 15'

10:45 **Détection de particules dans l'expérience ATLAS** 1h0'

*Techniques de détection des particules.  
Le détecteur de l'expérience ATLAS.*

11:45 **La quête du boson de Higgs** 45'

*Focus sur la découverte du boson de Higgs au LHC*

12:30 - 13:30

Déjeuner ( Université ( CROUS ) )

# Programme : après-midi (1/2)

- 12:30 - 13:30 Déjeuner ( Université ( CROUS ) )
- 13:30 - 15:30 Travaux dirigés  
Location: Université
- 13:30 **Analyse de données 1h30'**  
*Travaux dirigés sur ordinateurs (en binôme).  
Analyse de données recueillies par l'expérience ATLAS.  
Différents types de mesures selon le jour.*
- 15:00 **Combinaison des résultats et discussion 20'**  
*Mise en commun des résultats trouvés par chaque binôme.  
Interprétation.*
- 15:20 **Préparation de la vidéo conférence 10'**  
*Collectivement, préparer en anglais :*  
*- la présentation des résultats de la classe,*  
*- des questions ouvertes sur la physique des particules, sur la recherche, ...*  
  
*Besoin de volontaires pour prendre la parole pendant la vidéo conférence !*
- 15:30 - 16:00 Café ( Cafétaria )

# Programme : après-midi (2/2)

- 15:30 - 16:00 **Café** ( Cafétaria )
- 16:00 - 17:00 **Vidéo conférence**  
*Connection with 2 to 4 other participating high-schools*
- 16:00 **Welcome 10'**  
*Accueil par les modérateurs au CERN*  
Speaker: CERN
- 16:10 **Report of Measurements 15'**  
*Présentation par chaque classe des résultats obtenus pendant le TP (en anglais)*
- 16:25 **Combinaison & Discussion of Measurement 10'**  
*Combinaison des résultats de chaque classe et commentaires par les modérateurs au CERN*
- 16:35 **Open Discussion 14'**  
*Questions ouvertes sur la physique des particules posées par chaque classe (en anglais)*
- 16:49 **Quiz 10'**  
*Qui veut gagner des eV ?*
- 16:59 **Good Bye 1'**  
*Clôture de la vidéo-conférence*
- 17:00 - 17:15 **Conclusion**
- 17:00 **Questionnaire de satisfaction 5'**
- 17:05 **Conclusion 10'**

# La Masterclass

- ❖ Introduction à la physique des particules
- ❖ Sensibilisation aux métiers de la recherche
- ❖ Pour et avec vous
  - posez des questions !

# En préambule :

- ❖ Le CPPM
- ❖ La physique des particules
- ❖ Le CERN
- ❖ Le LHC

# Le CPPM



# Le Centre de Physique des Particules de Marseille

## Les tutelles :

- le CNRS/IN2P3  
Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules

- Aix-Marseille Université



## Le personnel : ~ 160 personnes

- ~25 chercheurs + ~10 enseignants chercheurs
- ~70 ITA (ingénieurs, techniciens, administratifs)
- 50 non permanents (visiteurs, doctorants, stagiaires)

Les laboratoires de l'IN2P3 :



# Vocation

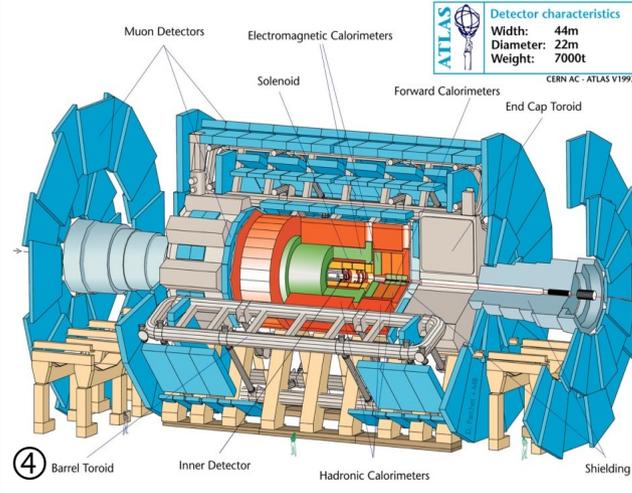
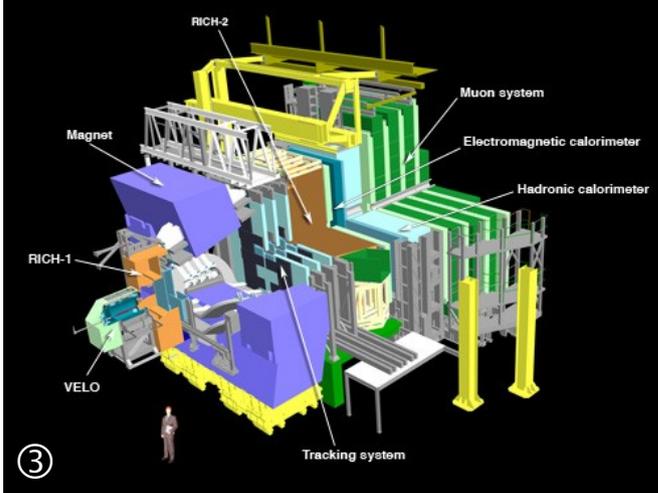
---

## Recherche

- fondamentale
  - **physique des particules**  
étude des constituants élémentaires de la matière et de leurs interactions
  - **astroparticules**  
observation des particules élémentaires dans l'Univers
  - **cosmologie observationnelle**  
compréhension de la composition de l'Univers primordial et de son évolution
- expérimentale
  - participation à de grands projets internationaux
  - mise en œuvre de moyens techniques avancés en **électronique**, en **mécanique**, en **informatique** et en **instrumentation**

## Interdisciplinarité & valorisation

- application des techniques développées pour la physique fondamentale à d'autres thématiques



### Auprès d'accélérateurs :

- H1 @ HERA (Hambourg) e-p [300 GeV] ①
- D0 @ Tevatron (Chicago) p-p̄ [2 TeV] ②
- ATLAS & LHCb @ LHC (Genève) p-p [8 TeV] ③,④

### En profondeur :

- sous les montagnes : SuperNemo (Modane) ⑤
- fond marin : Antares, MEUST, KM3 (Toulon) ⑥

