

# Société d'Astronomie de Cannes

Centre  
de Physique  
des Particules  
de Marseille

**CPRM**

DR. DIRK HOFFMANN  
*INGÉNIEUR DE RECHERCHE*  
CENTRE DE PHYSIQUE DES PARTICULES  
DE MARSEILLE

# Expériences du LHC au CERN



**IN2P3**  
Institut national de physique nucléaire  
et de physique des particules



# Plan de l'exposé

- **Etat actuel de la physique des particules :**

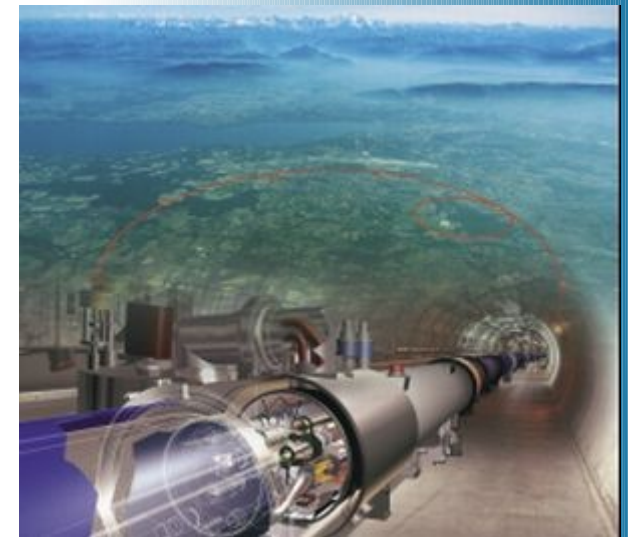
Le modèle standard

- **Le dernier instrument de recherche de la PP :**

Le LHC

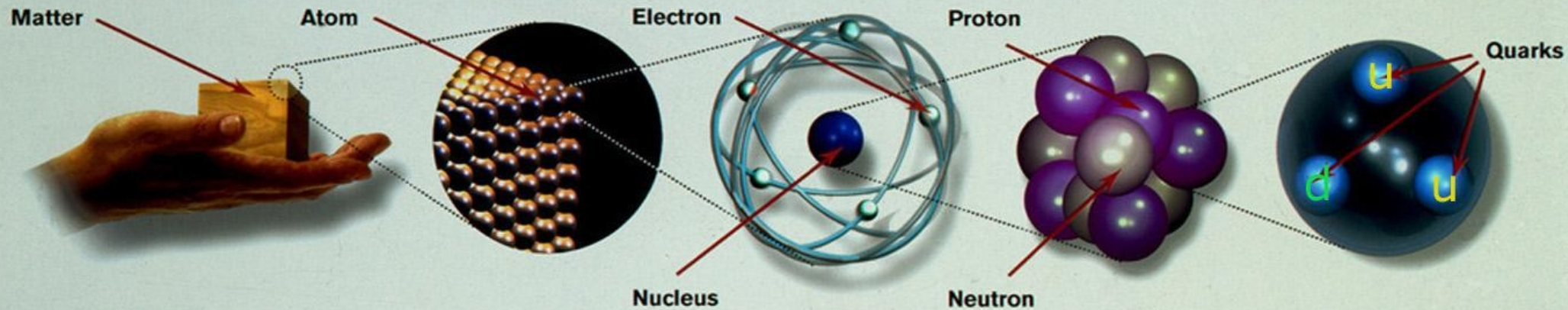
- **Deux expériences du LHC :**

- ATLAS
- LHCb



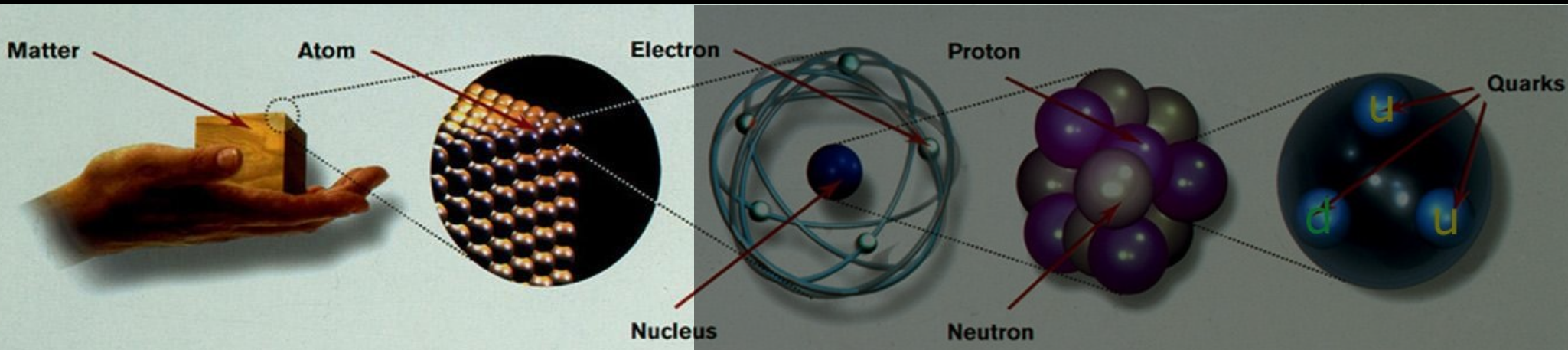
Je remercie les collègues prof. Sylvain Tisserant, dr. Julien Cogan, dr. Fabrice Hubaut et le groupe “outreach” de l'expérience ATLAS d'avoir pu utiliser leurs documents afin de constituer cette présentation.

# Descente vers l'infiniment petit

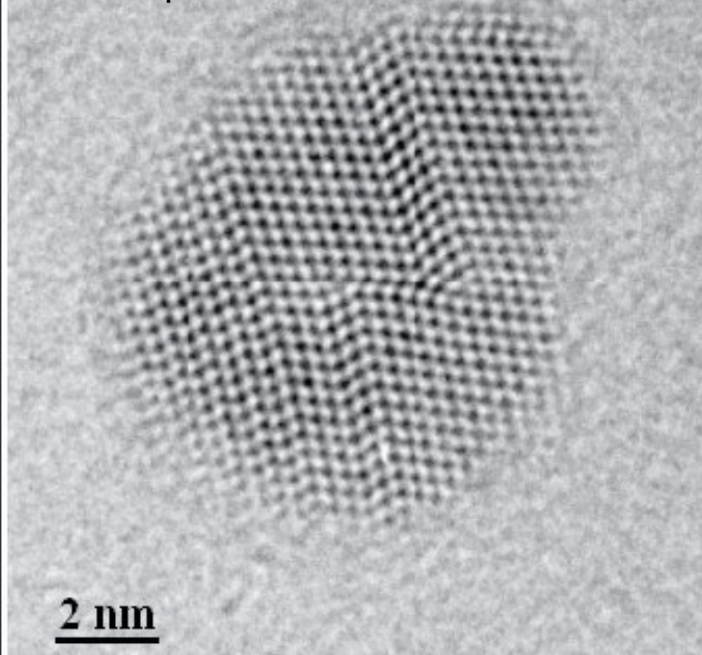


Structure de la matière ordinaires  
ses constituants élémentaires et leurs interactions

# Descente vers l'infiniment petit



Cristal de CdSe vu par un microscope électronique



La matière qui nous entoure tient ses propriétés des molécules qui la composent.

Les molécules sont un assemblage d'atomes.

Comment ces molécules se forment ? Comment interagissent-elles ? D'où tire-t-elle leurs propriétés ?

→ structure de l'atome

# Descente vers l'infiniment petit

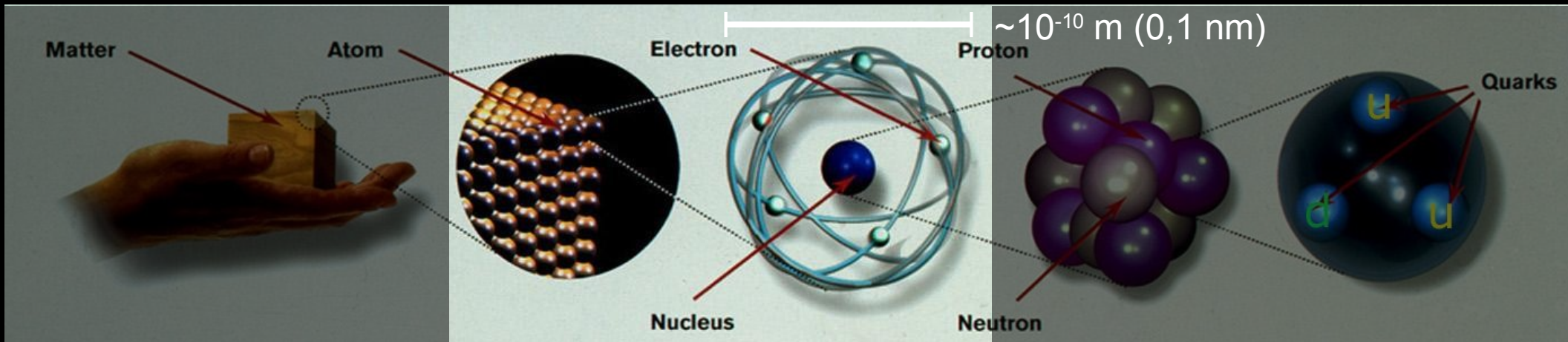


Table des éléments atomiques :

Etat physique du corps simple(25°C,1 atm)		SOLIDE					LIQUIDE					GAZEUX					SYNTHESE	
* Lanthanides		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
# Actinides		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			
1	H											He	18					
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La'	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac#	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									

Atomes composés :

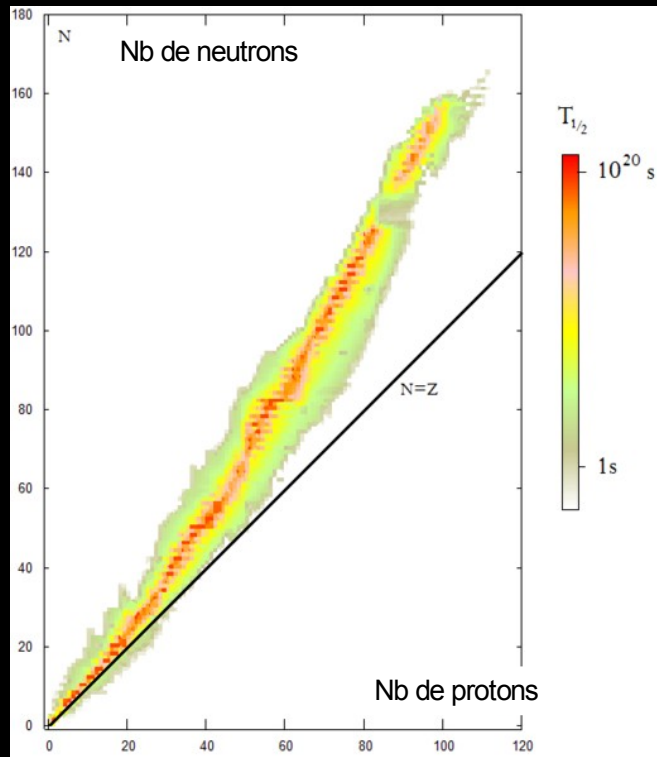
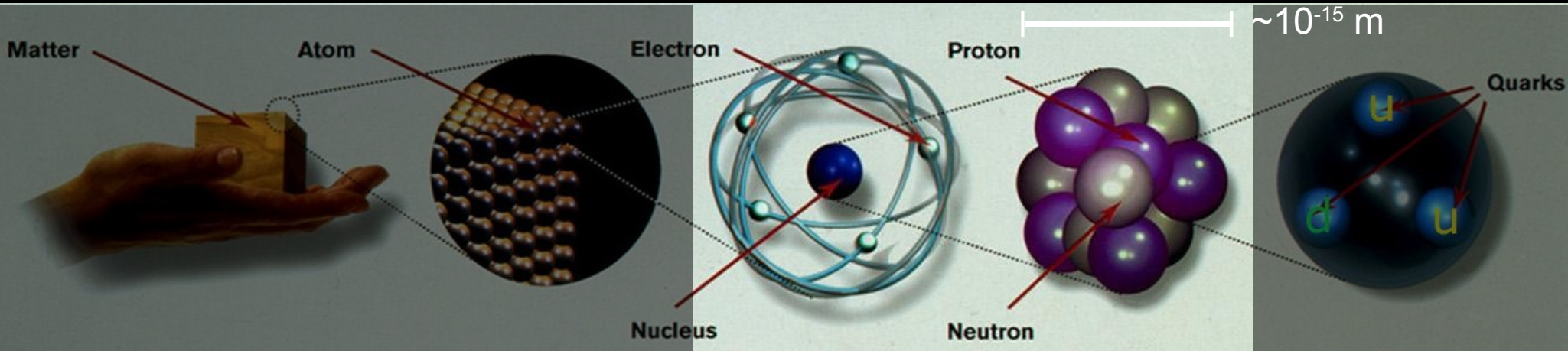
- d'un noyau
  - $\sim 100\ 000$  x plus petit que l'atome
- d'un nuage d'électron en orbite autour du noyau
  - régit les interactions entre atomes ou molécules

→ **interaction électromagnétique**

Qu'est-ce qui différencie ces atomes ?

→ structure du noyau

# Descente vers l'infiniment petit



Noyau atomique formé de nucléons : protons & neutrons.

Le nombre de protons (=nombre d'électrons) détermine la nature de l'élément chimique.

La cohésion du noyau est assurée par :

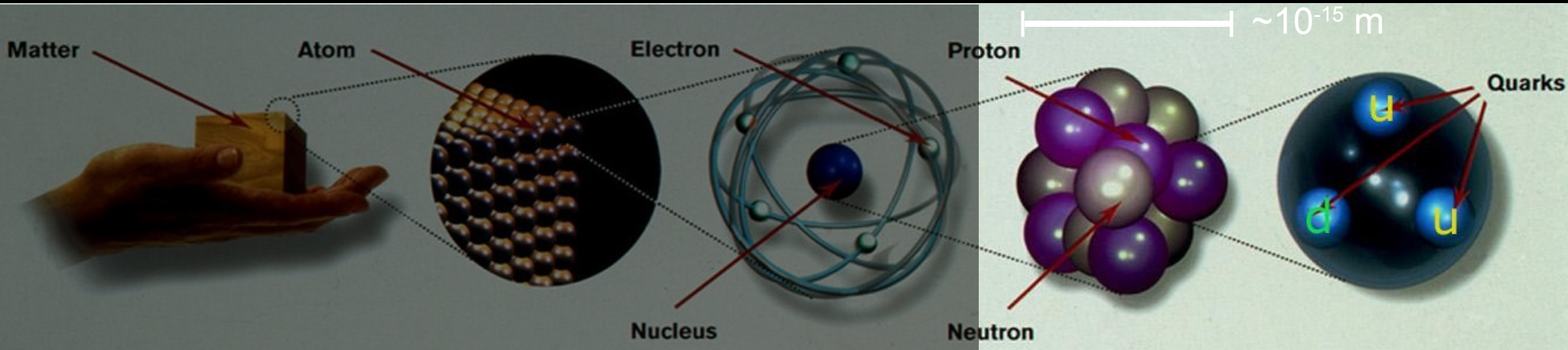
→ **l'interaction forte**

La stabilité du noyau dépend du nombre de protons et du nombre de nucléons qui le composent.

Certains noyaux instables se désintègrent en émettant un électron et un neutrino : e.g.  $\text{Co} \rightarrow \text{Ni} + e + \nu$

→ **interaction faible**

# Descente vers l'infiniment petit



Nucléons (protons & neutrons) sont constitués de quarks

2 types de quarks (à ce stade) :

- Up ( $q=+2/3$ ) : u
- Down ( $q=-1/3$ ) : d

Teneur en quarks de nucléons :

- proton ( $q=1$ ) : uud
- neutron ( $q=0$ ) : udd

Les quarks sont confinés à l'intérieur de nucléons par l'**interaction forte**

# Descente vers l'infiniment petit

## La matière ordinaire

Constituants élémentaires :

	q	nom	
Quarks	+2/3	up	} sensible à l'interaction forte
	-1/3	down	
Leptons	-1	electron	} ne réagissent pas à l'interaction forte
	0	neutrino	

Interactions fondamentales :

- gravitation (trop faible : pas de rôle en physique des particules)
- faible (agit sur toutes les particules)
- électromagnétique (agit sur les particules chargées électriquement)
- forte (agit sur les quarks seulement)

→ Est-ce tout ?



# Descente vers l'infiniment petit

## Autre forme de matière

		1 <sup>ère</sup> famille		2 <sup>ème</sup> famille		3 <sup>ème</sup> famille	
Quarks	+2/3	up	u	charm	c	top	t
	-1/3	down	d	strange	s	bottom (beauty)	b
Leptons	-1	electron	e	muon	$\mu$	tau	$\tau$
	0	neutrino	$\nu_e$	neutrino muon	$\nu_\mu$	neutrino tau	$\nu_\tau$

Il existe 2 autres générations de particules en plus de celles composant la matière ordinaire :

- même structure (même contenu en quark et leptons)
- dont les particules sont :
  - plus lourdes
  - instables



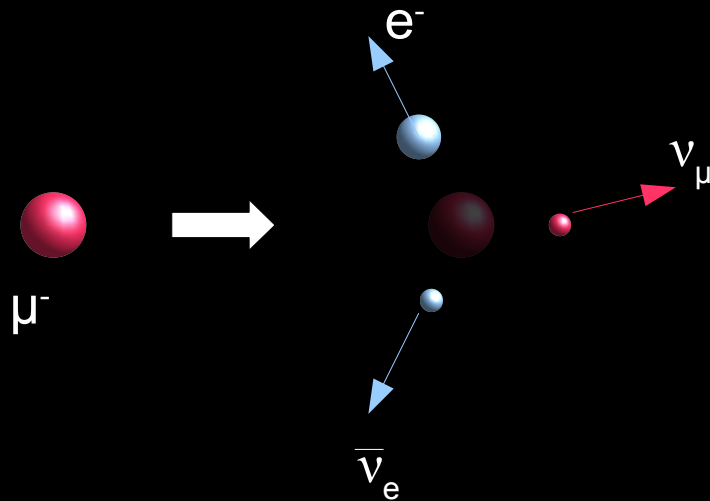
# **Le modèle Standard**

# Le Modèle Standard

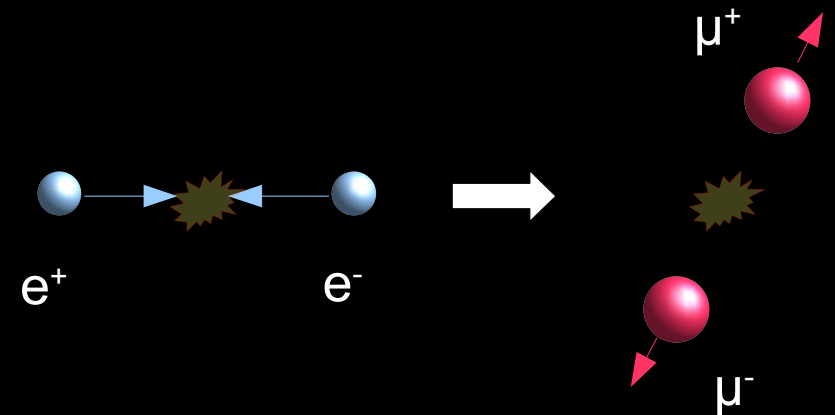
Théorie sous-jacente : *mécanique quantique relativiste*

Relativiste : adapté aux vitesses proches de celle de la lumière

→  $E=mc^2$  : équivalence entre matière et énergie



Désintégration du muon



Collision de particules :  
annihilation d'une paire d'électrons ( $e^+e^-$ )  
et création d'une paire de muons ( $\mu^+\mu^-$ )

→ **En mettant en jeu suffisamment d'énergie cinétique, on peut créer des particules très lourdes !**

# Le Modèle Standard

Théorie sous-jacente : *mécanique quantique relativiste*

Quantique : adapté au monde microscopique

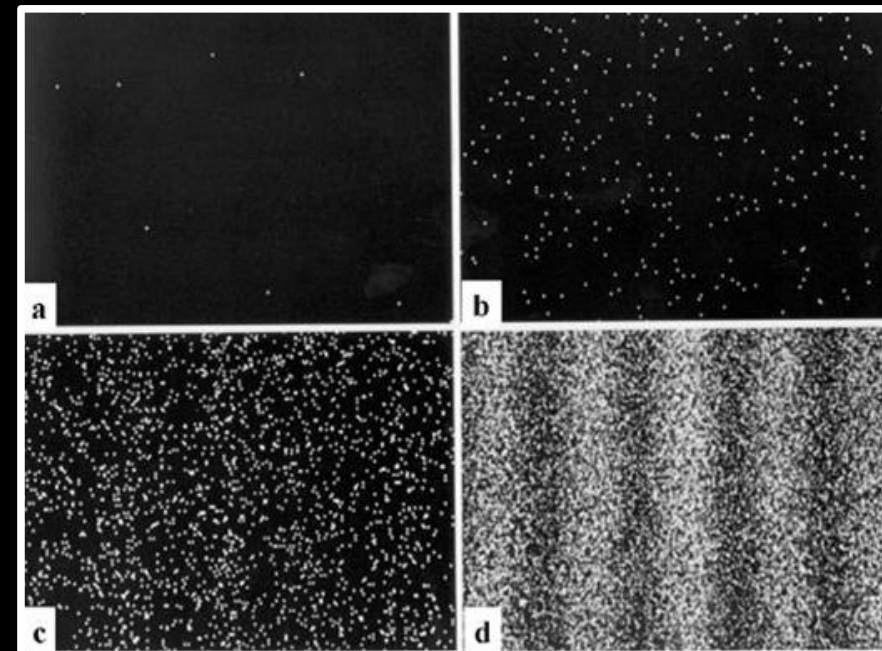
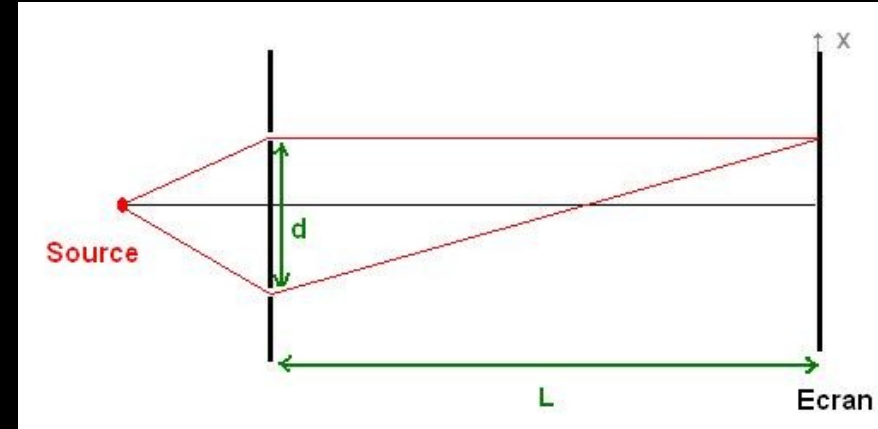
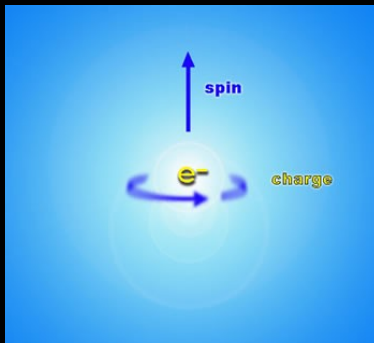
→ dualité onde-corpuscule

- onde : effet d'interférence
- corpuscule : comportement individuel
- $\lambda = h/P$  ( $h$  = constante de Planck)

→ **Plus l'énergie est élevée, plus la longueur d'onde est faible (plus on sera sensible à des détails petits)**

→ propriétés purement quantique

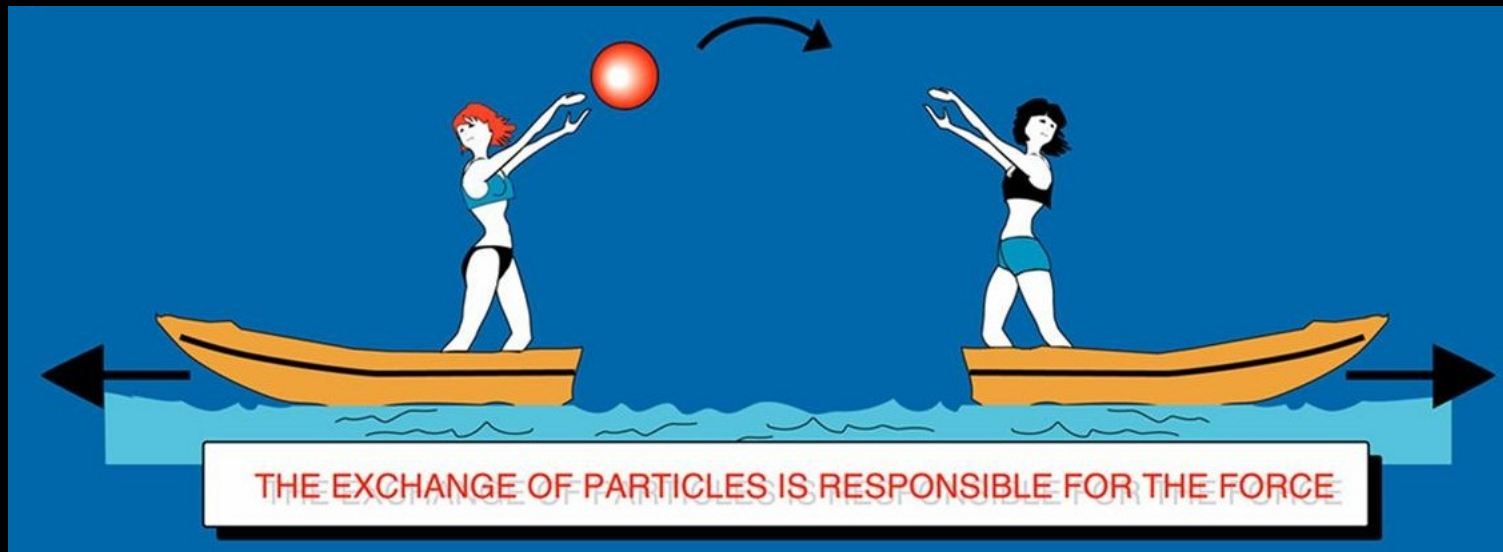
- spin : assimilable à une rotation intrinsèque d'une particule (moment angulaire)



# Le Modèle Standard

## Les interactions

### Les vecteurs des interactions



→ **les forces élémentaires sont véhiculées par des particules**

### Les charges des interactions

- forces interagissent avec les porteurs des charges associées, e.g. :
  - force électromagnétique : charge électrique
  - force forte : charge de couleur ( $b, r, v$ )
- la charge totale d'un système est conservée lors d'une réaction

# Le Modèle Standard

Les particules de matière : les fermions  
**spin 1/2**

Les particules de matière : les bosons  
**spin 1**

## Particles

### Leptons

	Electric Charge		Electric Charge
Tau	-1	Tau Neutrino	0
Muon	-1	Muon Neutrino	0
Electron	-1	Electron Neutrino	0

### Quarks

	Electric Charge		Electric Charge
Bottom	-1/3	Top	2/3
Strange	-1/3	Charm	2/3
Down	-1/3	Up	2/3


each quark: ●R, ●B, ●G 3 colors

The particle drawings are simple artistic representations


## Forces

### Strong


**Glueons (8)**




**Quarks**



**Mesons**  
**Baryons**




**Nuclei**

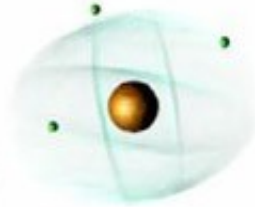


### Electromagnetic

**Photon**




**Atoms**  
**Light**  
**Chemistry**  
**Electronics**




### Gravitational

**Graviton ?**




**Solar system**  
**Galaxies**  
**Black holes**

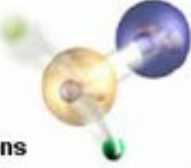


### Weak

**Bosons (W,Z)**



**Neutron decay**  
**Beta radioactivity**  
**Neutrino Interactions**  
**Burning of the sun**



The particle drawings are simple artistic representations

# Le Modèle Standard

## L'anti-matière

A toute ces particules, il faut adjoindre une anti-particule, c.à.d. une particule :

- de même masse, même spin
- autres nombres quantiques renversés
  - charge électrique

Certaines particules sont leur propre anti-particule, e.g. :

- le photon

Notation :  $\bar{b}$  anti-particule associée au quark  $b$

→ **les anti-particules se comportent-elles comme les particules ?**

# Le Modèle Standard

## Les symétries discrètes

La construction du modèle standard s'appuie sur des symétries :

- symétries d'espace-temps :
  - conservation de l'énergie
  - conservation du moment angulaire
  - conservation de l'impulsion
  
- symétrie de « gauges » propres aux interactions
  
- **symétries discrètes** :
  - renversement droite/gauche : Parité (**P**)
  - renversement des charges : Conjugaison de charge (**C**)
  - renversement du temps (**T**)



# Le Modèle Standard

## La symétrie CP

Effet de transformations discrètes :

→ Opération P :

- symétrie miroir

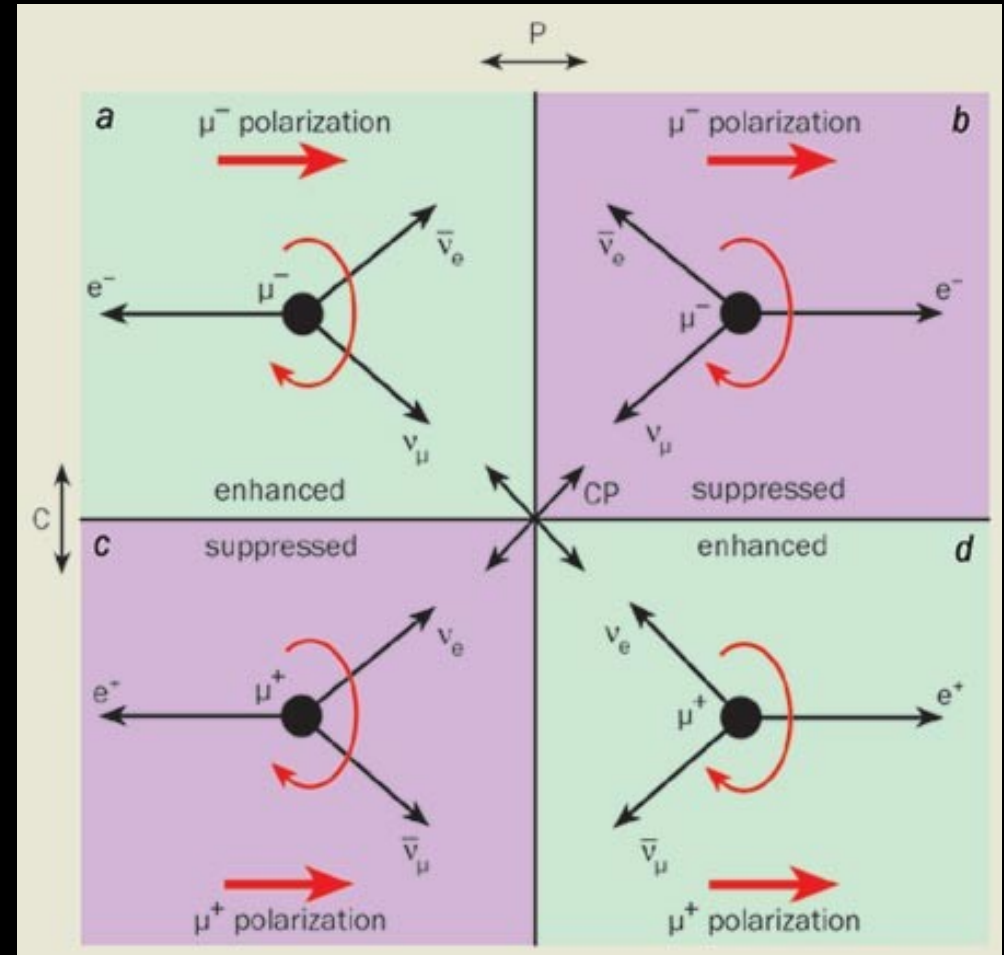
→ Opération C

- particule → anti-particule

La désintégration du muon (met en jeu l'interaction faible) n'est symétrique ni par C ni par P

→ Madame WU (1957)

→ **CP** : la composé des 2 transformations semble rester valide ! c.à.d : l'anti-matière se comporte comme le reflet de la matière dans un miroir.

