

Introduction au CERN

Olivier Schneider



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
 FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Laboratoire de Physique
 des Hautes Energies (LPHE)

Olivier.Schneider@epfl.ch

1

Particules de matière

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons		spin = 1/2	Quarks		spin = 1/2
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

plus ANTIPARTICULES!

3

Contenu:

- Petit rappel de physique des particules (les ingrédients du Modèle Standard)
 - fermions
 - bosons
 - les interactions de la théorie électrofaible
- Le CERN
 - histoire
 - découvertes importantes
 - le futur (proche! 2009 → ...)
 - organisation

2

Particules-force (d'échange):

BOSONS			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W ⁻	80.4	-1			
W ⁺	80.4	+1			
Z ⁰	91.187	0			

Interaction forte

Interaction é.m.

Interac. faible {

plus le GRAVITON (?) pour l'interaction gravitationnelle

4

Particules composées de quarks

quelques exemples de **hadrons**...

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$						
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.						
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin	
p	proton	uud	1	0.938	1/2	
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2	
n	neutron	udd	0	0.940	1/2	
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2	
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2	

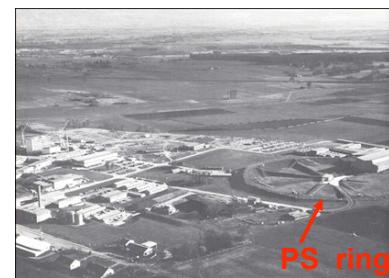
Mesons $q\bar{q}$						
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.						
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin	
π^+	pion	u \bar{d}	+1	0.140	0	
K $^-$	kaon	s \bar{u}	-1	0.494	0	
ρ^+	rho	u \bar{d}	+1	0.770	1	
B 0	B-zero	d \bar{b}	0	5.279	0	
η_c	eta-c	c \bar{c}	0	2.980	0	

5

Petite histoire du CERN: le début

- Début des travaux de construction le 17 mai 1954.
- Premier accélérateur: **SC (SynchroCyclotron)** de 600 MeV (1957–1990).
- Proton Synchrotron (PS)**: accélère des protons depuis 1959 ...
- 1968: **Georges Charpak** invente la **chambre proportionnelle multifilaire** (**Prix Nobel en 1992**).
- 1971: le **ISR (Intersecting Storage Rings)** est le premier collisionneur proton-proton au monde, à 31+31 GeV.

Site de Meyrin, 1959:



PS ring



Le ISR

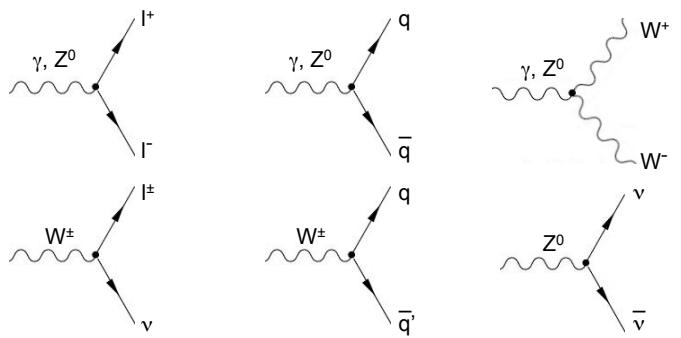
7

Théorie électrofaible:

~1864 Maxwell → unification des forces électriques et magnétiques
1961-1968 Glashow, Salam, Weinberg → unification des forces électro-magnétique et faible

4 bosons d'échange: γ , Z^0 , W^+ , W^-

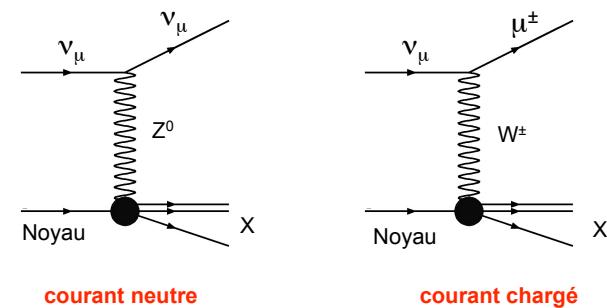
plusieurs couplages possibles:



6

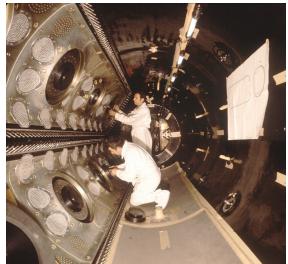
Petite histoire du CERN: courants neutres

- 1973: confirmation expérimentale des courants neutres en utilisant des faisceaux de neutrinos dans la chambre à bulles Gargamelle

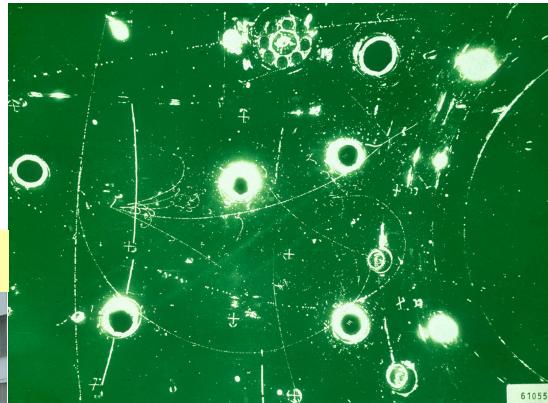


8

Petite histoire du CERN: courants neutres



Gargamelle en construction...
... et à la retraite

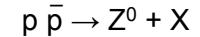
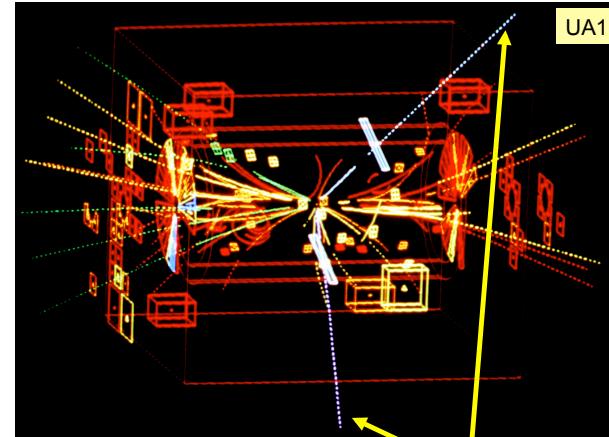


un neutrino incident interagit avec un nucléon et s'échappe

9

Petite histoire du CERN: découverte des W et Z

Le premier événement Z^0 observé par UA1 le 30 avril 1983:



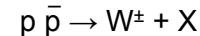
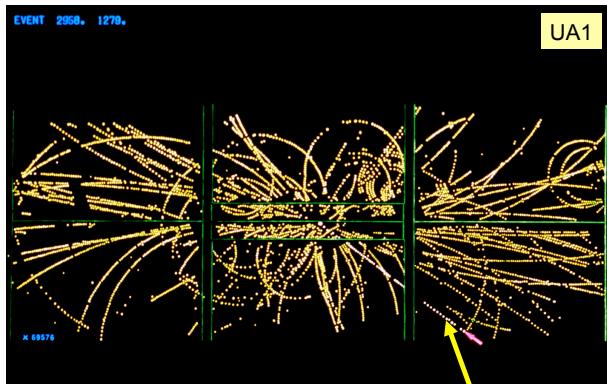
Au total, 12 Z^0
reconstruits, avec
 $m_Z \sim 91 \text{ GeV}/c^2$

électron et positon provenant de $Z^0 \rightarrow e^+e^-$

11

Petite histoire du CERN: découverte des W et Z

- 1983: découverte des bosons W et Z, particules messagères de l'interaction faible, aux expériences UA1 et UA2 au SPS (Super Proton Synchrotron, 7 km de circonférence, $\sqrt{s} = 540 \text{ GeV}$).
- 1984: C.Rubbia et S. van der Meer reçoivent le Prix Nobel pour la découverte.