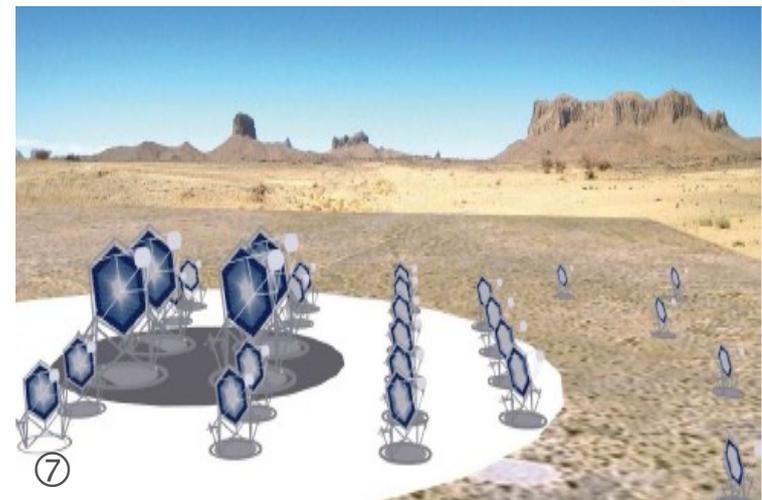
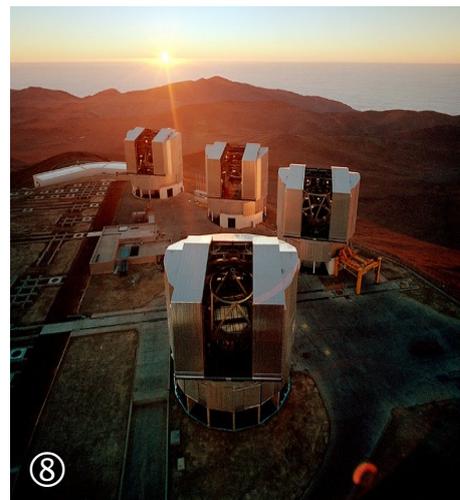
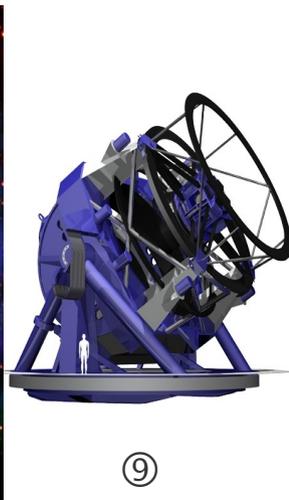
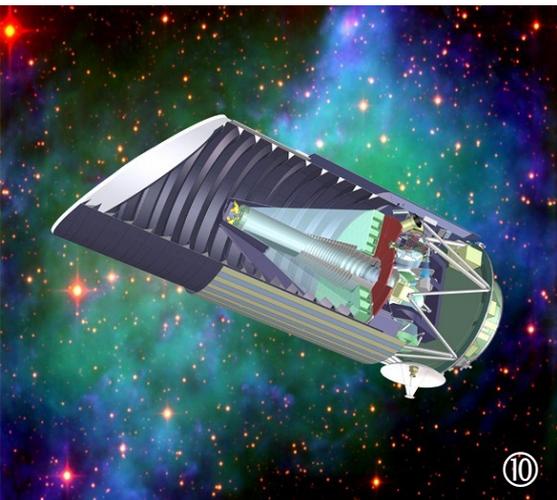
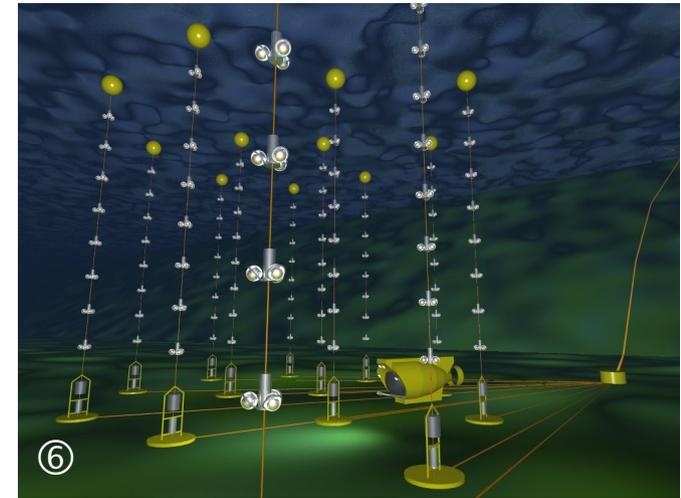
### Face au ciel :

- dans le désert : CTA (Namibie) ⑦
- au sommet des montagnes : SNLS ⑧, SNFactory, BOSS, LLST ⑨
- dans l'espace : EUCLID ⑩

