



Ce diaporama est construit à partir des documents  
que les intervenants nous ont aimablement proposé  
lors de notre stage

⇒ <http://public.web.cern.ch/>

Rubrique :

Education / **Archive of all programmes** / French Teachers Programme 06/2009

ainsi que des sites internet

<http://public.web.cern.ch/>

<http://www.lhc-france.fr/>

<http://www.sciencesalecole.org>

Nathalie BELIN  
Lycée d'Arsonval  
Brive (19)



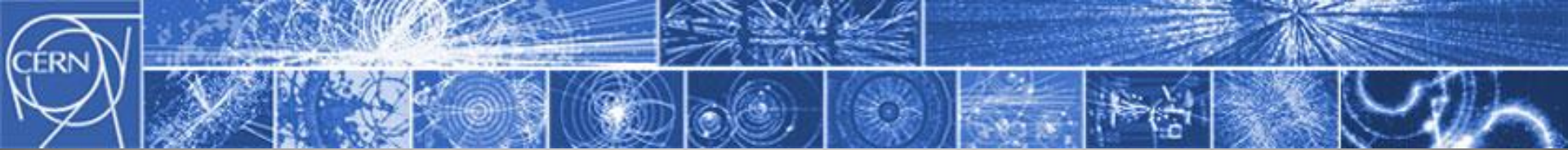
**CERN** European Organization for Nuclear Research

Organisation Européenne pour la recherche nucléaire

**Une semaine au CERN....dans le cadre  
du « French Teachers Programm »**



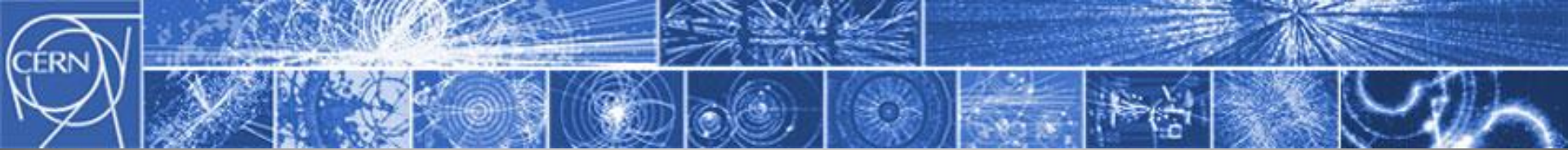
Du 21 au 26 juin 2009



Dimanche 21 juin 2009  
Accueil par Mick Storr

**Découverte  
d'un lieu  
stratégique au  
CERN : le  
restaurant**





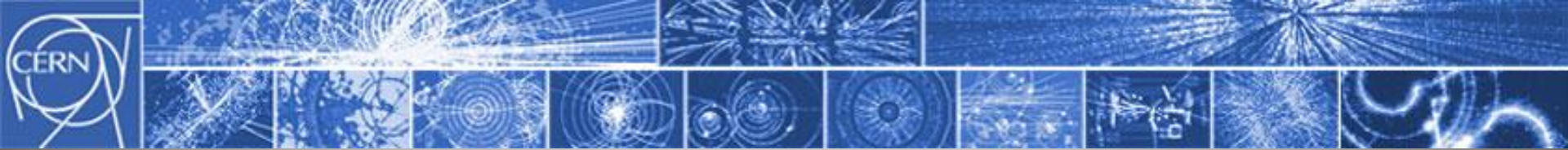
# Présentation du déroulement du stage dans le grand auditorium



Une idée à garder en tête :

...transmettre des connaissances aux élèves dans les domaines :

- de la science en général,
- de la physique,
- de la physique des particules,
- et finalement du CERN.



Lundi 22 juin 2009

## Mot de bienvenue par Robert AYMAR

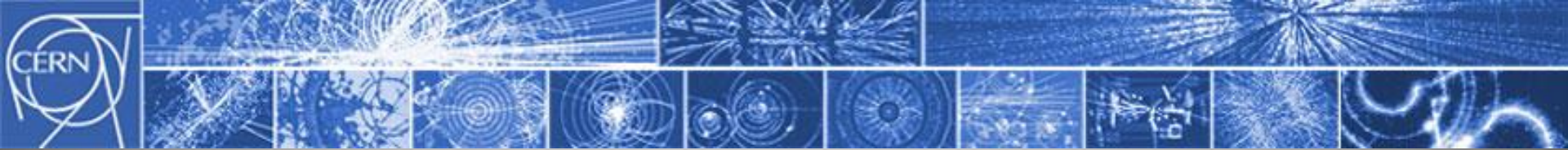


**Directeur général du CERN  
2004/2009**

Le CERN a été créé après la guerre (1953): une grande lucidité pour construire l'Europe...

Notre présence au CERN :

- trop peu de sciences dans l'actualité
- trop peu d'étudiants en sciences (partout sauf en Orient)



Lundi 22 juin 2009 - Introduction au CERN par Stephan PETIT

# la Recherche Fondamentale c'est

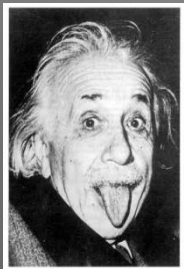


des hommes et des femmes



Argentina	Netherlands
Armenia	Norway
Australia	Poland
Austria	Portugal
Azerbaijan	Romania
Belarus	Russia
Brazil	Serbia
Canada	Slovakia
China	Slovenia
Czech Republic	Spain
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Georgia	Taiwan
Germany	Turkey
Greece	UK
Israel	USA
Italy	CERN
Japan	JINR
Morocco	

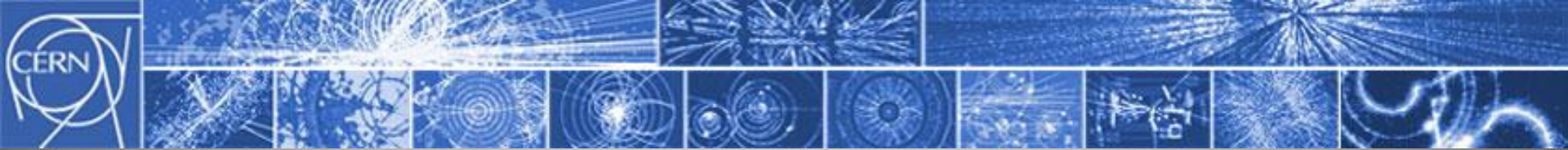
des institutions



des idées



des outils

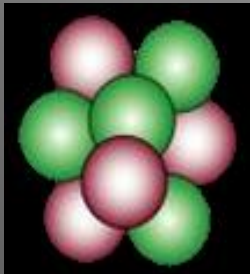


Lundi 22 juin 2009 Introduction au CERN par Stephan PETIT

# des questions fondamentales



Naissance et vie de l'univers ?

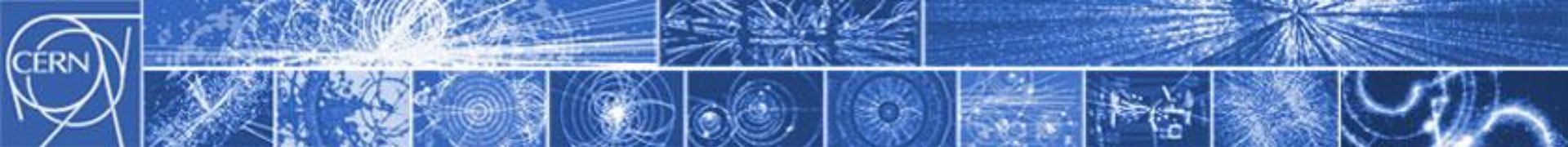


Composition de la matière ? Particules ?

L'univers est composé de **96%** de **matière inconnue...**



Phénomènes ? Forces ?



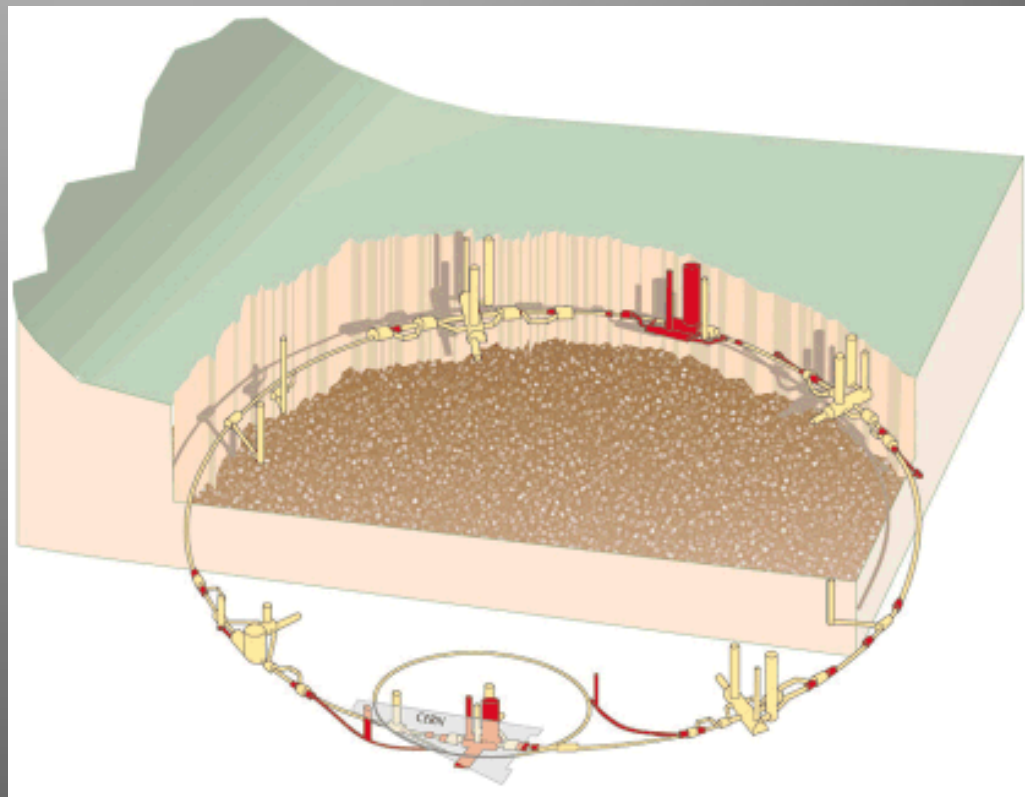
Lundi 22 juin 2009 Introduction au CERN par Stephan PETIT

## Les outils...

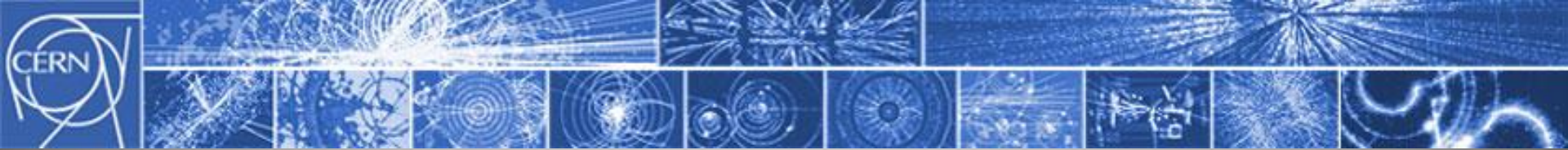
**1. Les accélérateurs** : accélèrent des particules jusqu'à de très hautes énergies pour ensuite provoquer des collisions  
(usines à mini big-bangs)

**2. Les détecteurs** : des instruments gigantesques qui enregistrent les particules issues des collisions

**3. L'informatique** : pour collecter, stocker, répartir et analyser les énormes quantités de données produites par les détecteurs





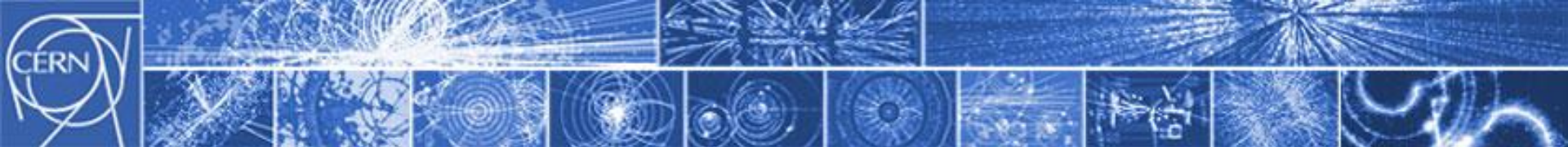


Lundi 22 juin 2009 Introduction au CERN par Stephan PETIT

# Le LHC dans son tunnel

100 m sous terre, 27 km de circonférence



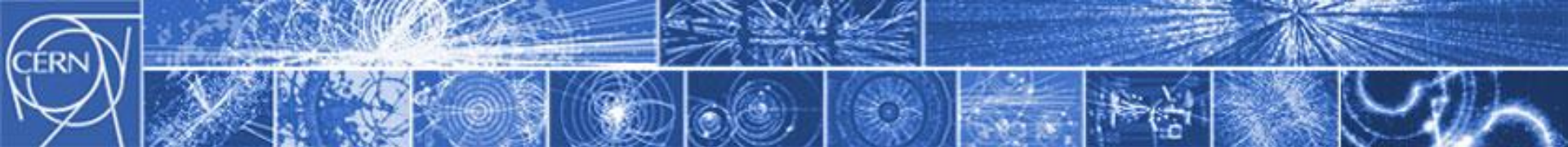


Lundi 22 et Mardi 23 juin 2009

Introduction à la cosmologie par Julien LESGOURGUES

# Qu'est-ce que la Cosmologie?

- Astrophysique  $\Rightarrow$  description détaillée des « petites » structures
- Cosmologie  $\Rightarrow$  Univers dans son ensemble
  - Est-il statique? En expansion ?
  - Est-il plat, ouvert ou fermé ?
  - De quoi est-il composé ?
  - Quel est son passé et son avenir ?