Au total, $\sim 100 W^\pm$
reconstruits, avec
 $m_W \sim 80 \text{ GeV}/c^2$

électron provenant de $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu$

10

Petite histoire du CERN: le LEP

- 1989–2000: fonctionnement du LEP (Large Electron-Positron), le grand collisionneur électron-positron, dans un anneau de 27 km de circonférence.
- énergie: 45+45 GeV au début (LEP1) pour produire le Z, doublée dans une deuxième phase (LEP2) pour produire une paire W^+W^- .
- jusqu'à 104.5 GeV en 2000, à la recherche de nouvelles particules (Higgs ...)



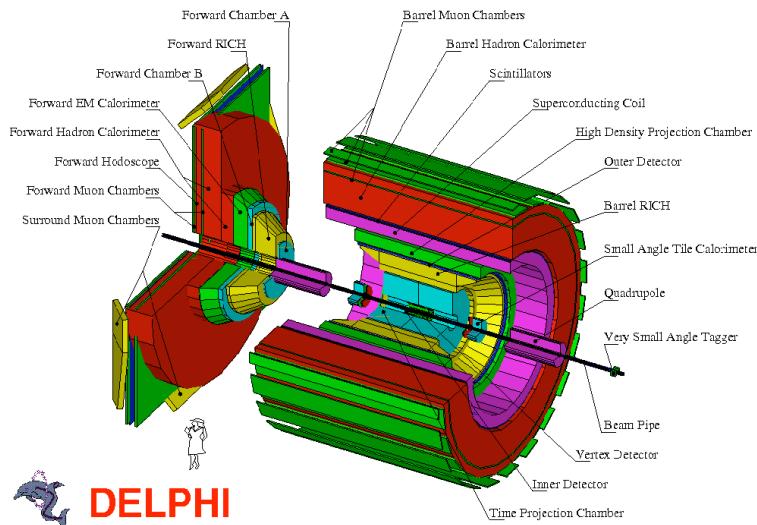
4 expériences:
**ALEPH, DELPHI,
L3, OPAL**

BUTS:

- Mesures de précision des propriétés des bosons Z et W et des paramètres du Modèle Standard
- Recherche de "Nouvelle physique"