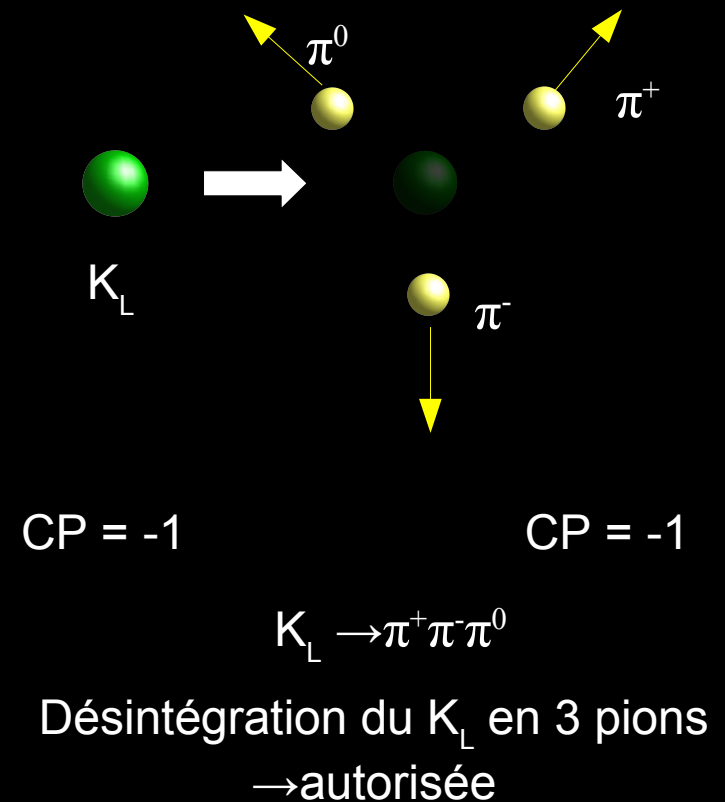
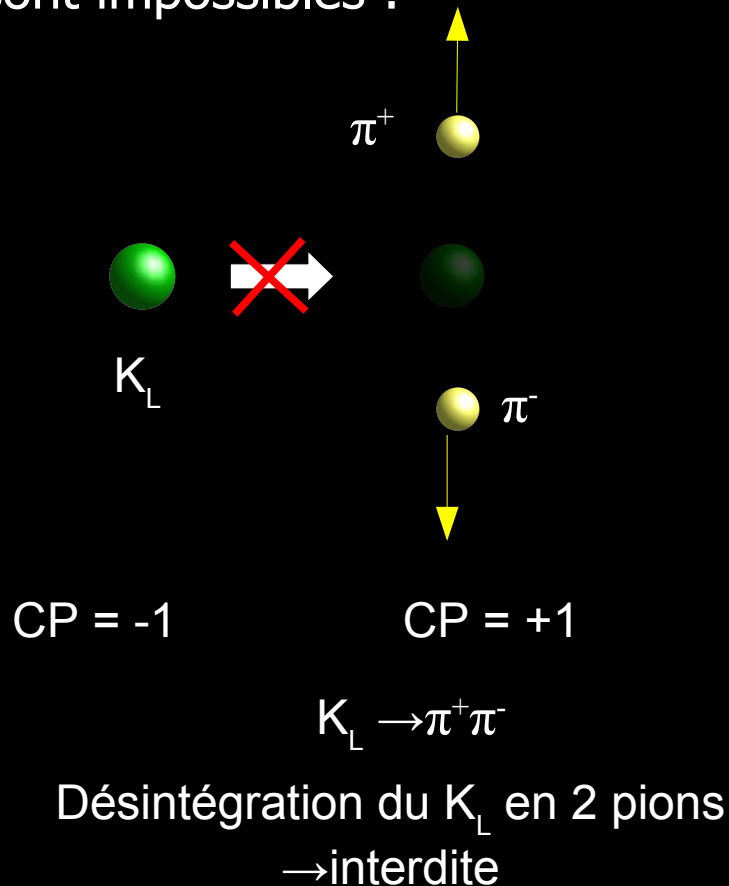


# Le Modèle Standard

## La violation de CP

Les particules possèdent des parités intrinsèques (propriété quantique !).

Si la conservation de CP est une propriété de la nature, certaines réactions sont impossibles :



# Le Modèle Standard

## La violation de CP

En 1964, Christenson, Cronin, Fitch & Turlay observent la désintégration :  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$

→ **découverte de la violation de CP**

□ faible :  $\sim 2$  cas pour mille seulement

A l'époque, seul les 3 quarks les plus légers étaient connues (u,d & s)

Les théoriciens se rendent compte que la théorie en vigueur s'accommoderait naturellement de la violation de CP si il y avait 3 familles de quarks

→ 1974 : découverte du quark c

→ 1977 : découverte du quark b

→ 1995 : découverte du quark t

→ **la matière et l'anti-matière ne sont pas rigoureusement symétrique.**

Depuis l'étude de la violation de CP a continué de susciter un très fort intérêt. Elle reste un moyen de tester le Modèle Standard très finement.

# Modèle Standard

## Les questions ouvertes

- Description très précise de nos observations à ce jour, à un détail près : *la particule de Higgs*
- Cependant :
  - Une trentaine de paramètres libres (masses, intensité des forces)
  - Pourquoi 3+3 générations de fermions / bosons ?
  - Différences énormes de masses !  $m(t) = 10^5 m(u)$
  - Unification des forces électro-magnétiques et faibles ; mais :  
GUT de la force forte, force gravitationnelle ?
  - Super-symétrie (SUSY) ?
  - Disparition de l'anti-matière ?
- Qu'y a-t-il au-delà (en-dessous) du Modèle Standard ?
- Autant de questions pour construire un grand appareil ...  
et écrire des livres !

# Le CERN et le LHC

Le CERN est un laboratoire de recherche à Genève, situé en Suisse et en France (Ain).

Fondé en 1955

20 états-membres  
à ce jour

2600 employés,  
8000 visiteurs  
scientifiques

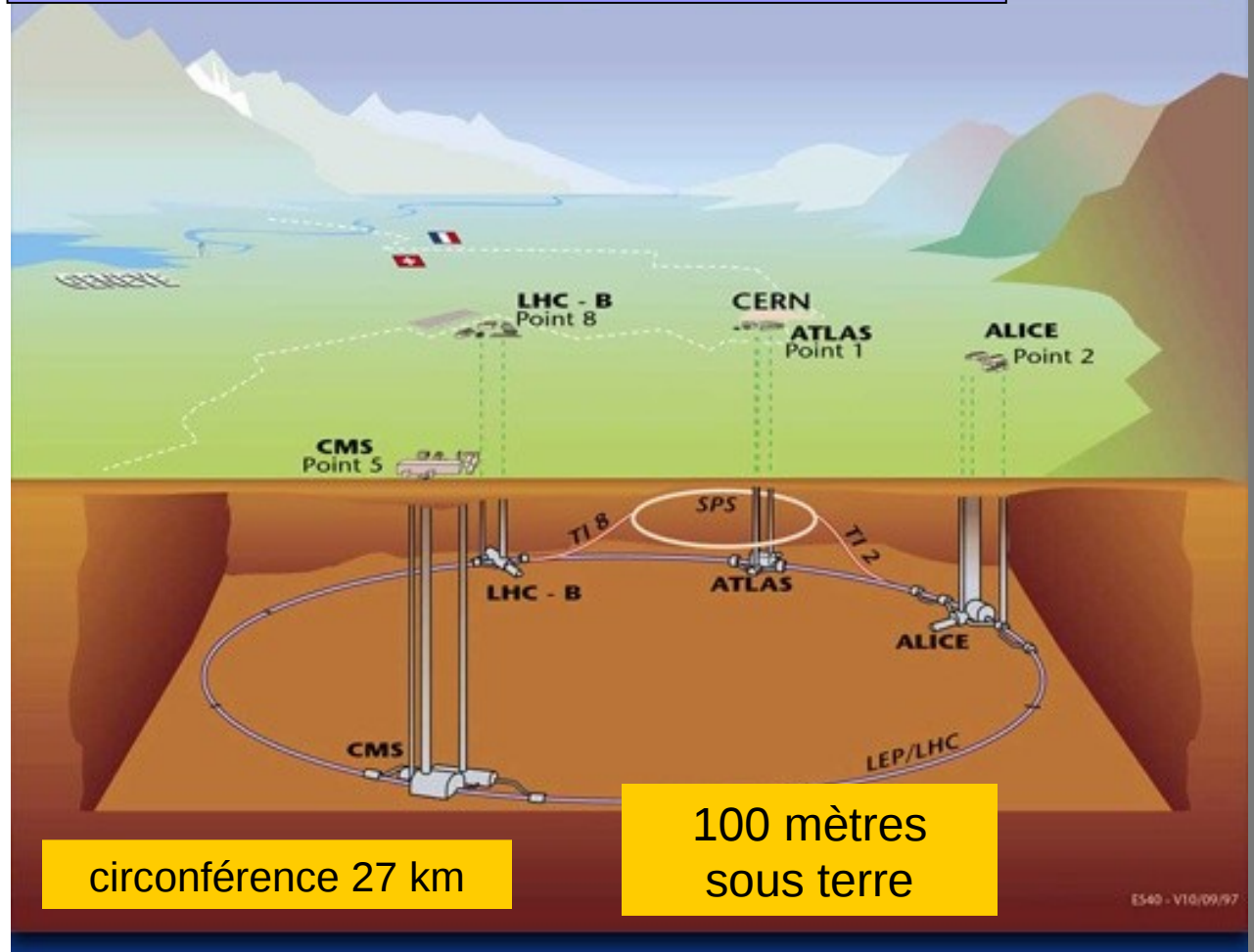




Le LHC (Large Hadron Collider) est un accélérateur du CERN.

Des protons circulent dans les deux directions et se heurtent frontalement dans les halls d'expérience.

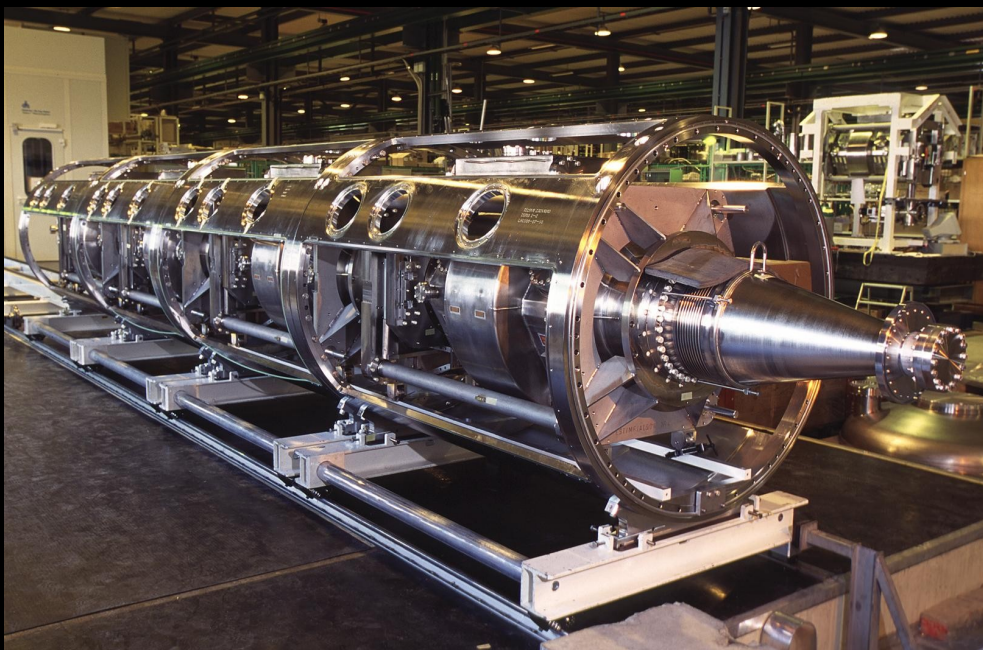
### Vue d'ensemble des expériences au LHC



# Le LHC



# Le LHC



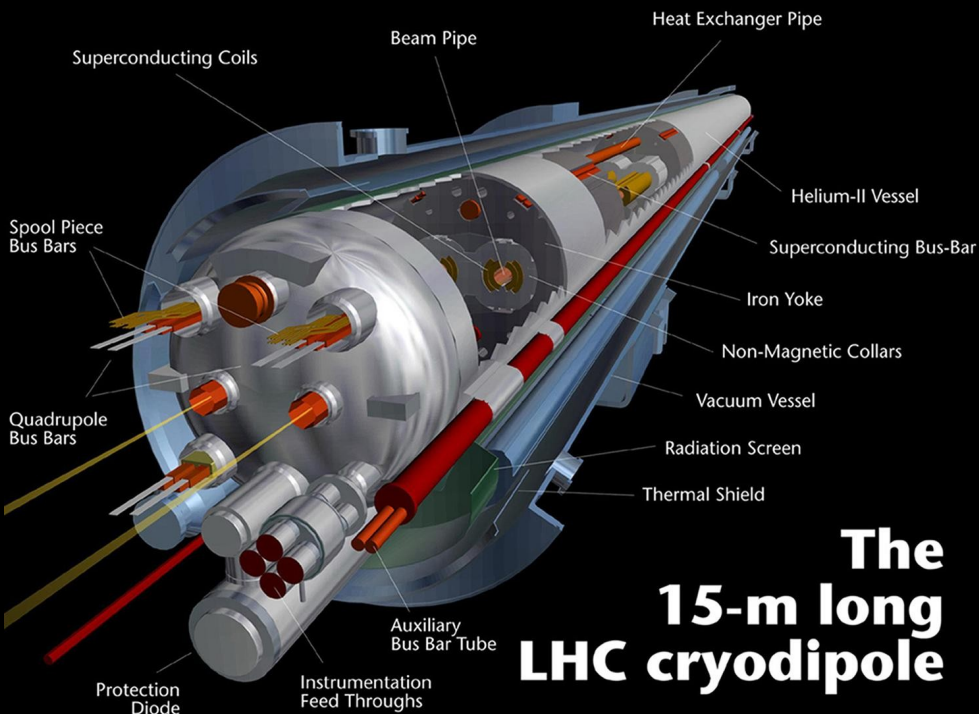
26 659 m

9532 aimants

1232 dipôles @ 1,9K

392 quadripoles principaux

16 cavités accélératrices



2800 paquets de protons par faisceau

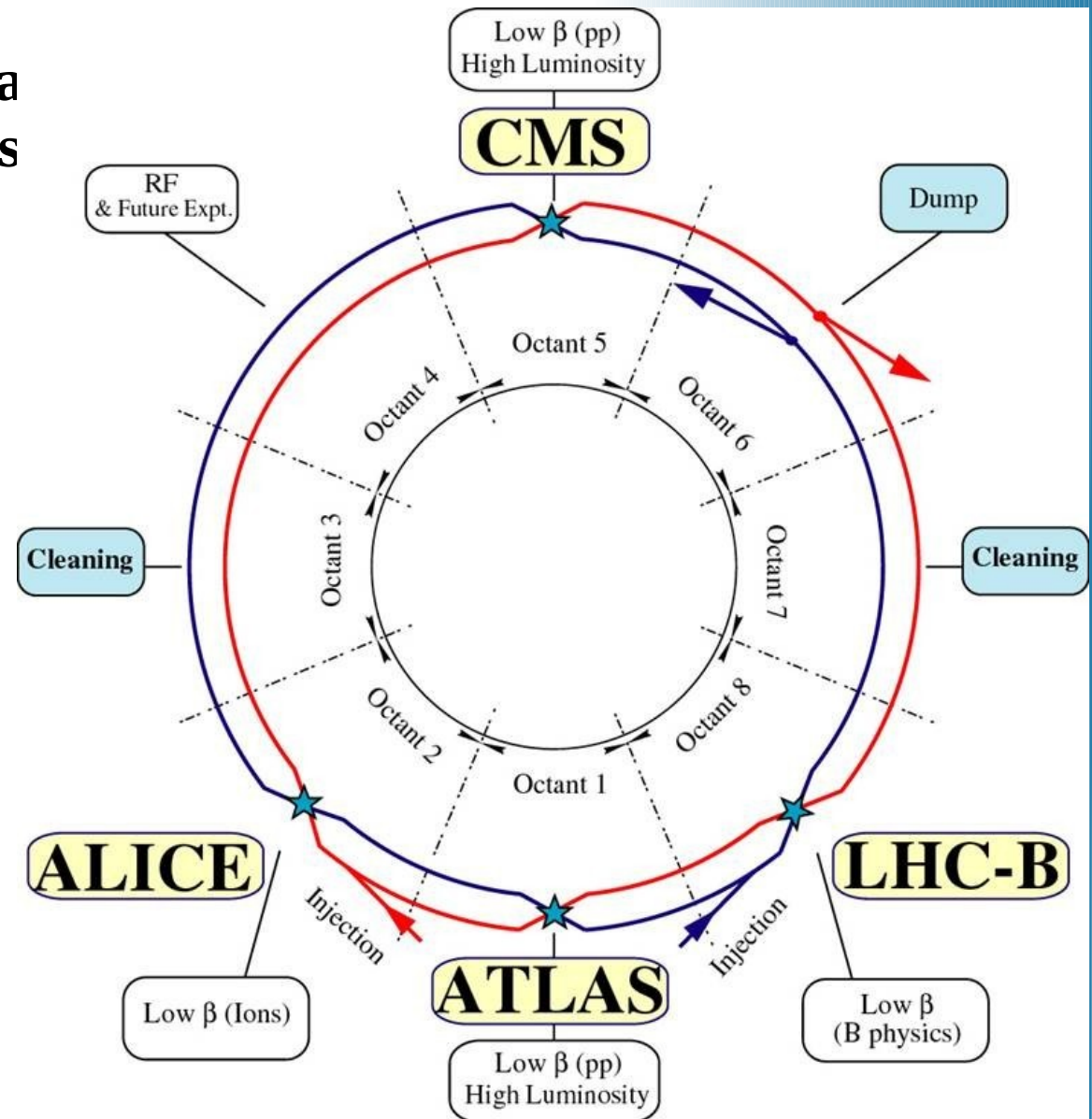
$10^{11}$  protons par paquets

11245 tours par seconde



# Expériences sur le LHC

- 2 faisceaux de protons à la vitesse de la lumière à très haute énergie (7 TeV)
- 40 millions de collisions par seconde
- 27km de circonférence
- 350 MJ/faisceau
- 7 expériences :
  - ATLAS / LHCf
  - ALICE
  - CMS / TOTEM
  - LHC-b / MoEDAL



# Les recherches au LHC

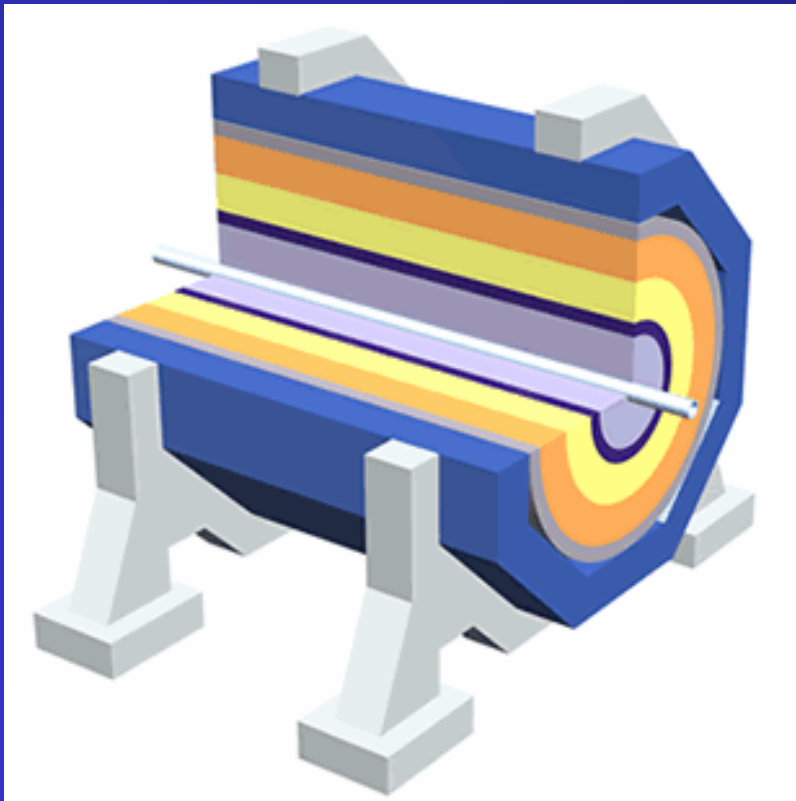
- **Approches complémentaires :**
  - Recherches directes
    - $E=mc^2$  ! Créer de nouvelles particules.
    - ATLAS, CMS
  - Recherches indirectes
    - Recherche de déviations par rapport au modèle standard
    - LHCb



---

# **L'expérience ATLAS**

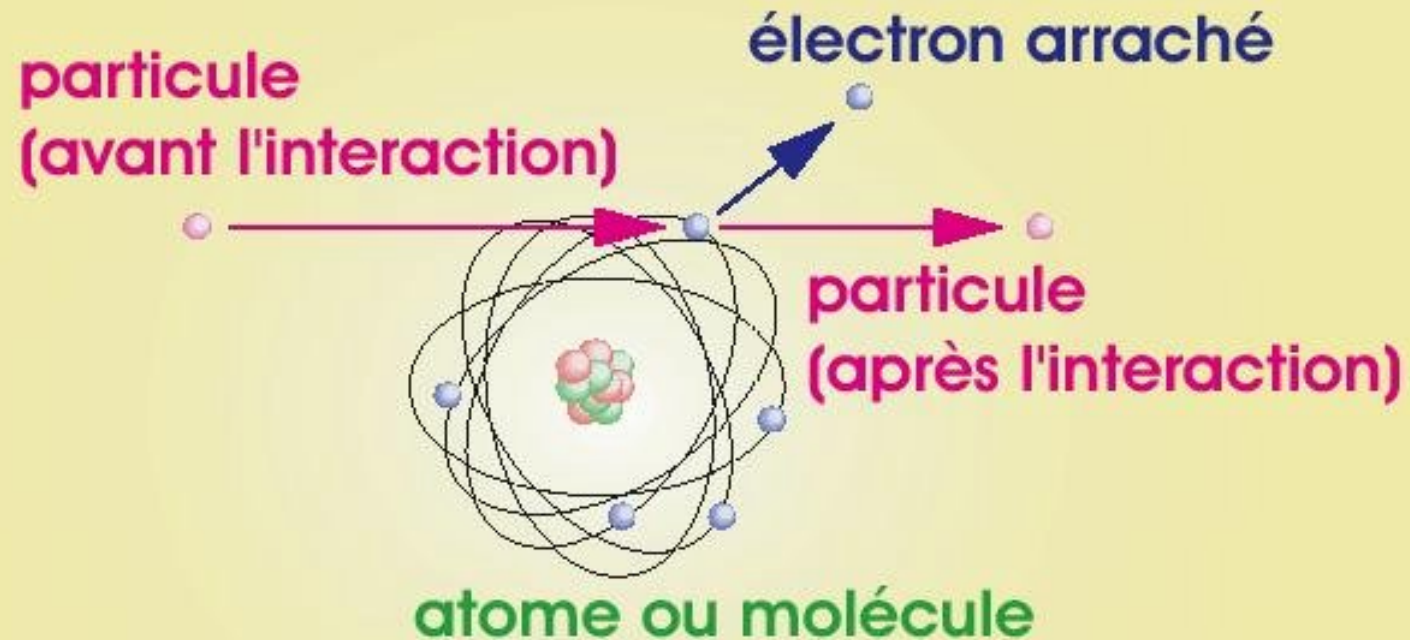
# Un détecteur



- Structure en couche autour de la collision
- Suivi des traces :
  - "photographie" de la collision
  - mesure charge et quantité de mouvement (avec B)
- Mesure énergie
- Mesure des muons

# Principe de détection (1)

## ionisation des atomes



La particule arrache des électrons aux atomes.  
Ces électrons produisent un

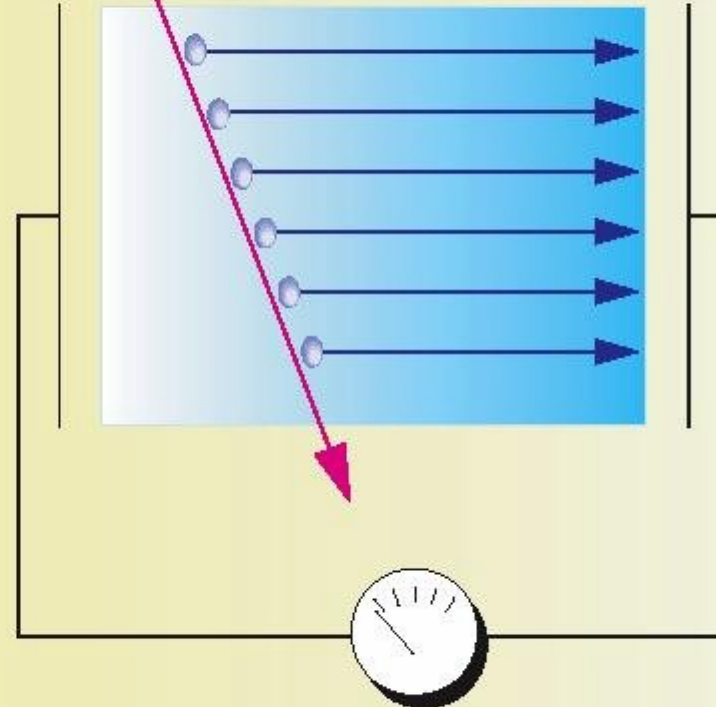
**→ Signal électrique détectable**

# Principe de détection (2)

**Particule chargée**

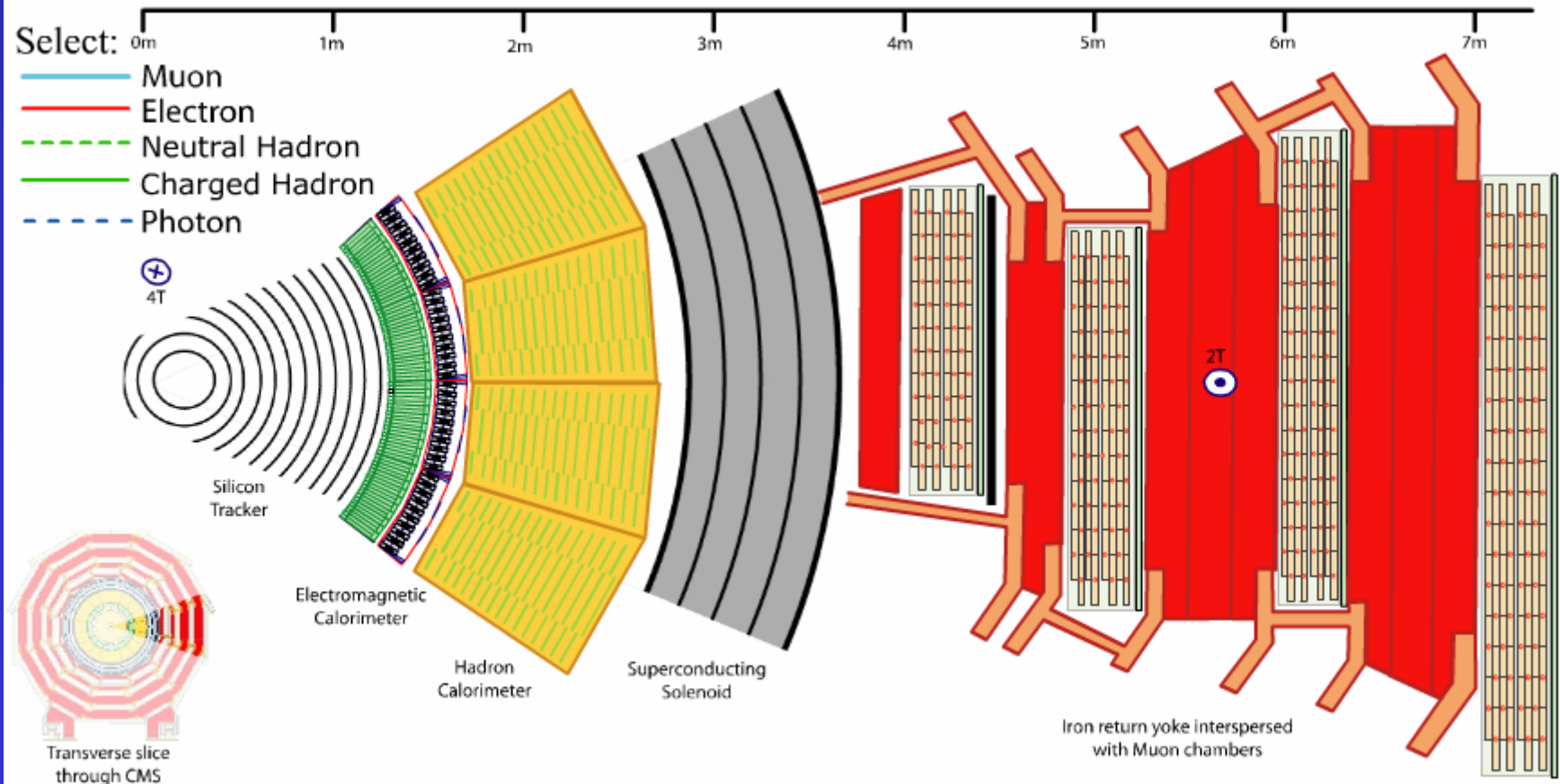
**Electrons émis, migrant le long du champ électrique**

En pratique, la matière est placée dans un champ électrique. Il guide les électrons pour les collecter.

