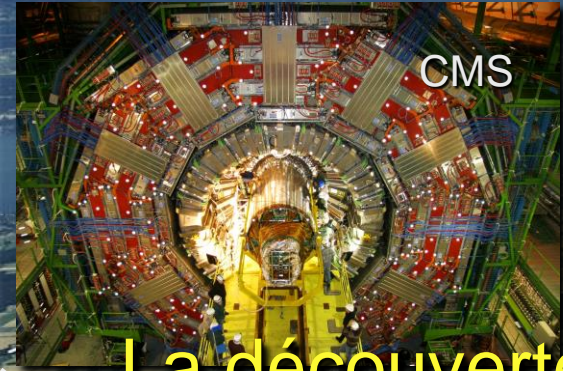


# Un nouveau palier de la connaissance

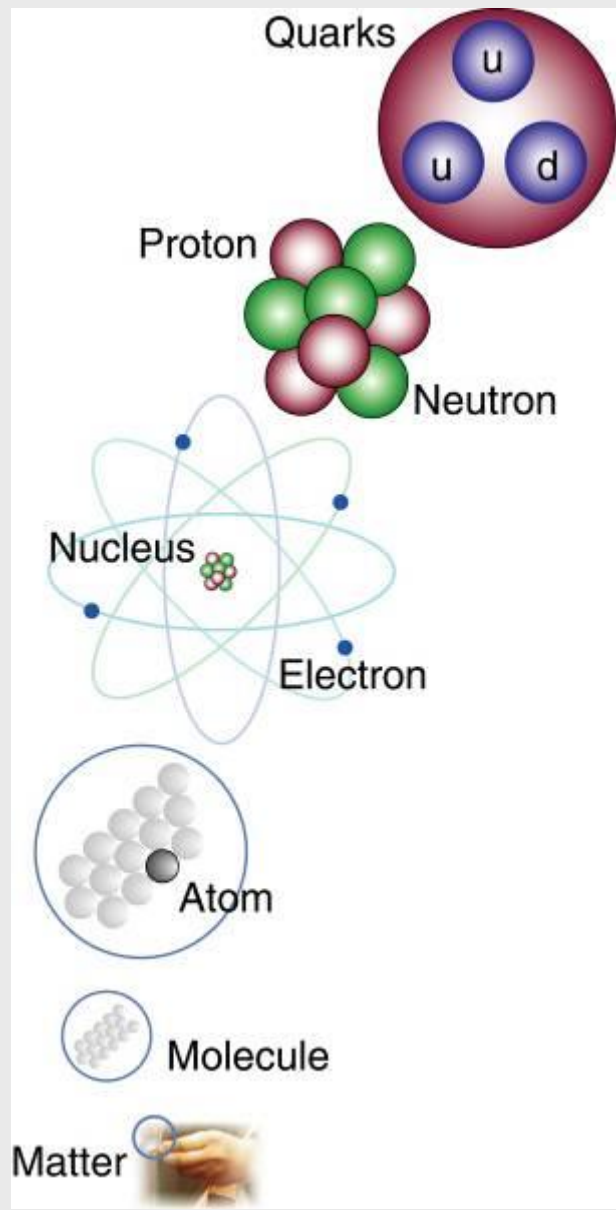


La découverte du boson de Brout, Englert et Higgs  
et les deux infinis  
Une aventure scientifique hors normes





# Les particules élémentaires et leurs interactions



	matter particles			gauge	particles
Q U A R K	1st gen.	2nd gen.	3rd gen.	Strong Force	
	<i>u</i> <i>up</i>	<i>c</i> <i>charm</i>	<i>t</i> <i>top</i>	<i>g</i> x8 <i>Gluon</i>	
	<i>d</i> <i>down</i>	<i>s</i> <i>strange</i>	<i>b</i> <i>bottom</i>	Electro-Magnetic Force	
L E P T O N	<i>ν<sub>e</sub></i> <i>e neutrino</i>	<i>ν<sub>μ</sub></i> <i>μ neutrino</i>	<i>ν<sub>τ</sub></i> <i>τ neutrino</i>	<i>γ</i> <i>photon</i>	
	<i>e</i> <i>electron</i>	<i>μ</i> <i>muon</i>	<i>τ</i> <i>tau</i>	Weak Force	
				<i>W<sup>+</sup></i> <i>W<sup>-</sup></i> <i>Z</i> <i>W bosons</i> <i>Z boson</i>	
scalar particle(s)				<i>H</i> ... <i>Higgs</i>	

Elements of the Standard Model



4 Juillet 2012: “Les expériences du CERN

observent une particule dont les caractéristiques sont compatibles avec celles du boson de Higgs”