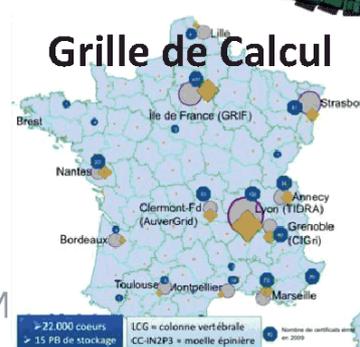
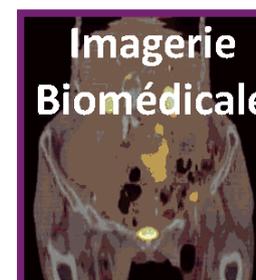
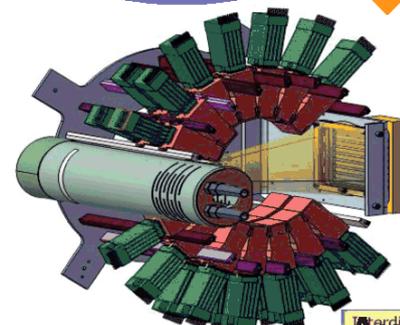
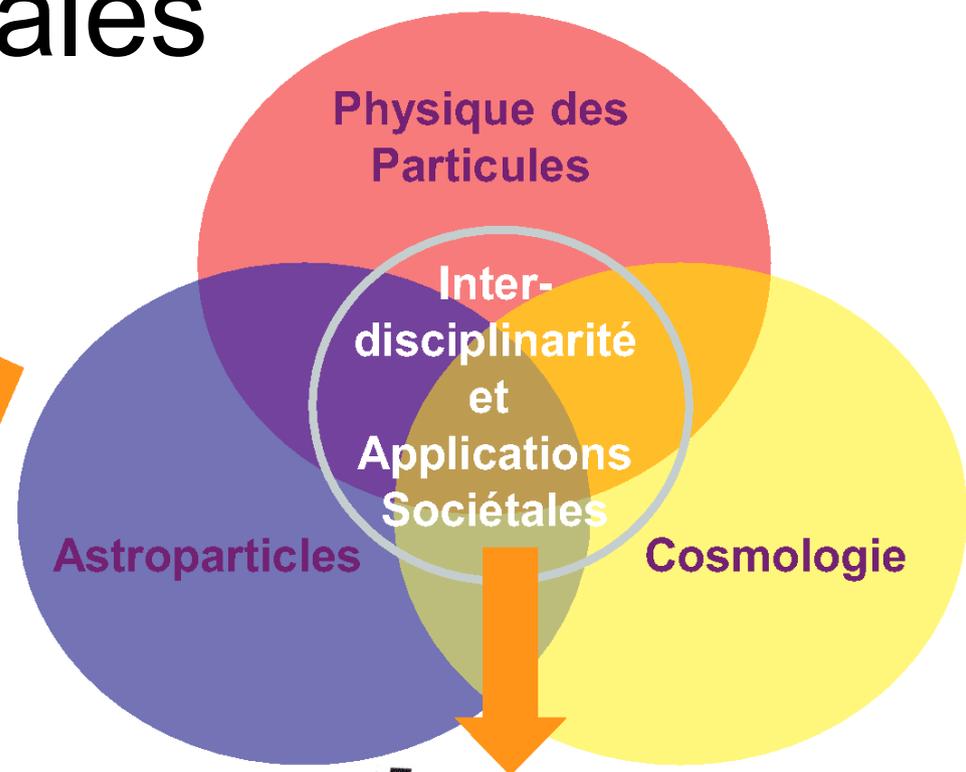
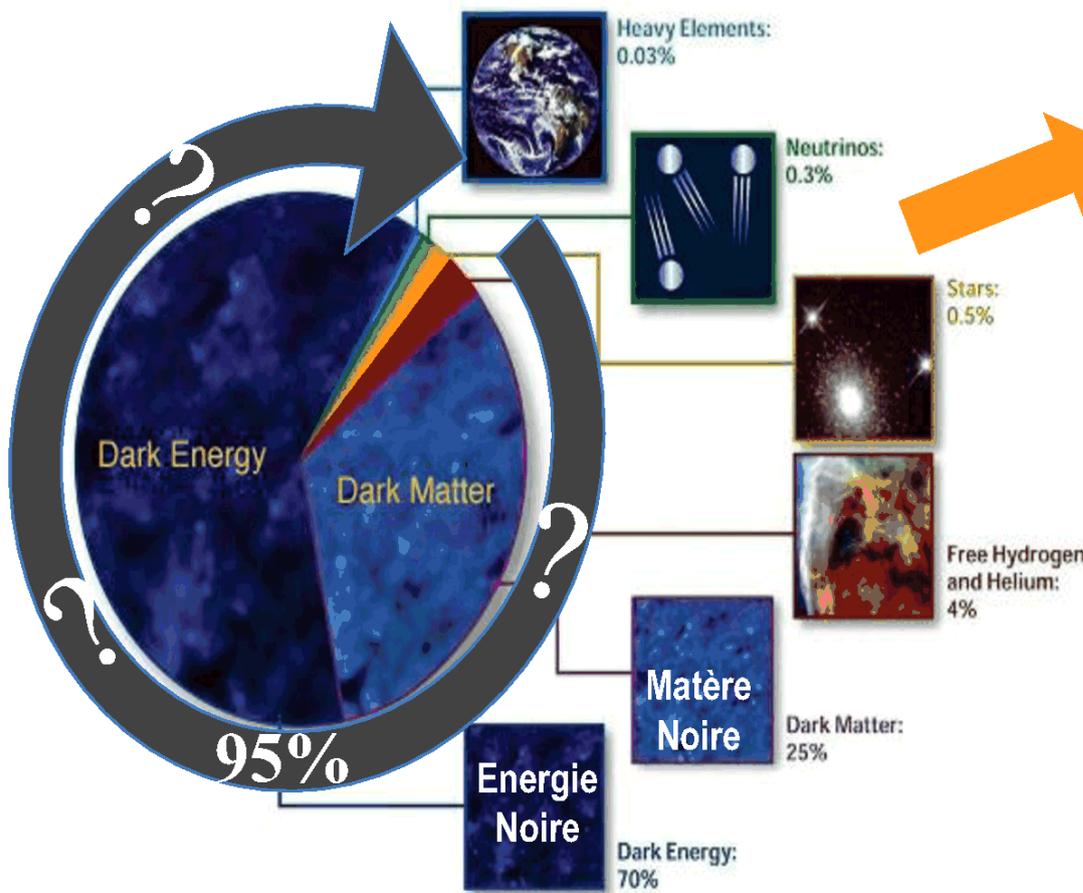
Etude des constituants élémentaires  
Recherche de nouvelle physique

Astronomie  
Approche multi-messagers

Caractérisation de l'énergie noire  
Approche multi-sondes



# Interdisciplinaire et applications sociétales



EAOM

# Vocation

---

## Recherche

- fondamentale
  - **physique des particules**  
étude des constituants élémentaires de la matière et de leurs interactions
  - **astroparticules**  
observation des particules élémentaires dans l'Univers
  - **cosmologie observationnelle**  
compréhension de la composition de l'Univers primordial et de son évolution
- expérimentale
  - participation à de grands projets internationaux
  - mise en œuvre de moyens techniques avancés en **électronique**, en **mécanique**, en **informatique** et en **instrumentation**

## Interdisciplinarité & valorisation

- application des techniques développées pour la physique fondamentale à d'autres thématiques