Lundi 22 et Mardi 23 juin 2009

Introduction à la cosmologie par Julien LESGOURGUES

□ **Partie I : l'Univers en expansion**

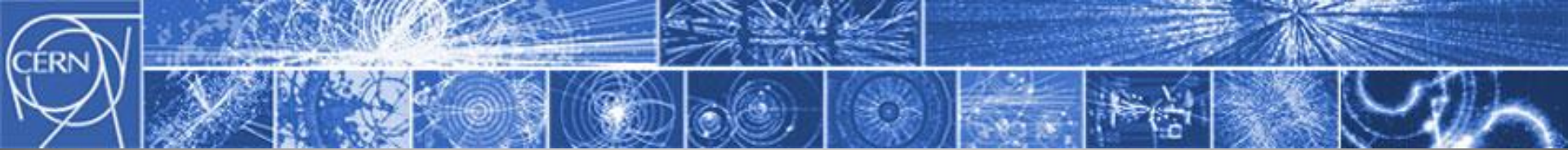
- La loi de Hubble
- Gravité Newtonienne
- Relativité Générale
- Le modèle de Friedmann-Lemaître

Géométrie et  
abstraction ...

□ **Partie II : le modèle cosmologique standard**

- Scénario de Big Bang chaud
- Perturbations cosmologiques
- Paramètres cosmologiques
- Inflation & Quintessence

Prédictions  
concrètes,  
résultats,  
observations !!



Lundi 22 et Mardi 23 juin 2009

Introduction à la cosmologie par Julien LESGOURGUES

## ■ grandes énigmes :

- Pourquoi l'univers est-il si homogène, si plat, comment se sont formées les premières fluctuations?

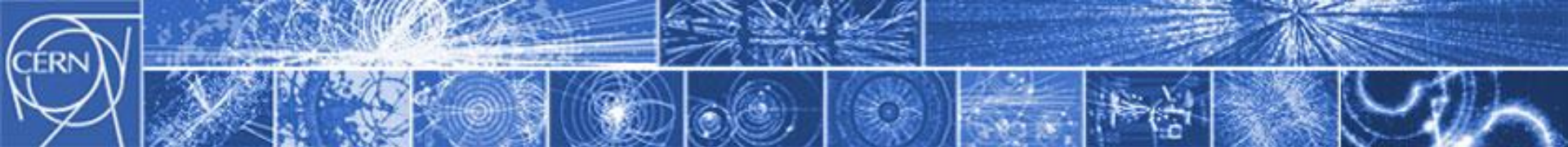
**RESOLU** par la théorie de l'inflation, rôle de Planck

- Pourquoi la constante cosmologique n'est-elle ni énorme, ni zéro?

**NON RESOLU**, différents modèles d'énergie noire (nature inconnue) ou de gravité modifiée, rôle du LHC et de l'astrophysique

- Quelle est la nature de la matière noire?

**NON RESOLU**, plusieurs pistes, rôle de la détection directe (LHC, expériences souterraines...) et de Planck

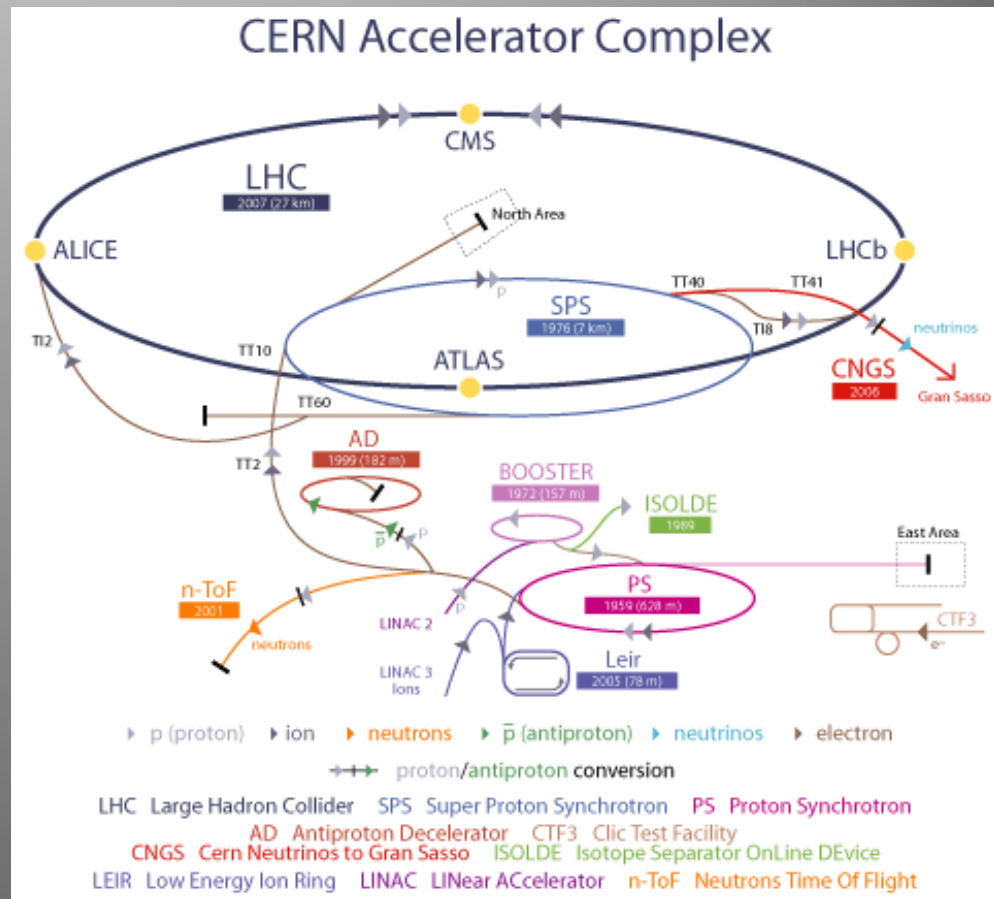


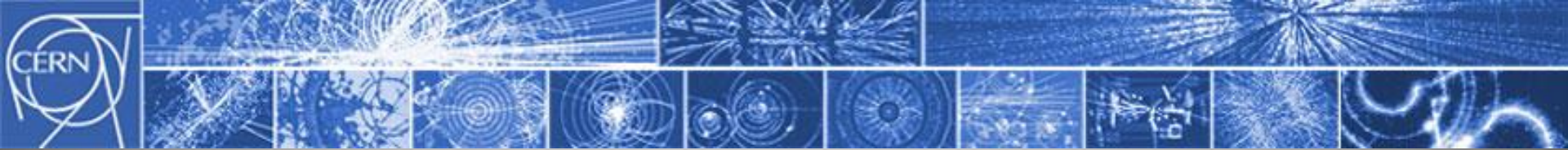
Lundi 22 juin 2009

Visite du PS par Mario CAMPANELLI

Le complexe accélérateur du CERN est une succession d'accélérateurs qui permettent d'augmenter progressivement l'énergie des particules.

PS: premier accélérateur de protons du CERN (1954) (circonférence 628 m)

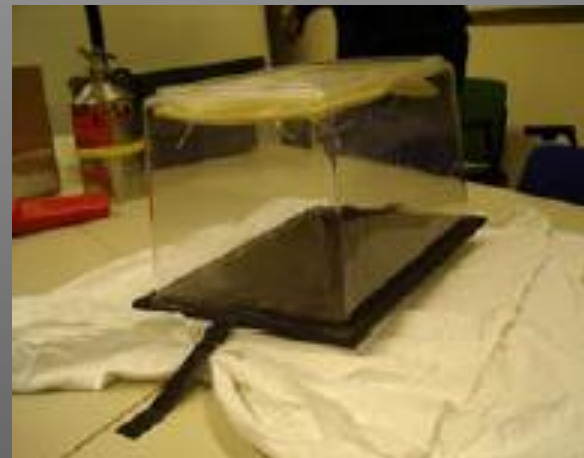
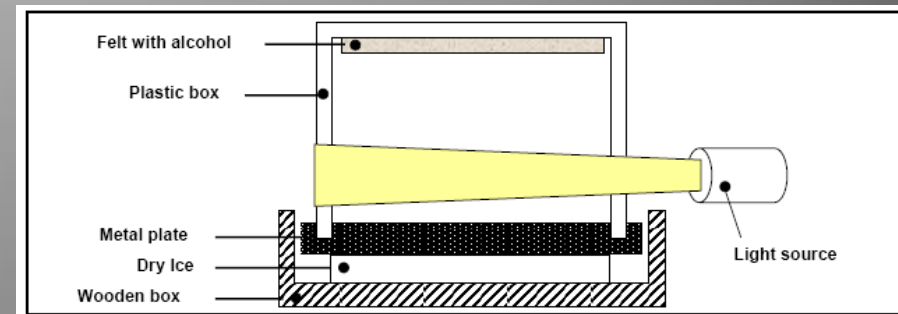
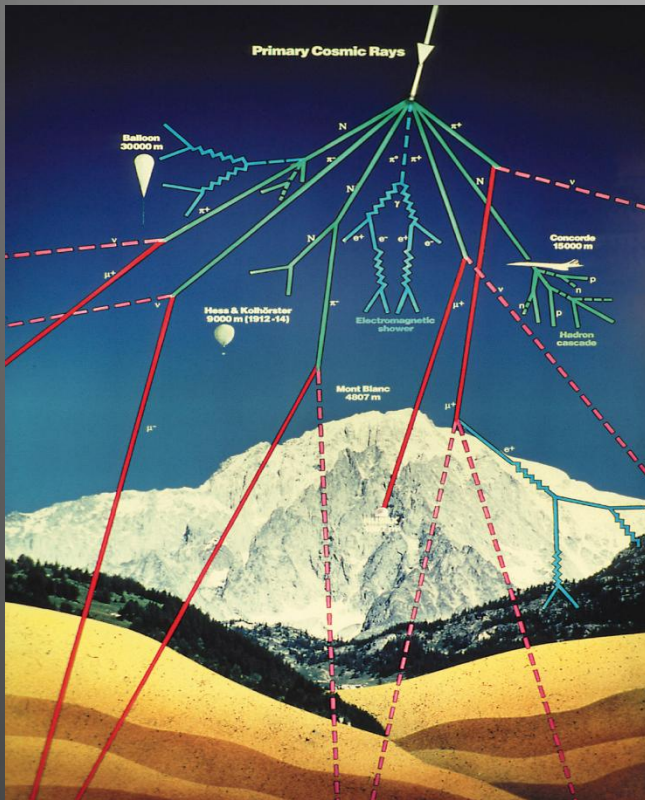