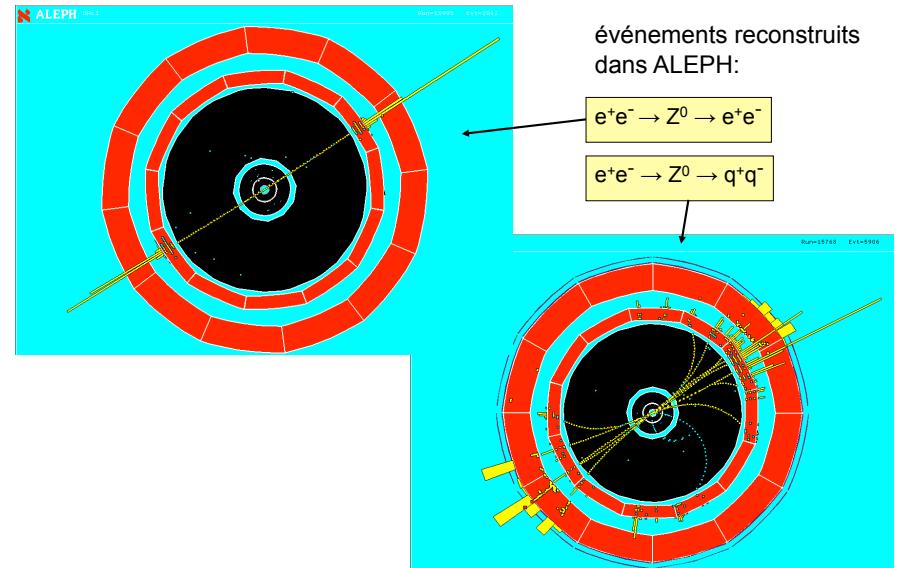
12

Petite histoire du CERN: détecteurs du LEP



13

Petite histoire du CERN: événements au LEP



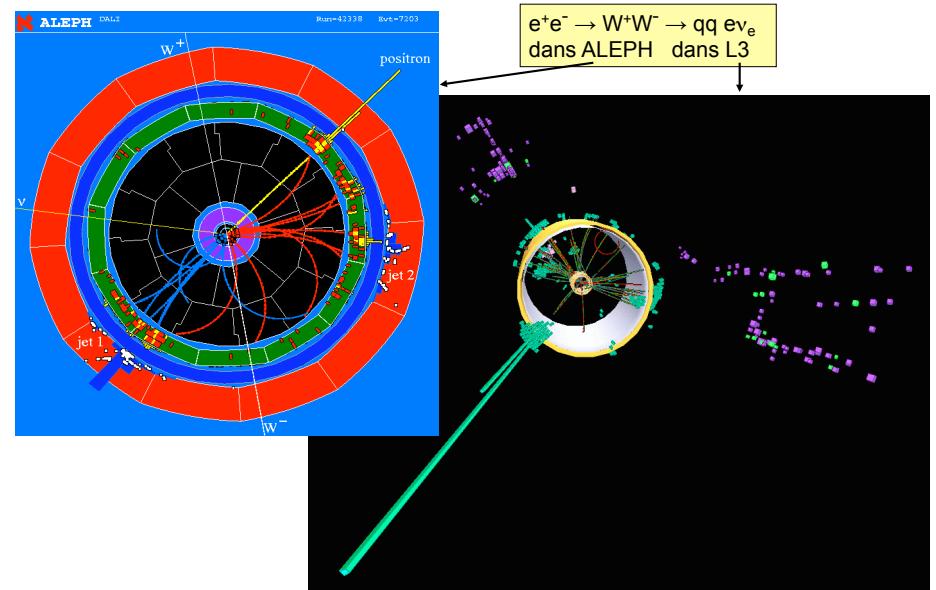
Petite histoire du CERN: détecteurs du LEP



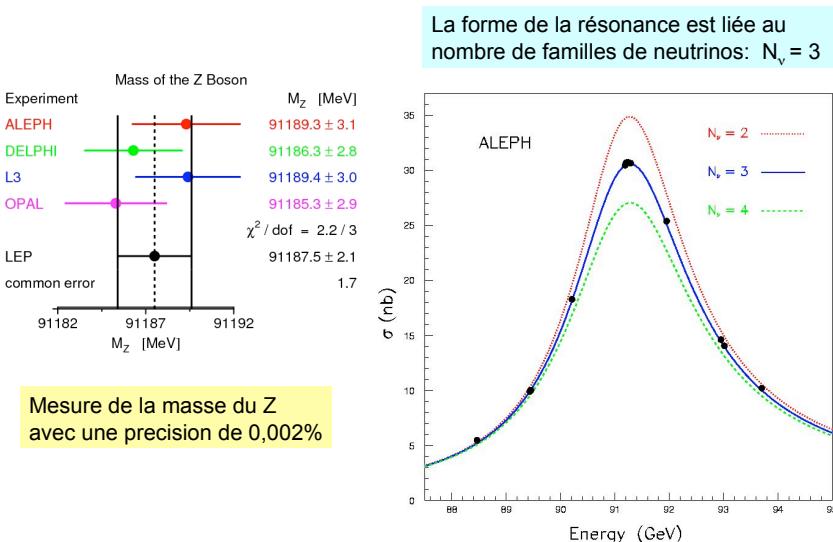
vue du détecteur ALEPH ouvert

14

Petite histoire du CERN: événements au LEP

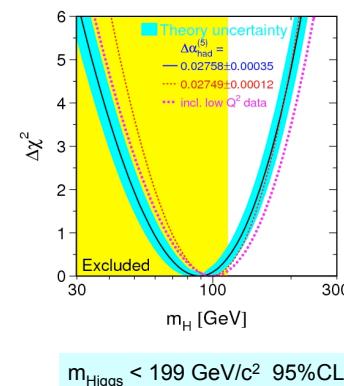


Petite histoire du CERN: résultats du LEP



Le futur du CERN: questions ouvertes

Combinaison de plusieurs mesures au LEP, Tevatron (fit global électrofaible):



Le boson de Higgs est l'ingrédient du Modèle Standard qui a échappé à toutes recherches...