# La physique des particules

*Voyage au coeur de la matière...*



# La physique des particules

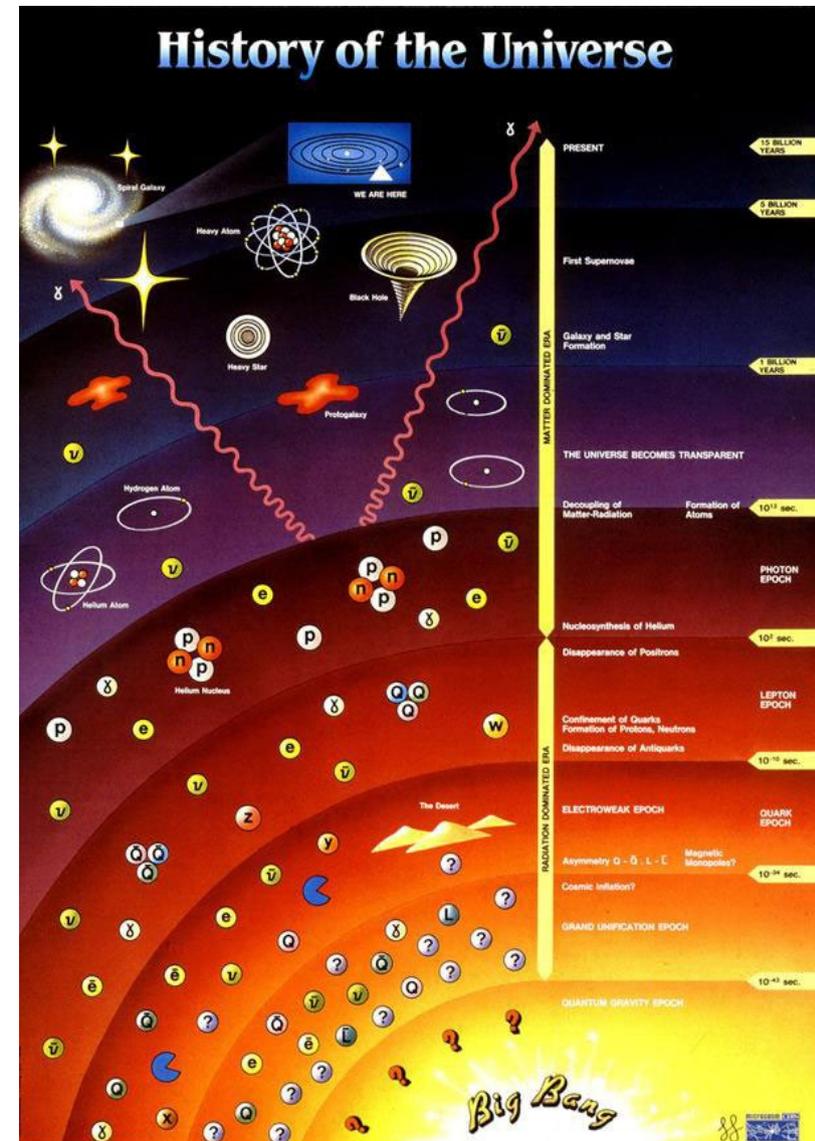
Étude des **constituants élémentaires** de la matière et de leurs **interactions**

- constituants *élémentaires* : « particules » sans structure interne
- *interactions* : les forces qui s'exercent entre ces composants élémentaires

Présentes dans l'univers primordiale, dense et chaud

Dans l'univers « froid » d'aujourd'hui, la plupart de ces particules ont maintenant disparu

- créées artificiellement dans des accélérateurs (collisionneurs) de particules qui reproduisent les conditions existantes aux premiers instants de l'univers
  - plus on accélère les particules, plus on met d'énergie en jeu, plus on remonte dans le temps



# Le grand zoom de l'Univers

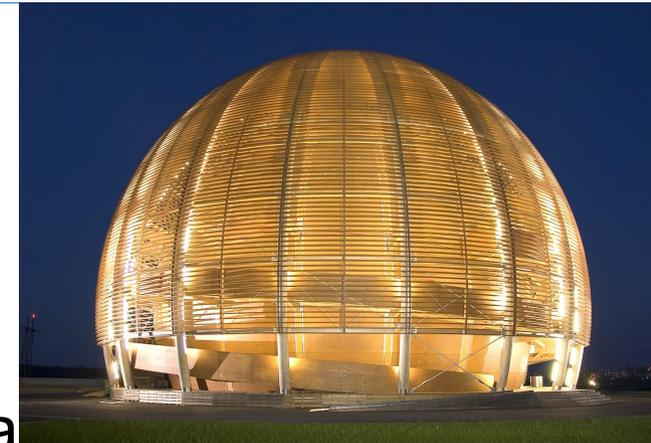
---



# Le CERN



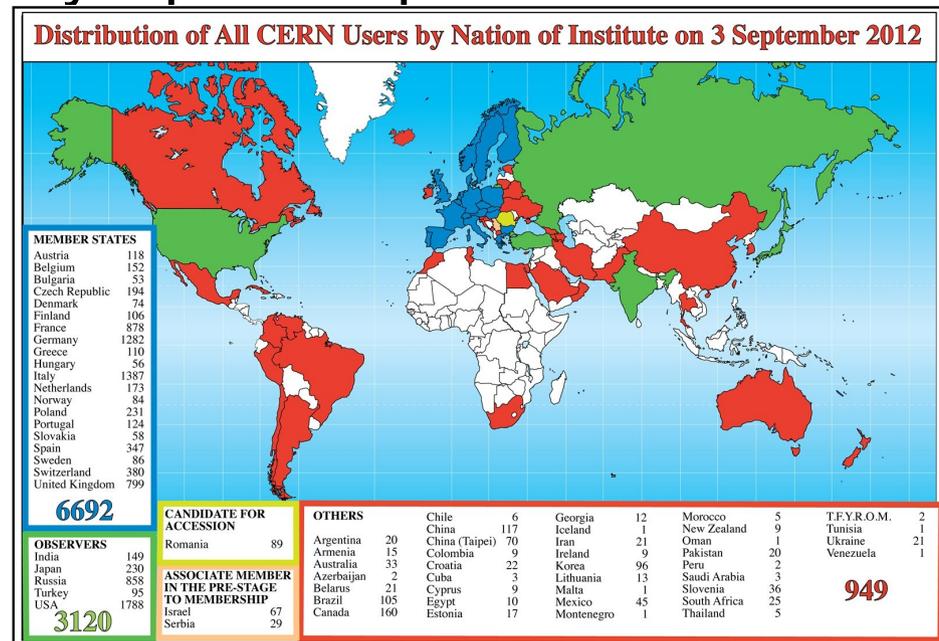
# Le CERN en quelques chiffres



*European Organization for Nuclear Research*

Le laboratoire européen pour la physique des particules

- organisation internationale
- créé en 1954
- 21 état membres
- emploie ~2500
  - 500 instituts
  - 80 pays
- ~10000 utilisateurs



- Formidable lieu de collaboration internationale ... et d'incubation pour les technologies de l'information

# A quoi sert la recherche fondamentale du CERN ?

---

- ❖ Raison d'être : curiosité humaine  
pour comprendre le monde qui nous  
entoure