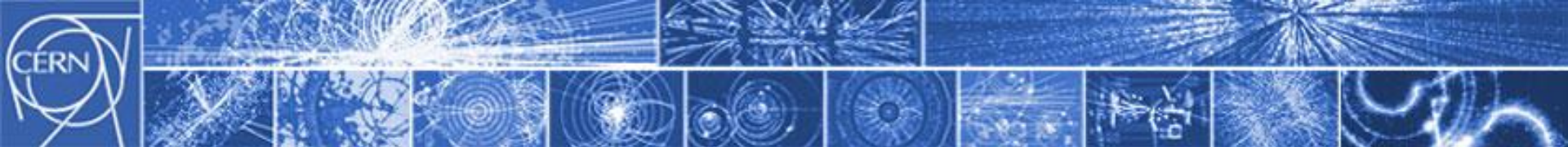


Lundi 22 juin 2009

## Fabrication d'une chambre à brouillard par Mick Storr

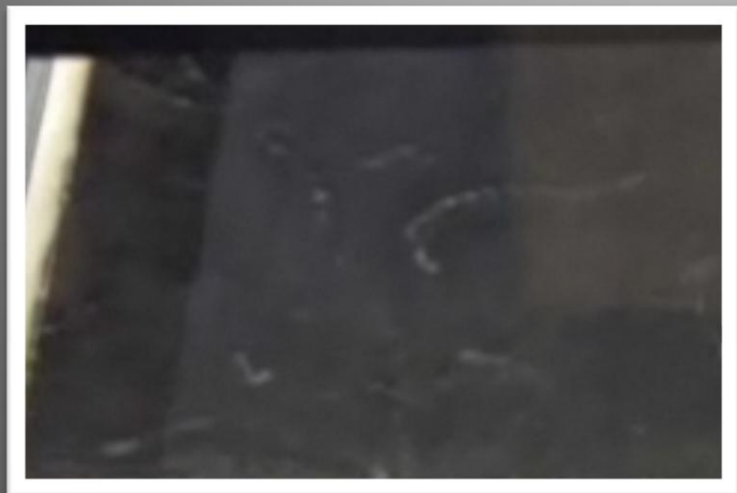
La chambre à brouillard est le premier appareil imaginé par les physiciens pour mettre en évidence les rayons cosmiques.





Lundi 22 juin 2009

## Fabrication d'une chambre à brouillard par Mick Storr



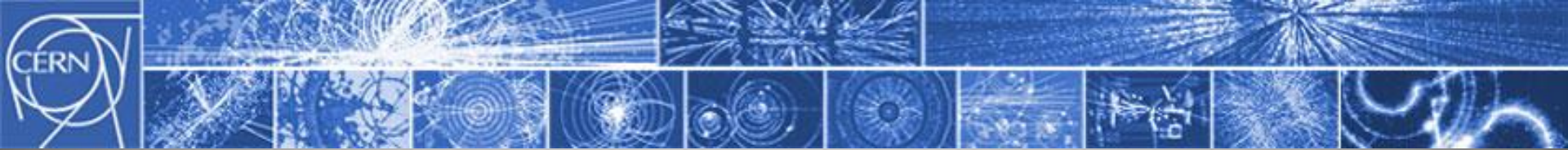
Ainsi les traces que nous voyons sont formées de gouttelettes d'alcool formées le long des chemins des particules ionisées passant à travers la chambre.

*D'où viennent ces particules ?*

Les traces viennent de toutes les directions.

Les rayons cosmiques secondaires venant de l'atmosphère sont la principale source des particules détectées, mais, en principe, on peut aussi détecter les traces de particules venant d'éléments radioactifs contenus dans le sous-sol.

Les rayons cosmiques sont essentiellement des protons, électrons, muons, etc.



Lundi 22 juin 2009

## Visite de l'exposition Microcosm

Comment les accélérateurs  
recréent-ils les conditions des  
début de l'univers ?



Pourquoi faut-il d'immenses  
détecteurs pour étudier les plus  
minuscules composants de la  
matière ?

Et comment des milliers de  
scientifiques collaborent à travers  
le monde pour démasquer de  
nouvelles particules ?



Expérience de Rutherford





Mardi 23 juin 2009

## Introduction aux détecteurs par Sandro PALESTINI

### Détection:

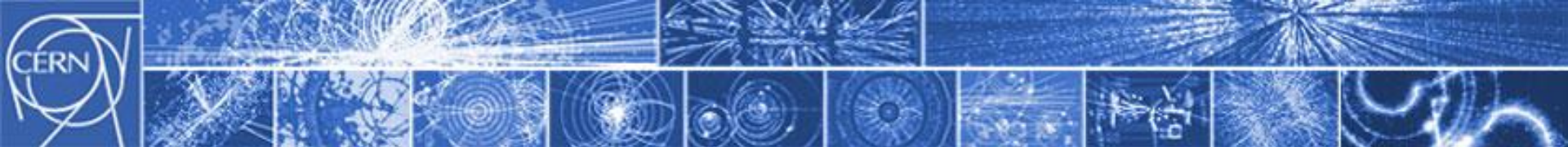
- Interactions de particules avec charge électrique
- Brouillard et bulles
- Chambres à fils
- Semi-conducteurs
- Scintillation
- Interactions de photons, électrons, neutrons, hadrons ...

### Mesure

- Spectromètres magnétique
- Calorimètres
- Détecteurs de vertex
- Systèmes complexes à couches successives

### Le détecteur ATLAS

- Conception
- Aimants
- Détecteur intérieur
- Calorimètres
- Chambres à muons
- Déclenchement et acquisition des données



Mardi 23 juin 2009 Introduction aux détecteurs par Sandro PALESTINI

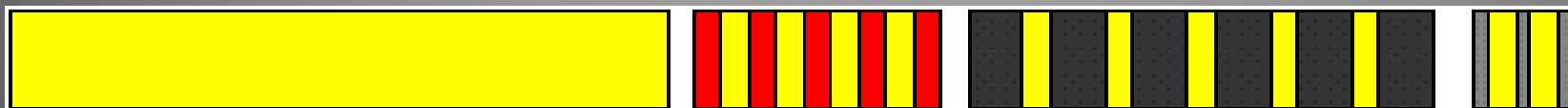
# Détecteur complexe à couches successives

Chambres de vertex

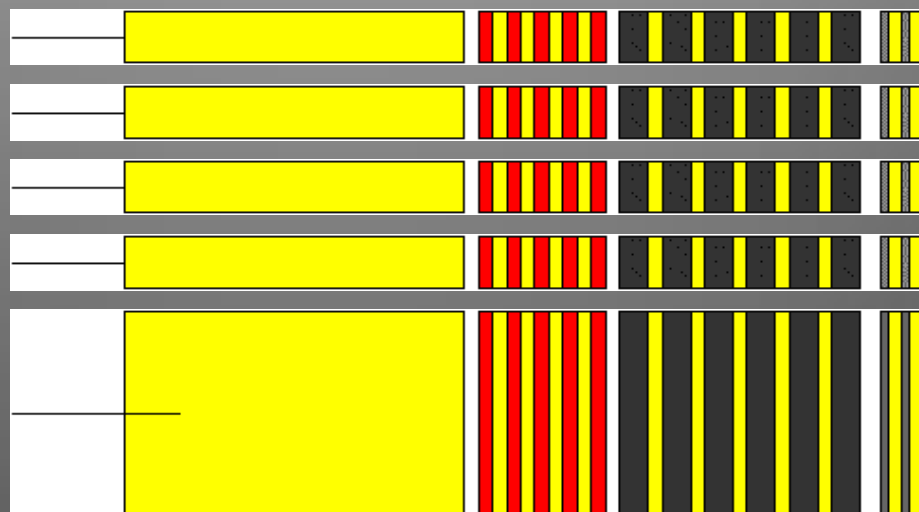
Calorimètre électromagnétique

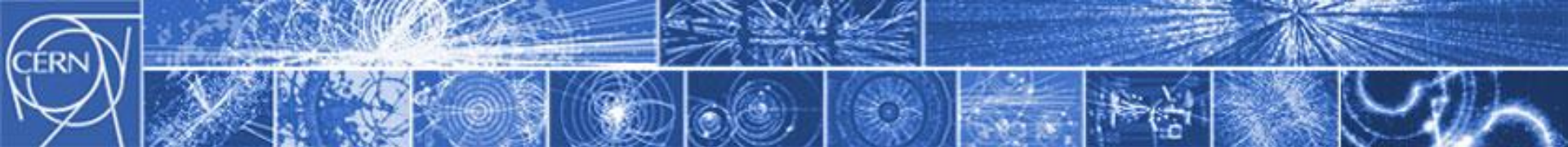
Calorimètre hadronique

Chambres à muons



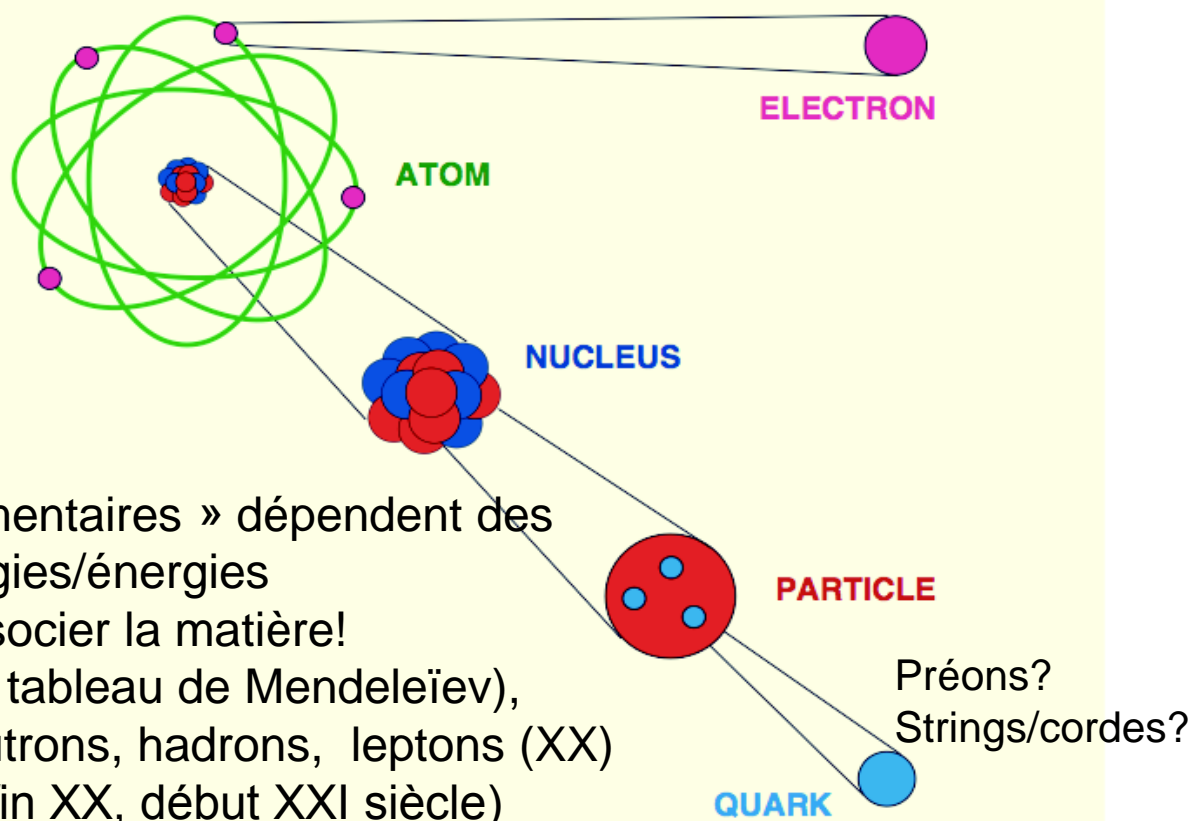
- Electrons
- Photons
- Hadrons
- Muons
- Désintégration de particule instable