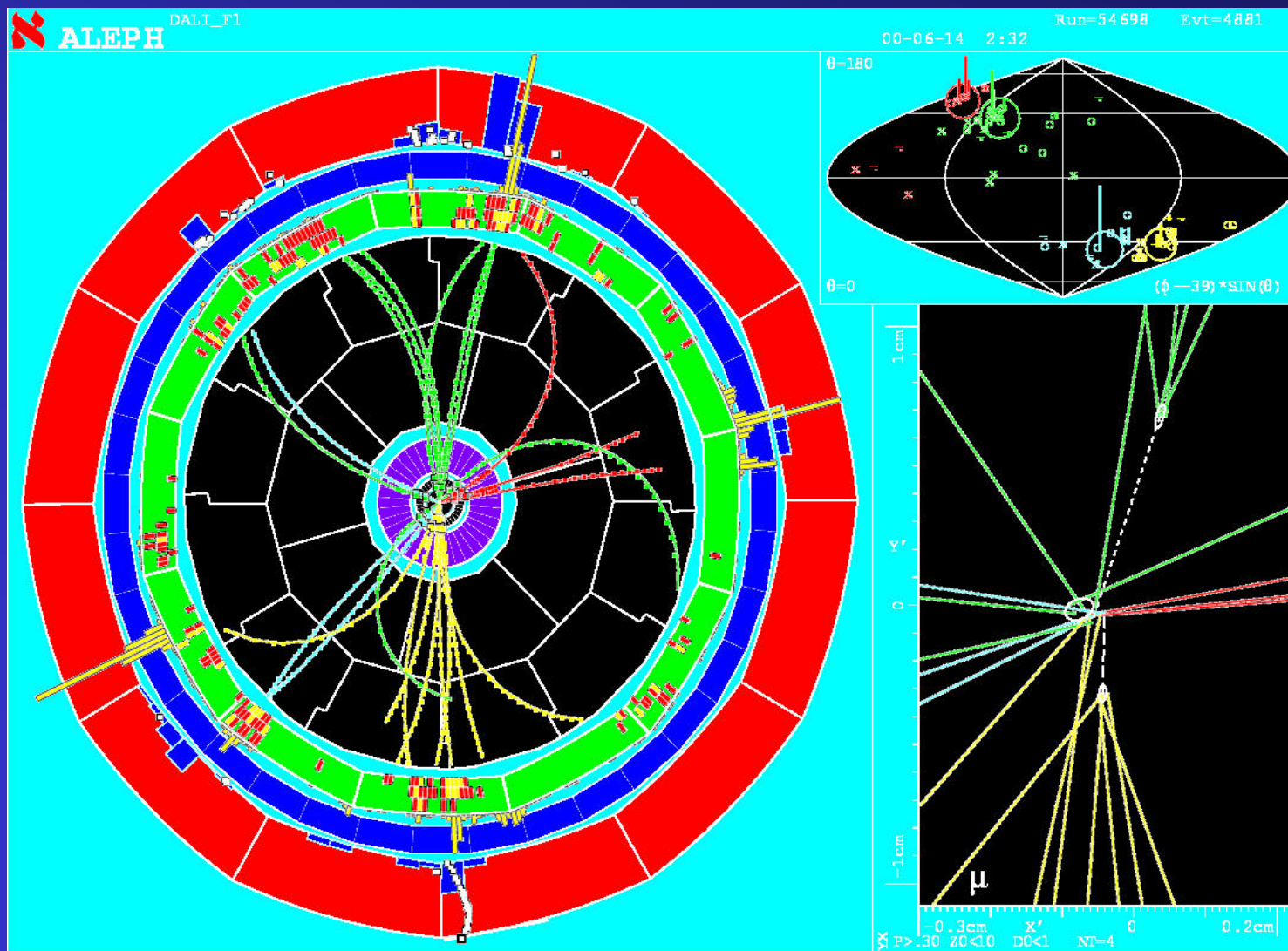


**Mesure du signal induit par les électrons**

# Une tranche de l'expérience CMS

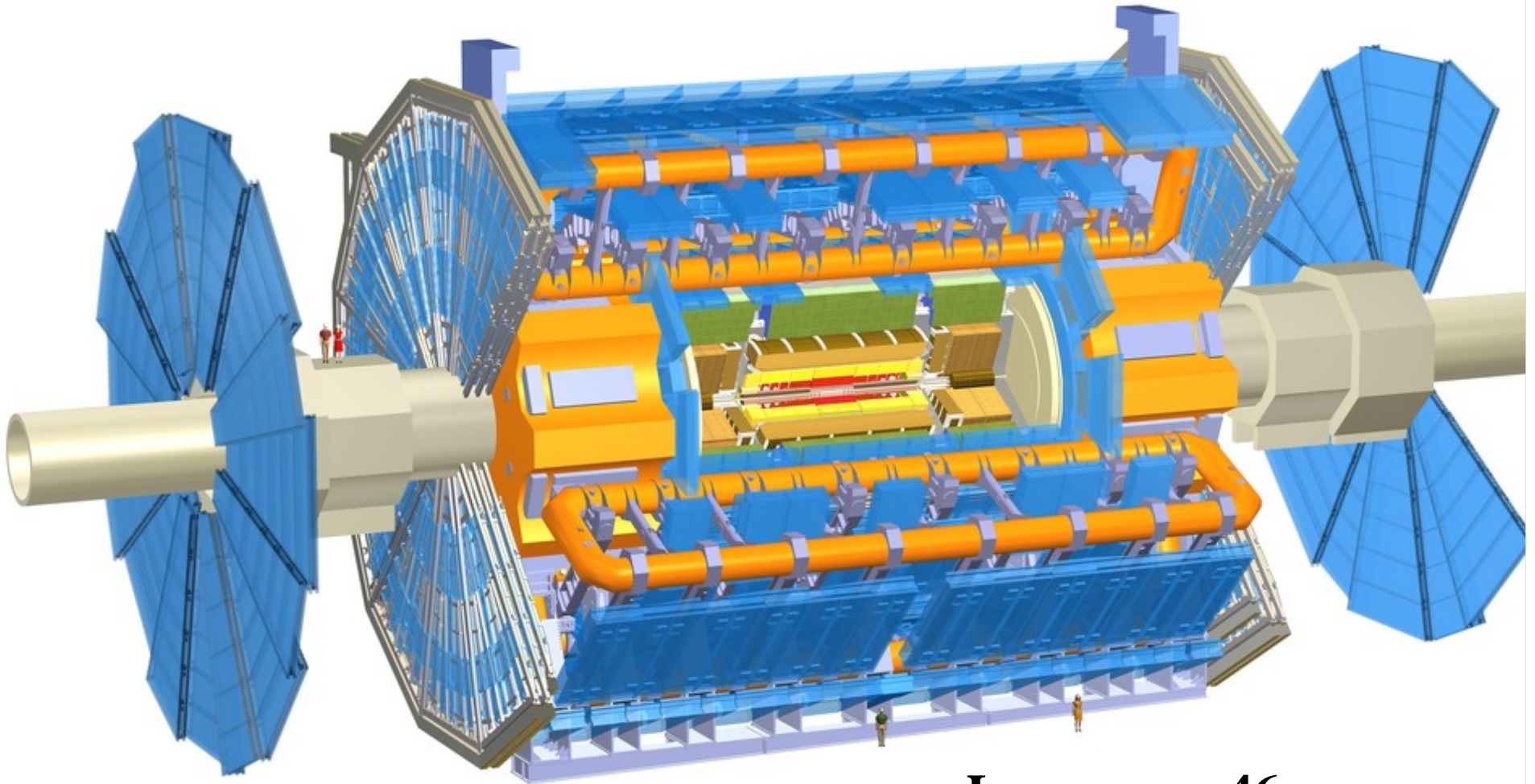


# Candidat $e^+e^- \rightarrow Z^0 H \rightarrow qqbb$ , $m_H = 115 \text{ GeV}$





# Atlas



**Longueur : 46 m**

**Diamètre : 25 m**

**Masse : 7000 tonnes**

# Collaboration ATLAS

35 Pays  
161 Laboratoires  
1830 Scientifiques

2500 Physiciens et ingénieurs  
pendant 15 ans

A comparer à :  
Airbus : 1000 ingénieurs  
mais aussi à la Formule 1



Albany, Alberta, NIKHEF Amsterdam, Ankara, LAPP Annecy, Argonne NL, Arizona, UT Arlington, Athens, NTU Athens, Baku, IFAE Barcelona, Belgrade, Bergen, Berkeley LBL and UC, HU Berlin, Bern, Birmingham, Bologna, Bonn, Boston, Brandeis, Bratislava/SAS Kosice, Brookhaven NL, Buenos Aires, Bucharest, Cambridge, Carleton, Casablanca/Rabat, CERN, Chinese Cluster, Chicago, Clermont-Ferrand, Columbia, NBI Copenhagen, Cosenza, AGH UST Cracow, IFJ PAN Cracow, DESY, Dortmund, TU Dresden, JINR Dubna, Duke, Frascati, Freiburg, Geneva, Genoa, Giessen, Glasgow, LPSC Grenoble, Technion Haifa, Hampton, Harvard, Heidelberg, Hiroshima, Hiroshima IT, Indiana, Innsbruck, Iowa SU, Irvine UC, Istanbul Bogazici, KEK, Kobe, Kyoto, Kyoto UE, Lancaster, UN La Plata, Lecce, Lisbon LIP, Liverpool, Ljubljana, QMW London, RHBNC London, UC London, Lund, UA Madrid, Mainz, Manchester, Mannheim, CPPM Marseille, Massachusetts, MIT, Melbourne, Michigan, Michigan SU, Milano, Minsk NAS, Minsk NCPHEP, Montreal, McGill Montreal, FIAN Moscow, ITEP Moscow, MEPhI Moscow, MSU Moscow, Munich LMU, MPI Munich, Nagasaki IAS, Naples, New Mexico, New York, Nijmegen, BINP Novosibirsk, Ohio SU, Okayama, Oklahoma, Oklahoma SU, Oregon, LAL Orsay, Osaka, Oslo, Oxford, Paris VI and VII, Pavia, Pennsylvania, Pisa, Pittsburgh, CAS Prague, CU Prague, TU Prague, IHEP Protvino, Ritsumeikan, UFRJ Rio de Janeiro, Rochester, Rome I, Rome II, Rome III, Rutherford Appleton Laboratory, DAPNIA Saclay, Santa Cruz UC, Sheffield, Shinshu, Siegen, Simon Fraser Burnaby, SLAC, Southern Methodist Dallas, NPI Petersburg, Stockholm, KTH Stockholm, Stony Brook, Sydney, AS Taipei, Tbilisi, Tel Aviv, Thessaloniki, Tokyo ICEPP, Tokyo MU, Toronto, TRIUMF, Tsukuba, Tufts, Udine, Uppsala, Urbana UI, Valencia, UBC Vancouver, Victoria, Washington, Weizmann Rehovot, Wisconsin, Wuppertal, Yale, Yerevan



# Qui sont les constructeurs et exploitants d'ATLAS?



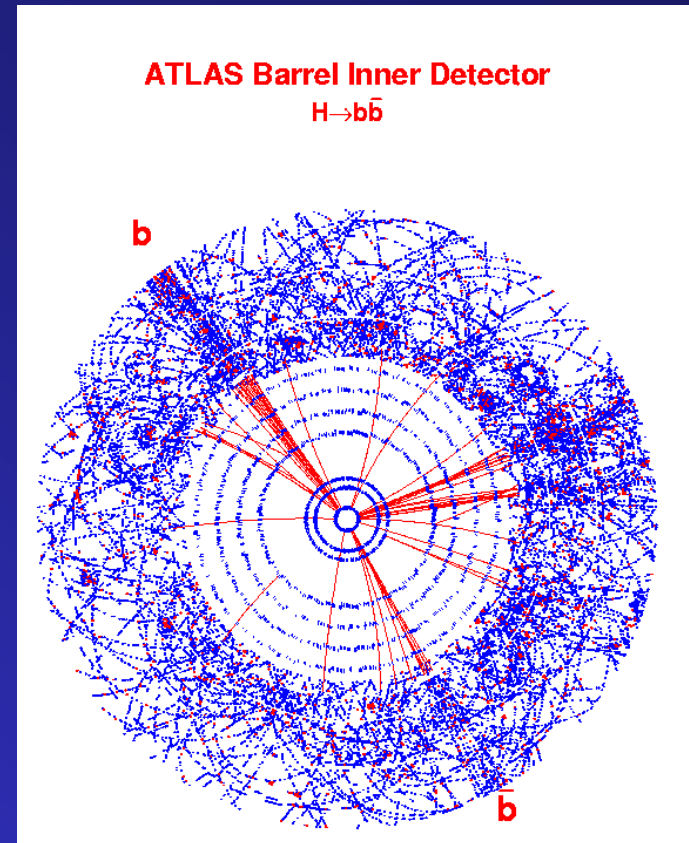
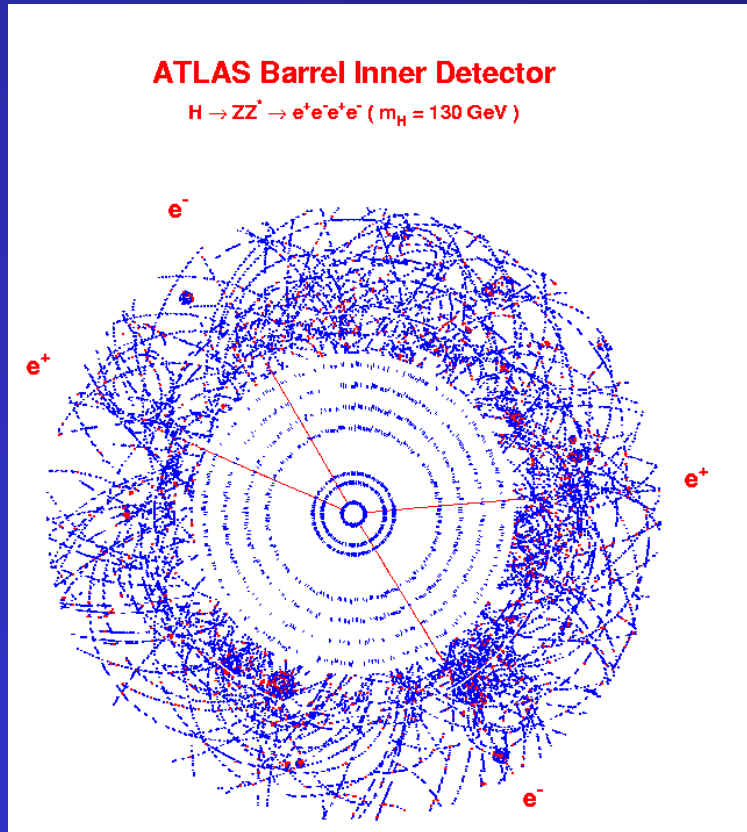
2500 scientifiques,  
venant de presque 200 universités, instituts et laboratoires dans 37 pays



# Un défi pour les expériences

- Les processus recherchés sont extrêmement rares
- LHC : machine de très haute intensité
  - 40 000 000 de croisements par seconde
  - Une vingtaine de collisions par croisement (superposition de ~20 photographies)
- Au moins dix fois plus difficile que les expériences antérieures :
  - Résistance aux radiations
  - Pouvoir de sélection
  - Précision des mesures

# Illustration de la complexité

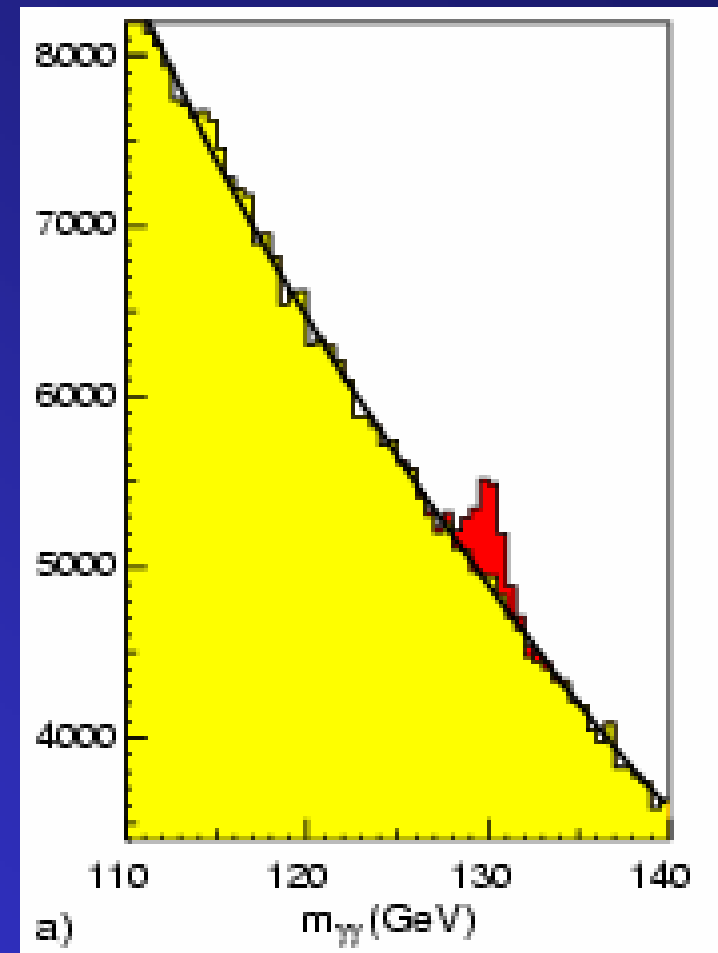


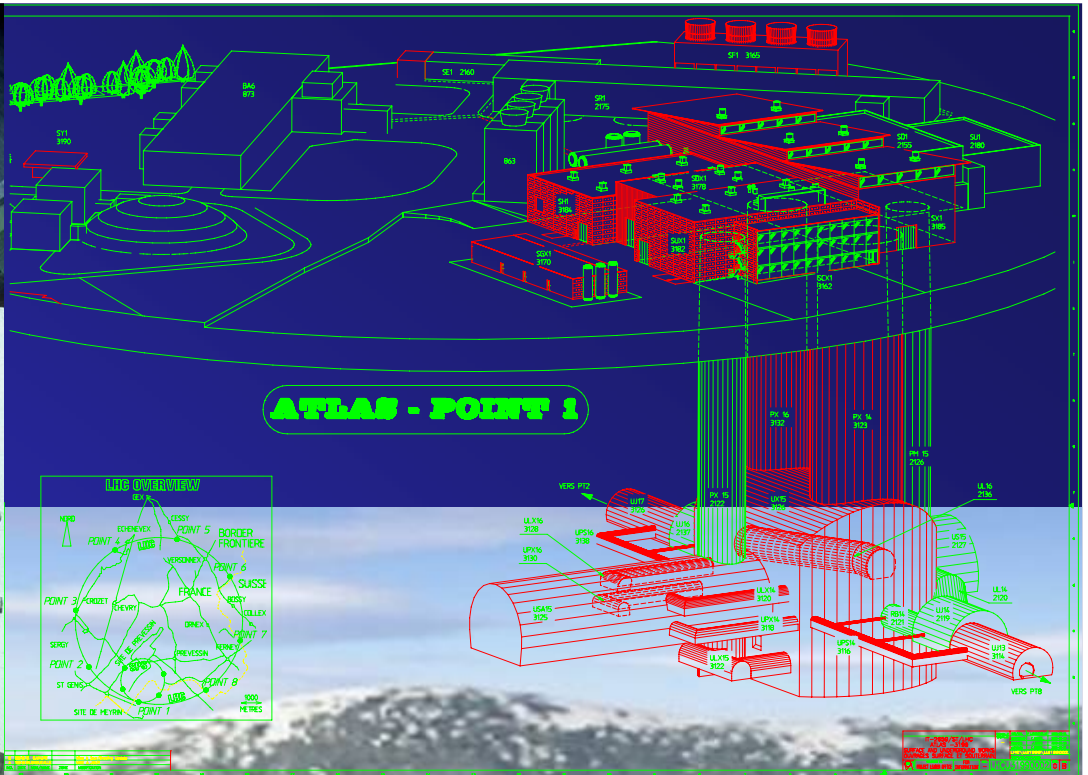
- Très grande finesse
- Résistance aux radiations

# Illustration de la complexité (2)

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

Des précisions de mesure jamais atteintes pour des détecteurs de ces dimensions





**Profondeur = 100 m**  
**Longueur = 55 m**  
**Largeur = 32 m**  
**Hauteur = 35 m**



# Vue Aérienne des installations en surface

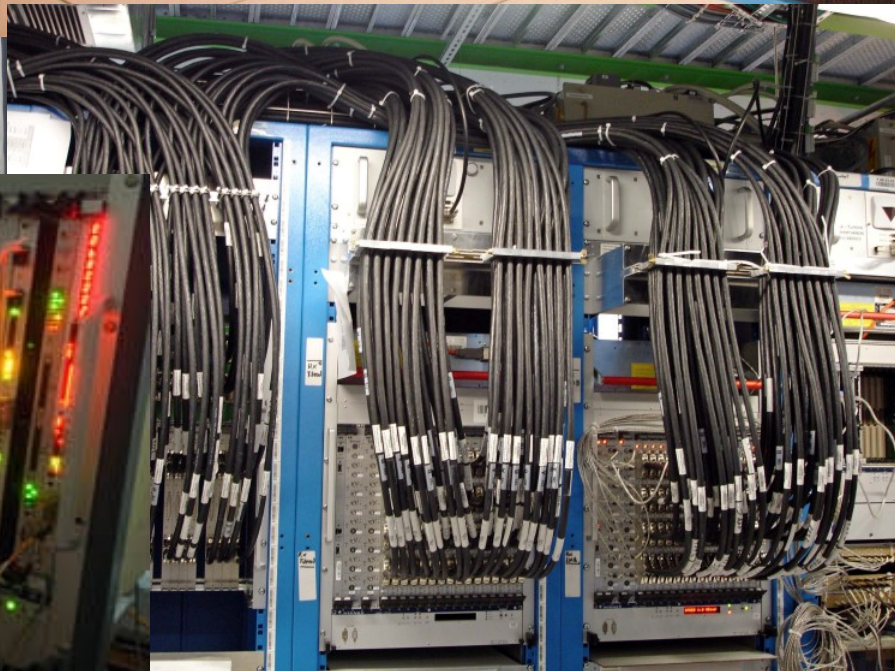
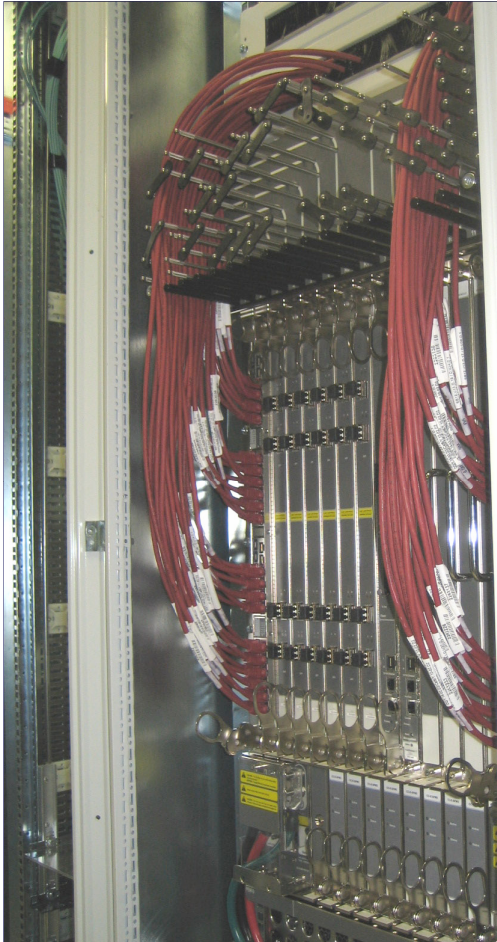


# Le CPPM dans Atlas

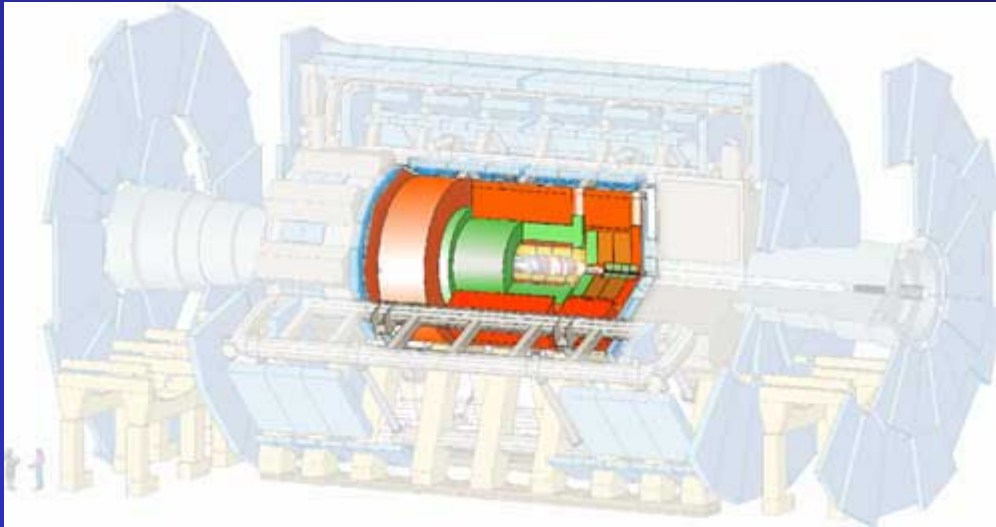
- Une vingtaine de physiciens
- Calorimètre électromagnétique
- Détecteur de vertex
- Sélection en temps réel des événements
  - 40 000 000 de collisions par seconde
  - Enregistrement : 100 événements (photographies) par seconde
  - Electronique et informatique
  - Architecture (circulation des données et calcul)
  - Algorithmes de sélection

# Filtrage des données

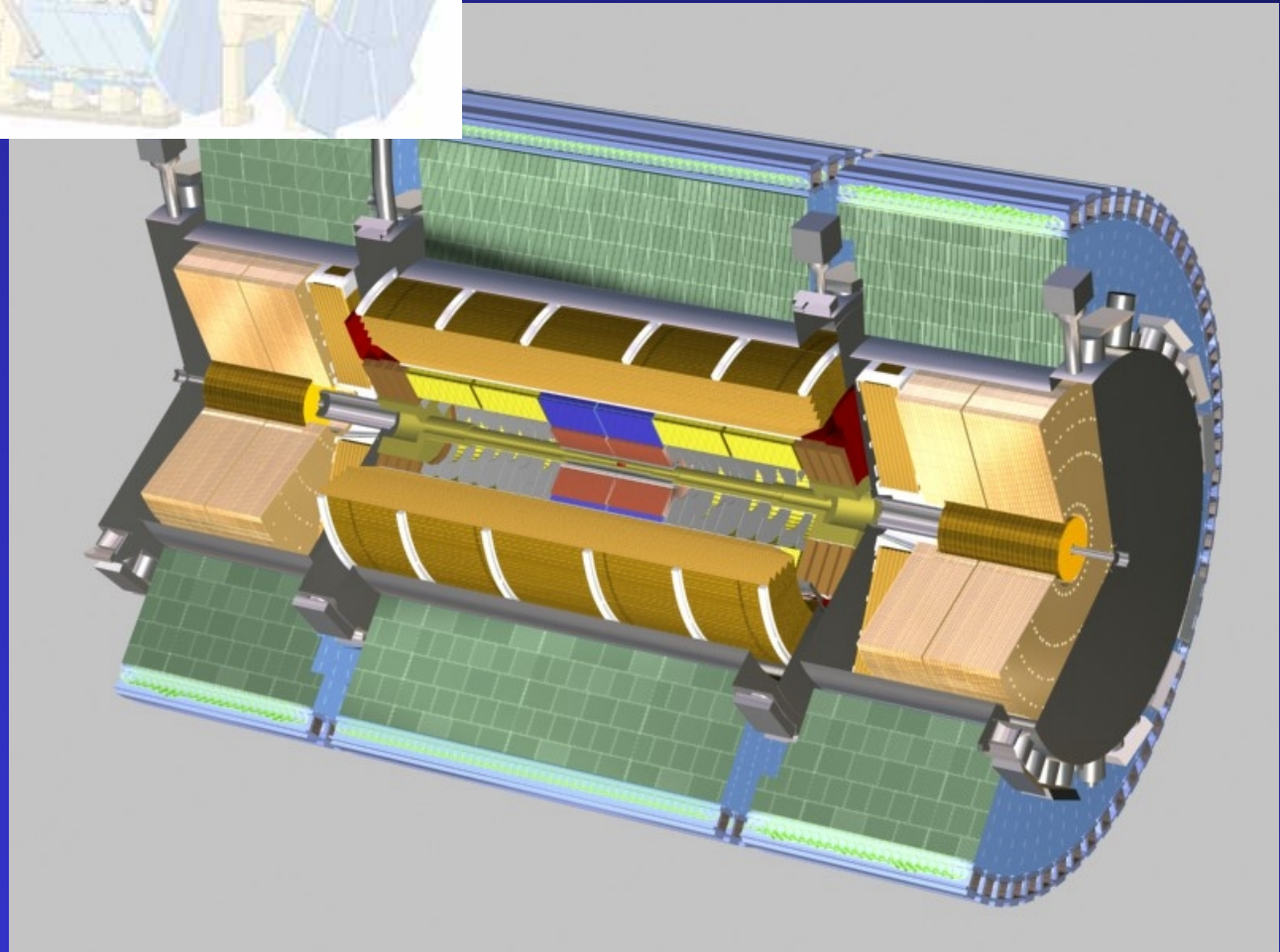
15/07/2006



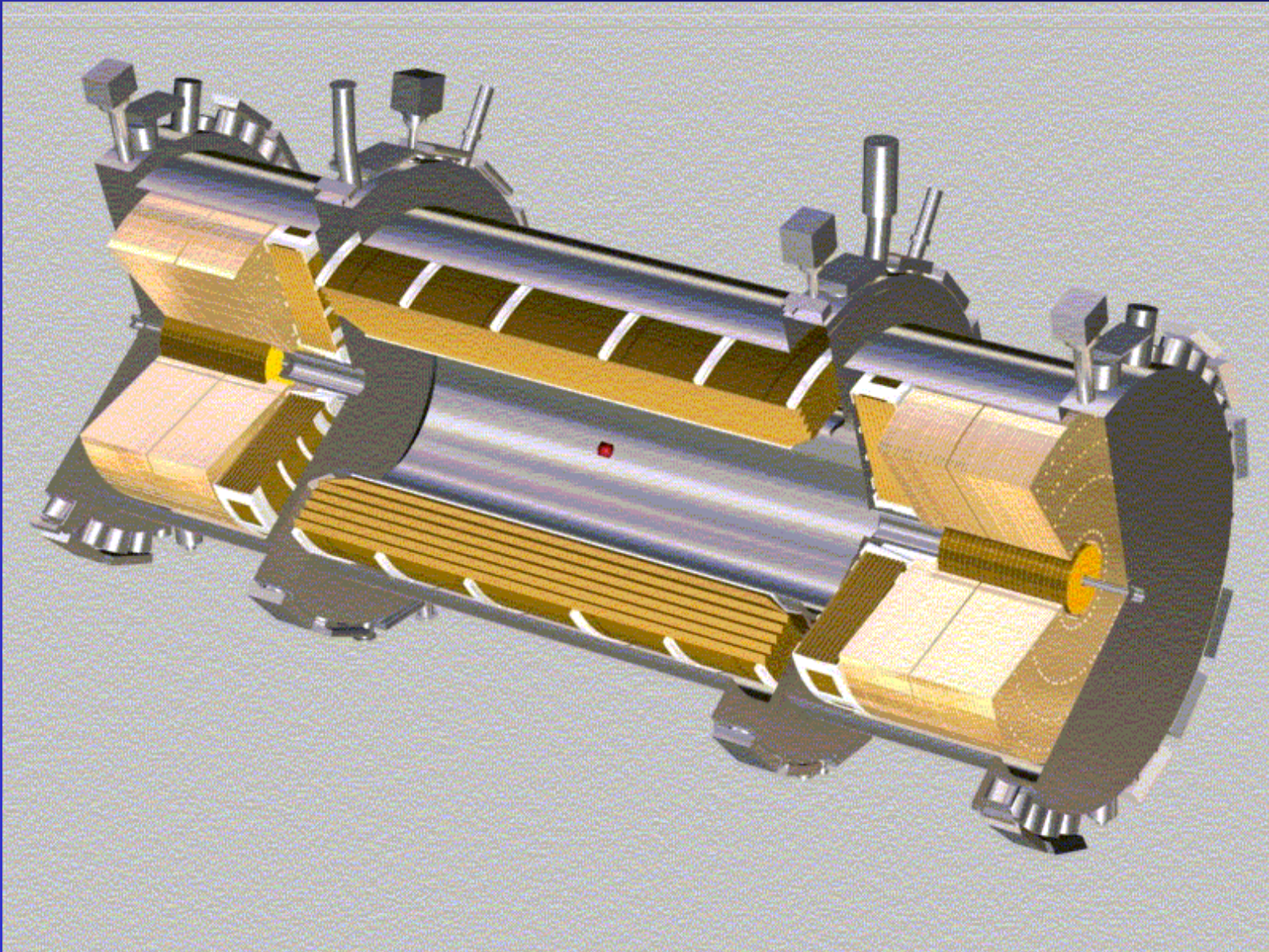
# Au cœur d'Atlas



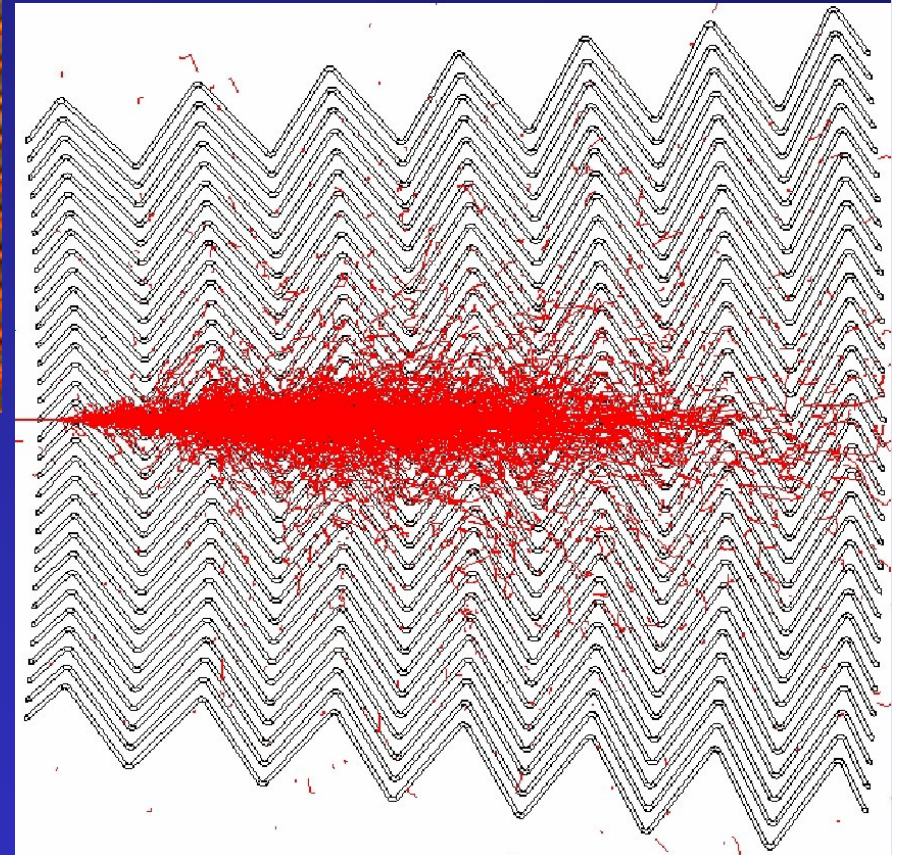
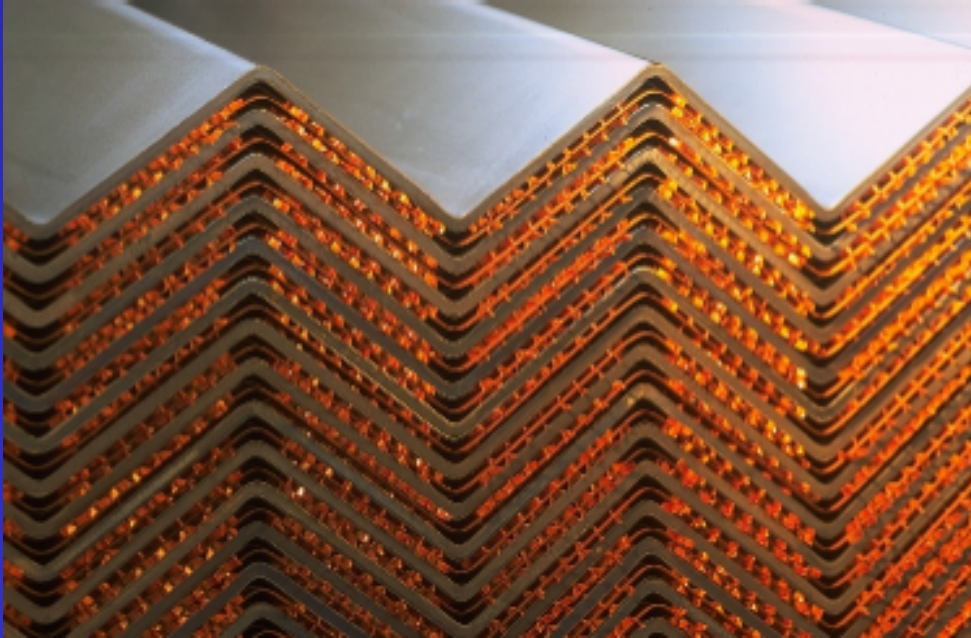
Calorimètres  
Trajectographe