# A quoi sert la recherche fondamentale du CERN ?

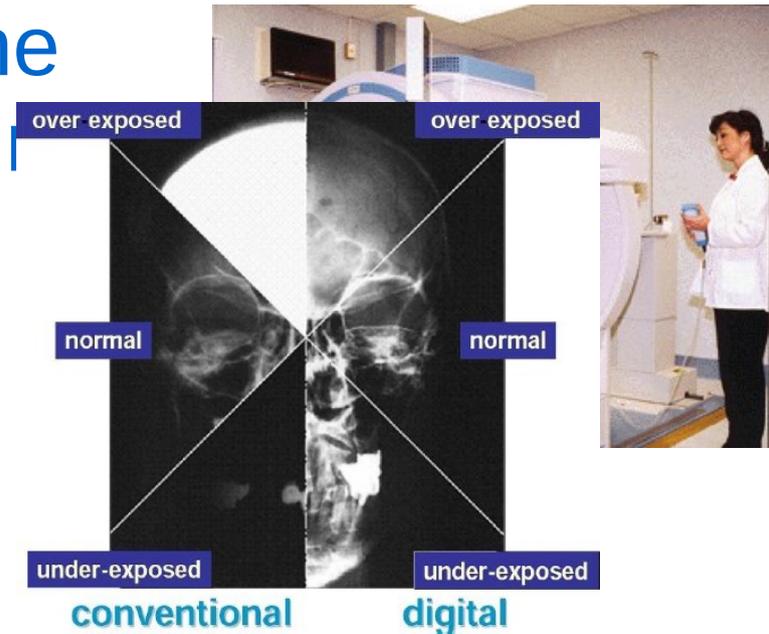
- ❖ Raison d'être : curiosité humaine pour comprendre le monde qui nous entoure
- ❖ Applications :
  - Concepts théoriques comme l'antimatière utilisés dans les scanners TEP
  - Technologie des détecteurs utilisée en médecine
  - Faisceaux utilisés en hadronthérapie



# A quoi sert la recherche fondamentale du CERN ?

- ❖ Raison d'être : curiosité humaine pour comprendre le monde qui nous entoure
- ❖ Applications :

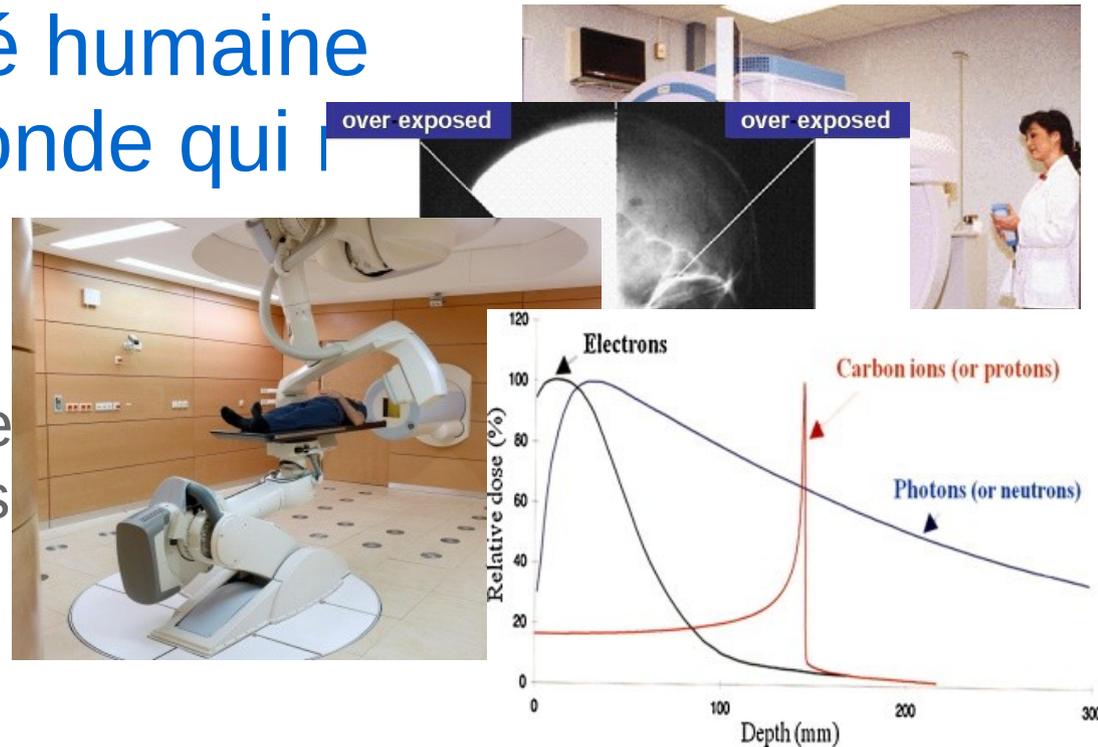
- Concepts théoriques comme l'antimatière utilisés dans les scanners TEP
- Technologie des détecteurs utilisée en médecine
- Faisceaux utilisés en hadronthérapie



# A quoi sert la recherche fondamentale du CERN ?

- ❖ Raison d'être : curiosité humaine pour comprendre le monde qui nous entoure
- ❖ Applications :

- Concepts théoriques comme l'antimatière utilisés dans les scanners TEP
- Technologie des détecteurs utilisée en médecine
- Faisceaux utilisés en hadronthérapie



# A quoi sert la recherche fondamentale du CERN ?

- ❖ Raison d'être : curiosité humaine pour comprendre le monde qui nous entoure
- ❖ Applications :

- Concepts théoriques comme l'antimatière utilisés dans les scanners TEP
- Technologie des détecteurs utilisée en médecine
- Faisceaux utilisés en hadronthérapie

- ❖ Plus inattendu :

- Grille de calcul
- Isolation des panneaux solaires de l'aéroport de Genève



# A quoi sert la recherche fondamentale du CERN ?

- ❖ Raison d'être : curiosité humaine pour comprendre le monde qui nous entoure
- ❖ Applications :

→ Concepts théoriques comme l'antimatière utilisés dans les scanners TEP

→ Technologie des détecteurs utilisée en médecine

→ Faisceaux utilisés en hadronthérapie

- ❖ Plus inattendu :

→ Grille de calcul

→ Isolation des panneaux solaires de l'aéroport de Genève



# A quoi sert la recherche fondamentale du CERN ?

- ❖ Raison d'être : curiosité humaine pour comprendre le monde qui nous entoure
- ❖ Applications :