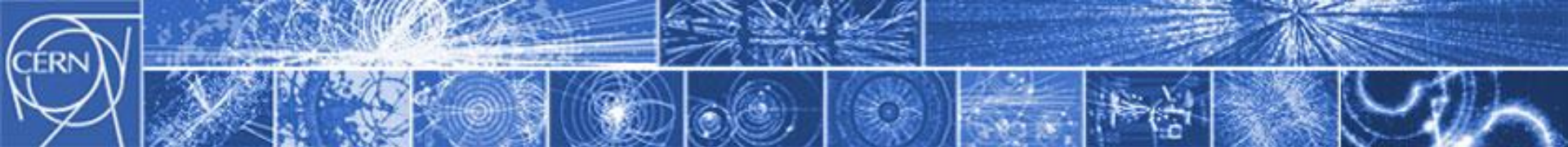
Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009  
Physique des Particules par Daniel DENEGRI

# Les constituants de la matière



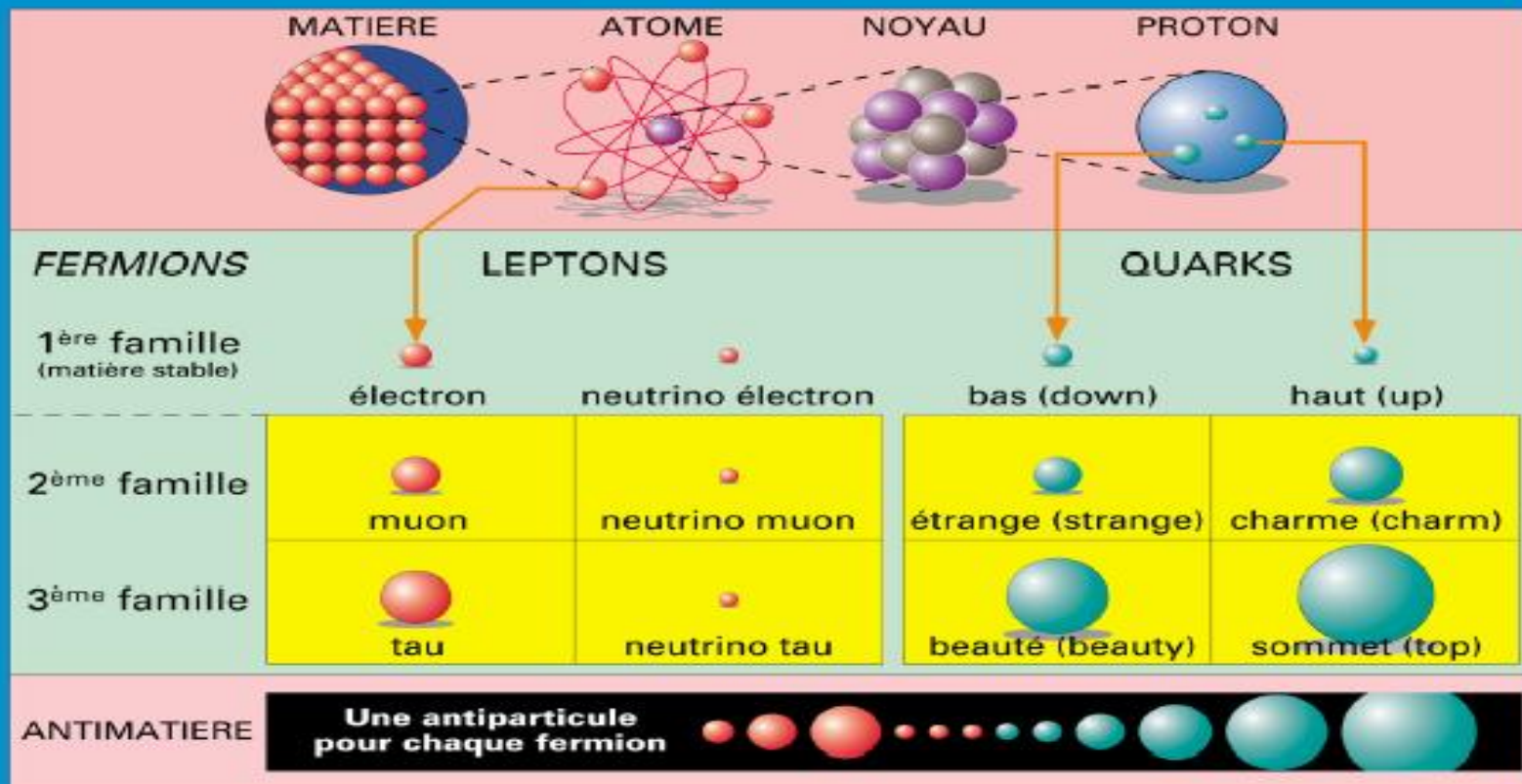
Les « particules élémentaires » dépendent des techniques/technologies/énergies disponibles pour dissocier la matière!  
Atomes (XIX siècle - tableau de Mendeleïev),  
Noyaux -protons/neutrons, hadrons, leptons (XX)  
Quarks, leptons.....(fin XX, début XXI siècle)

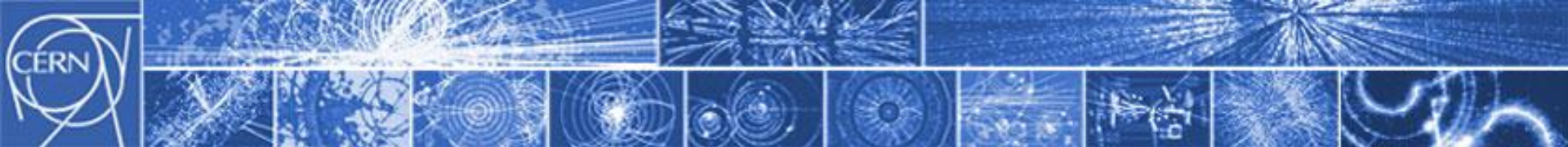




Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009- Physique des Particules par Daniel DENEGRÉ

# Les constituants élémentaires de la matière





Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009- Physique des Particules par Daniel DENEGRİ

**IN2P3**

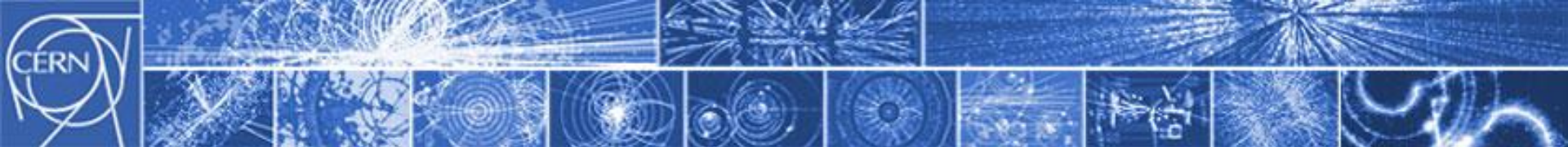
INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLEAIRE  
ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES

## Les quatre interactions de la nature sont décrites par l'échange de particules



TYPE	FORCE RELATIVE	PARTICULES ÉCHANGÉES	EXEMPLE DE DOMAINE D'APPLICATION
FORTE	$\sim 1$	gluons	noyau, nucléons
ÉLECTROMAGNÉTIQUE	$\sim 10^{-2}$	photons	cortège électronique de l'atome, lumière, chimie
FAIBLE	$\sim 10^{-5}$	bosons $Z^0, W^+, W^-$	radioactivité $\beta$ énergie solaire
GRAVITATION	$\sim 10^{-38}$	graviton ?	pesanteur systèmes planétaires

T5



Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009- Physique des Particules par Daniel DENEGRI

# Histoire de l'Univers

## The Evolution of the Universe

13.7 billion years

Today

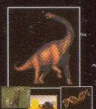


Today, at CERN, we are going back in time to study the origins of matter

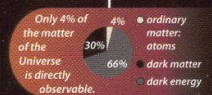
-270°C

10 billion years

Life on Earth

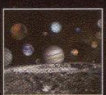


A soup of organic molecules appears on Earth, a small blue planet lost in the immense Universe



9.2 billion years

Solar system



Gravity gathers the debris of stars into planets

200 million years

Stars and galaxies



Gravity gathers clouds of atoms into stars

Heavy atoms, the building blocks of life, are synthesized in the hearts of stars

4000°C

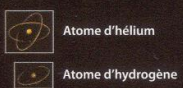
380 000 years

Light atoms



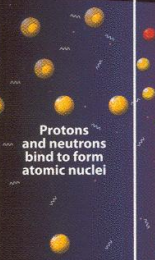
Electrons bind to atomic nuclei to form hydrogen and helium atoms

Photons no longer interact with electrons: the Universe becomes transparent and illuminates



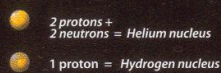
3 minutes

Light nuclei



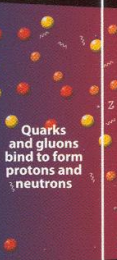
Protons and neutrons bind to form atomic nuclei

Photons are continuously absorbed and reemitted: the Universe is opaque



0.01 millisecond

Protons and neutrons



Quarks and gluons bind to form protons and neutrons

The Universe has the size of the solar system

10<sup>12</sup>°C

10<sup>-12</sup> seconds

Quark-gluon plasma



Weak force  
electromagnetic force

The Universe has a radius of 300 million km

10<sup>15</sup>°C

10<sup>-20</sup> seconds

Electroweak force



electroweak force

The Universe has the size of an apple

10<sup>27</sup>°C

10<sup>-35</sup> seconds

Strong force



Strong force

The Universe is an infinitely small point

10<sup>32</sup>°C

10<sup>-43</sup> seconds

Superforce



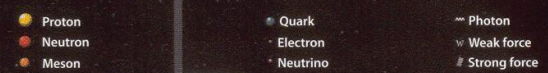
electro-nuclear force  
gravity

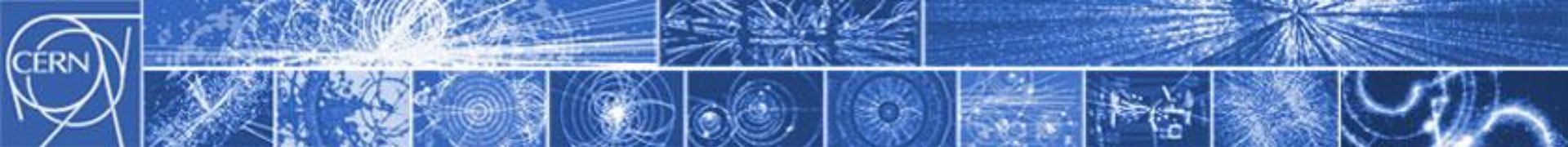
The Universe is an infinitely small point

10<sup>32</sup>°C

Big Bang

10<sup>17</sup>°C





Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009 - Physique des Particules par Daniel DENEGRÉ