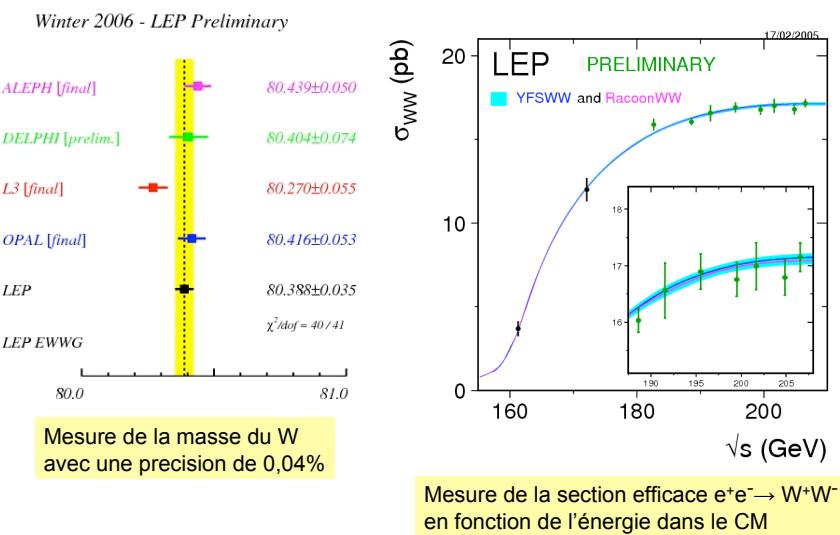
Il pourrait expliquer **l'origine de la masse des particules**.

Autres **questions ouvertes**:

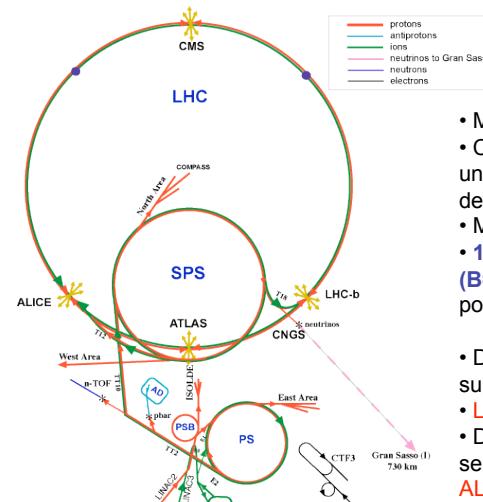
- De quoi la matière noire est-elle faite?
- La force électrofaible et la force forte peuvent elles être unifiées? (supersymétrie? extra-dimensions?)
- Pourquoi y a-t-il trois générations de matière, et qu'est devenue l'antimatière? (asymétrie entre matière et antimatière: cette asymétrie pourrait résulter d'un effet connu sous le nom de violation de CP)