- Concepts théoriques comme l'antimatière utilisés dans les scanners TEP
- Technologie des détecteurs utilisée en médecine
- Faisceaux utilisés en hadronthérapie

- ❖ Plus inattendu :

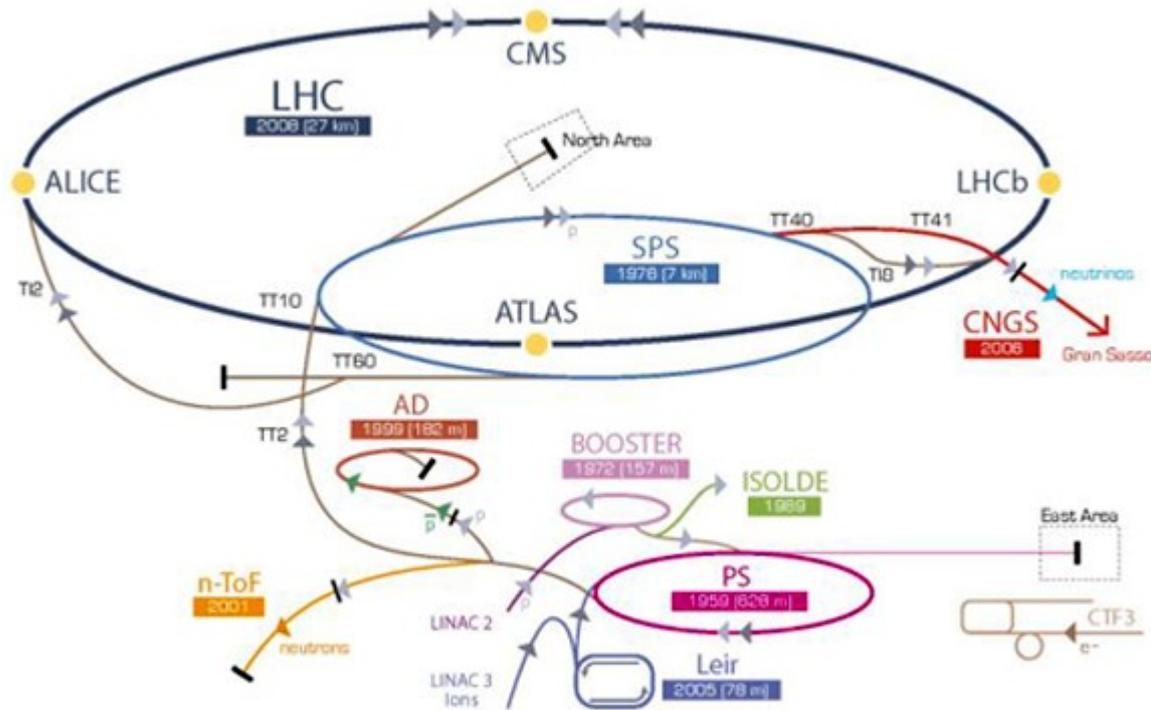
- Grille de calcul
- Isolation des panneaux solaires de l'aéroport de Genève