# Calorimètres à argon liquide



# Calorimétrie à argon liquide



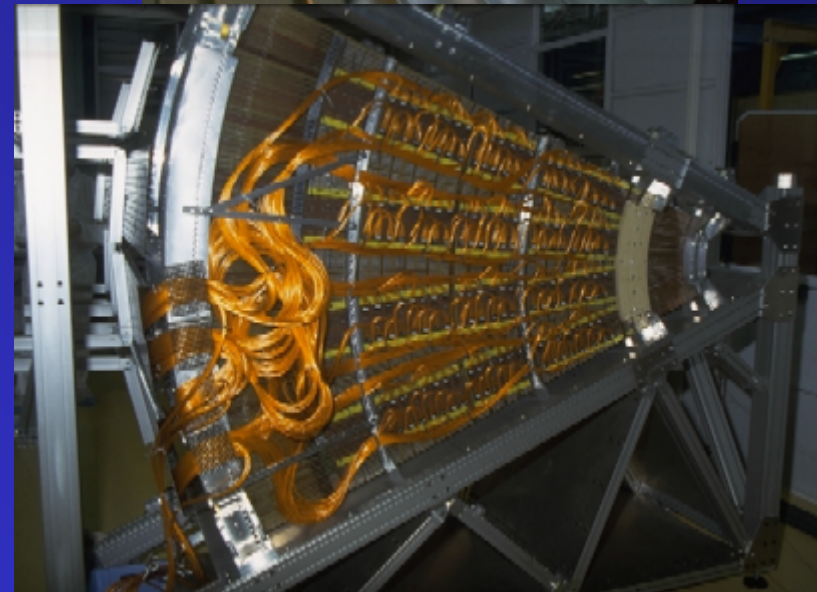
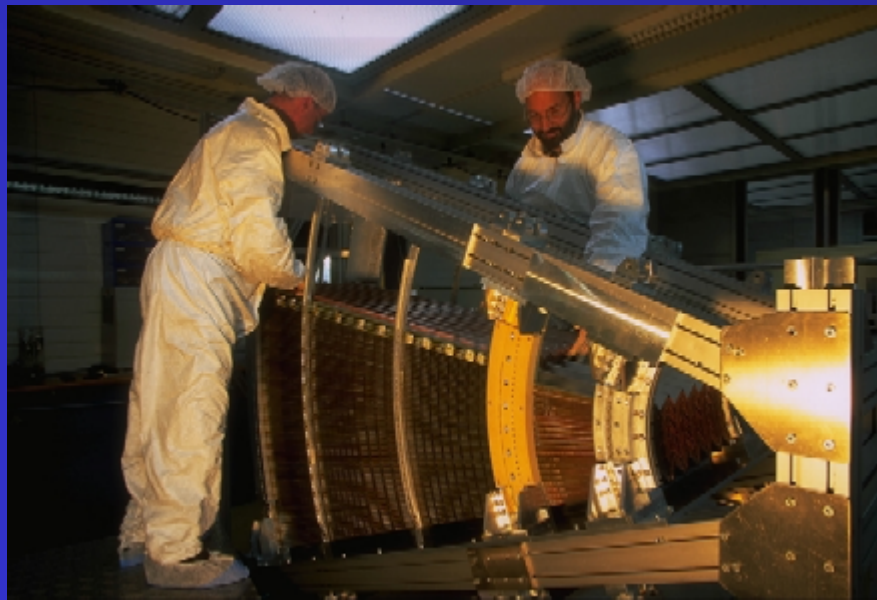
Mesure de l'énergie des particules  
en les arrêtant

Processus en gerbes

Détecteur à ionisation

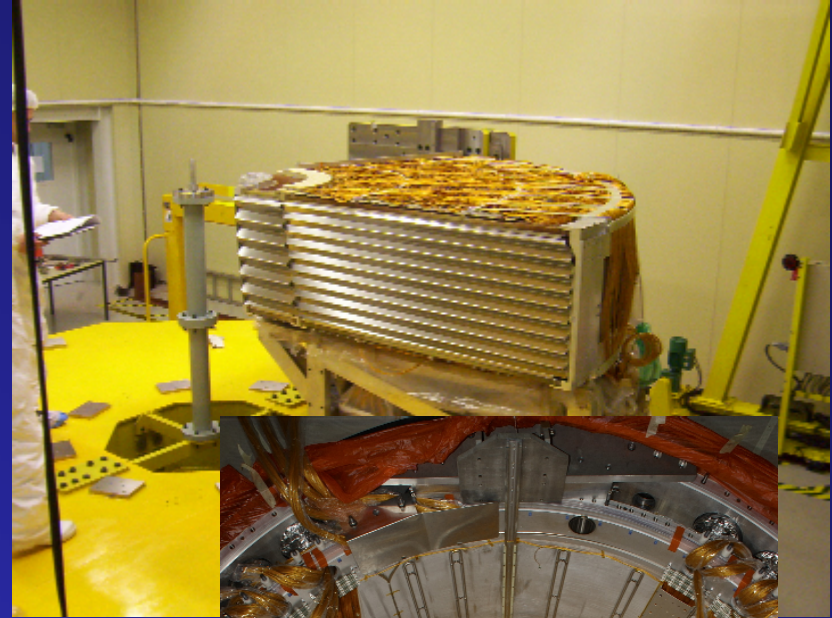
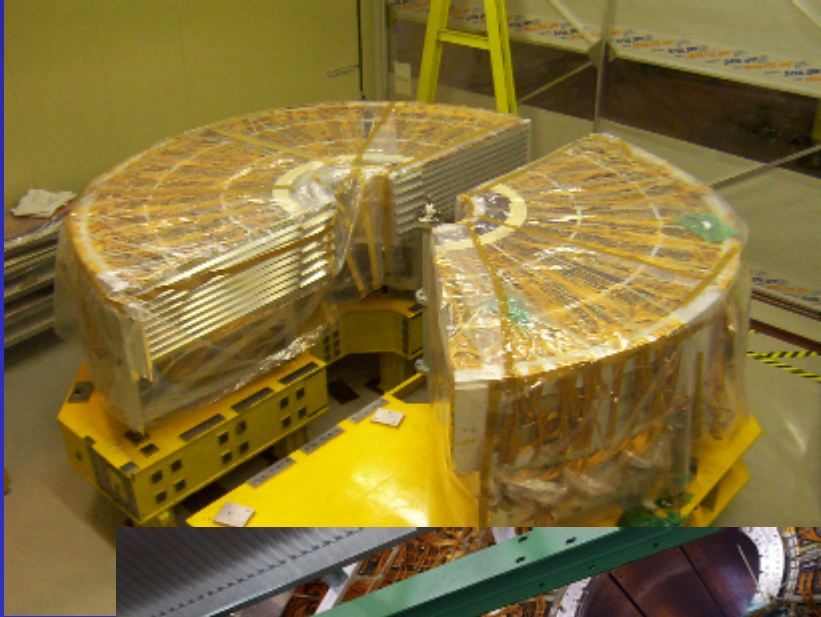
Plomb et argon liquide

Géométrie en accordéon



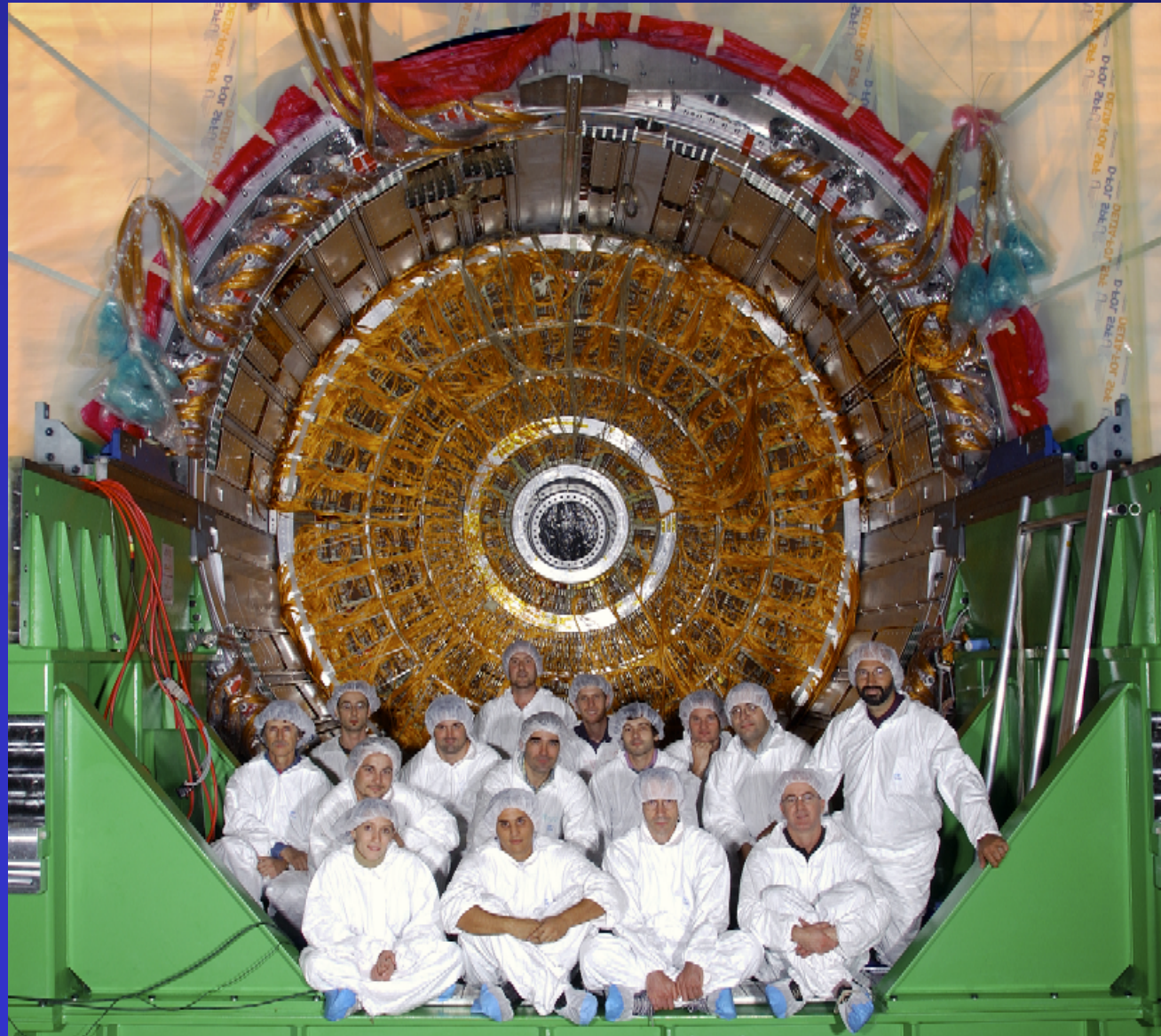
Au CPPM ...

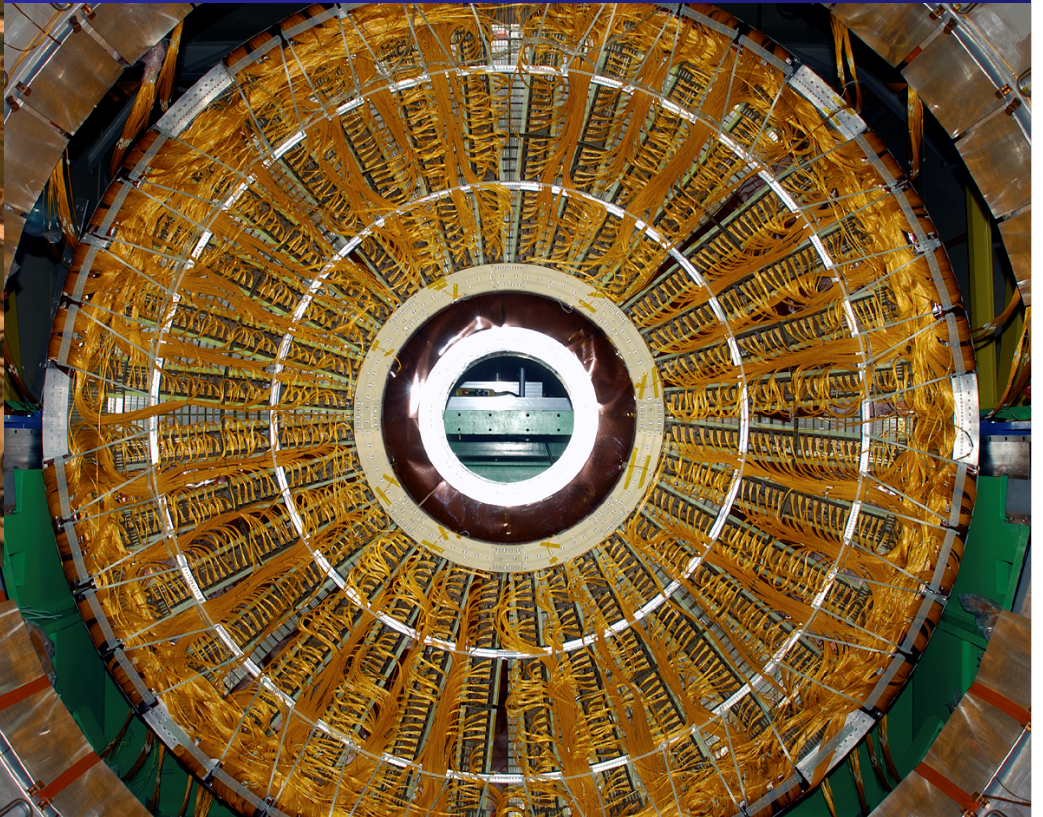
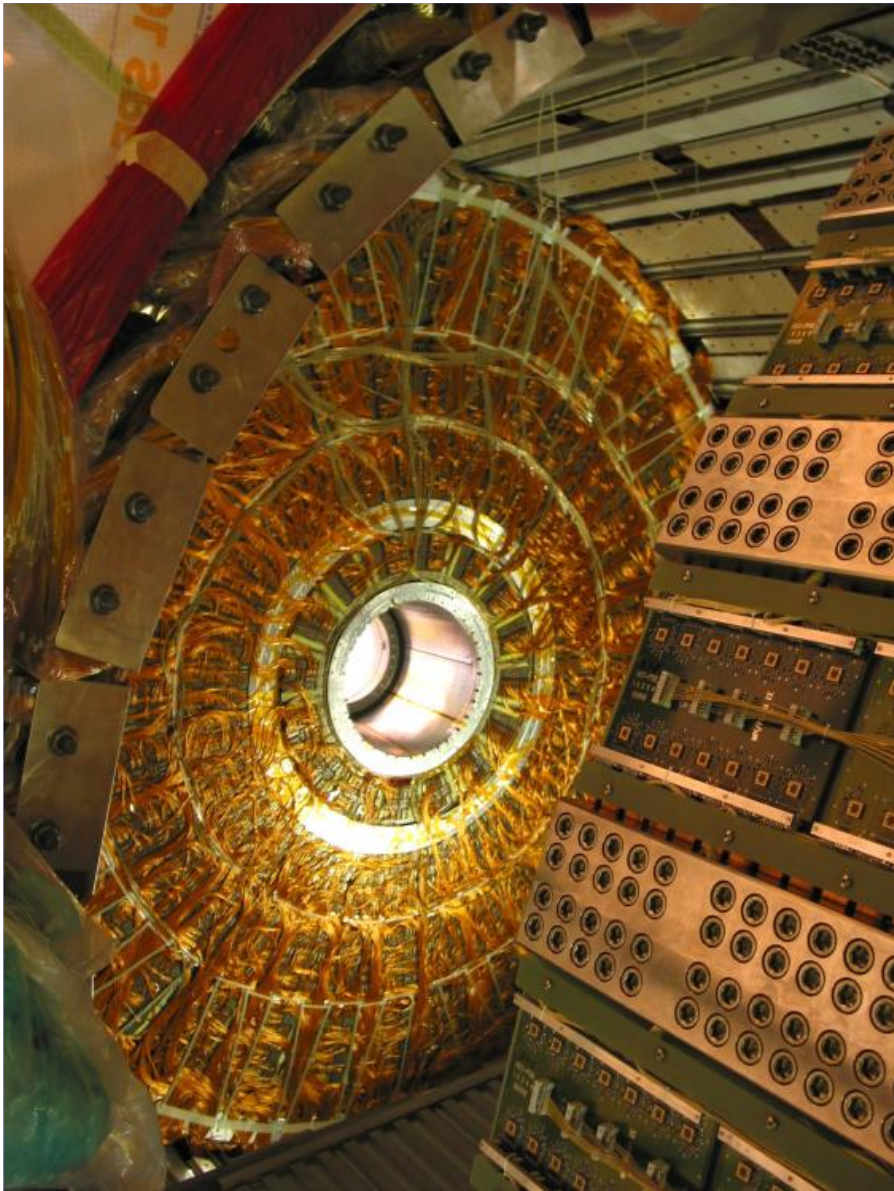
... puis au Cern

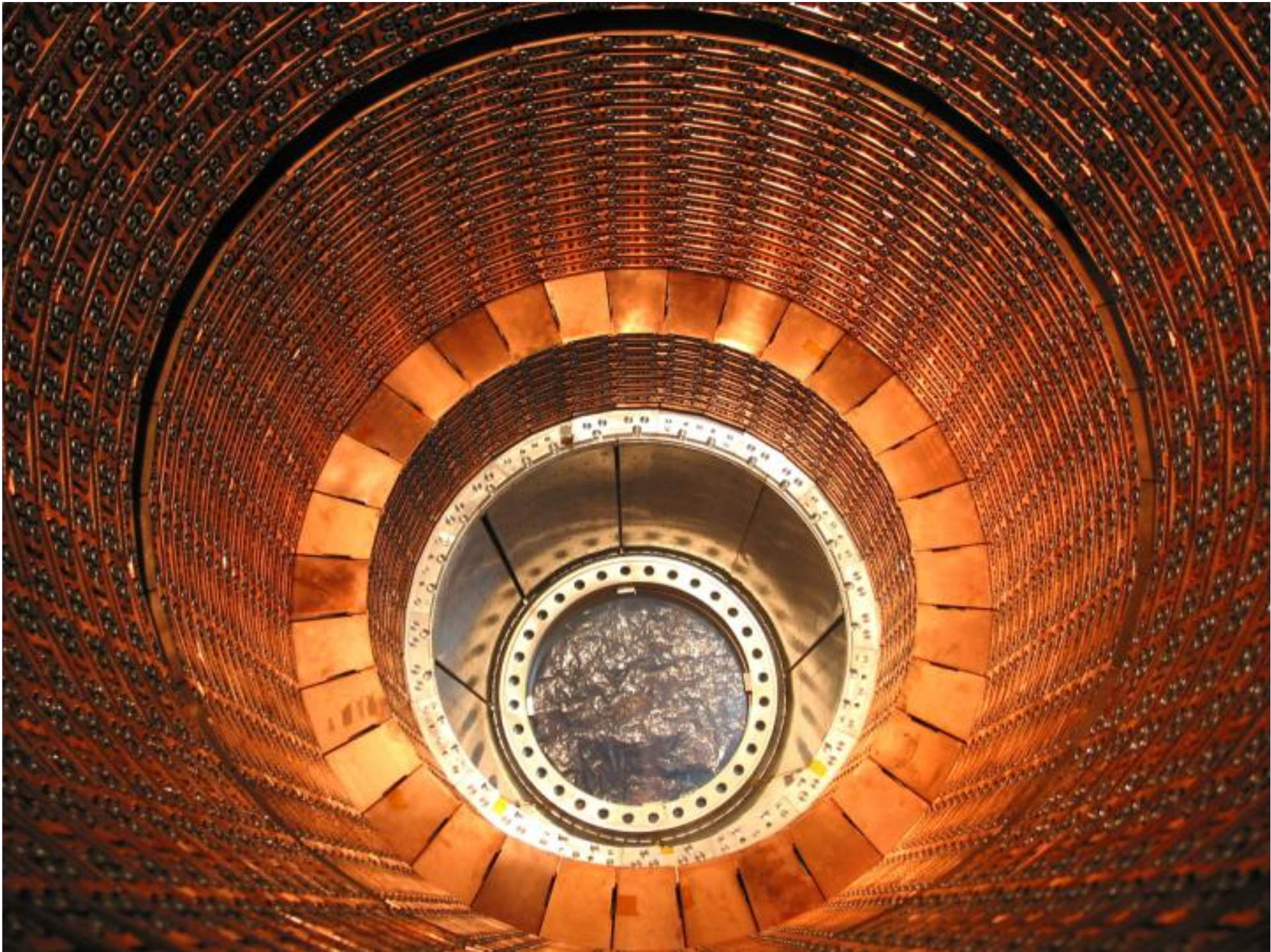


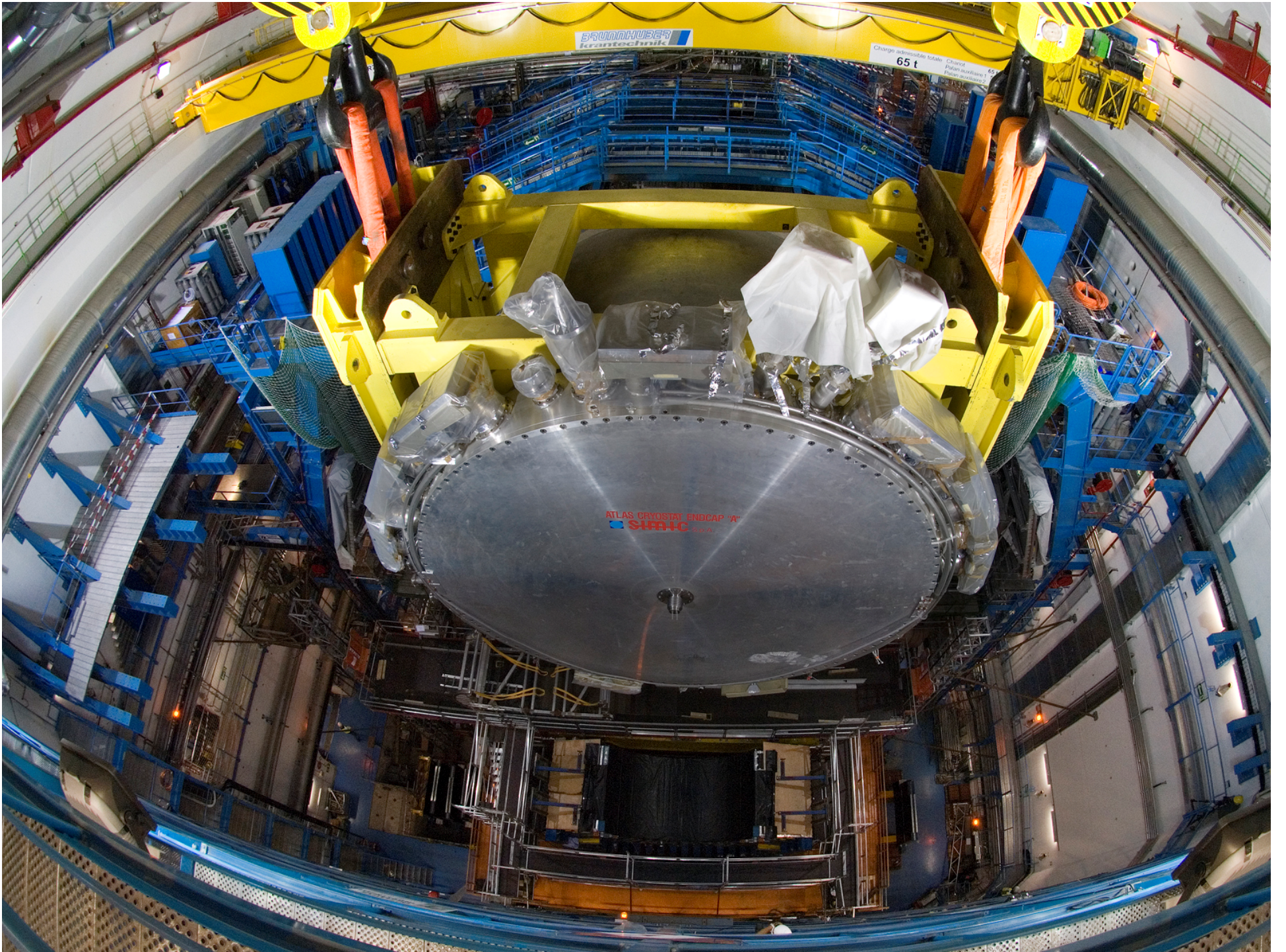


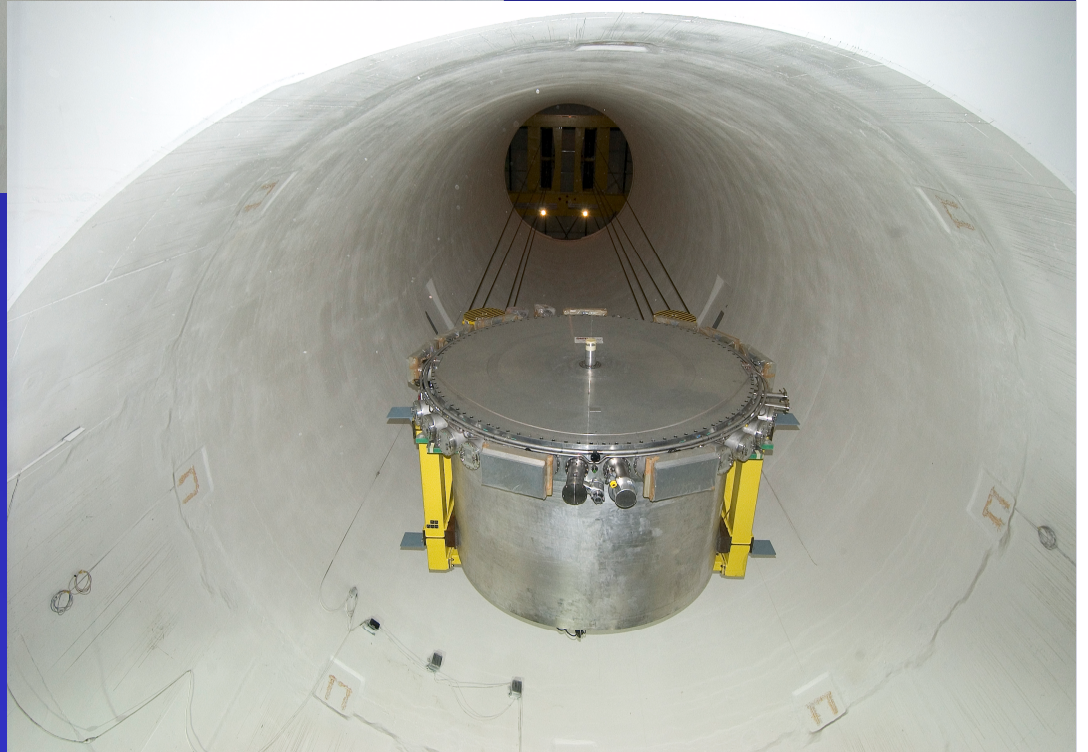
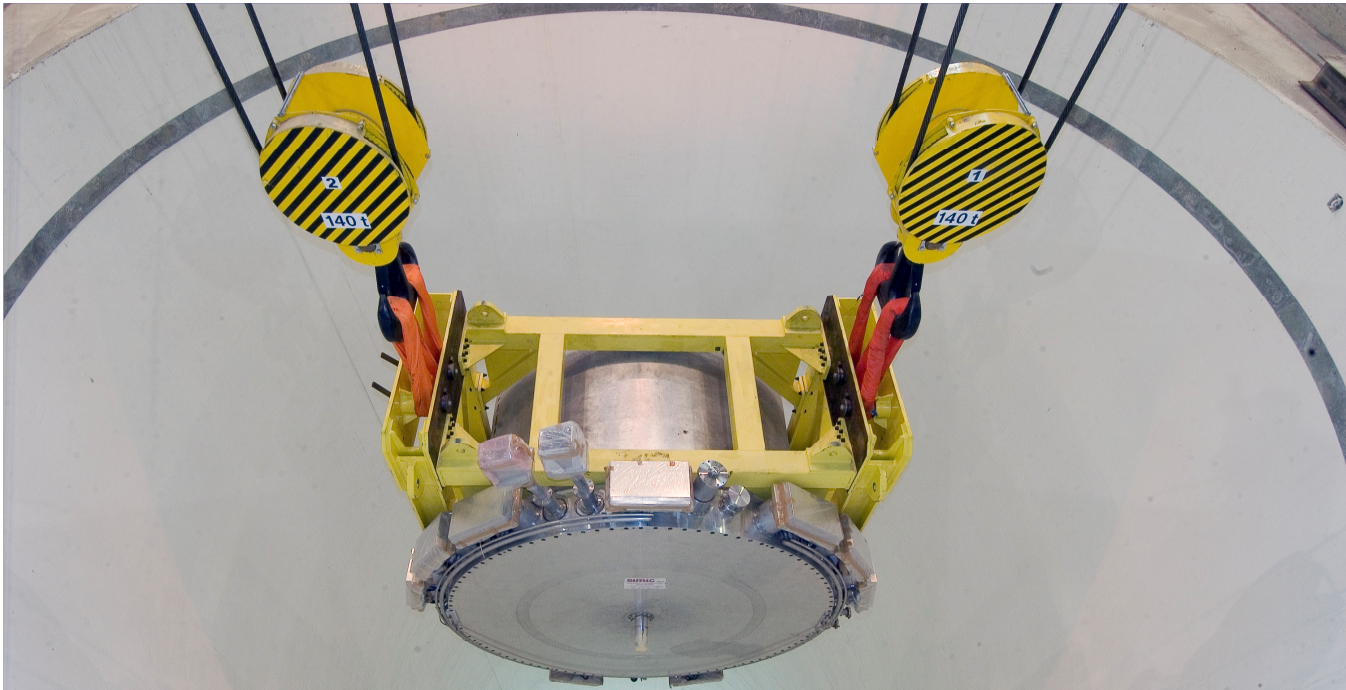
# Fiers du résultat