# Le projet LHC, le détecteur CMS

Le Modèle Standard au LHC:  
le quark top, le boson de Higgs,

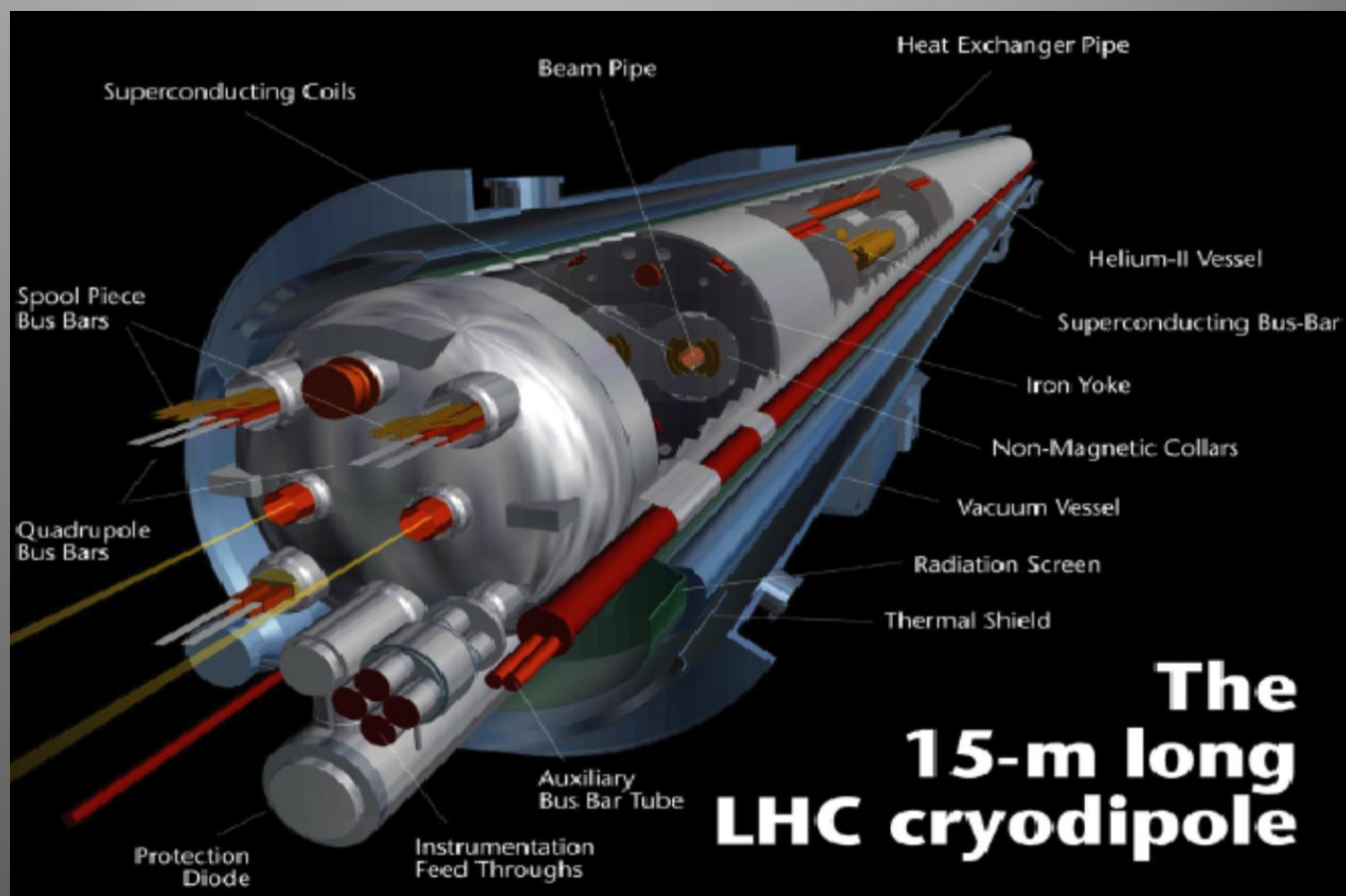
la supersymétrie  
les mini trous noirs....



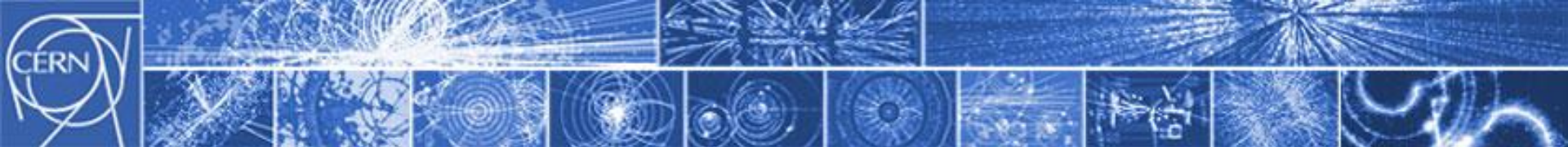


Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009 - Physique des Particules par Daniel DENEGRÉ

## Les dipôles (aimants de courbure des faisceaux) du LHC Éléments clé de la machine



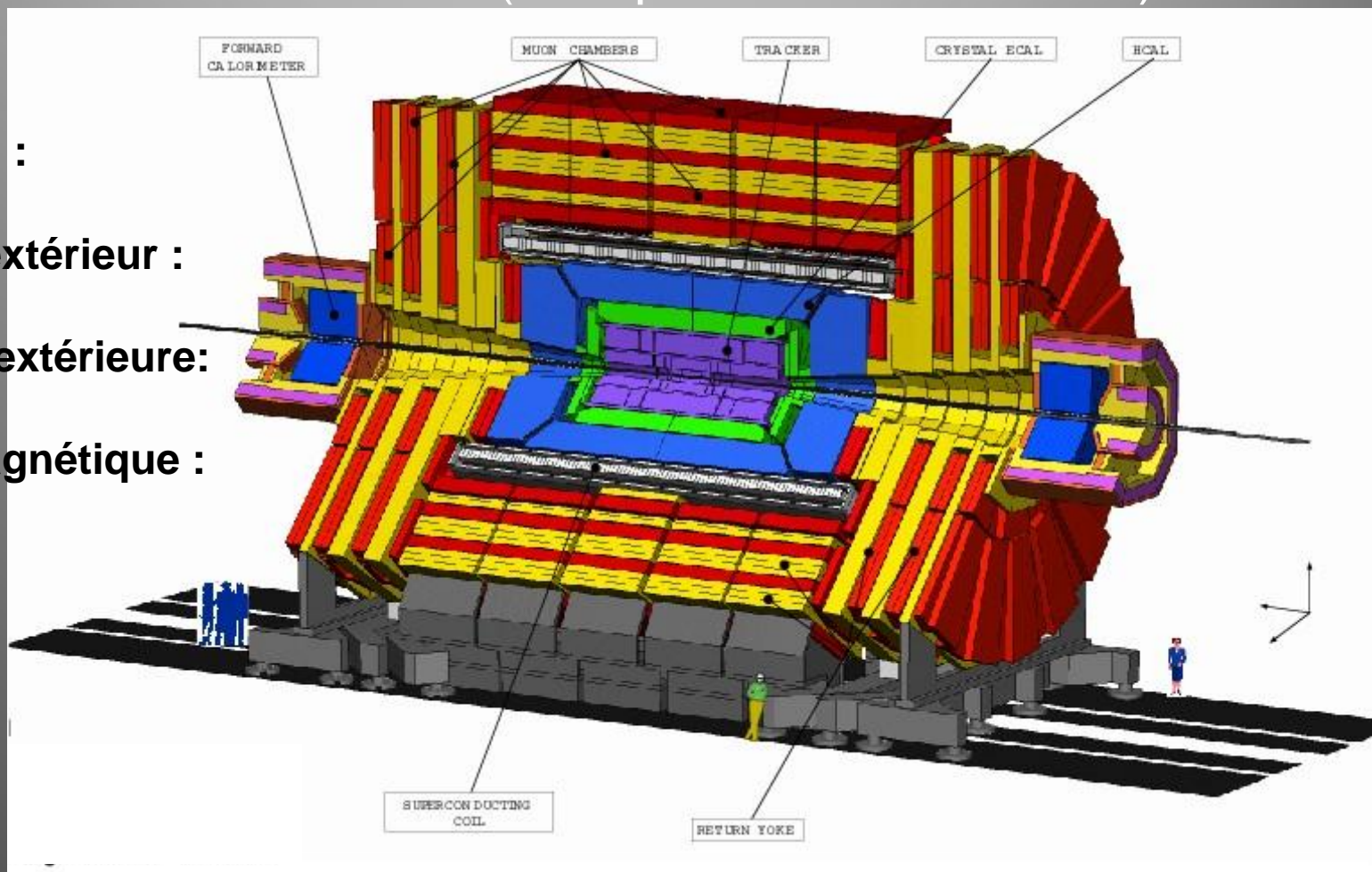
Environ 1200  
dipôles et 400  
quadripôles alignés  
avec une précision  
de 100  $\mu\text{m}$

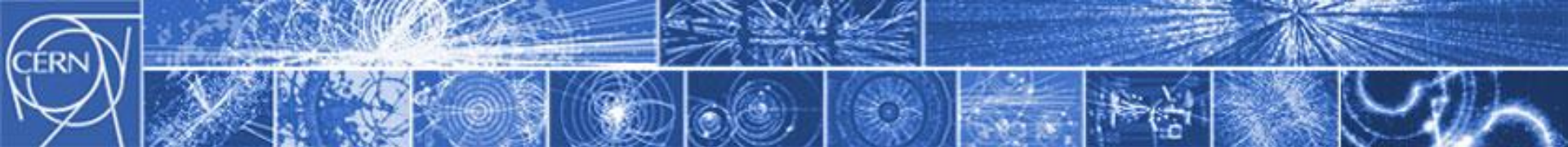


Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009 - Physique des Particules par Daniel DENEGRÉ

## Le détecteur CMS (Compact Muon Solenoid)

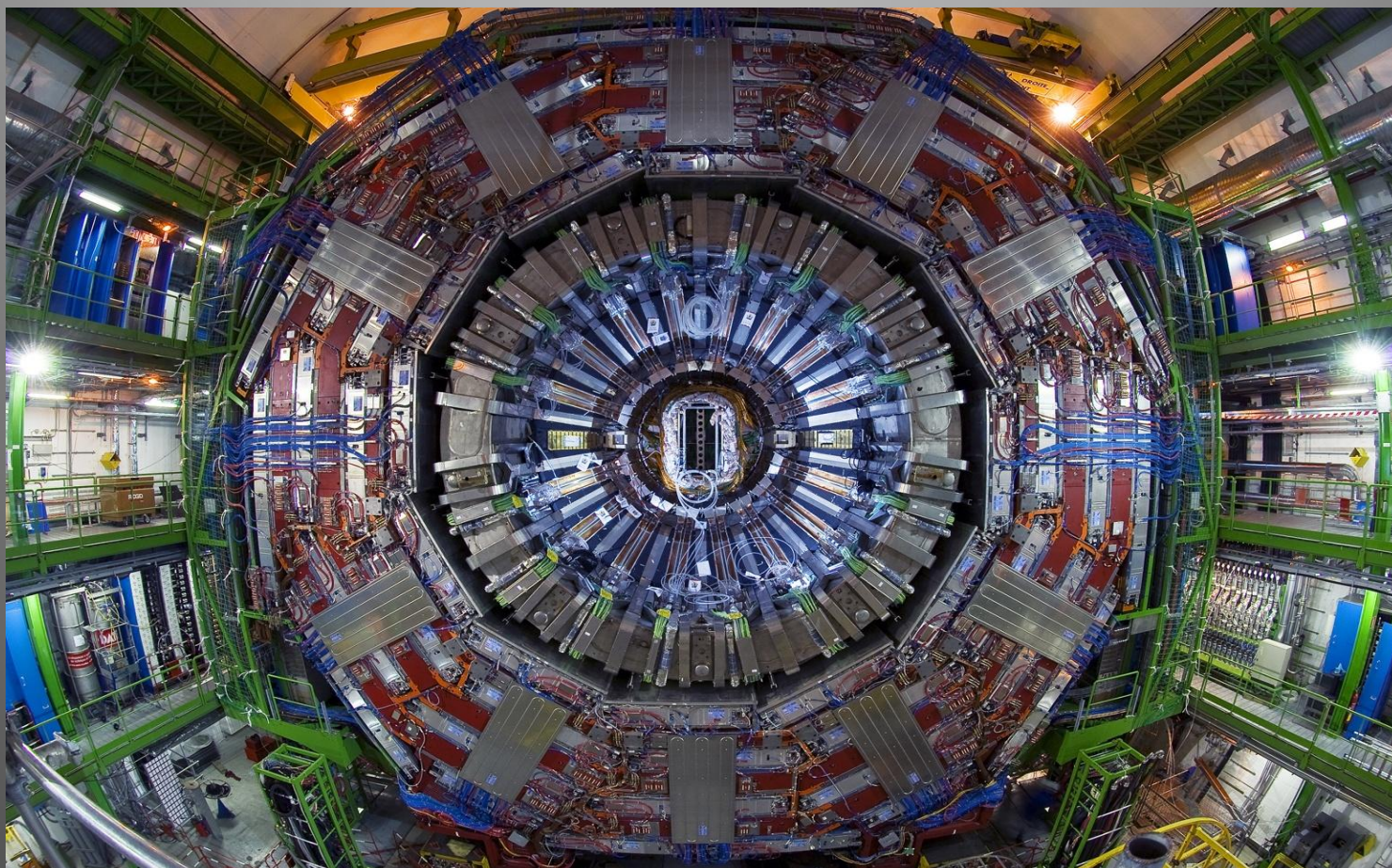
**Poids total :**  
12500 t  
**Diamètre extérieur :**  
15,0 m  
**Longueur extérieure:**  
21,60 m  
**Champ magnétique :**  
4 Teslas