► **Le Web a été inventé au CERN !**



# Le CERN : les accélérateurs

Complexe des accélérateurs du CERN



▶ 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

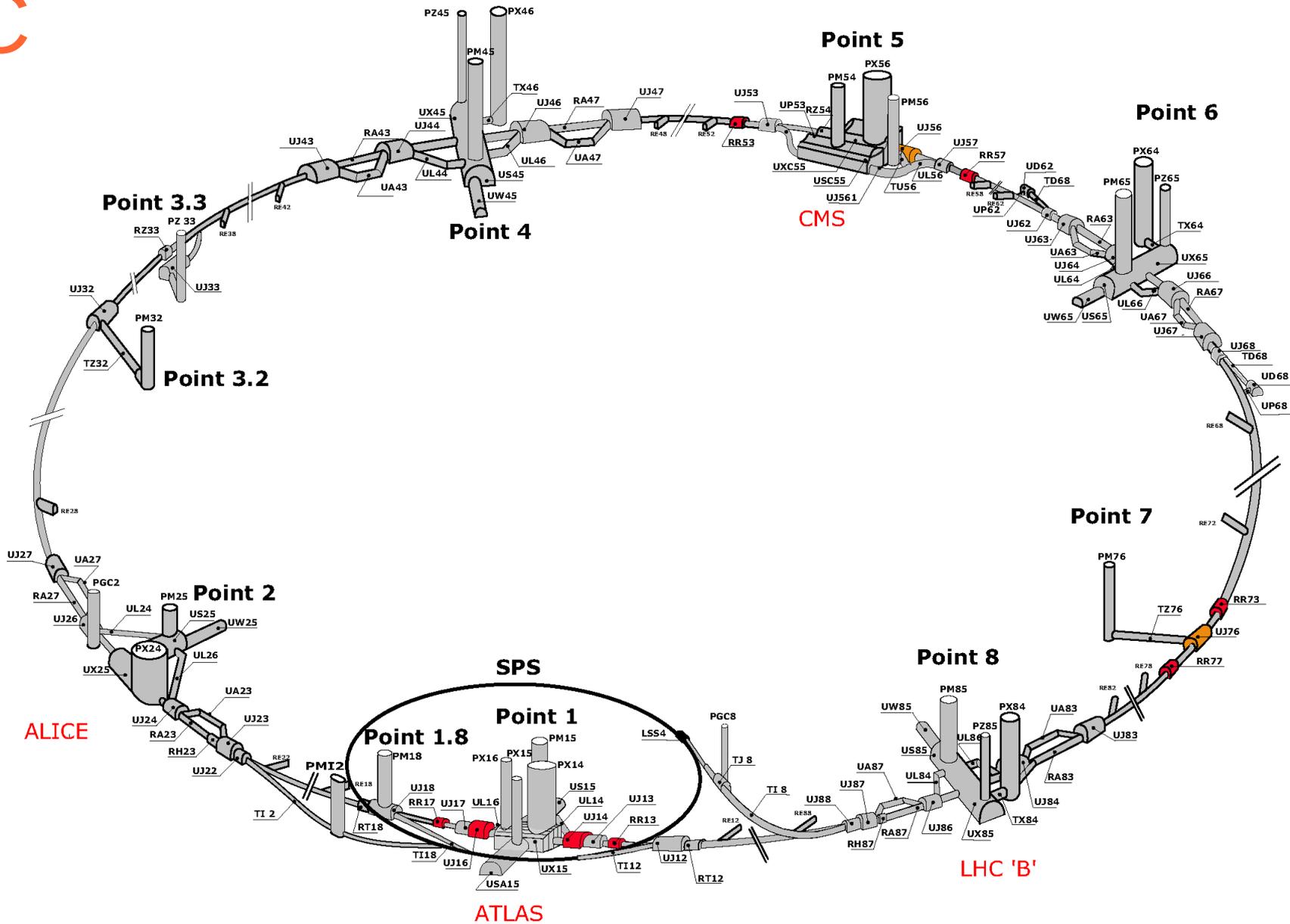


# Bottle to bang

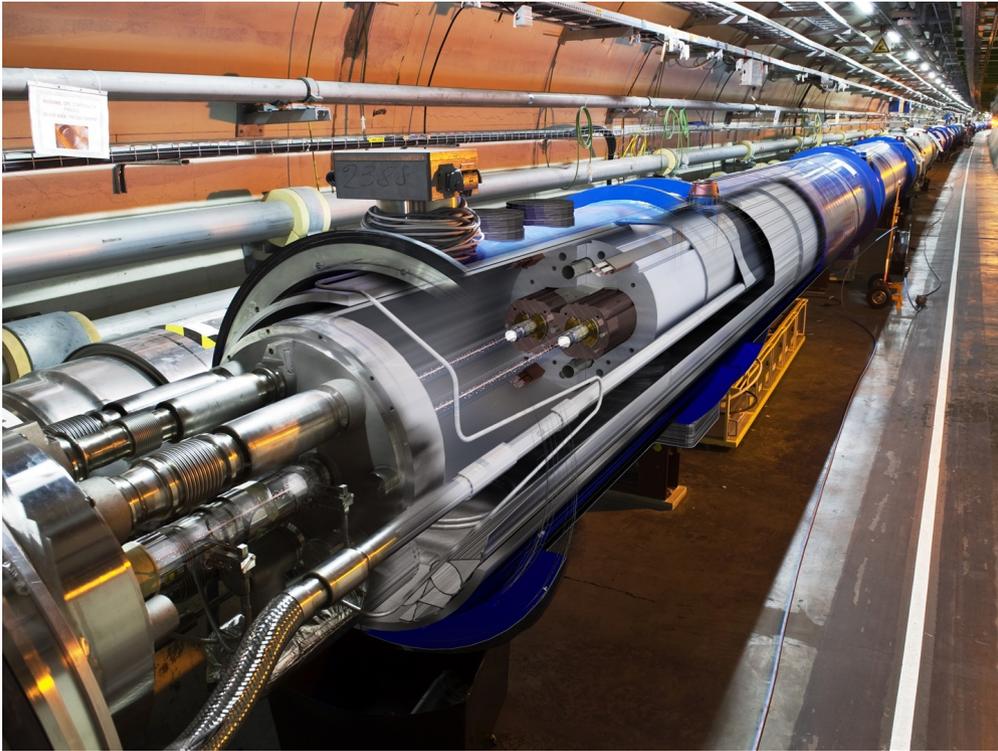
---



# Le LHC



# Le LHC



## Infrastructure

- 27 km de circonférence  
(dont 20 km en France)
- 100 m sous terre

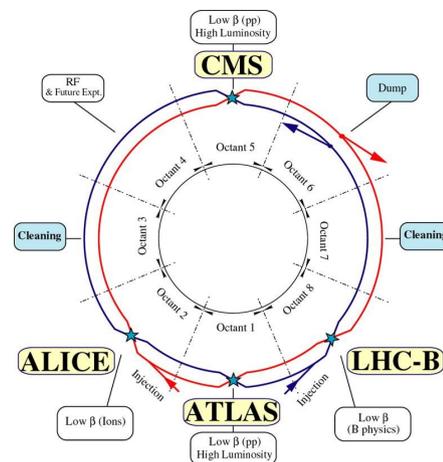
## 2 faisceaux de protons

- très haute intensité
  - 2800 paquets de protons par faisceau
  - cent milliards de protons par paquet
- très haute énergie
  - 7/8 TeV (14 TeV)
  - 350 MJoules / faisceau
  - 99,9999991 % vitesse de la lumière
  - 11245 tours par secondes

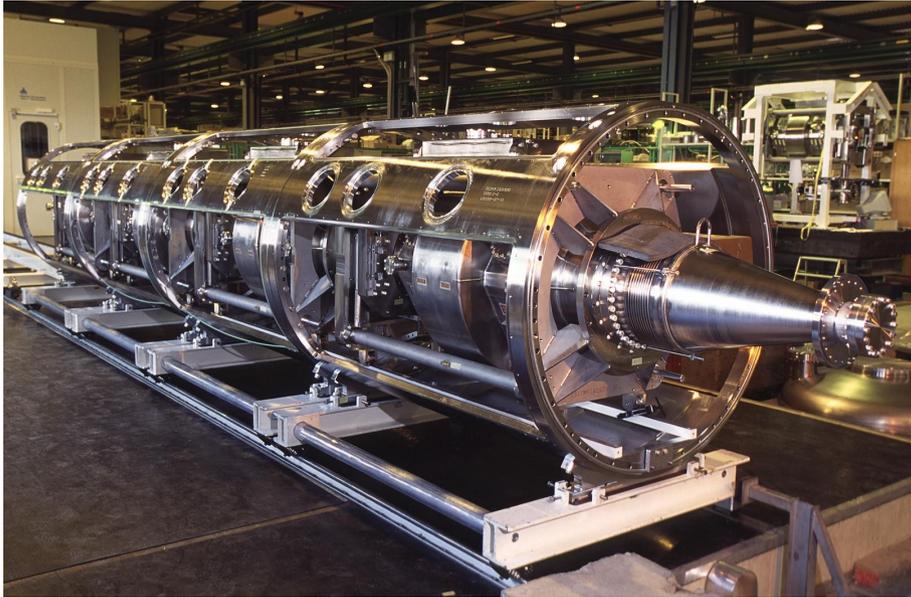
## 4 points de collisions : 4 expériences

ALICE – ATLAS – CMS – LHCb

- à chaque point : 1 croisement de paquets  
toutes les 25 ns (25 10<sup>-9</sup>s)



# Le LHC



@ 1,9K (-271 °C)