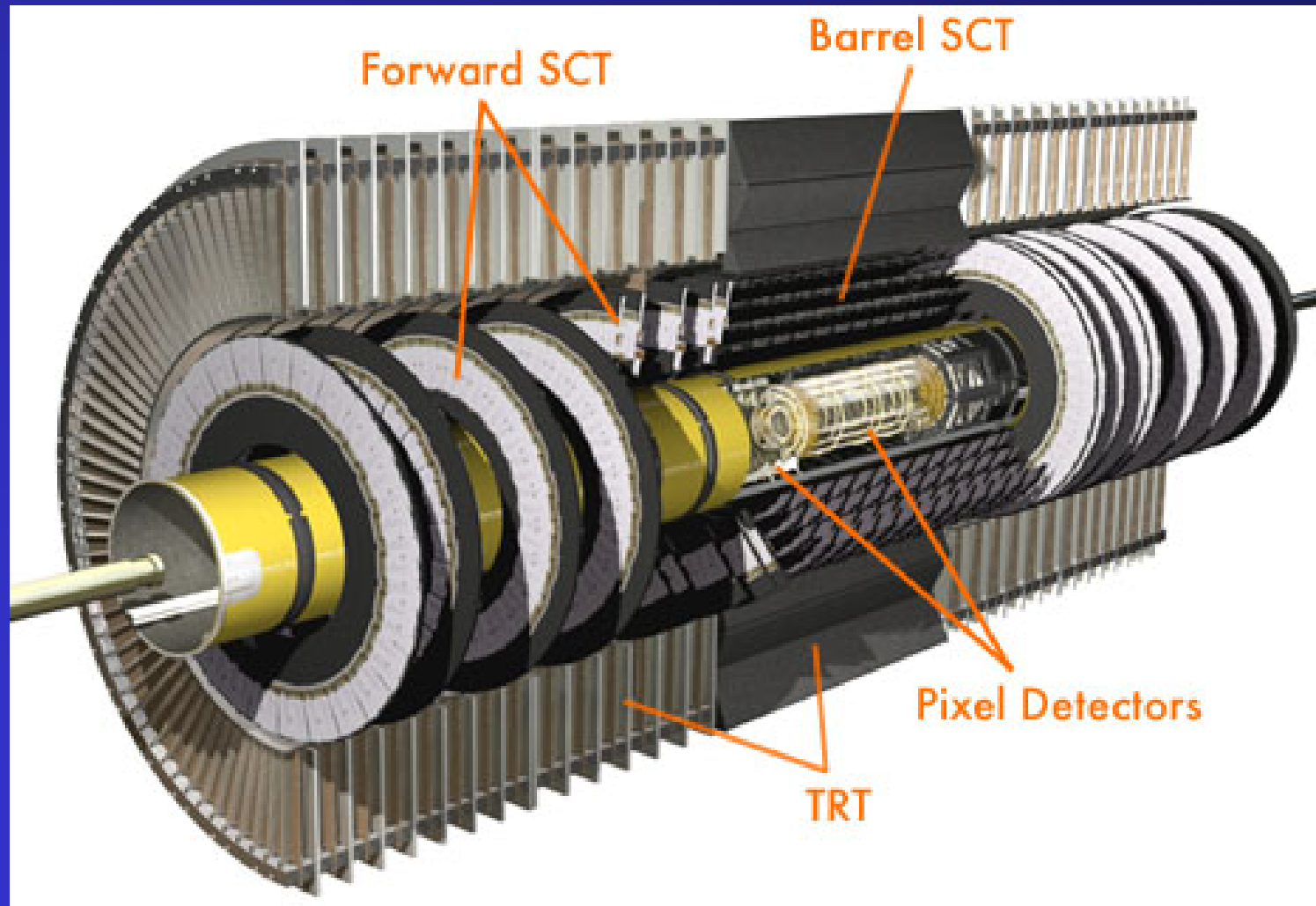






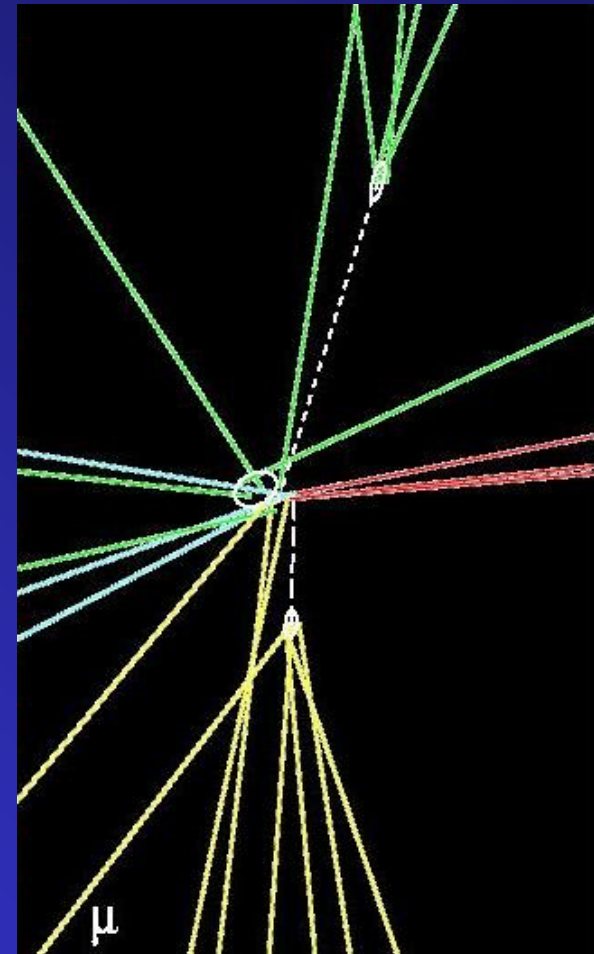
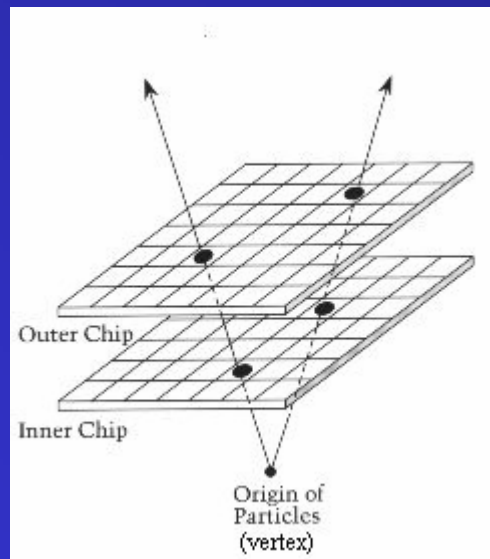
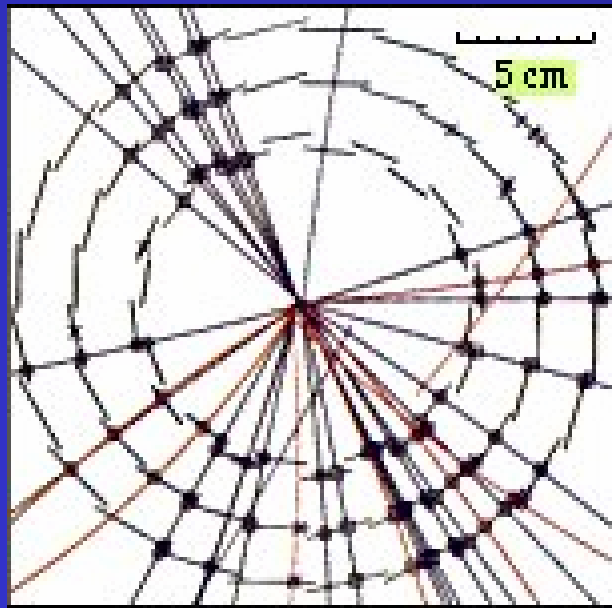


# Trajectographe d'Atlas

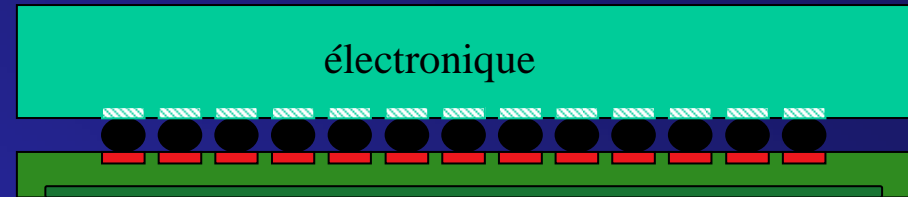
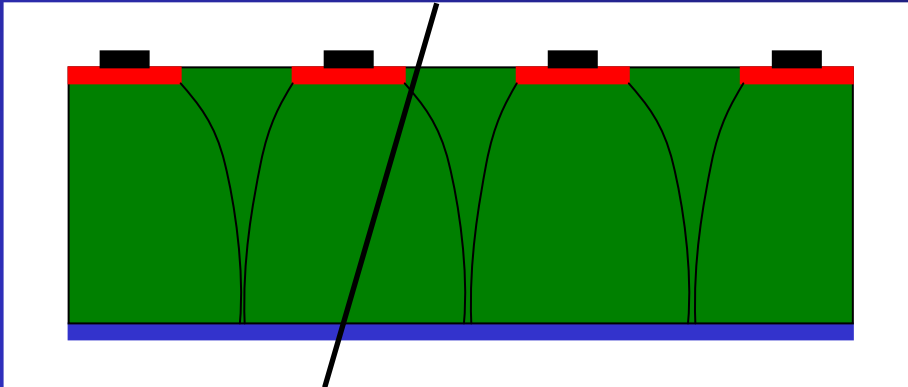


# Détecteur de vertex

Recherche de particules à courtes durées de vie  
Proche du point de collision  
Très haute résolution et très grande précision



# Détecteur à pixels



Détecteur à semi-conducteur (Si)

Détecteur à ionisation mais

électrons

trous (particule virtuelle de charge positive)

Techniques de miniaturisation de l'électronique

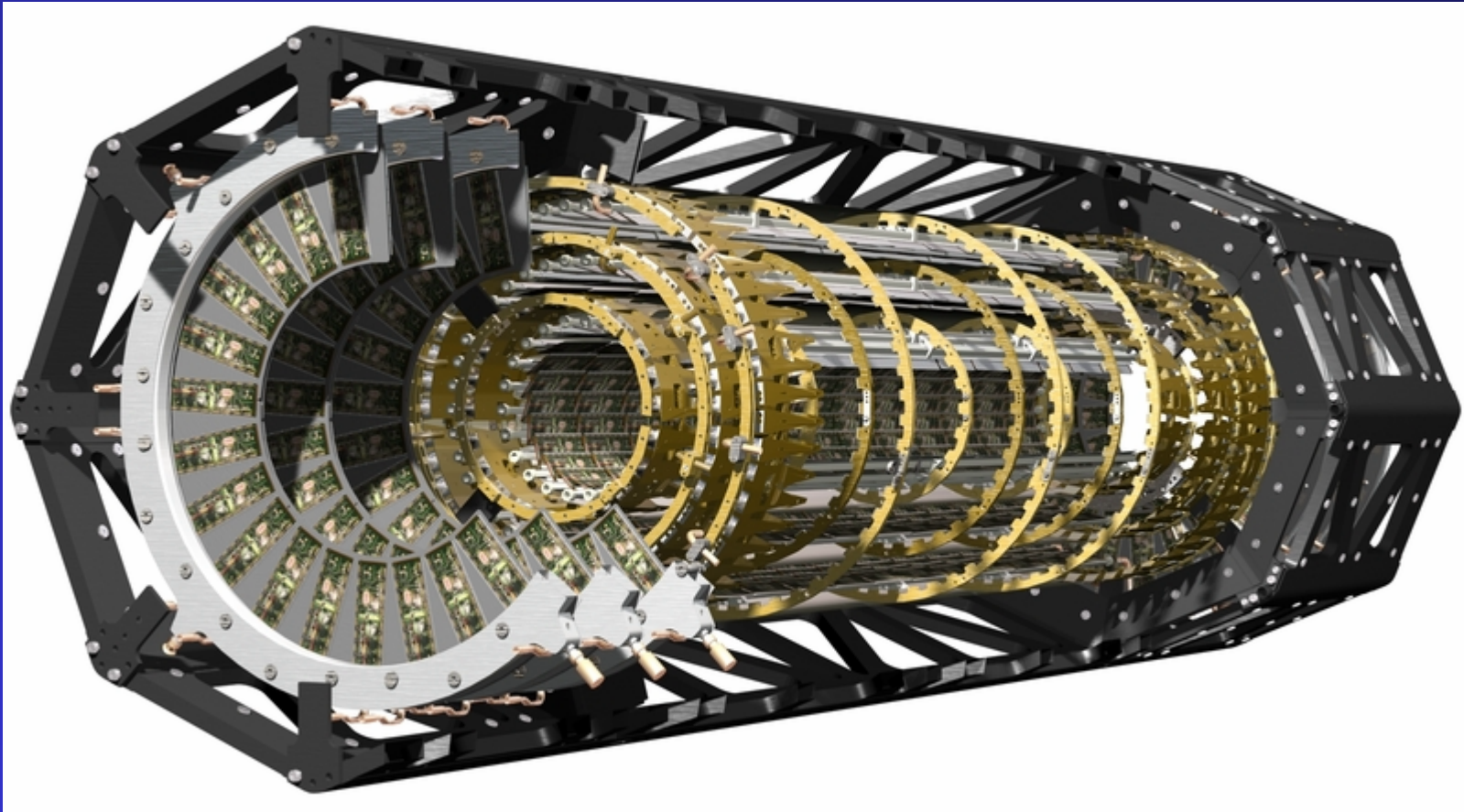
⇒ juxtaposition d'un grand nombre de micro-condensateurs

⇒ information sur la position de la particule

⇒ un circuit d'électronique de lecture par pixel



# Détecteur de vertex d'Atlas

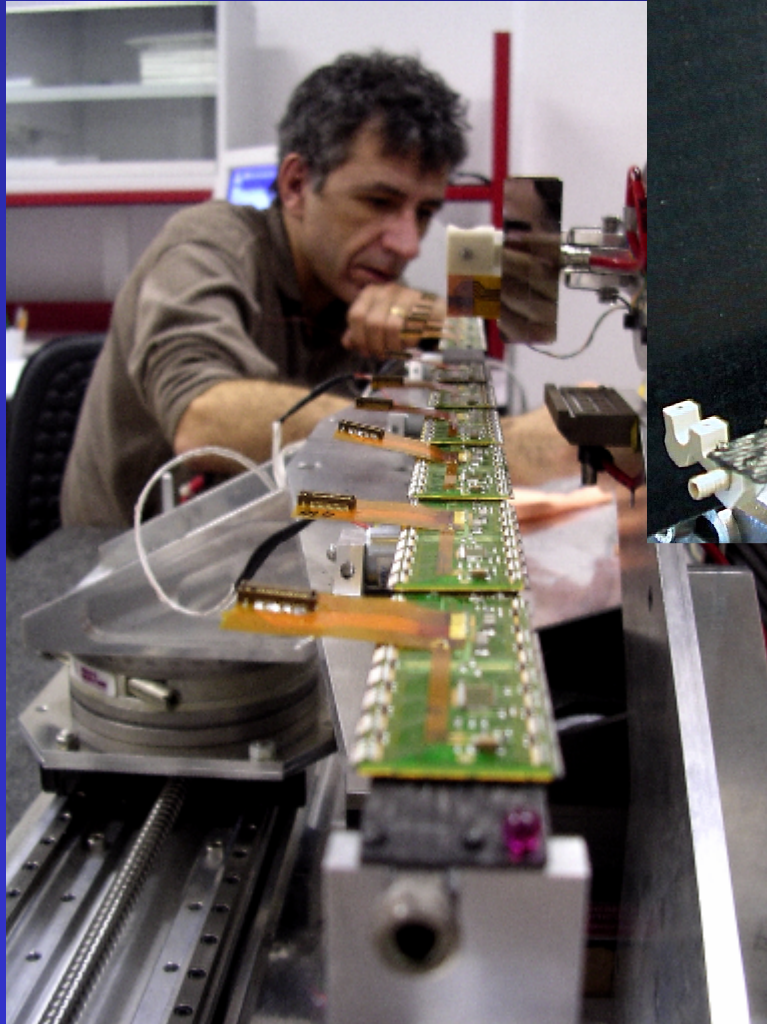


80 millions de pixels :  $50 \times 400 \mu\text{m}^2$

3 couches : 5, 9 et 12 cm

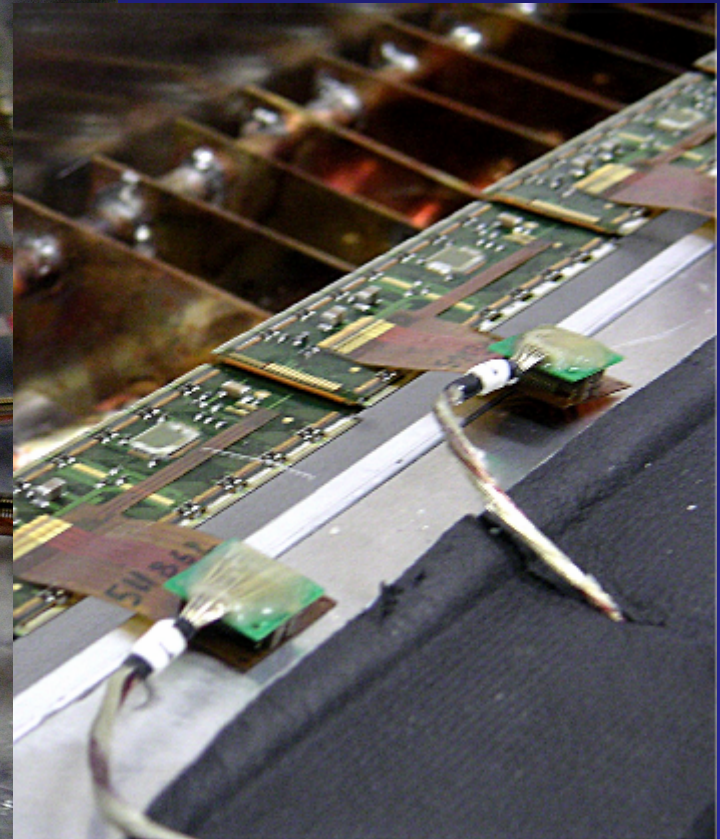
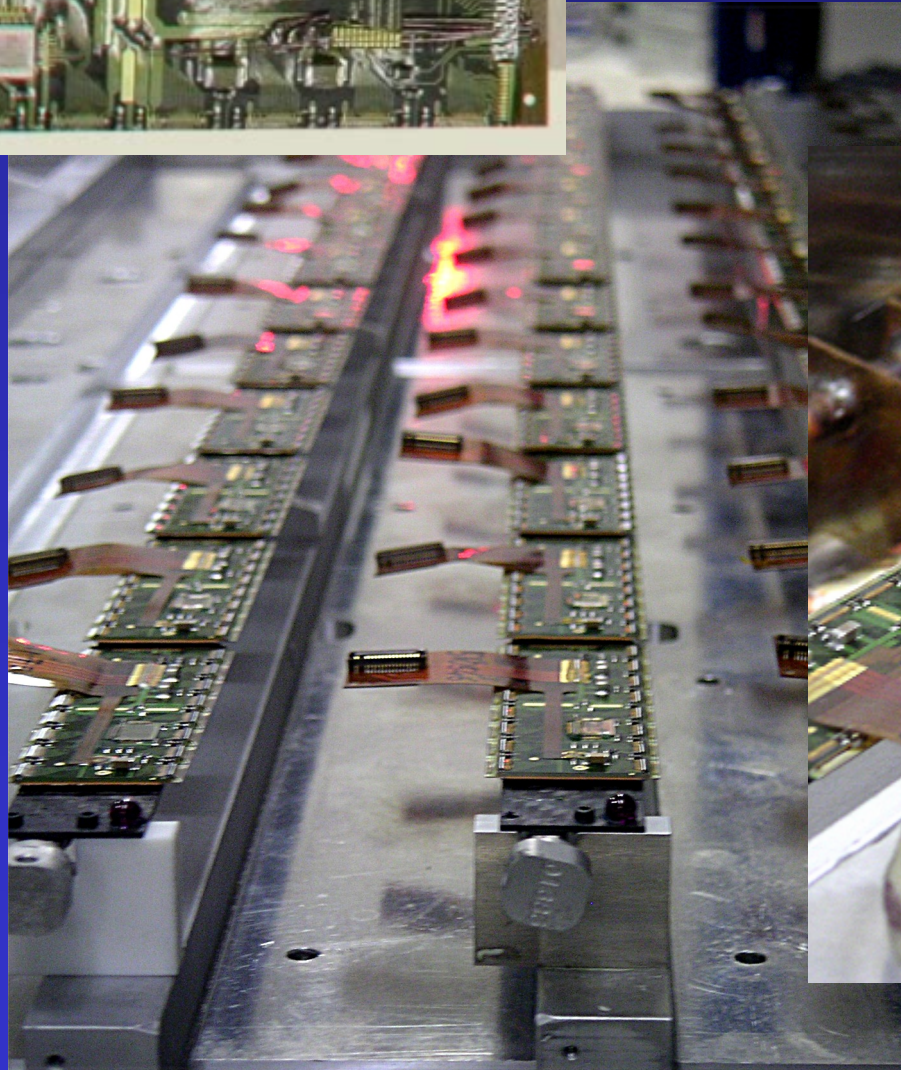
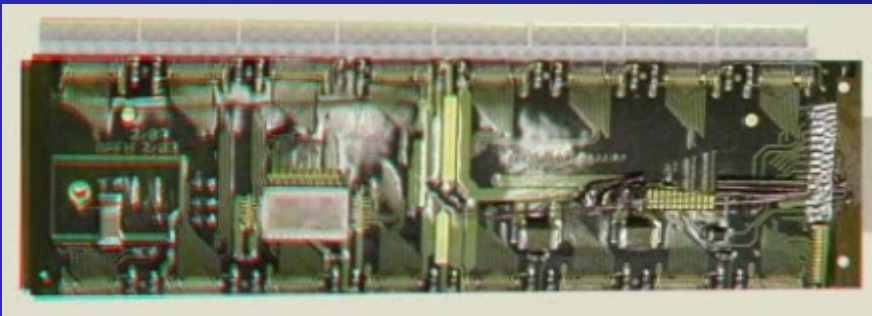
2 x 3 disques

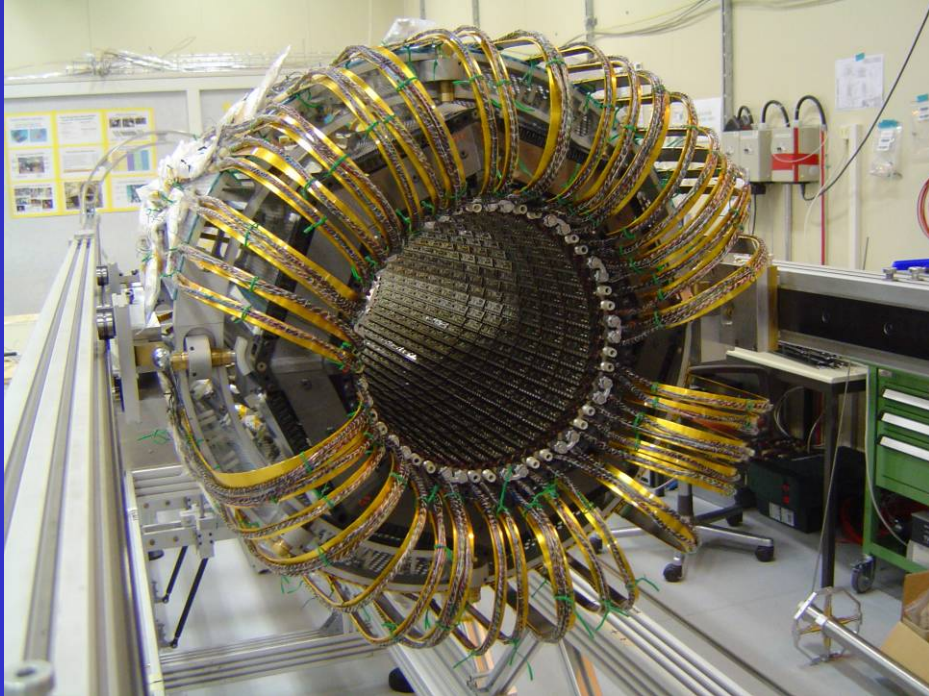
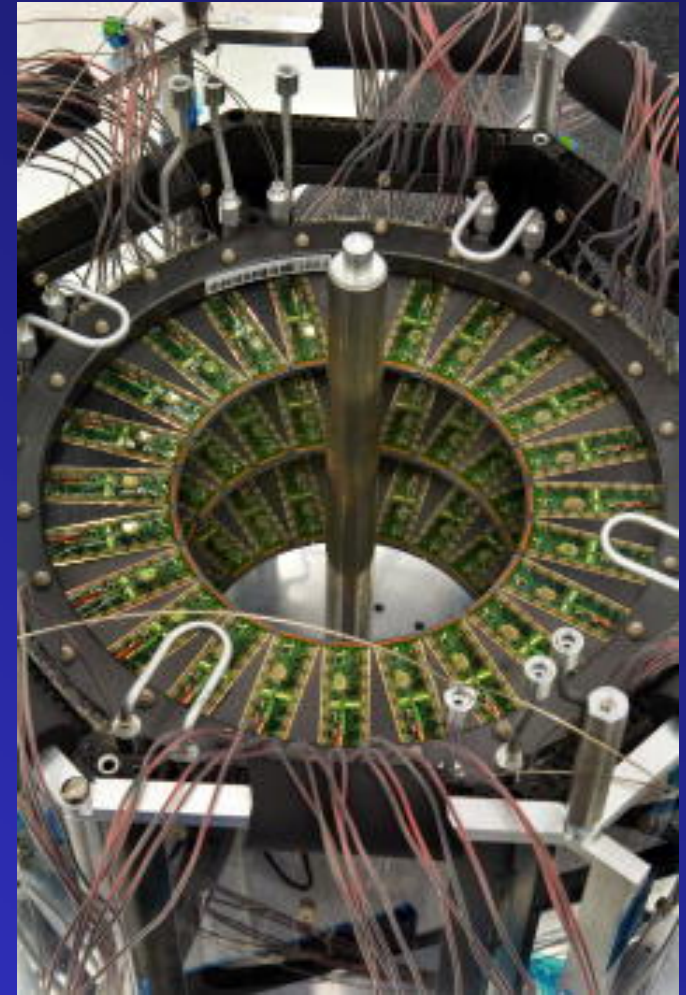
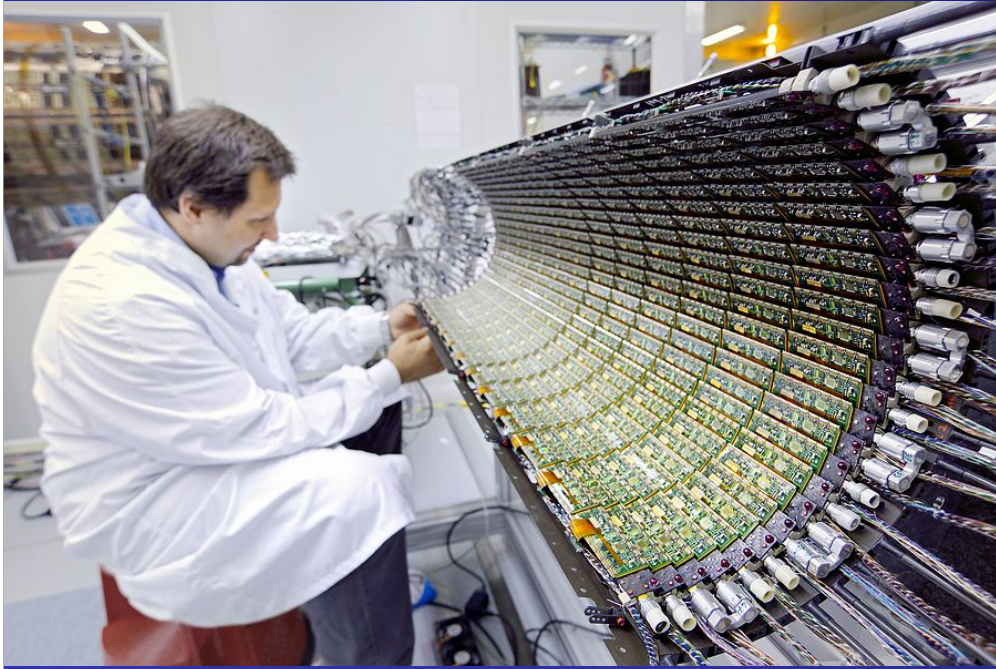
**Au cœur du cœur**