# 4 JULY 2012

## CERN Press conference

### 欧核中心称新发现粒子与“上帝粒子”高度吻合

希格斯玻色子最新证据被认为是30年来最佳科学发现之一

中国科学家作出了重要贡献



**EL DIARIO**  
L'Univers livre enfin ses secrets  
**CORRIERE DELLA SERA**  
Il Centro de Ases  
DIE WELT

**GULF NEWS**  
**INDEPENDENT**  
**EUREKA!**  
Milhares de moradores de bairros sociais em risco de perderem RSI  
**THE AUSTRALIAN**  
One point means seventh heaves for Maroons, another year of agony for Blues  
**Le Matin**  
The Dallas Morning News  
THE TIMES OF INDIA  
The Japan Times

**Tribune de Genève**  
ACCÉLÉRATEUR DE PARTICULES  
Découverte majeure au CERN

**Le Monde**  
Science - la matière dévoilée  
Physique des neutrons La masse est dite  
**THE NEW YORK TIMES**  
Discovered the boson of Higgs  
Particule élémentaire

**El juez imputa a Rato y 32 consejeros de Bankia**  
La Audiencia Nacional admite una querrela contra los exgobernadores del grupo  
**LA STAMPA**  
**la Repubblica**  
"Perché l'Italia deve farcela"  
Colapso en Superhite: homicidio de Confalone, marzo 2012

**LA RAZON**  
Gobierno obligará por ley a las empresas a hacer más ajustes  
**LA DEPECHE**  
La «particule de Dieu» existe  
**gazeta**  
Another year of pain for Blues  
**IL GAZZETTINO**  
Conferenza meteo delle Province

**EL PAIS**  
Hallada la partícula clave para la comprensión del universo  
**LA DEPECHE**  
La carte des épandages de pesticides  
**The Sydney Morning Herald**  
Another year of pain for Blues

**THE HINDU**  
Elusive particle found, looks like Higgs boson  
**la Repubblica**  
"Perché l'Italia deve farcela"  
**The Telegraph**  
It walks, it quacks but best to...  
**ALGEMEEN DAGBLAD**  
Ouderen midden 'te dure' psychiater  
**বিশ্ববাজার পত্রিকা**  
বিজ্ঞানের 'ঈশ্বর' দর্শন  
**சீனாட்சு**  
உருவகமான 'ஈசுவர்' தோற்றம்

**de Higgs ètè comme ne rock-star**  
**EST**  
Budget 7 milliards d'euros, 0 d'impôts en 2012 pour 2012  
**IL GAZZETTINO**  
Conferenza meteo delle Province

**Scientists prove existence of 'God particle'**  
**LA DEPECHE**  
La «particule de Dieu» existe  
**gazeta**  
Another year of pain for Blues  
**IL GAZZETTINO**  
Conferenza meteo delle Province  
**Journal de Noticias**  
Partícula de Deus Estamos mais perto de conhecer a origem do universo

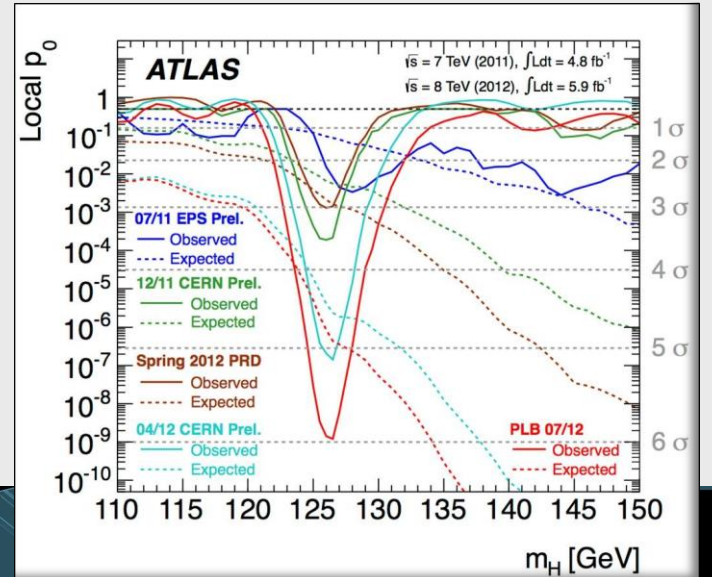
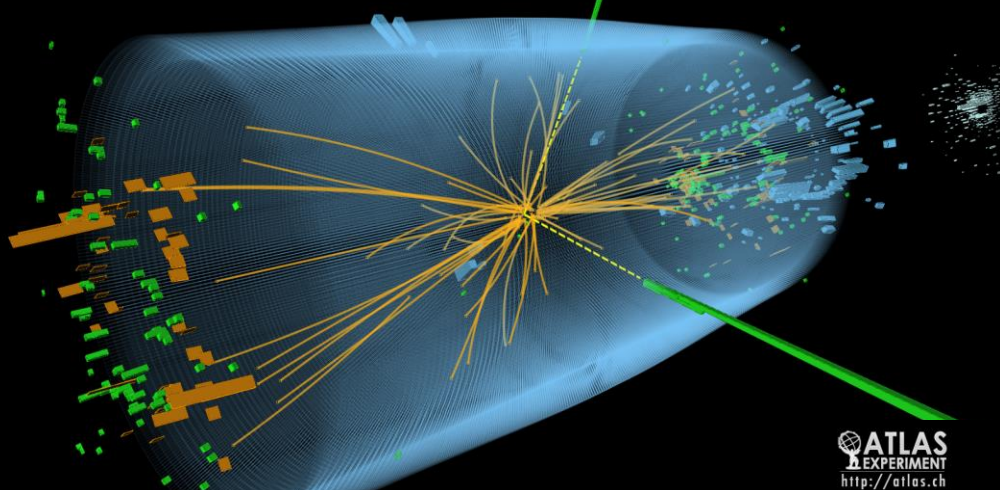
**LA DEPECHE**  
La carte des épandages de pesticides  
**The Sydney Morning Herald**  
Another year of pain for Blues  
**IL GAZZETTINO**  
Conferenza meteo delle Province  
**Journal de Noticias**  
Partícula de Deus Estamos mais perto de conhecer a origem do universo  
**LE BERRY**