19

Petite histoire du CERN: résultats du LEP



Le futur du CERN: le LHC

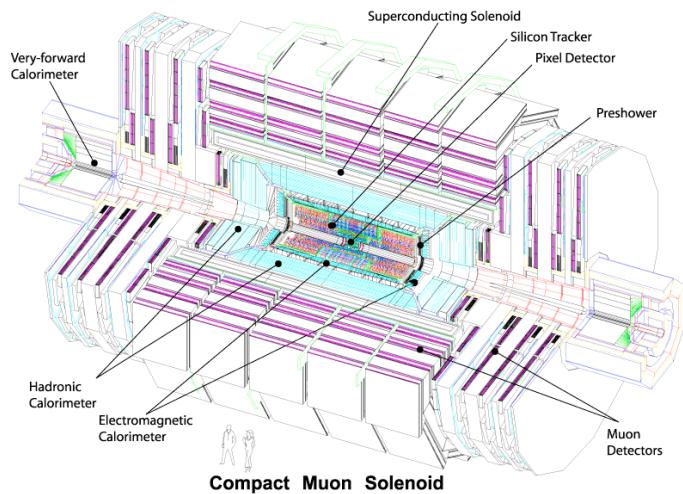


Grand collisionneur de hadrons (Large Hadron Collider, LHC)

- Mise en marche: fin 2007
- Collisions de **deux faisceaux de protons** à une énergie de **14 TeV** et à une fréquence de collision de **40 MHz**.
- Même tunnel que le LEP
- **1232 aimants supraconducteurs** ($B=8.4T$, $T=1.9K$, $L=14.3m$, $m=35$ tonnes) pour maintenir les faisceaux en orbite.
- Détecteurs: **ATLAS, CMS** (Higgs, supersymétrie...)
- **LHCb**: violation CP
- Des faisceaux de noyaux de plomb seront également accélérés: détecteur **ALICE**, pour étudier le plasma de quarks et gluons.