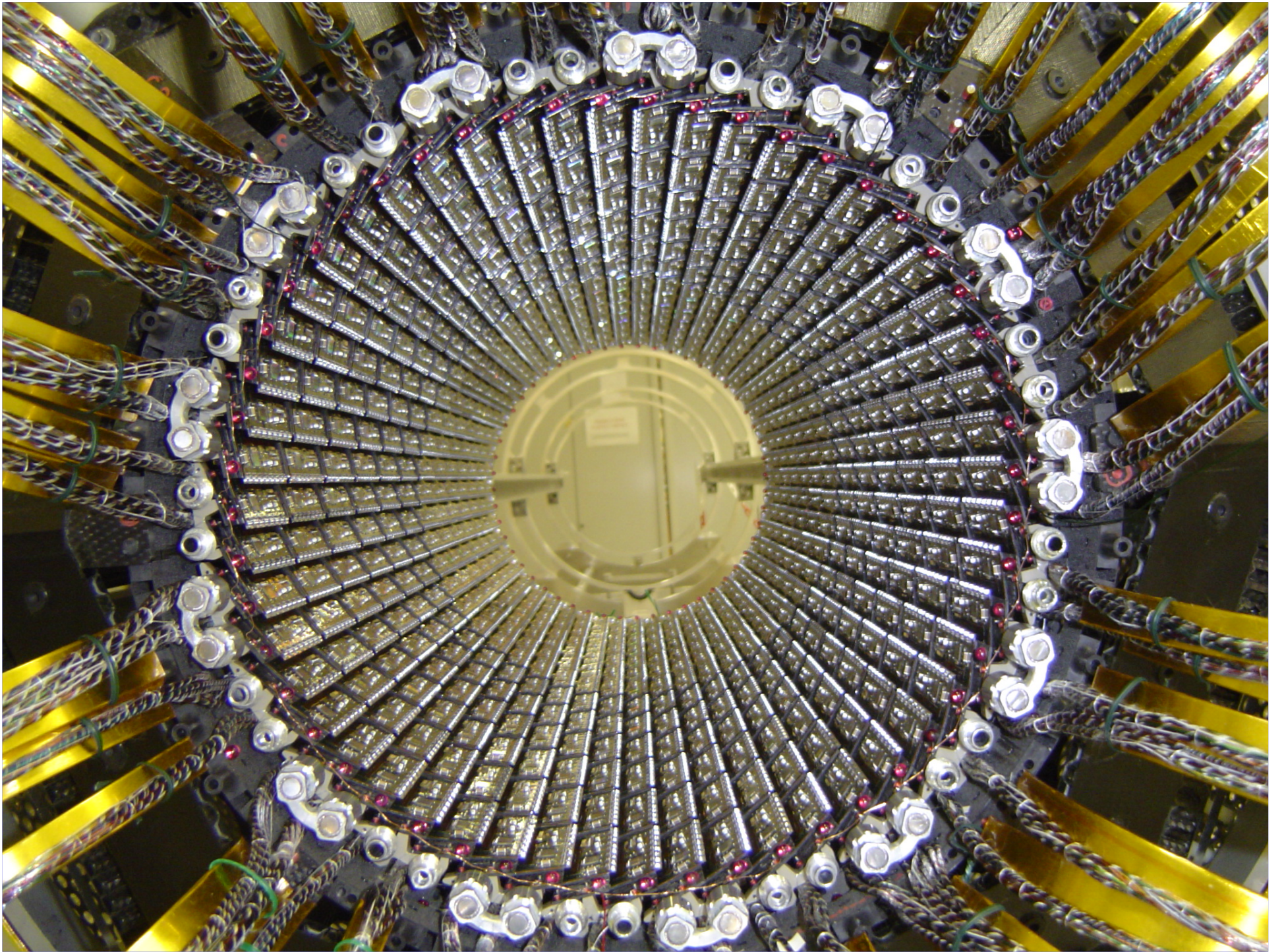


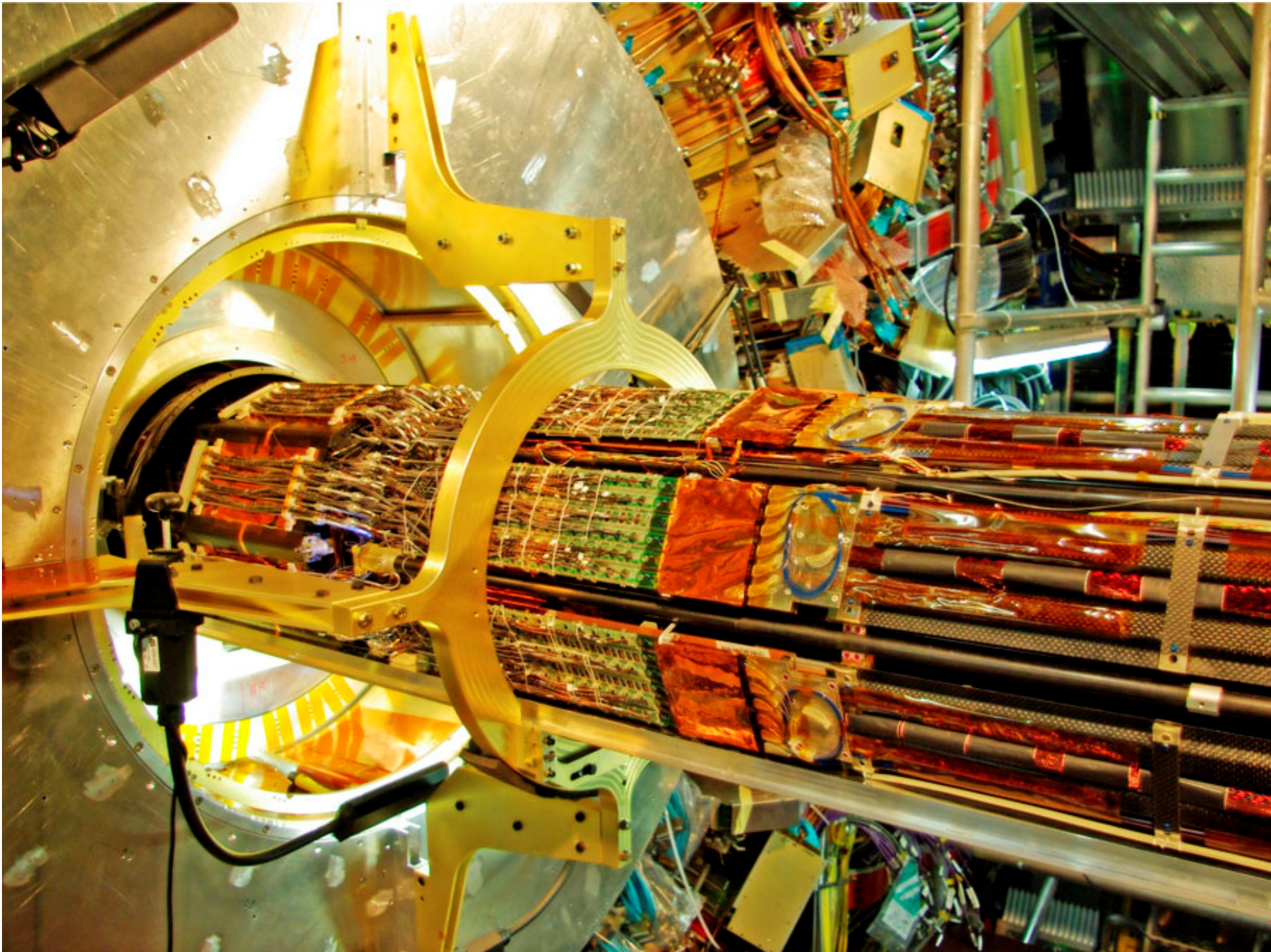
Quelques photos prises au CPPM

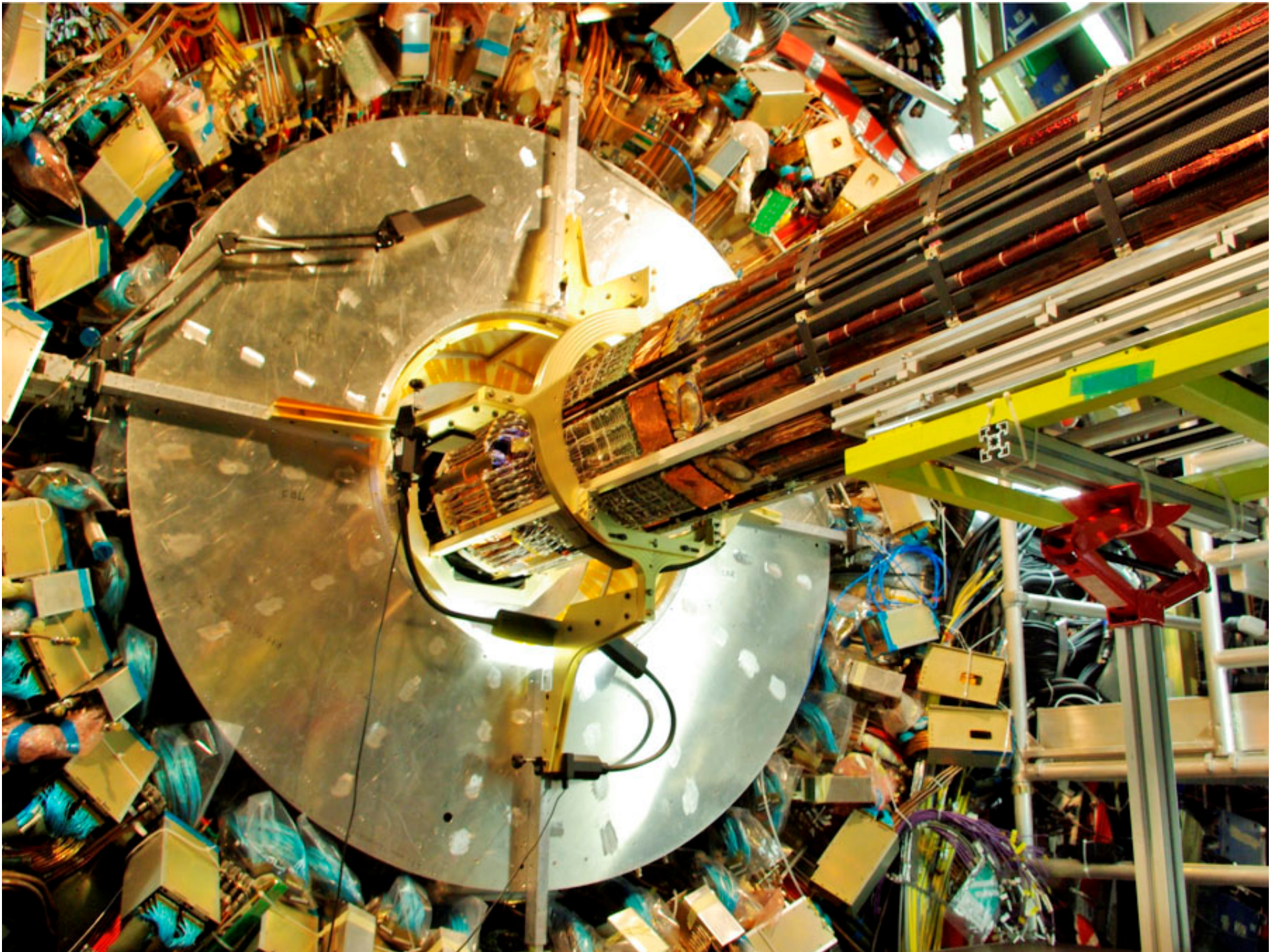
Et encore

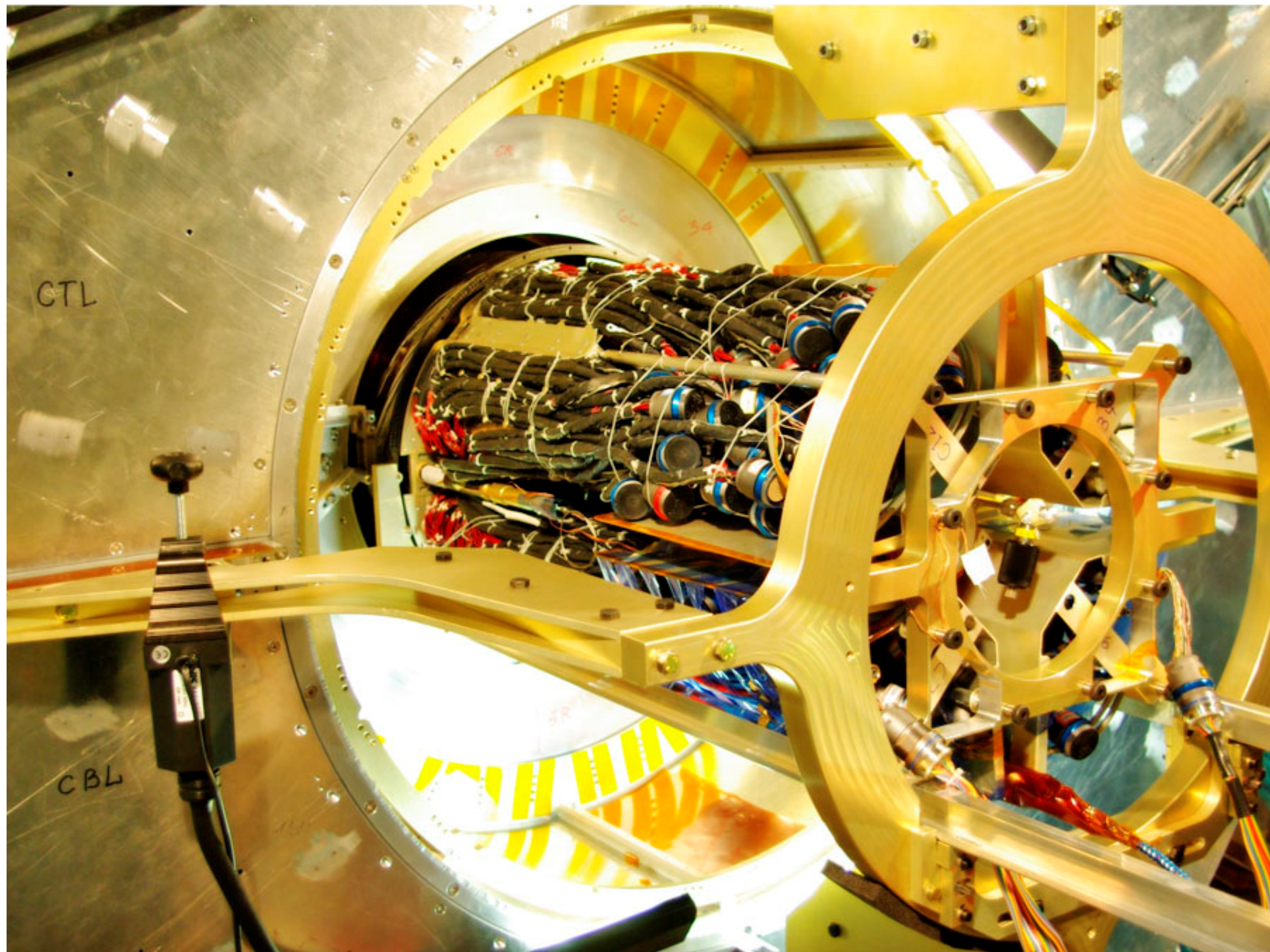




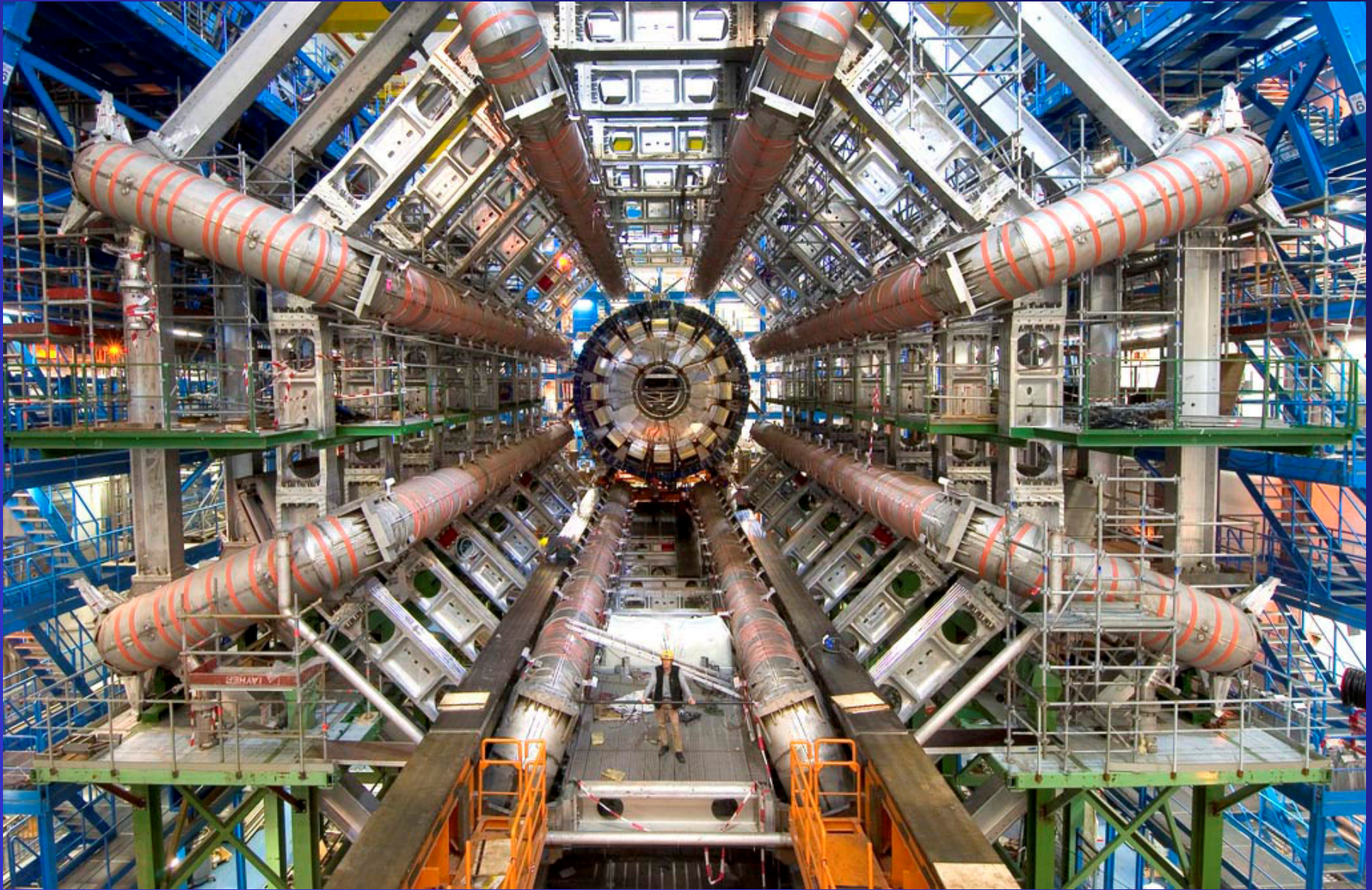


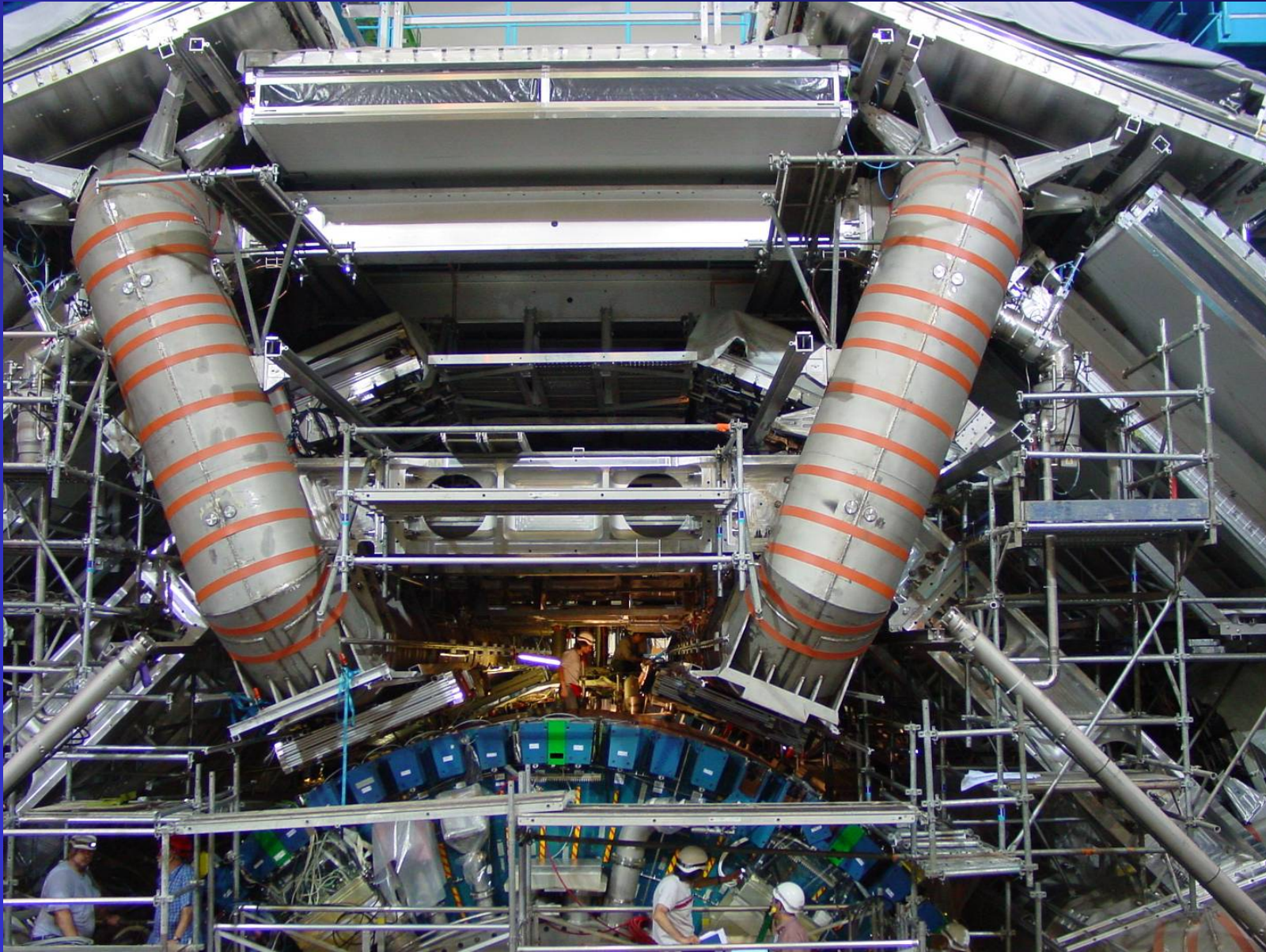


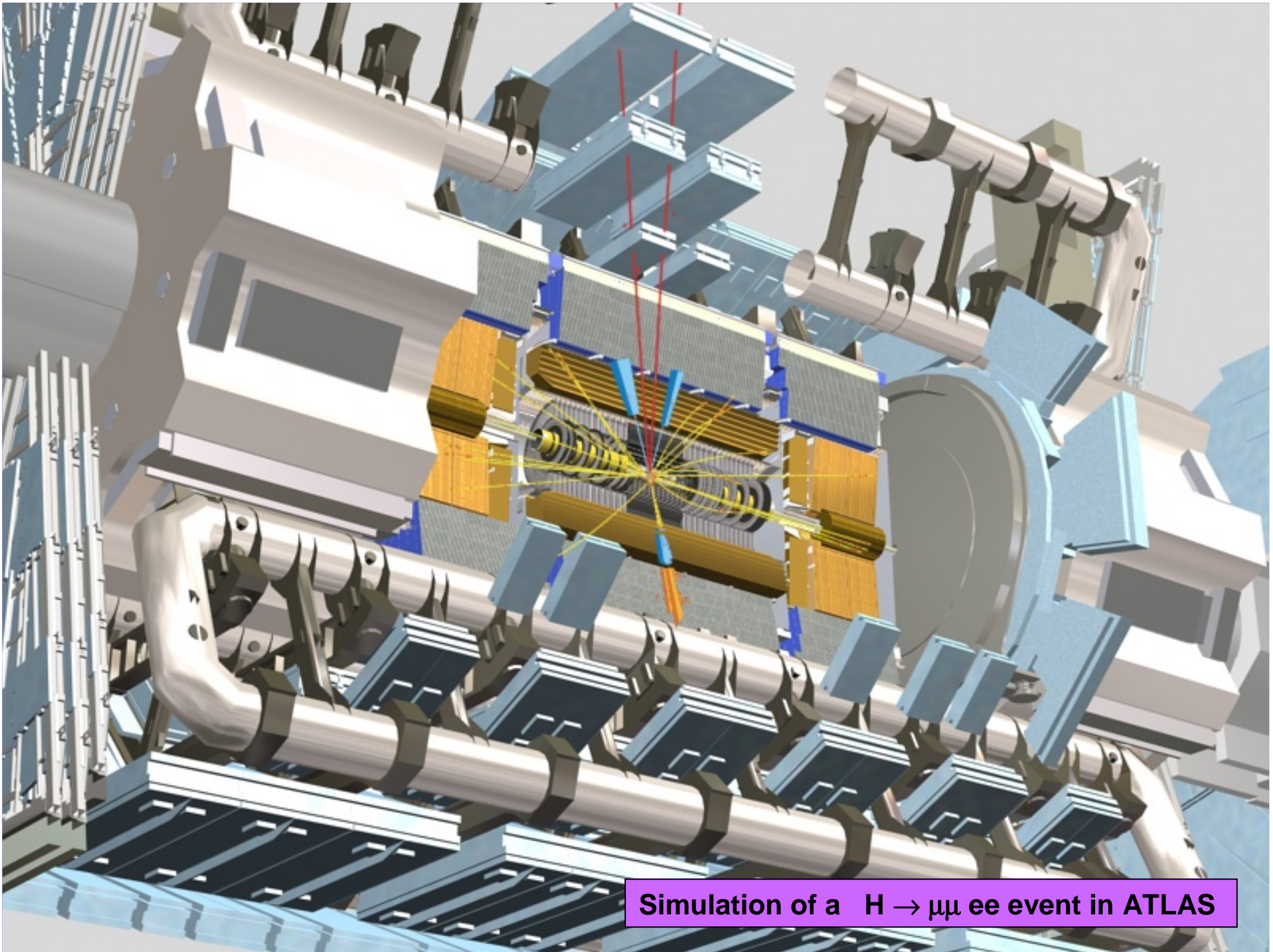




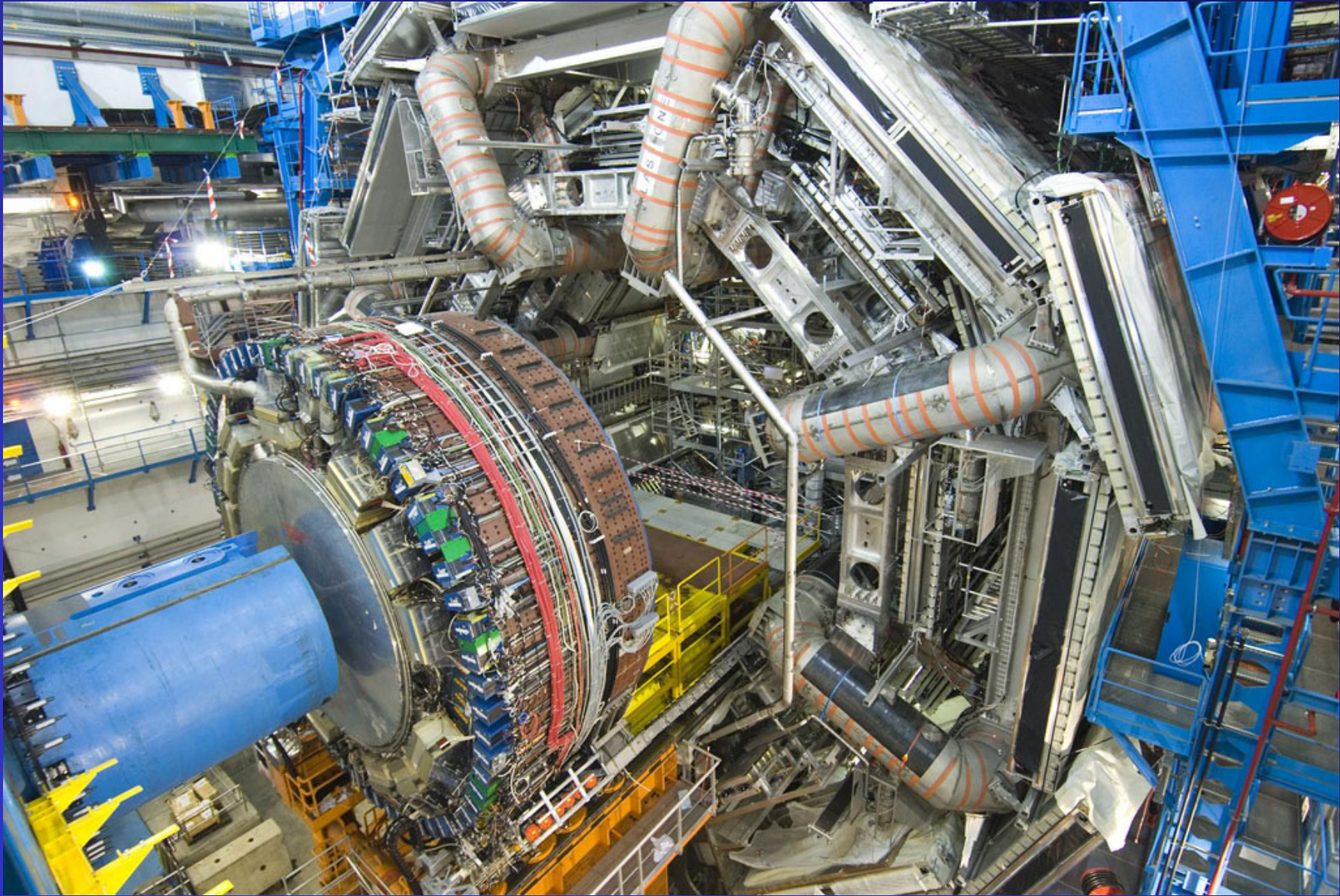


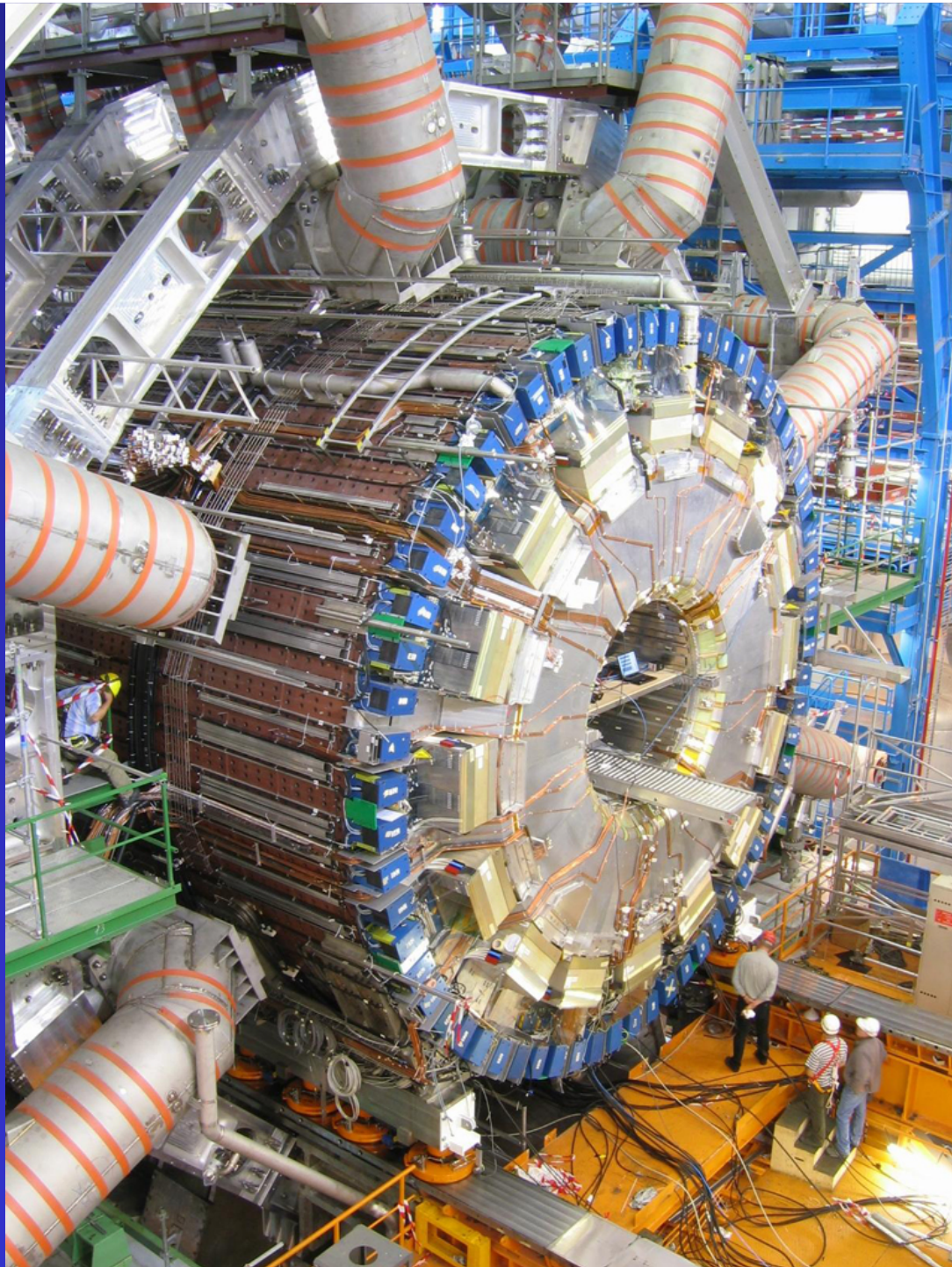


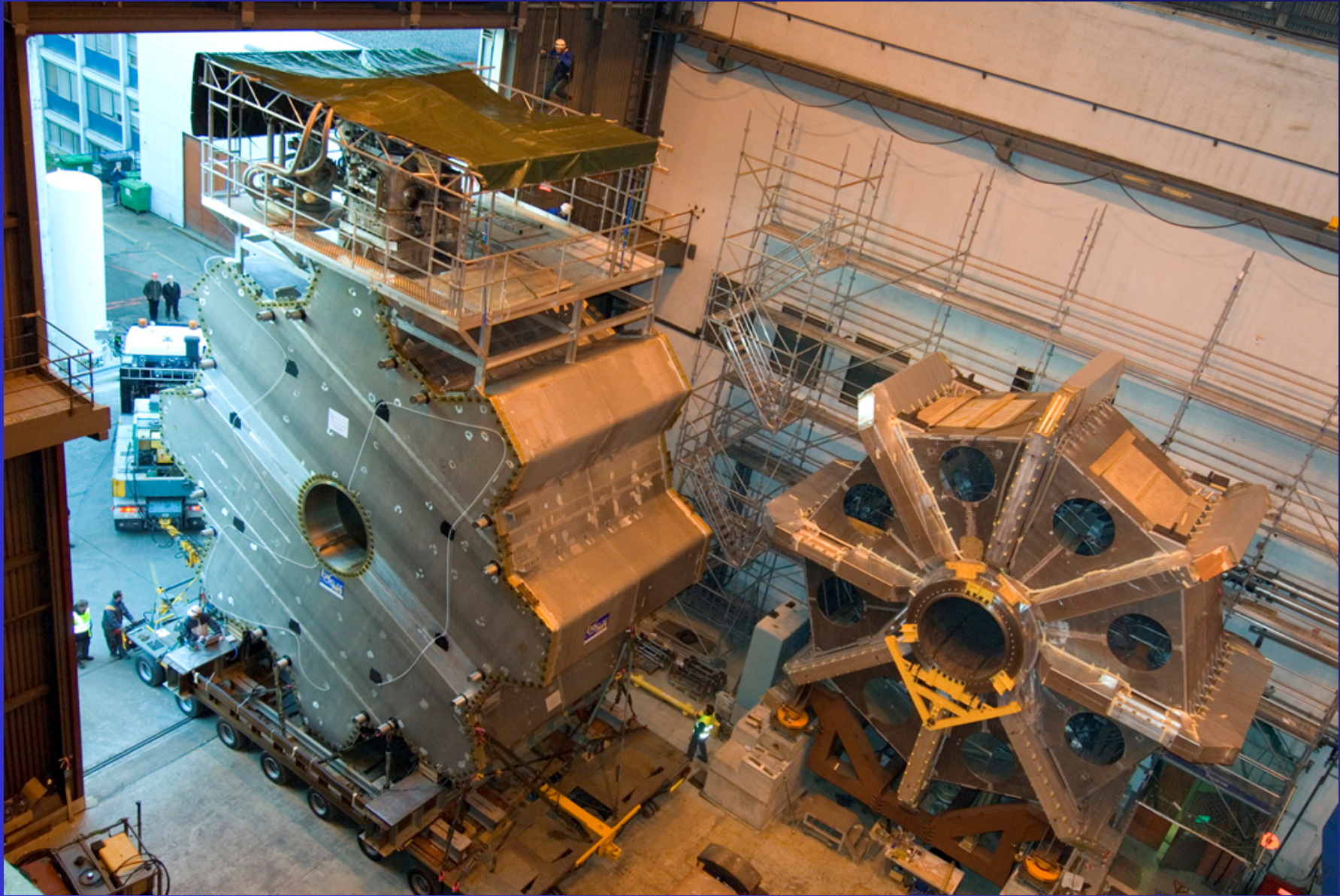




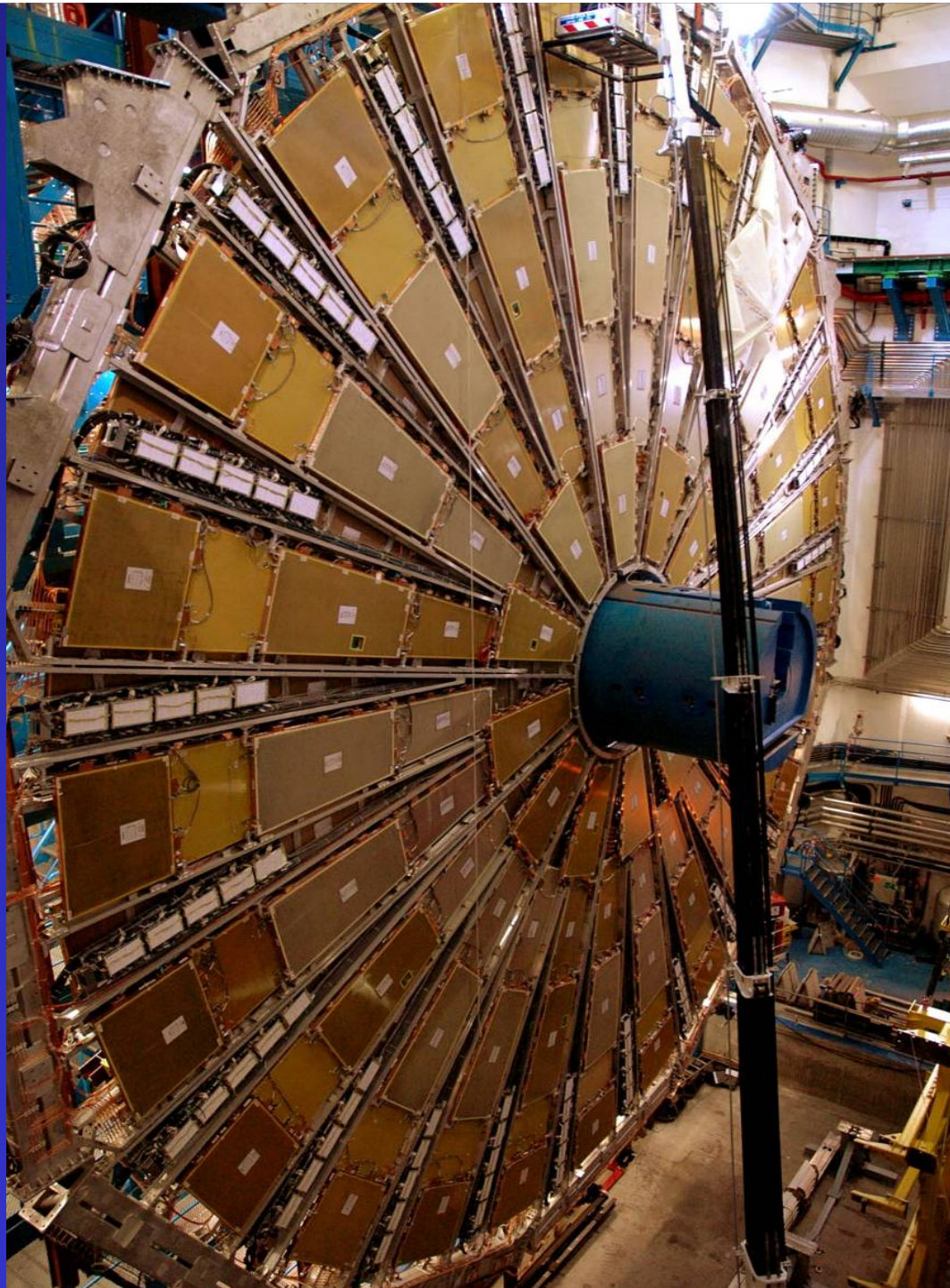
Simulation of a  $H \rightarrow \mu\mu ee$  event in ATLAS