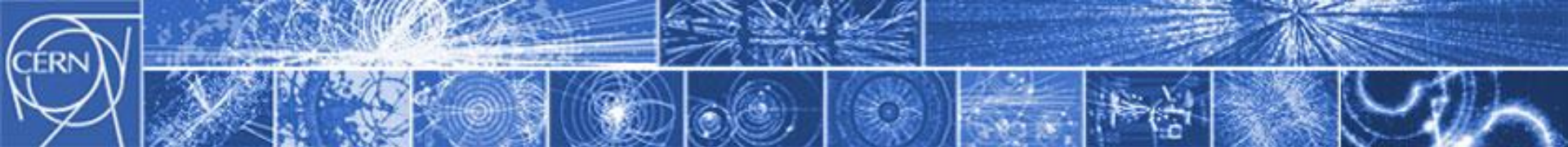




Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009 - Physique des Particules par Daniel DENEGRÉ

# Le détecteur CMS (Compact Muon Solenoid) janvier 2008 – insertion du détecteur de traces





Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009 - Physique des Particules par Daniel DENEGRÉ

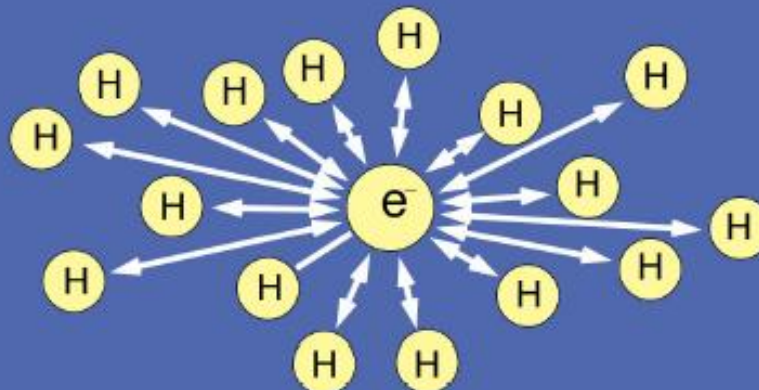
**IN2P3**

INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLEAIRE  
CENTRE DE PHYSIQUE DES PARTICULES

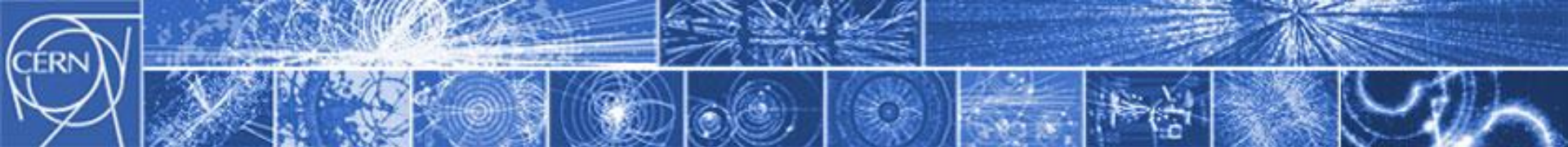
# Masse et phénomène de Higgs

Qu'est-ce que le vide ?

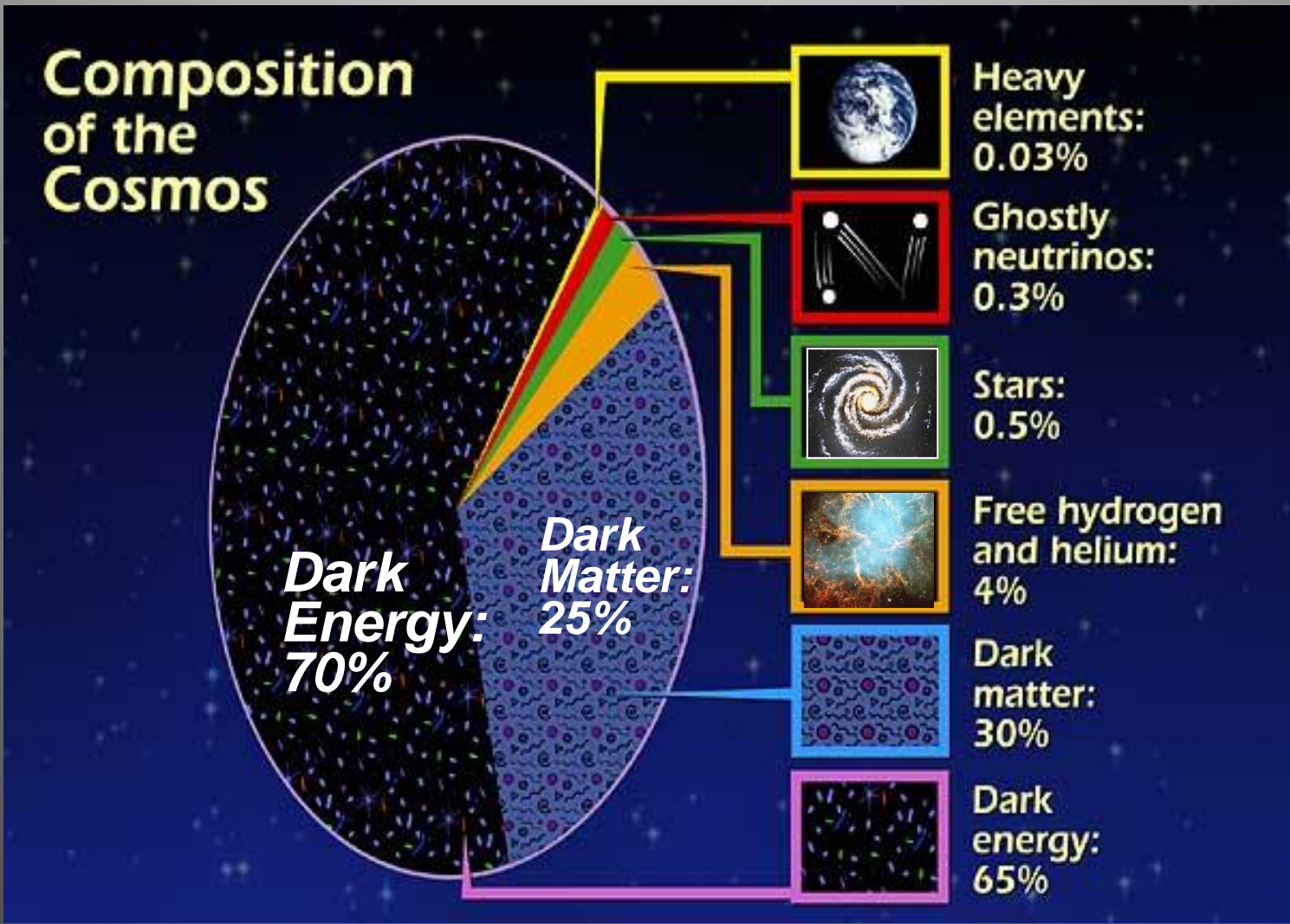
-  Présence de particules virtuelles (indétectables directement)
  -  Présence de "particules de Higgs"...
- fugitives 

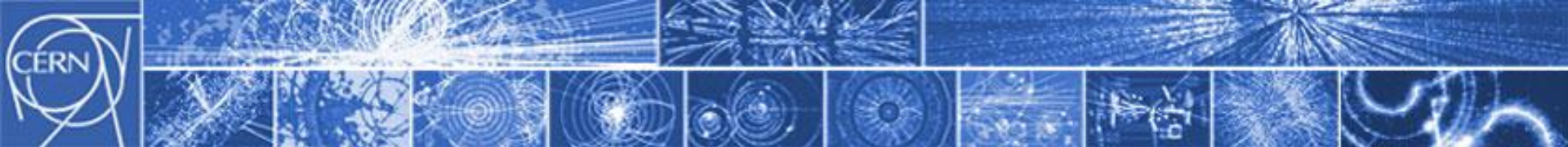


...responsables de l'inertie des particules  
**mais on n'a encore jamais vu le Higgs...**



Mardi 23 et Mercredi 24 juin 2009 - Physique des Particules par Daniel DENEGRÉ





# Mardi 23 juin 2009

## Visite du Globe de l'Innovation



**ANGELS&DEMONS**

Science behind the movie



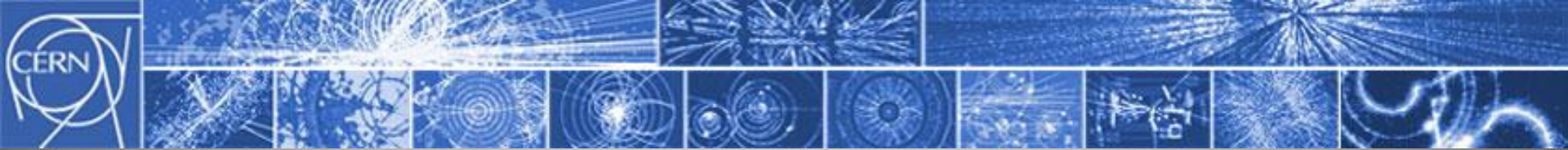
<http://angelsanddemons.cern.ch/expo>

More information click here

## Exposition temporaire : Ange&Démone

### Visite de Tom Hanks au CERN

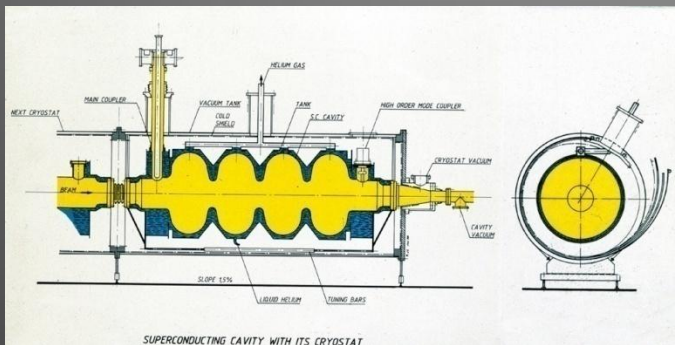


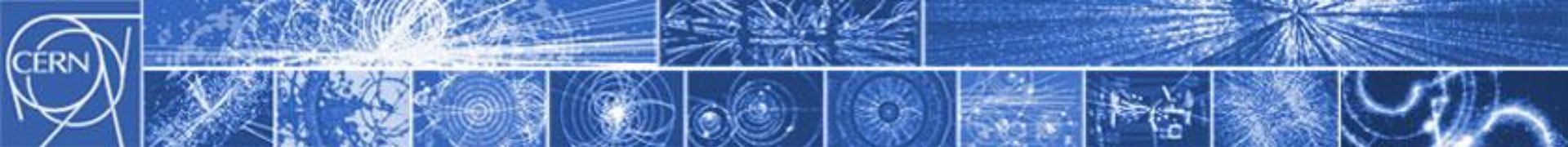


Mercredi 24 et jeudi 25 juin 2009

# Introduction aux accélérateurs par Simone GILARDONI

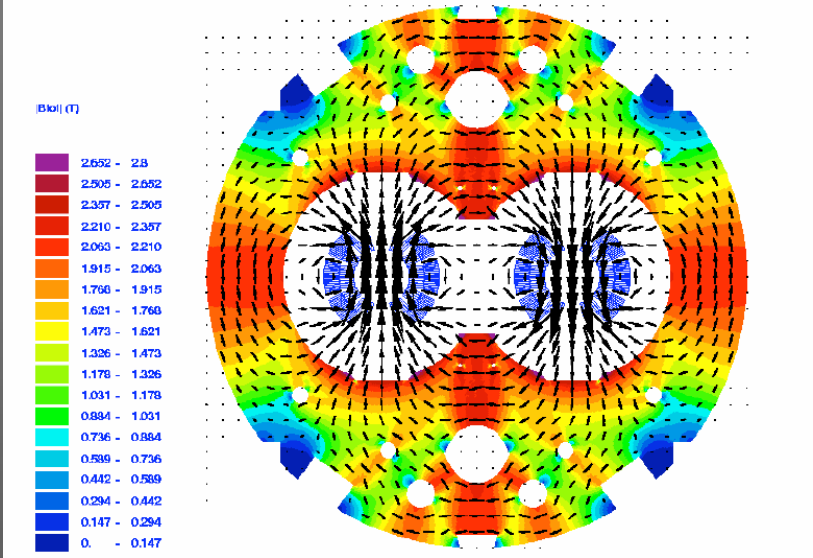
- ❑ Les dipôles contraignent les particules chargées à suivre la courbure de l'accélérateur
- ❑ Les quadripôles focalisent les particules
- ❑ Les sextupôles permettent de corriger l'optique du faisceau
- ❑ Les cavités RF accélèrent le faisceau



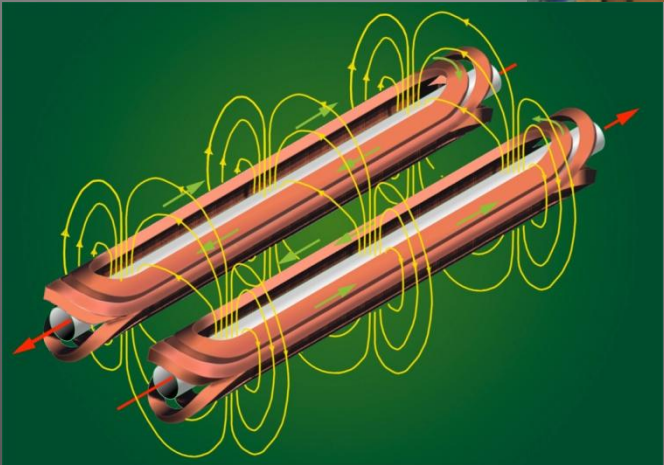


Mercredi 24 et jeudi 25 juin 2009 -Introduction aux accélérateurs par Simone GILARDONI

Les dipôles : une conception des lignes de champ magnétiques deux-en-un.