20

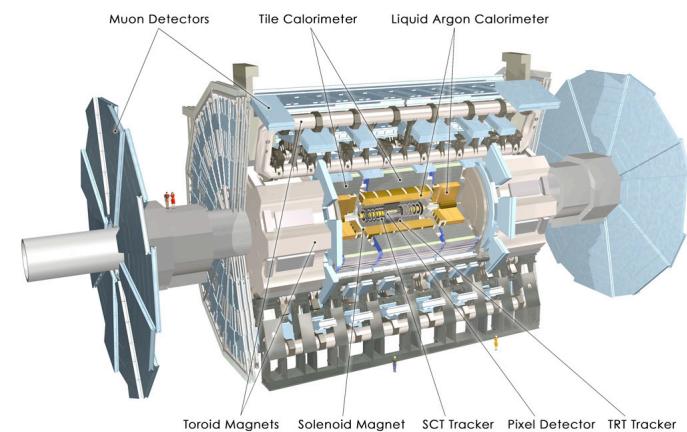
Le futur du CERN: CMS



2300 physiciens, 160 universités et laboratoires

21

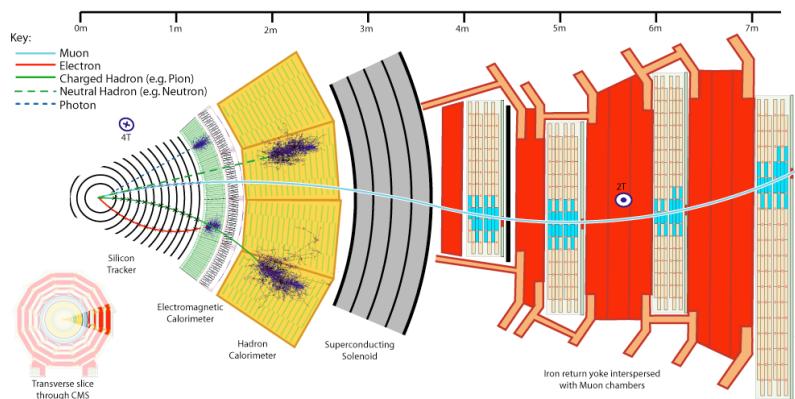
Le futur du CERN: ATLAS



1800 physiciens, 150 universités et laboratoires, 35 pays

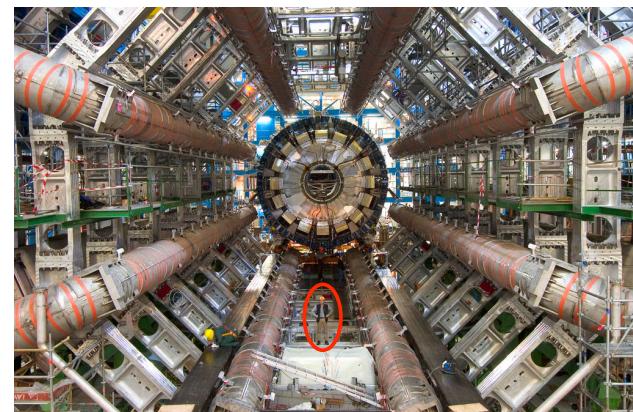
23

Le futur du CERN: CMS



22

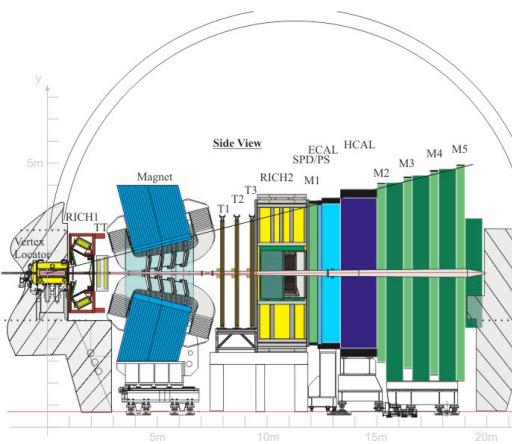
Le futur du CERN: ATLAS



en 2005: maintenant c'est tout plein...

24

Le futur du CERN: LHCb



- Structure asymétrique ("single arm").
- Dédié à l'étude de la **Violation de la symétrie de CP** ("Charge-Parity") qui lie chaque particule à son antiparticule, dans les hadrons b (en particulier mesons B_s et B_d).
- Mesure précise de certains paramètres du Modèle Standard (matrice CKM).
- Recherche de déviations par rapport aux prédictions du Modèle Standard produites par la "Nouvelle Physique"...

le **Laboratoire de Physique des Hautes Energies (LPHE)** de l'EPFL fait partie de la collaboration LHCb, avec ~50 autres instituts et ~600 collaborateurs au total. 25

Organisation du CERN

- Le **Directeur Général** est nommé par le Conseil. Actuellement: **R. Aymar** (en charge 2004-2008)
Dès 2009: **R. Heuer**



- Le **Conseil** définit la politique scientifique, technique et administrative du CERN, approuve le programme d'activités et le budget et contrôle les dépenses.
- ~3000 employés. Répartition: 30% recherche, 35% accélérateurs, 20% technique, 15% administration.
- Environ 6500 scientifiques, soit la moitié des physiciens et physiciennes des particules du monde, utilisent les installations du **CERN**. Ils représentent 500 universités et plus de 80 nationalités.
- Programme scientifique diversifié, avec expériences en plus du LHC (neutrinos, antimatière, astro-particules...)

27

Organisation du CERN

CERN: Organisation (*Conseil*) Européenne pour la Recherche Nucléaire. Le nom date du 1954: « *Laboratoire européen pour la physique des particules* » décrit mieux les travaux actuels...

Extrait de sa Convention constitutive :

"L'Organisation assure la collaboration entre Etats européens pour les recherches nucléaires de caractère purement scientifique et fondamental, ainsi que pour d'autres recherches en rapport essentiel avec celles-ci. L'Organisation s'abstient de toute activité à fins militaires et les résultats de ses travaux expérimentaux et théoriques sont publiés ou de toute autre façon rendus généralement accessibles."

- **20 Etats membres** européens avec devoirs et priviléges:
 - contribuer au budget et aux frais de fonctionnement du CERN;
 - être représentés au **Conseil**, responsable de toutes les décisions importantes.
- **Etats et organisations observateurs** participant aux programmes du CERN: Commission Européenne, Inde, Israël, Japon, Russie, Turquie, UNESCO et USA
- **28 Etats non-membres**.

26