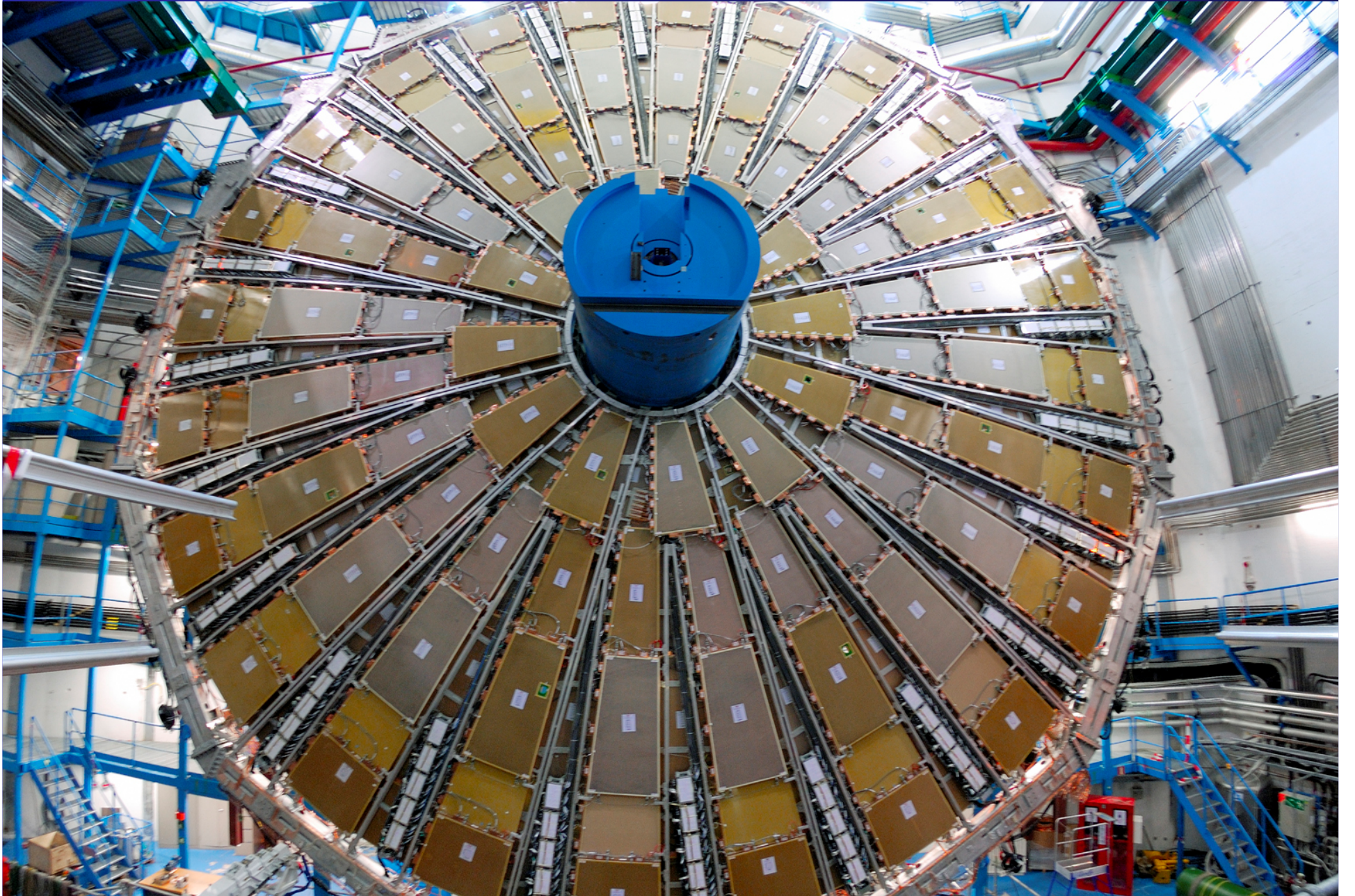












# Grille de calcul



- **10000 Toctets de données**
  - 1 téra  $\equiv$  1 million de millions
  - 20 km de CDs empilés
- **100000 ordinateurs dans le monde reliés dans un gigantesque réseau pour analyser ces données**
- **Rappel : le web a été inventé au Cern**

# Grille de calcul (2)



**Nombreuses applications hors de la physique des particules :  
Biologie, Sciences de la Terre, etc.**

**Un exemple de retombée de nos recherches**

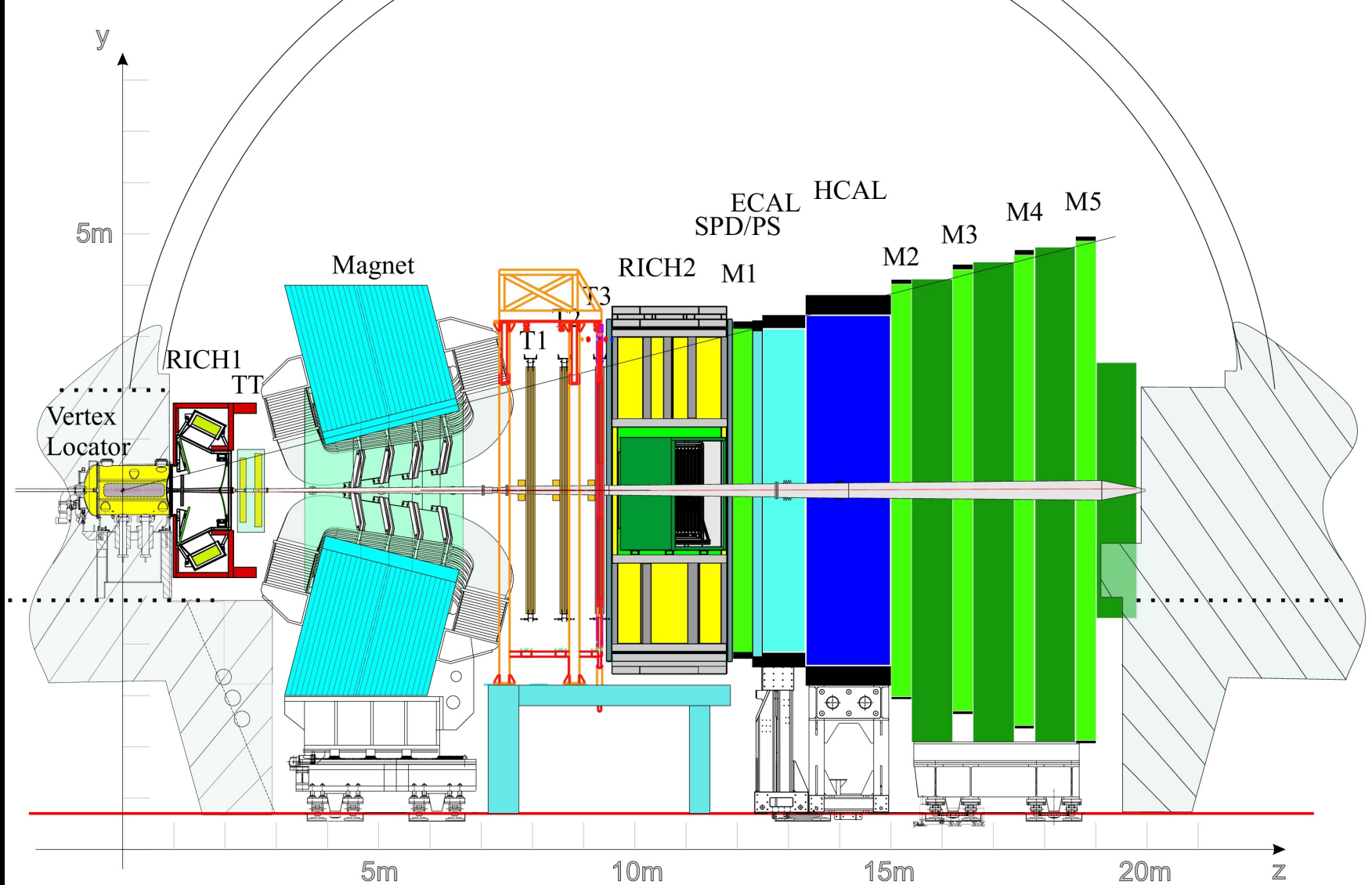


# **L'expérience LHCb**

# LHCb

## Le détecteur

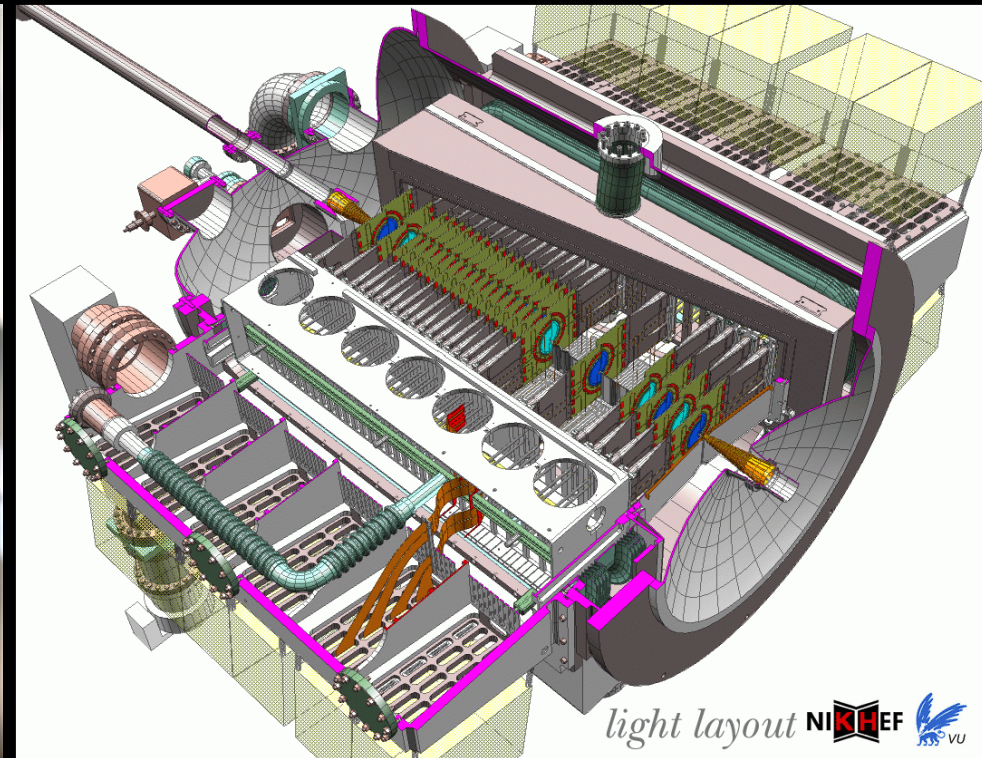
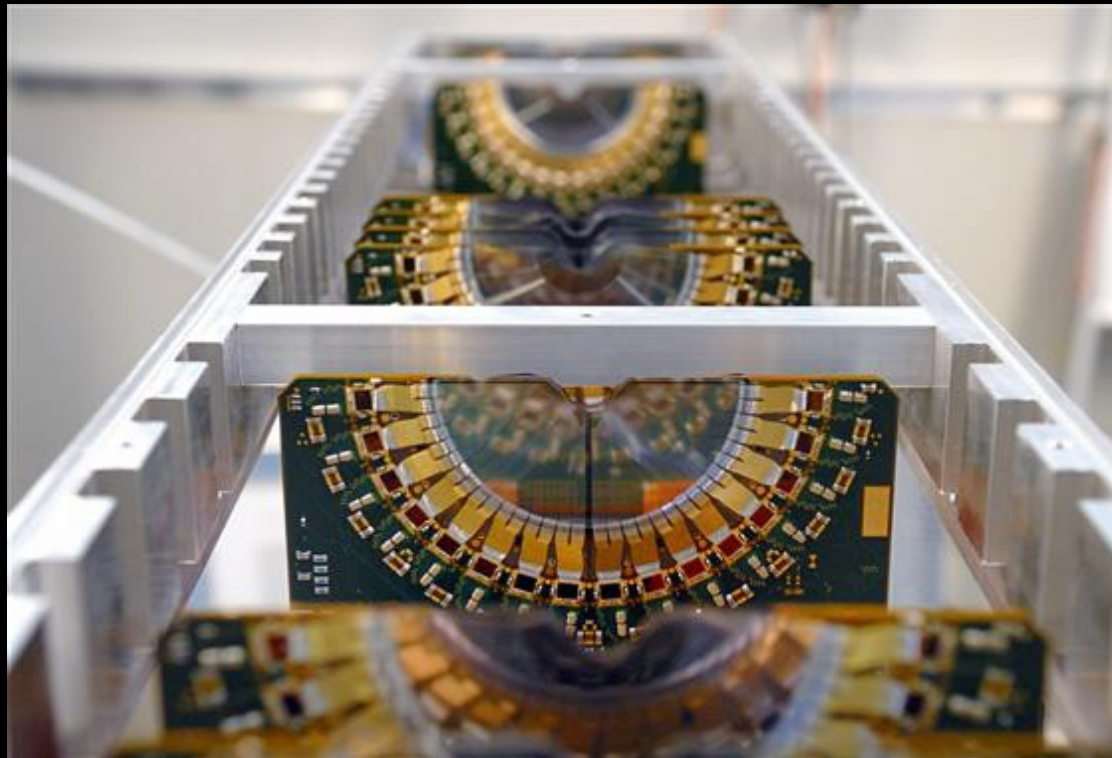
Détecteur atypique auprès d'un collisionneur : spectromètre avant !



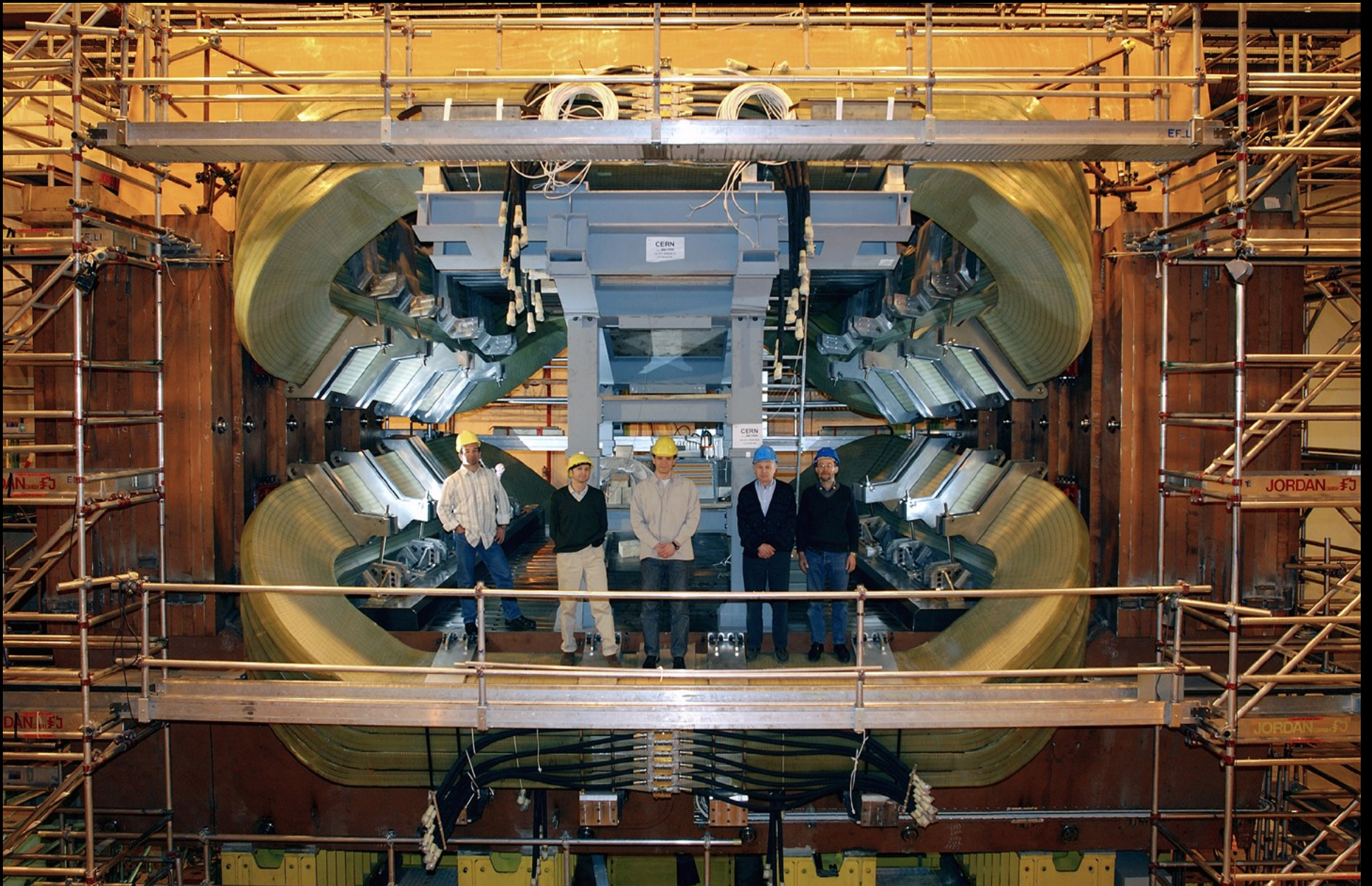
# LHCb : le VELO

le VELO : détecteur de vertex

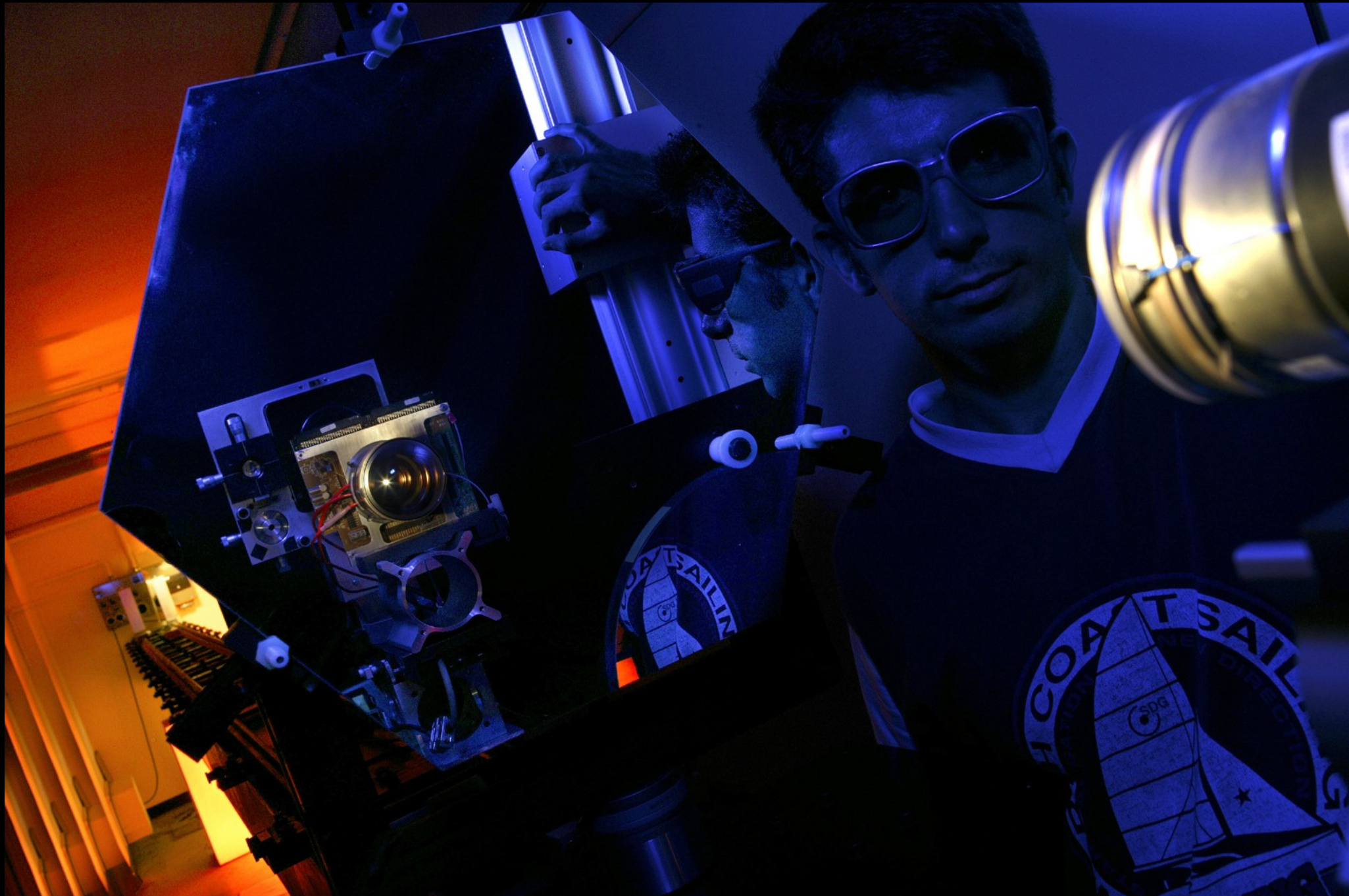
- 42 plans de détecteur en silicium
- opéré dans l'enceinte à vide où passe les faisceaux
- positionné à 5 mm du point d'interaction
- reconstruction très précise de ce qui se passe au point de collision



# LHCb : l'aimant

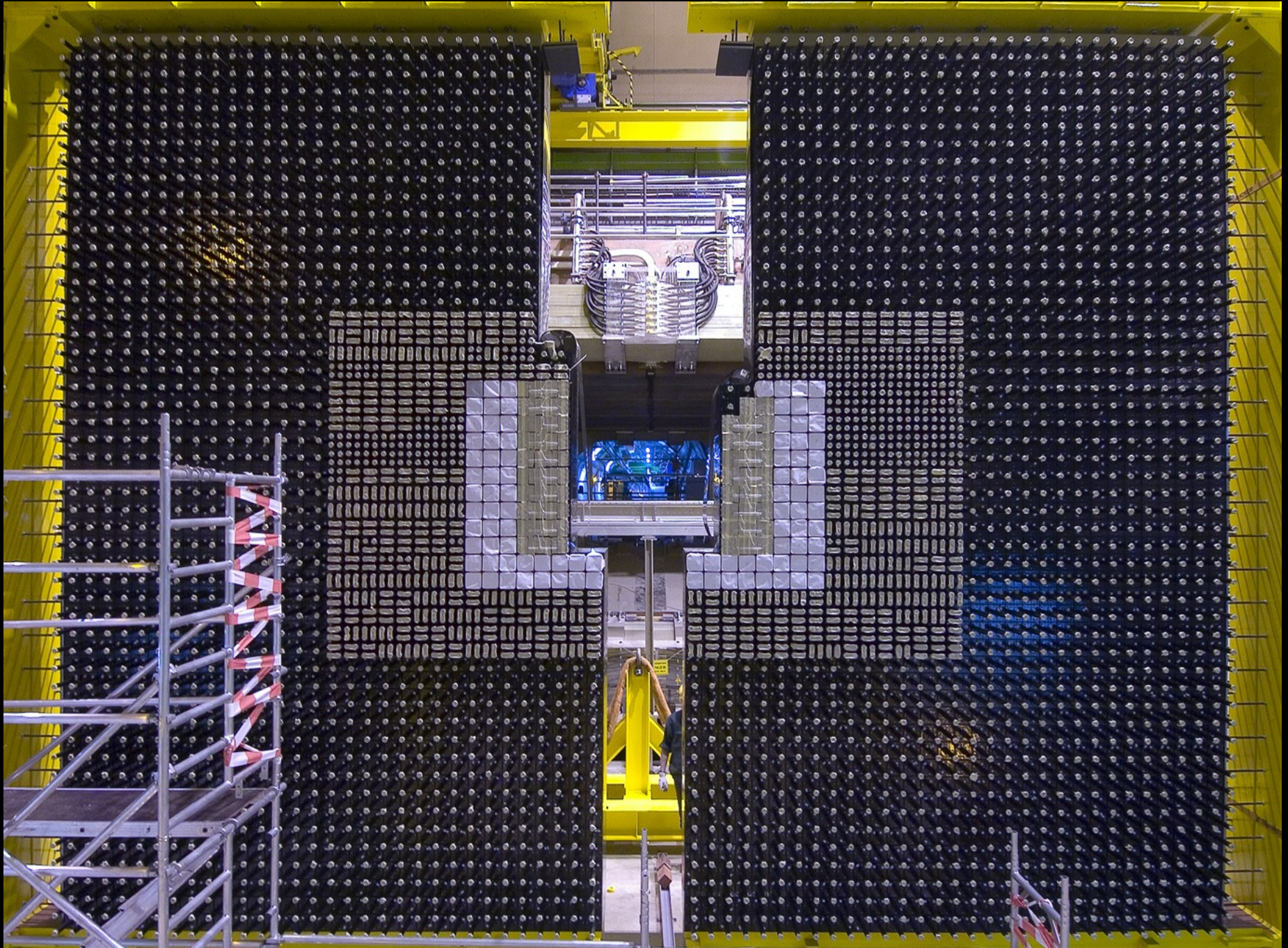


# LHCb : les RICHs

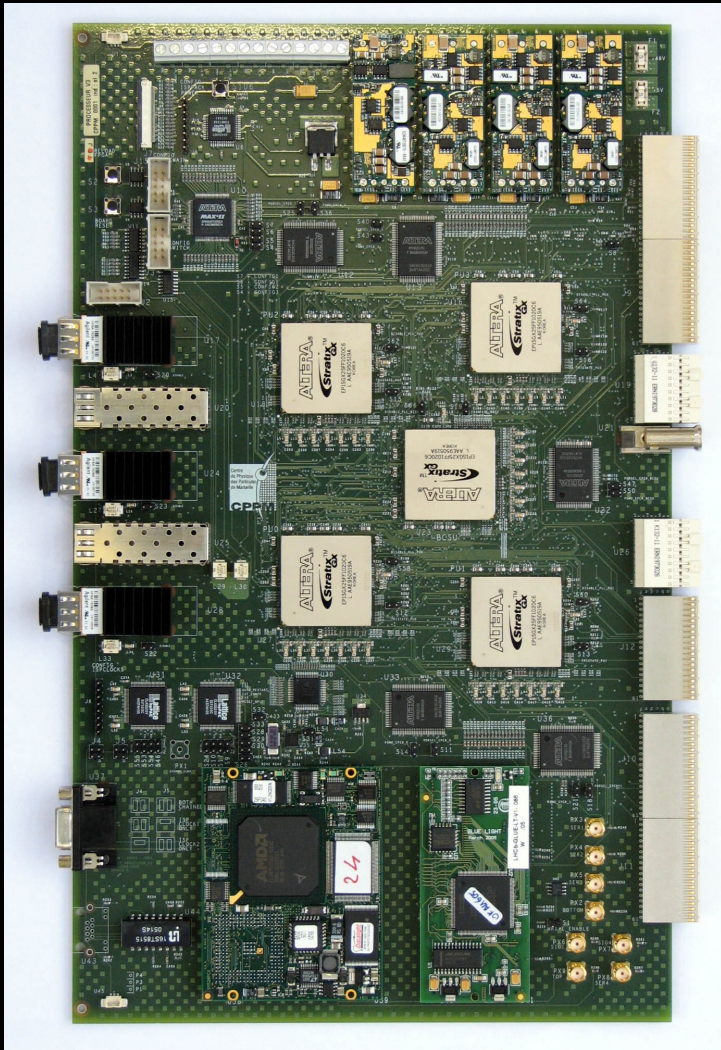




# LHCb : les calorimètres



# LHCb @ Marseille



Systeme de déclenchement à muon

- reconstruit en ligne la trajectoire des muons traversant le détecteur
- mesure leur impulsion
- détermine si il faut enregistrer l'événement

60 cartes électroniques

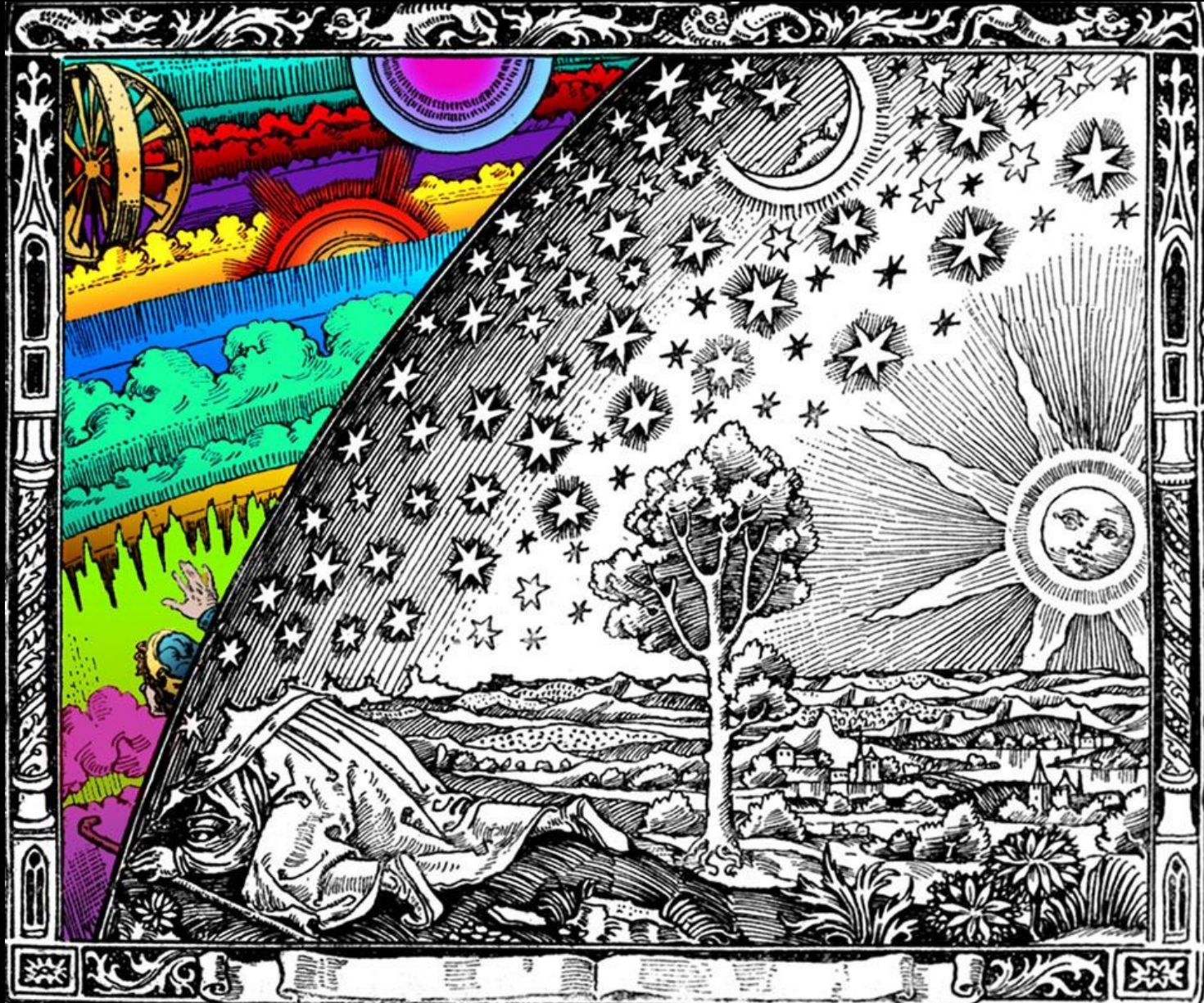
- 1248 fibres optiques en entrée
- traite l'information en  $\sim 1\mu\text{s}$



---

# **Au-delà de la physique des particules**

# Dimensions spatiales supplémentaires



# Est-ce qu'il y a des dimensions supplémentaires ?



Afin de comprendre pourquoi ont été proposées les dimensions supplémentaires, considérons :

Quelle force est plus faible :  
Gravitation ou électromagnétisme ?