Le LHC est une boucle où deux accélérateurs sont couplés par des éléments magnétiques.

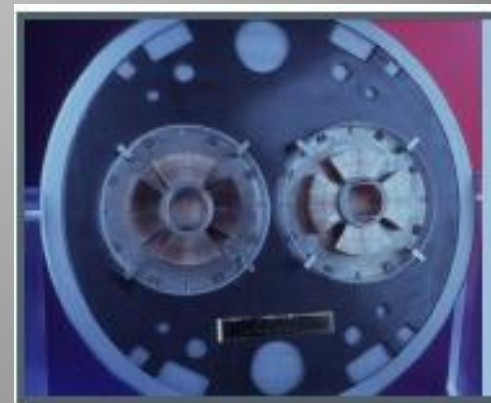




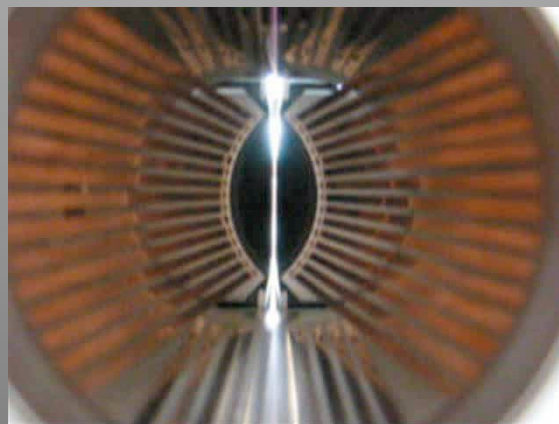


Mercredi 24 et jeudi 25 juin 2009 -Introduction aux accélérateurs par Simone GILARDONI

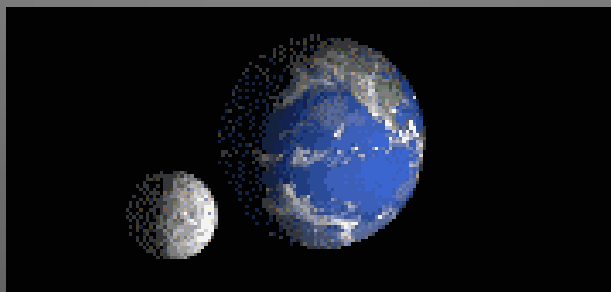
Les quadripôles ont aussi une conception deux-en-un.

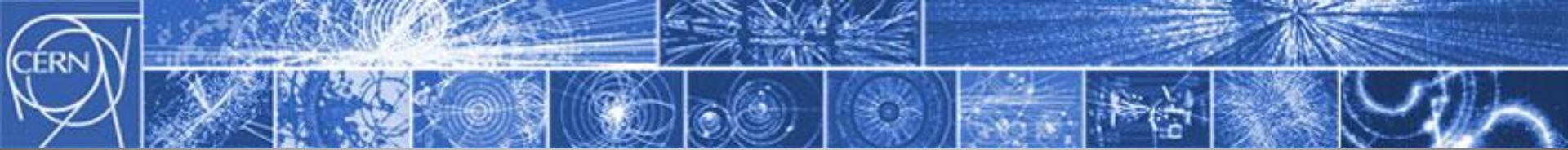


Le système de collimation pour la protection de la machine.



Ce qui peut influencer l'accélérateur :





Mercredi 24 juin 2009

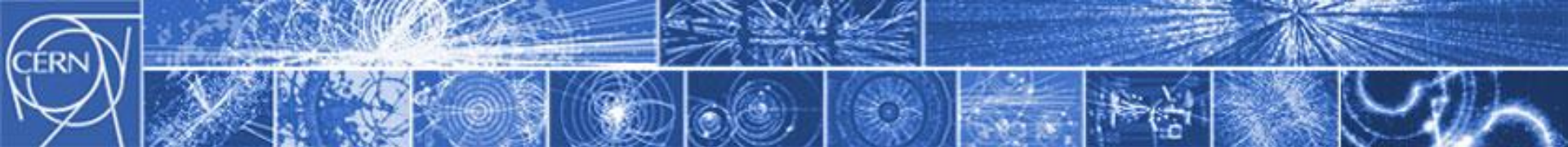
Applications médicales de la physique des particules par Paul LECOQ

# Les accélérateurs : développés dans les laboratoires de physique, utilisés dans les hôpitaux



Courtesy of IBA

9000 sur 17000 accélérateurs dans le monde sont des accélérateurs médicaux



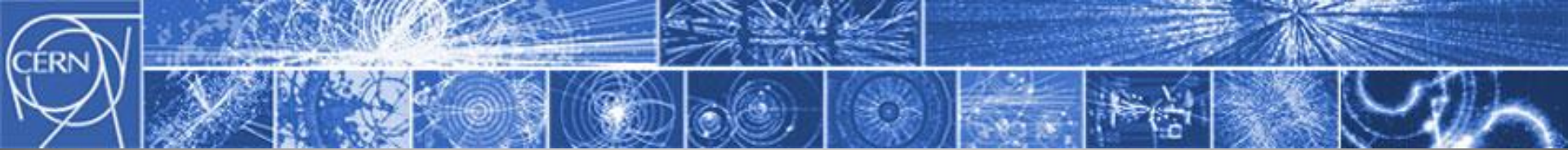
Mercredi 24 juin 2009

Applications médicales de la physique des particules par Paul LECOQ

## Les détecteurs : développés dans les laboratoires de physique, utilisés pour l'imagerie médicale

TEP (Tomographie à Emission de Positons)





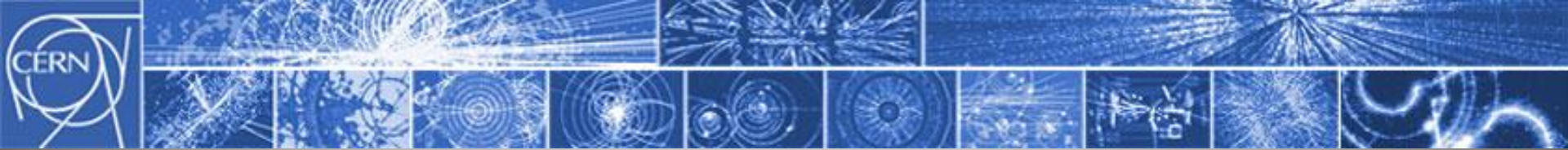
# Mercredi 24 juin 2009

## Visite de Genève



Cathédrale Saint Pierre

Vue du célèbre jet d'eau depuis la cathédrale



Jeudi 25 juin 2009

## Antimatière et décélérateur d'antiproton par Rolf LANDUA

Vulgarisation de la notion d'antimatière par l'intermédiaire du film *Anges & Démons*

➤ Qu'est ce que l'antimatière?

Même masse que la particule mais charges opposées

➤ Où fait-on de l'antimatière?

Dans l'usine du CERN : AD : Antiproton Decelerator

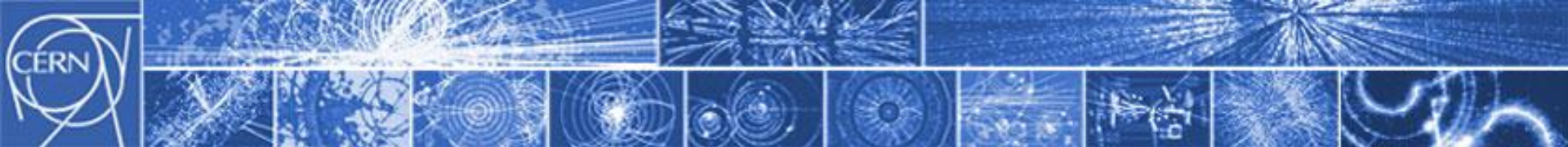
➤ Comment la fabrique-t-on?

Dans les interactions des collisions, la moitié des traces correspondent à de l'antimatière.

➤ Le mystère de l'antimatière

On ne voit pas d'antimatière dans l'Univers . Pourquoi?

Hyp : théorie de la violation de la symétrie CP (Conjugaison de charges et Parité)



Jeudi 25 juin 2009

# Antimatière et décélérateur d'antiproton par Rolf Landua

Vulgarisation de la notion d'antimatière par l'intermédiaire du film *Anges & Démons*

## ➤ Comment étudier l'antimatière?

En fabriquant un antihydrogène et en le comparant avec un atome d'hydrogène

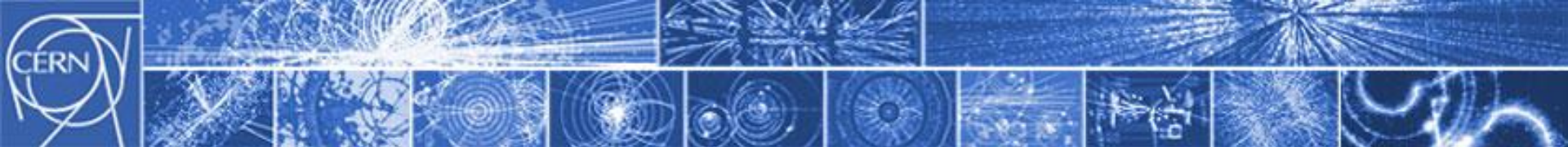
## ➤ Est-ce une source d'énergie? Une arme?

Ce n'est pas une source d'énergie (pas d'antimatière dans la nature !)

0,5 g d'antimatière  $\leftrightarrow$  20 kT de TNT (1 million de milliard d'euros en électricité et sa fabrication prendrait 1 milliard d'années !!)

## ➤ Applications en médecine.

Hadronthérapie avec antiprotons (3 fois plus efficace que les protons mais beaucoup trop cher)



Jeudi 25 juin 2009

Visite du détecteur ATLAS par Sandro PALESTINI et Mick Storr



Salle de contrôle d'ATLAS

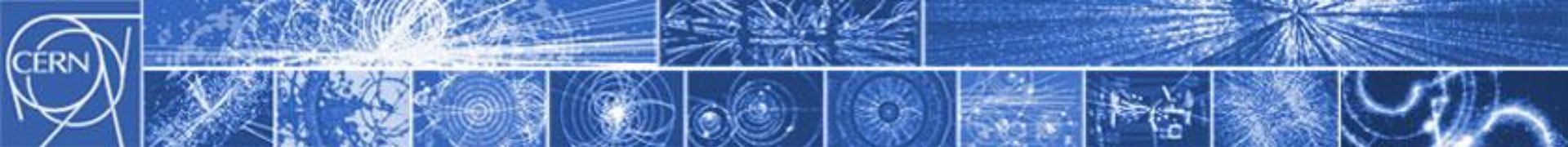
Atlas (A Toroidal LHC ApparatuS).