- plus froid que l'espace intersidéral (2,7 K)
- 120 tonnes d'hélium liquide

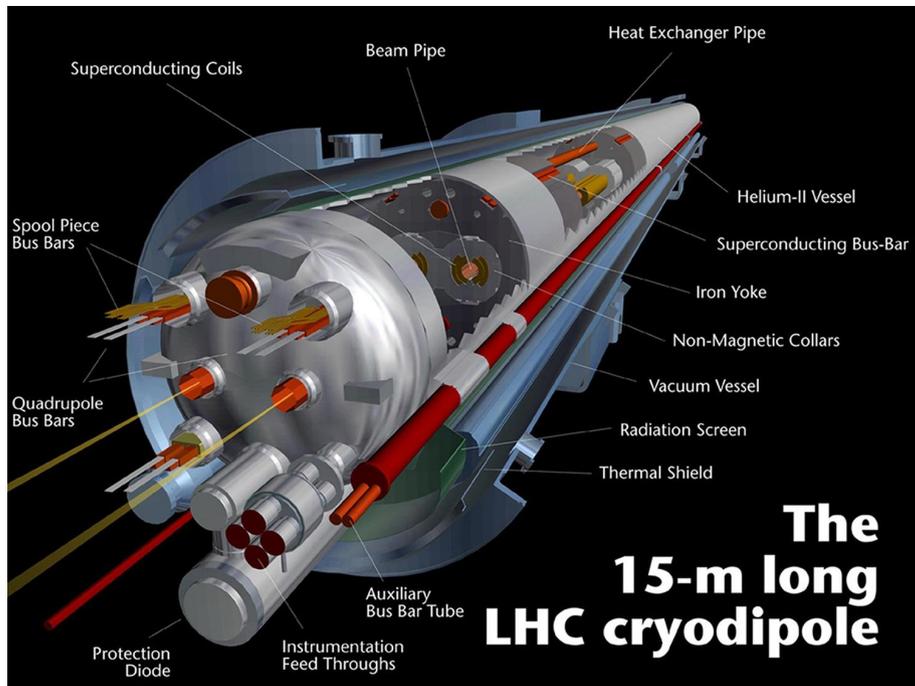
10<sup>-13</sup> atm

- vide 10 fois plus poussé que sur la lune

9532 aimants (1232 dipôles)

- câbles supraconducteurs (bout à bout : 5 fois la distance terre-soleil)
- 1 dipôle : 15 m de long ; 35 tonnes

16 cavités accélératrices



# Le LHC

1984 : 1<sup>ères</sup> idées, début de la R&D

1994 : approbation par le conseil du CERN

2002 : début de l'installation

2008 :

- 10 septembre : **circulation des premiers faisceaux**



# Le LHC

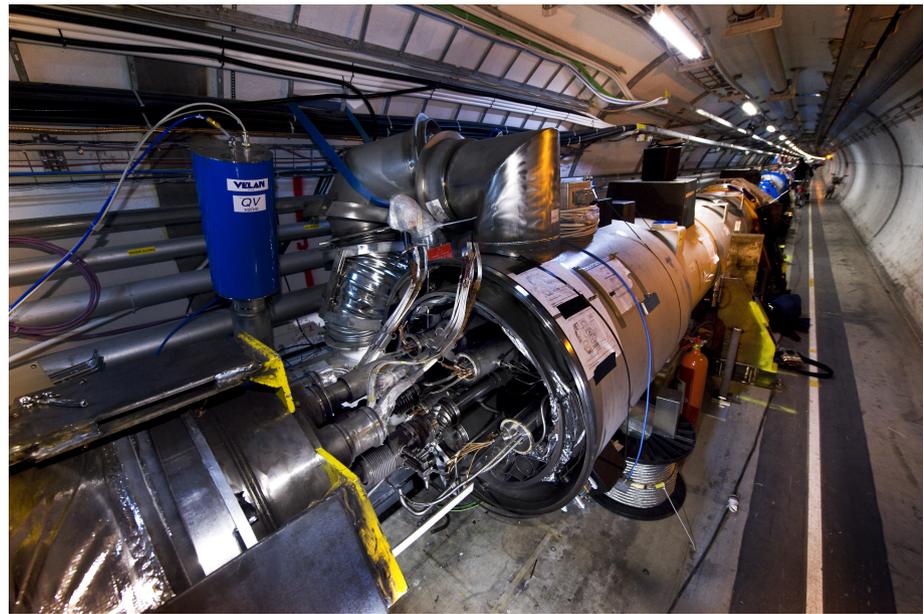
1984 : 1<sup>ères</sup> idées, début de la R&D

1994 : approbation par le conseil du CERN

2002 : début de l'installation

2008 :

- 10 septembre : **circulation des premiers faisceaux**
- 19 septembre : incident majeur !!



# Le LHC

---

1984 : 1<sup>ères</sup> idées, début de la R&D

1994 : approbation par le conseil du CERN

2002 : début de l'installation

2008 :

- 10 septembre : **circulation des premiers faisceaux**
- 19 septembre : incident majeur !!

2009 :

- octobre : **premières collisions de protons dans le LHC**

2010 :

- mars : **premières collisions à très hautes énergies (7 TeV)**

2011-2012 :

- mars à novembre/décembre : **prise de données à haute intensité**

2013-2015 :

- Shutdown : **amélioration de l'accélérateur et des détecteurs**

# Le LHC

---

1984 : 1<sup>ères</sup> idées, début de la R&D

1994 : approbation par le conseil du CERN

2002 : début de l'installation

2008 :

- 10 septembre : **circulation des premiers faisceaux**
- 19 septembre : incident majeur !!

2009 :

- octobre : **premières collisions de protons dans le LHC**

2010 :

- mars : **premières collisions à très hautes énergies (7 TeV)**

2011-2012 :

- mars à novembre/décembre : **prise de données à haute intensité**

2013-2015 :

- Shutdown : **amélioration de l'accélérateur et des détecteurs**

2014 :

- **les masterclasses** analysent les données d'ATLAS !

# Prêts ?

---

09:30 **Les objets de la Physiques de Particules 1h0'**

*Qu'est qu'une particule élémentaire ?*

*Le Modèle Standard : la description actuelle des particules élémentaires et de leurs interactions*

10:30 **Pause café 15'**

10:45 **Détection de particules dans l'expérience ATLAS 1h0'**

*Techniques de détection des particules.*

*Le détecteur de l'expérience ATLAS.*

11:45 **La quête du boson de Higgs 45'**

*Focus sur la découverte du boson de Higgs au LHC*