# Est-ce qu'il y a des dimensions supplémentaires ?



Afin de comprendre pourquoi ont été proposées les dimensions supplémentaires, considérons :

Quelle force est plus faible :  
Gravitation ou électromagnétisme ?

Qui est plus fort :  
Un petit aimant ou toute la sphère massive terrestre ?



# Est-ce qu'il y a des dimensions supplémentaires ?



Afin de comprendre pourquoi ont été proposées les dimensions supplémentaires, considérons :

Quelle force est plus faible :  
Gravitation ou électromagnétisme ?

Qui est plus fort :  
Un petit aimant ou toute la sphère massive terrestre ?

Donc, la gravitation est très faible.

Pourquoi la gravitation est-elle si faible ?

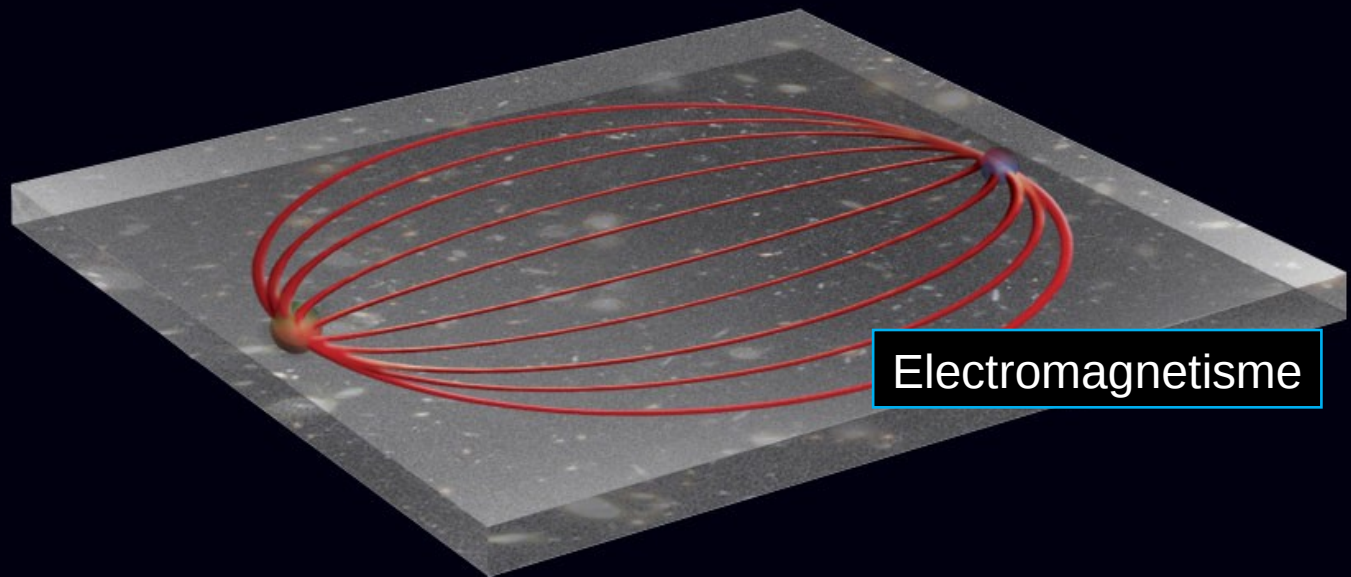


# Pourquoi la gravitation est-elle si faible ?



L'électromagnétisme se limite aux trois dimensions spatiales habituelles.

Eventuellement la gravitation voit les autres dimensions spatiales. Comme la force totale est répartie sur toutes les dimensions, elle est affaiblie.

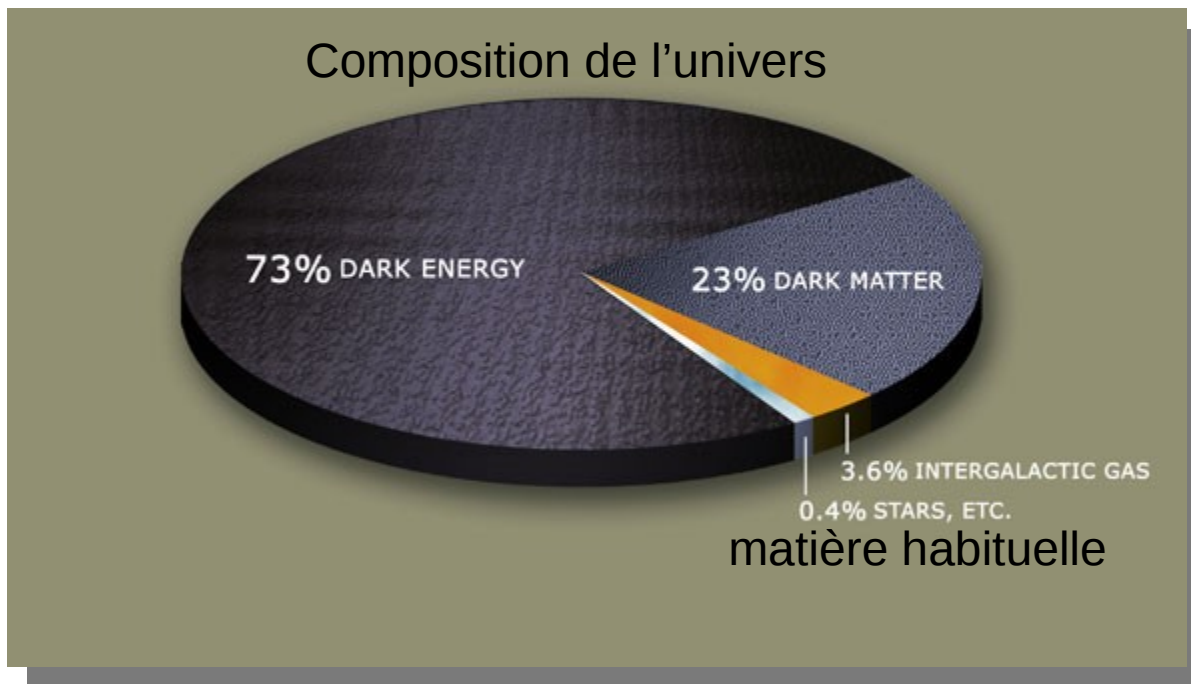




# Mais il y a plus que la matière et l'antimatière.

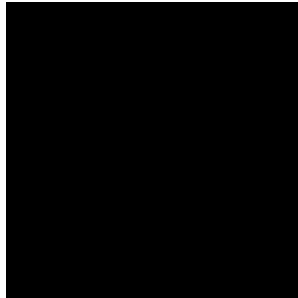


Lorsque nous observons notre univers, alors nous voyons beaucoup plus que la matière (ou antimatière) habituelle.

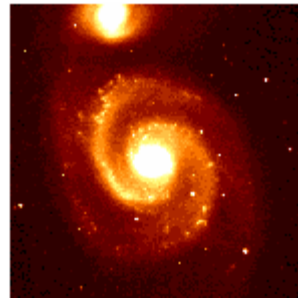


Nous appelons ce surplus de la « matière noire », puisque nous ne la voyons pas. Mais qu'est-ce ?

# Matière noire



Matière noire et



matière brillante, mais ...  
... ce n'est pas tout !

# De nombreux indices existent pour son existence.

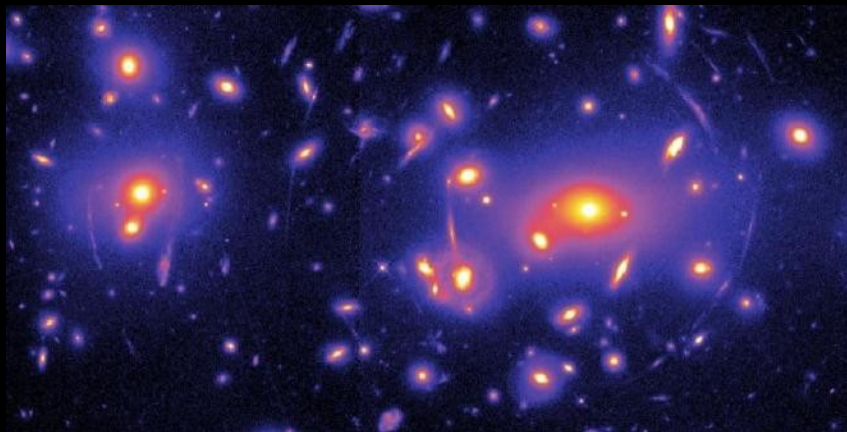


## Dans les galaxies et amas de galaxies

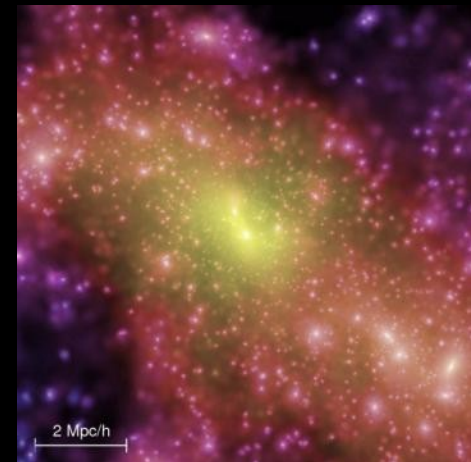
La masse visible dans les galaxies spirales ne suffit pas pour expliquer leur cohérence.



Séparation de matière noire et matière normale dans la collision de deux clusters de galaxies



Photos: NASA



# Qu'est-ce que la matière noire ?

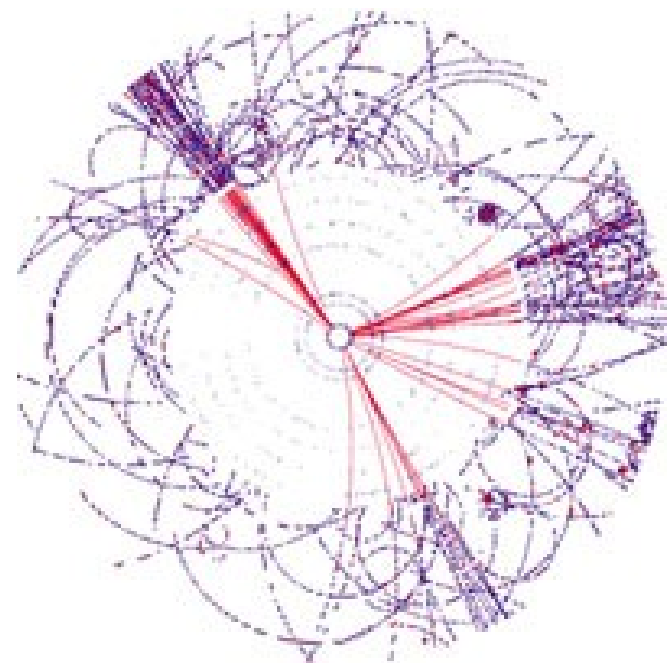


Nous ne le savons pas.

Mais nous avons quelques idées.

Si les constituants de la matière noire sont de nouvelles particules, jusque là inconnues,

alors l'expérience ATLAS devrait permettre de les découvrir et de jeter un peu de lumière sur le mystère de la matière noire.



# Est-ce qu'il y a de la matière dans d'autres dimensions ?

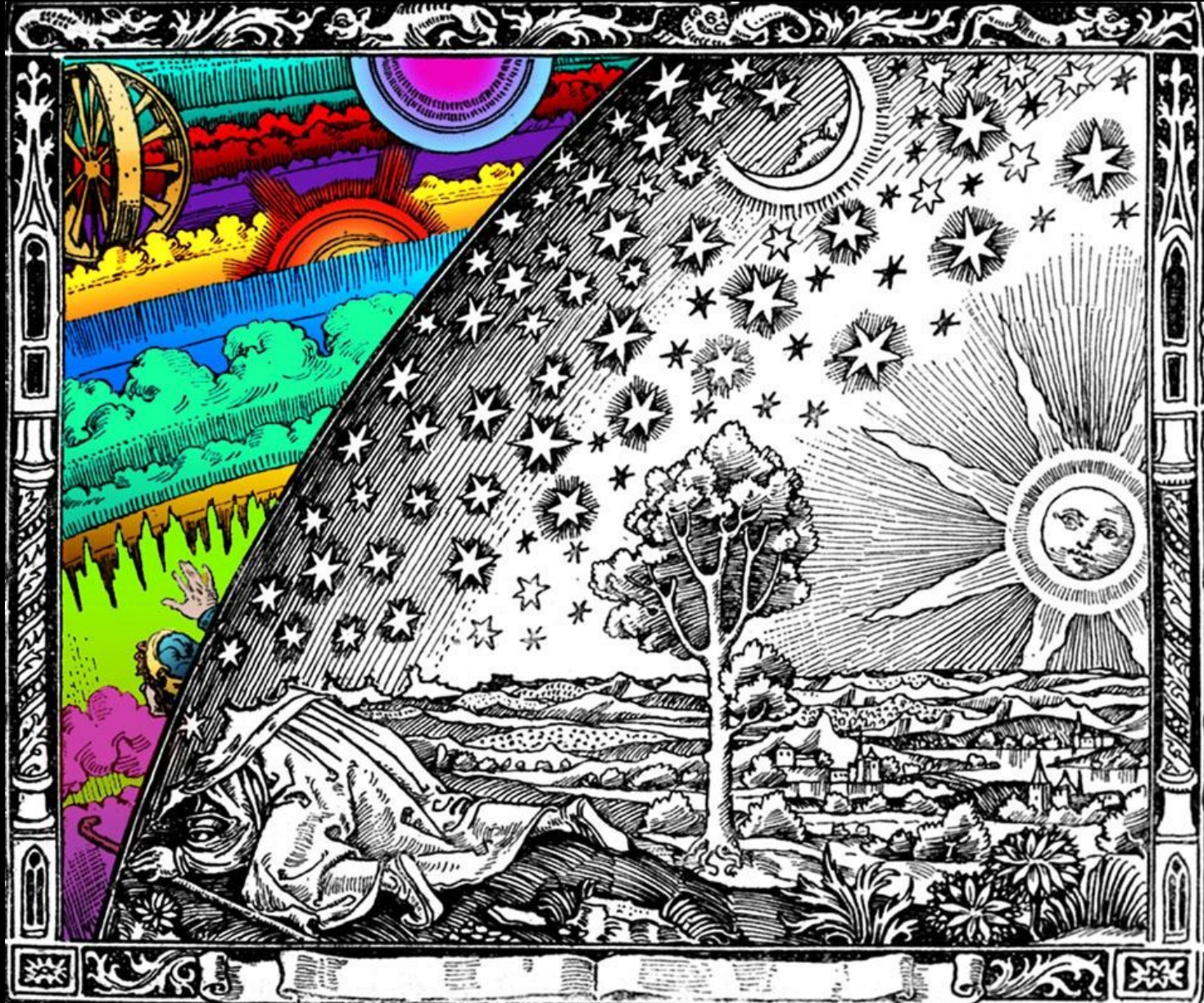


Est-ce qu'il existe des dimensions spatiales que nous ne pouvons voir ?



(Dalí, The Disintegration of the Persistence of Memory, 1954)

# Dimensions spatiales supplémentaires



# Est-ce qu'il y a des dimensions supplémentaires ?



Afin de comprendre pourquoi ont été proposées les dimensions supplémentaires, considérons :

Quelle force est plus faible :  
Gravitation ou électromagnétisme ?

# Est-ce qu'il y a des dimensions supplémentaires ?



Afin de comprendre pourquoi ont été proposées les dimensions supplémentaires, considérons :

Quelle force est plus faible :  
Gravitation ou électromagnétisme ?

Qui est plus fort :  
Un petit aimant ou toute la sphère massive terrestre ?





# Est-ce qu'il y a des dimensions supplémentaires ?



Afin de comprendre pourquoi ont été proposées les dimensions supplémentaires, considérons :

Quelle force est plus faible :  
Gravitation ou électromagnétisme ?

Qui est plus fort :  
Un petit aimant ou toute la sphère massive terrestre ?

Donc, la gravitation est très faible.

Pourquoi la gravitation est-elle si faible ?

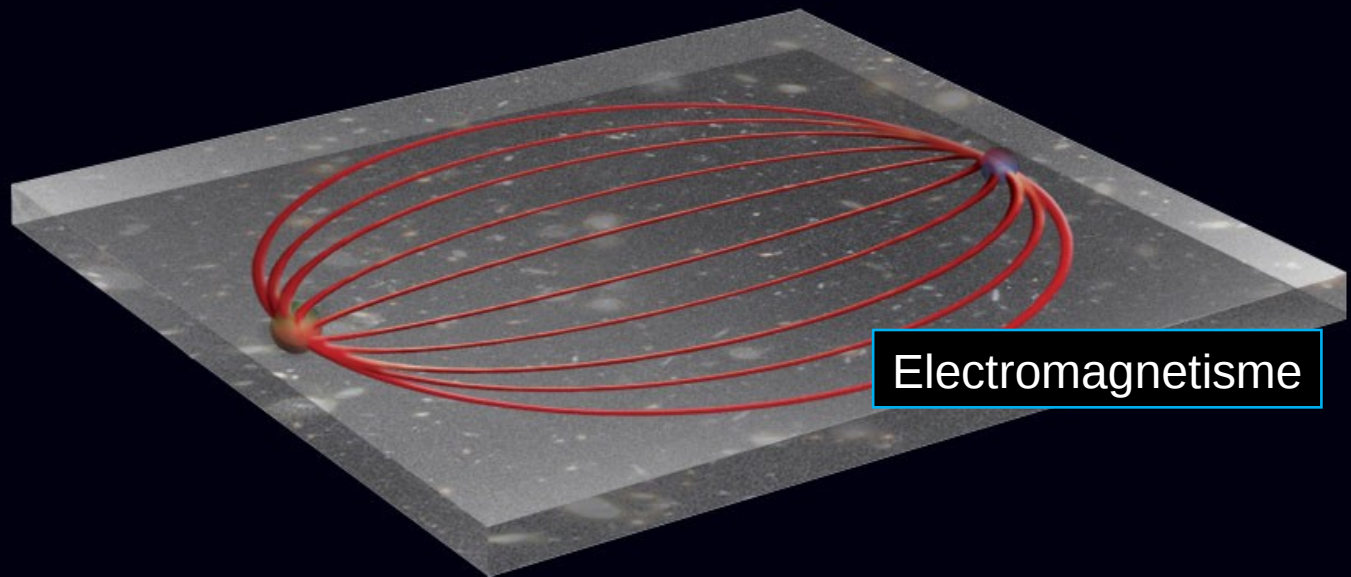


# Pourquoi la gravitation est-elle si faible ?



L'électromagnétisme se limite aux trois dimensions spatiales habituelles.

Eventuellement la gravitation voit les autres dimensions spatiales. Comme la force totale est répartie sur toutes les dimensions, elle est affaiblie.

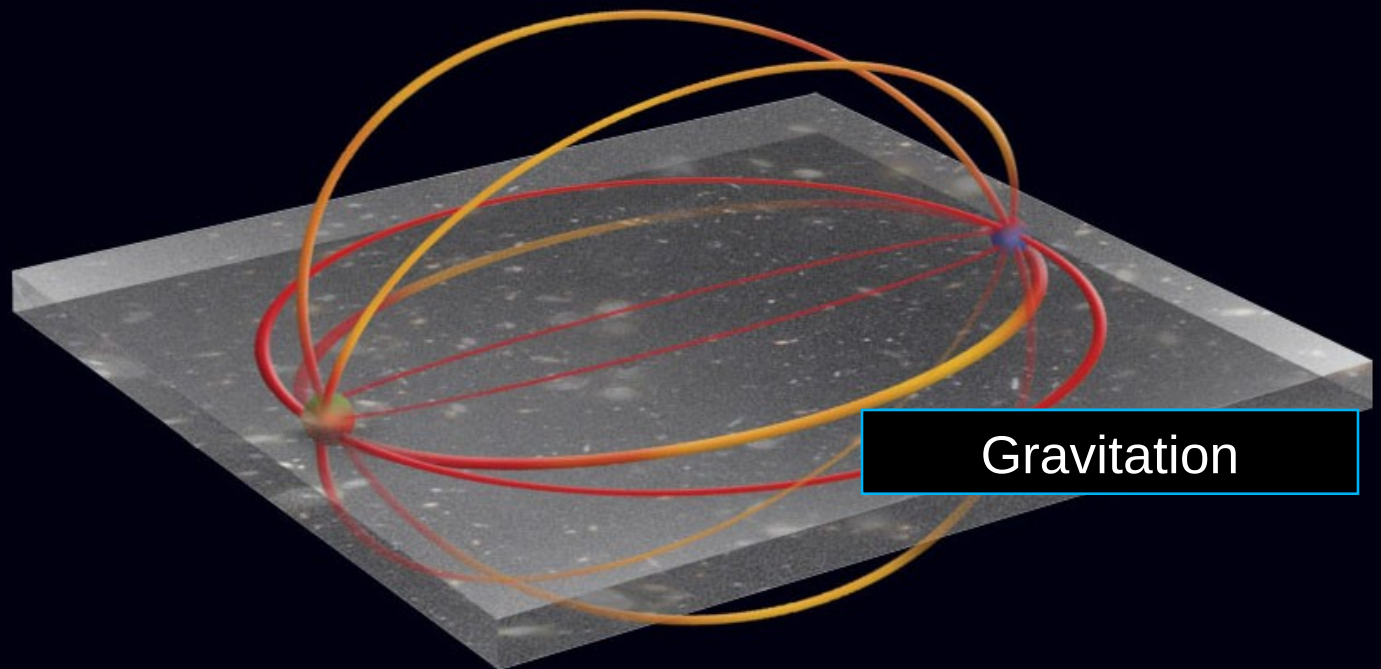


# Pourquoi la gravitation est-elle si faible ?



L'électromagnétisme se limite aux trois dimensions spatiales habituelles.

Eventuellement la gravitation voit les autres dimensions spatiales. Comme la force totale est répartie sur toutes les dimensions, elle est affaiblie.



# Comment peuvent exister des dimensions supplémentaires ?



Nous prenons l'exemple d'un **acrobate** et d'une **puce funambules**.

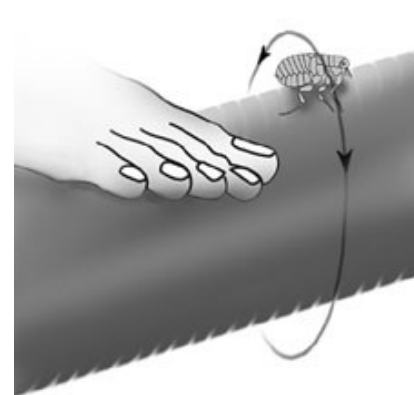
L'**acrobate** peut marcher en avant et en arrière sur la corde raide.

Mais la **puce** peut aussi se déplacer dans les directions perpendiculaires.

Or, si la puce continue à avancer, elle revient à son point de départ après avoir fait un tour complet de la corde.



Un acrobate peut se déplacer le long de la corde seulement



... mais la puce peut aller dans deux directions.

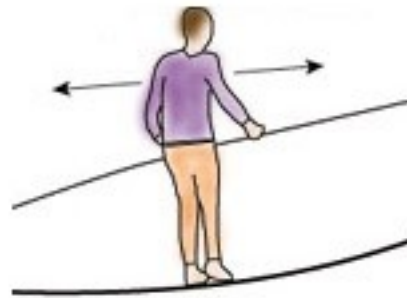
# Comment peuvent exister des dimensions supplémentaires ?



Donc, l'acrobate voit **une** dimension et la puce en voit **deux**, mais l'une d'elles est une boucle, enroulée sur elle-même.

Ainsi l'acrobate ne peut reconnaître qu'une dimension de la corde raide, comme nous ne pouvons voir qu'un monde en trois dimensions, bien qu'il puisse y en avoir plus.

Une telle situation ne peut être représentée en image parce que nous ne pouvons nous imaginer que trois dimensions !



Un acrobate peut se déplacer le long de la corde seulement **rope..**



... mais la puce peut aller dans deux directions.

# L'inconnu



L'expérience ATLAS (auprès du Grand Collisionneur à Hadrons) mène la physique sur un terrain inconnu.

Le plus excitant et le complètement inconnu :  
De nouveaux processus et particules qui changeraient notre compréhension de l'énergie et la matière, voire même de l'espace et du temps, de manière fondamentale.

Nous espérons comprendre les forces fondamentales qui ont formé notre univers depuis le début des temps et qui déterminent également son sort.



(Photo: Fifi Mandirac)



---

# **Au-delà de la science**



Dans l'intrigue d'*Anges et Démons*, les méchants s'introduisent dans un institut de recherche nommé CERN.

Ils volent 0,5 grammes d'antimatière dans un récipient qu'ils emportent à Rome pour en faire une bombe.



Un billet pèse un gramme.  
Une plume pèse un demi-gramme.



# La question de Tom Hanks



Lorsque Tom Hanks a visité ATLAS au CERN, il a demandé combien d'antimatière il fallait pour rechauffer son café.

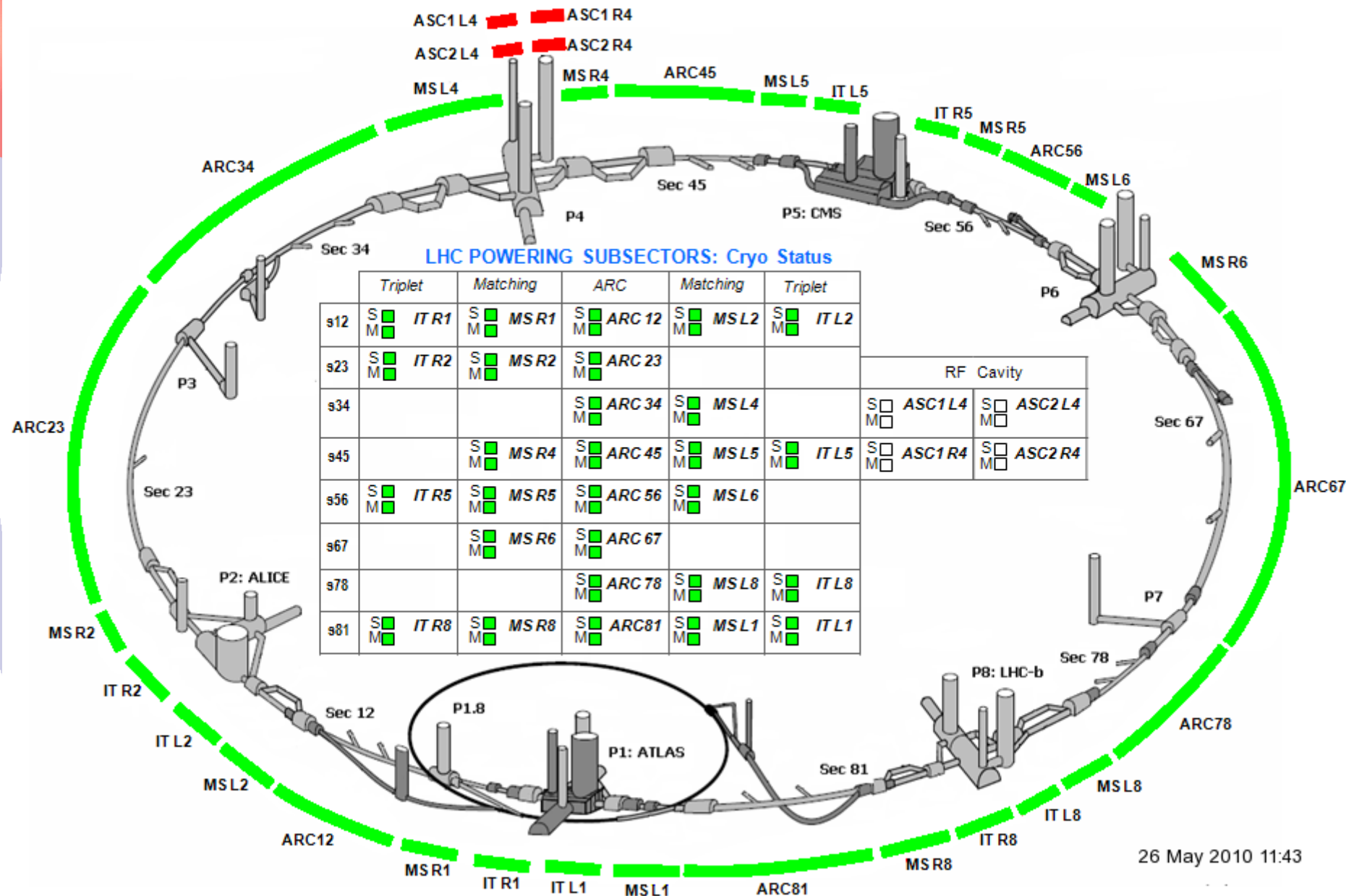


ANGELS & DEMONS



# Retour à la réalité

# LHC "now"



26 May 2010 11:43

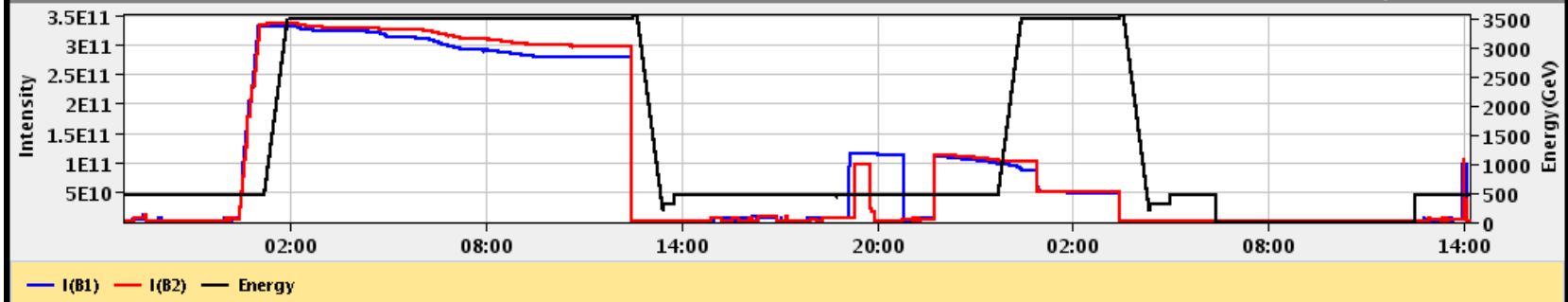
# LHC "now" (<http://cern.ch/lhc>)

26-May-2010 14:09:09    Fill #: 1125    Energy: 450 GeV    I(B1): 4.17e+08    I(B2): 4.74e+08

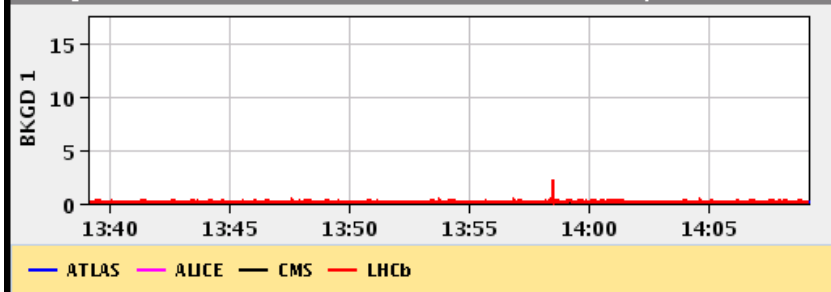
	ATLAS	ALICE	CMS	LHCb
Experiment Status	STANDBY	STANDBY	STANDBY	STANDBY
Instantaneous Lumi (ub.s) <sup>-1</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000
BRAN Count Rate (Hz)	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
BKGD 1	0.002	0.005	0.002	0.122
BKGD 2	0.000	0.000	0.002	0.002
BKGD 3	0.000	0.002	0.003	0.038

LHCf **STANDBY**    Count(Hz): 0.000    LHCb VELO Position **OUT**    Gap: 58.0 mm    TOTEM: **STANDBY**

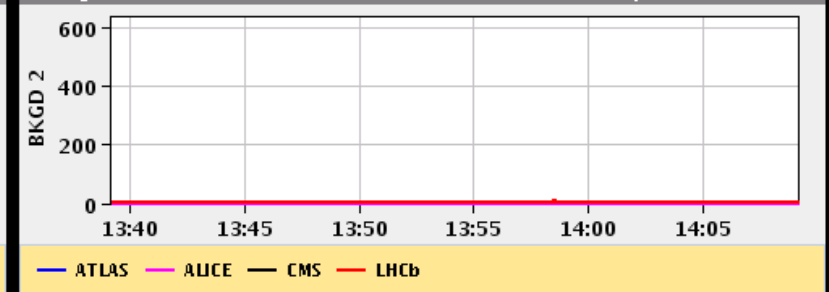
Performance over the last 12 Hrs Updated: 14:09:02



Background 1 Updated: 14:08:59



Background 2 Updated: 14:08:59



# Résumé

- **Le LHC est le plus grand, plus puissant et probablement dernier accélérateur de ce type construit par l'Homme.**
- **Il nous permet d'explorer les limites du connu (Modèle Standard) dans l'infiniment petit.**
- **Des milliers de chercheurs et ingénieurs ont contribué à la construction de l'accélérateur et des ~~six~~ sept expériences et sont en train d'analyser les résultats des mesures.**
- **A suivre ...**

# Portail grand public d'ATLAS : <http://atlas.ch>

## ATLAS Store