Ses ambitions : découvrir des nouvelles particules élémentaires comme le boson de Higgs, trouver des particules supersymétriques ou accéder à des dimensions supplémentaires de l'espace.

Haut comme un immeuble de six étages, cet appareil géant est situé à 100 mètres sous terre. Sa caverne pourrait contenir la nef de Notre Dame de Paris.



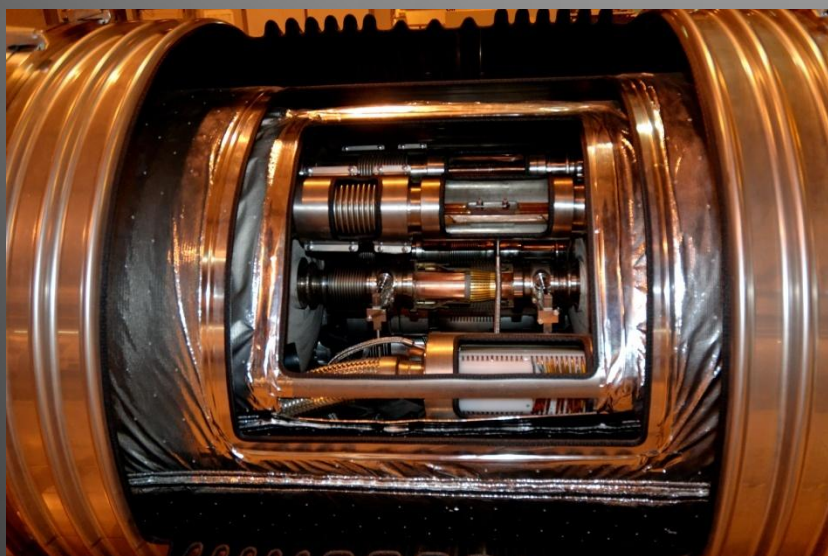
Vues de la caverne d'ATLAS depuis le hall



# Jeudi 25 juin 2009

## Visite de SM 18 par Mario CAMPANELLI

Hall de tests des aimants du LHC







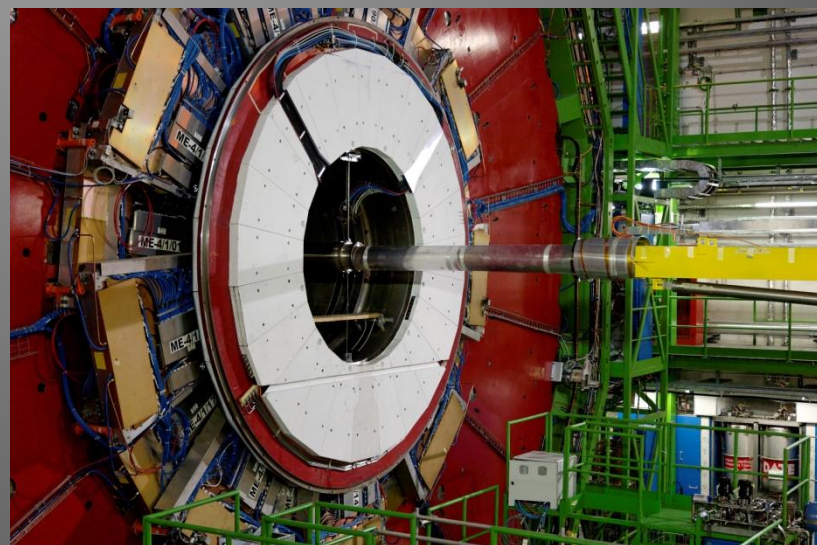
Jeudi 25 juin 2009

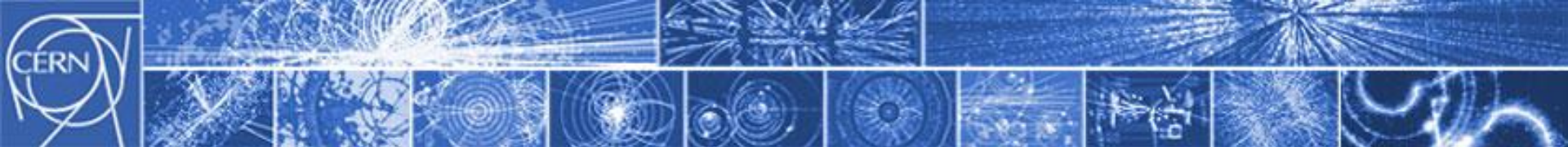
# Visite du détecteur CMS (Compact muon Solenoid)



Ses ambitions : découvrir des nouvelles particules élémentaires comme le boson de Higgs, trouver des particules supersymétriques ou mettre en évidence des dimensions supplémentaires de l'espace.

Ce détecteur hors du commun est un véritable titan, long de 21,5 mètres, d'un diamètre de 15 mètres, et d'une masse de 12 500 tonnes.





Vendredi 26 juin 2009

Les programmes Education du CERN par Mick Storr

## Qu'essayons-nous d'accomplir avec l'aide des professeurs de sciences physiques?

1: Relever et maintenir l'intérêt des étudiants pour la physique moderne

Les motiver à continuer dans les filières scientifiques  
Les aider à mieux comprendre le monde qui les entoure.

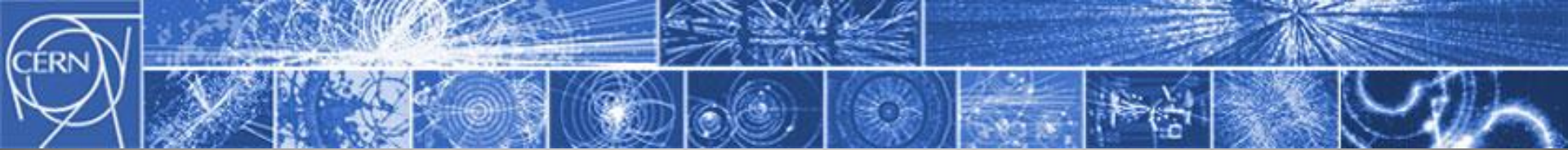
**Améliorer la culture scientifique**

2: Donner un sentiment de mystère

Motiver les étudiants à continuer la physique dans leurs études supérieures

**Préparer la future génération de physiciens**

**LA SCIENCE EST VIVANTE!**

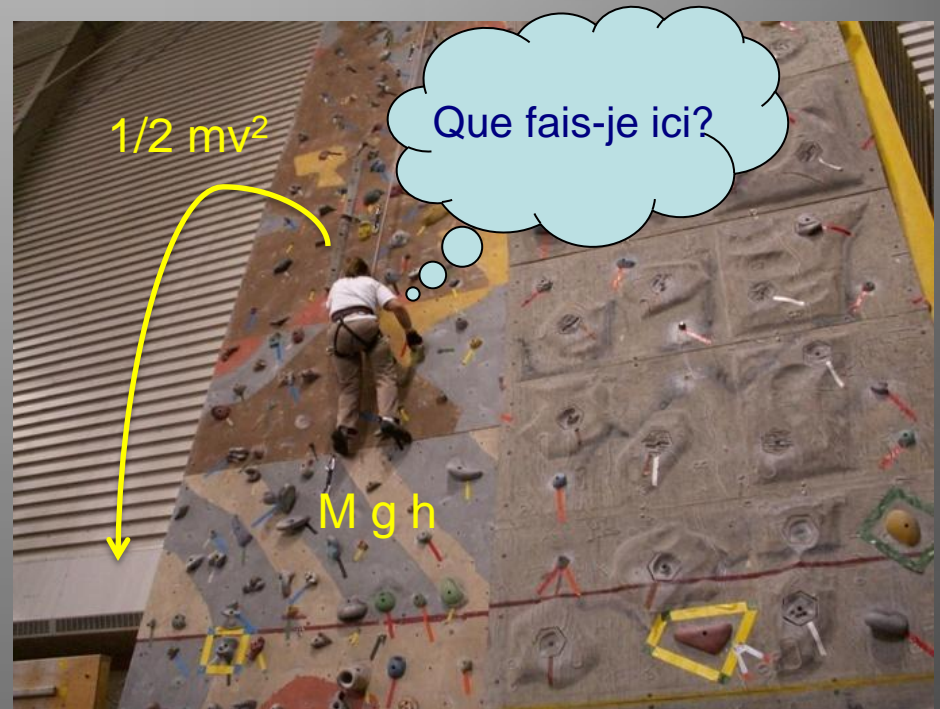


Vendredi 26 juin 2009 - Les programmes Education du CERN par Mick Storr

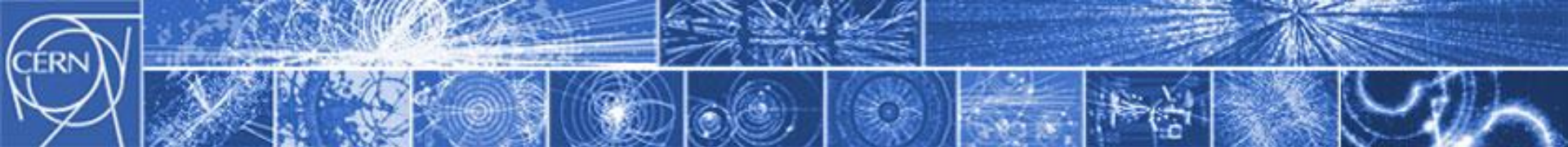
Comment les chercheurs voient la science



Comment les étudiants voient la science



Faire un lien entre la physique moderne et les apprentissages du lycée



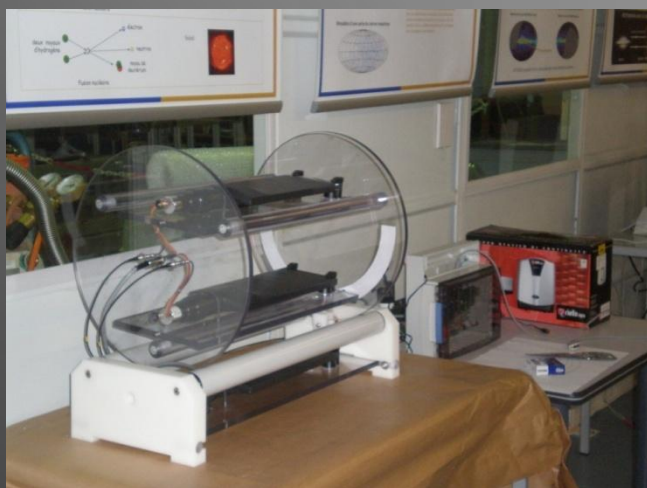
Vendredi 26 juin 2009

Présentation du programme « COSMOS à l'école » par Cécile BARBACHOUX

# COSMOS à l'école

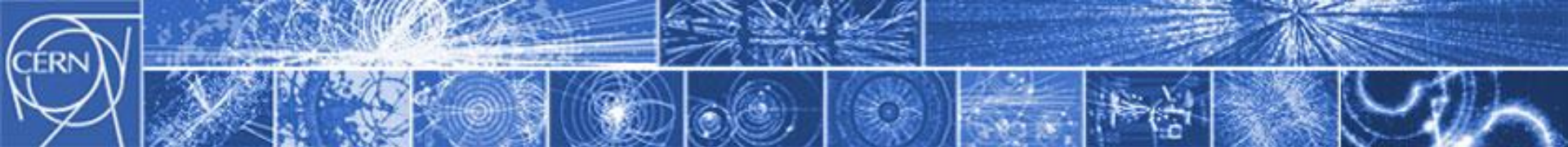
## Projet de « Sciences à l'Ecole » en partenariat avec l'IN2P3

Le détecteur: la roue cosmique  
développé au CPPM  
(laboratoire de l'IN2P3)



Formation des enseignants en physique  
des particules

- Stages au CERN en 2008  
(34 enseignants, 24 académies)
- Stage au CERN en 2009 (32  
enseignants, 16 académies)



Vendredi 26 juin 2009

Présentation du programme « COSMOS à l'école » par Cécile BARBACHOUX

## Pédagogie Ressources pédagogiques

- Conférences Népal
- Masterclasses



- Année Mondiale de l'Astronomie
- Conférences sur les pulsars et les étoiles à neutrons
- Nombreuses ressources pédagogiques en libre accès



<http://www.sciencesalecole.org>

- E2Phi La physique des deux infinis, semaine du 24-27 août