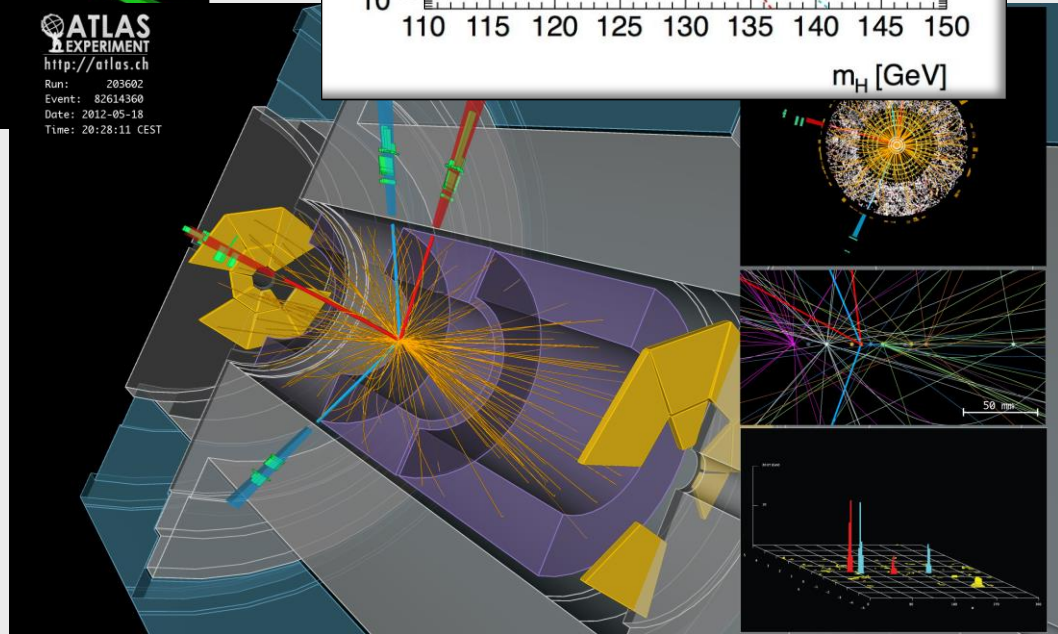
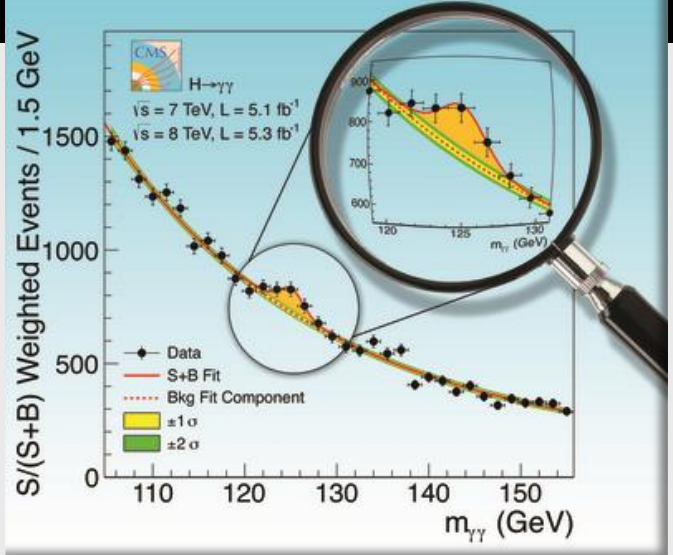
# 4 Juillet 2012: "Les expériences du CERN

observent une particule dont les caractéristiques sont compatibles avec celles du boson de Higgs"

CMS Experiment at the LHC, CERN  
 Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
 Run/Event: 194108 / 564224000



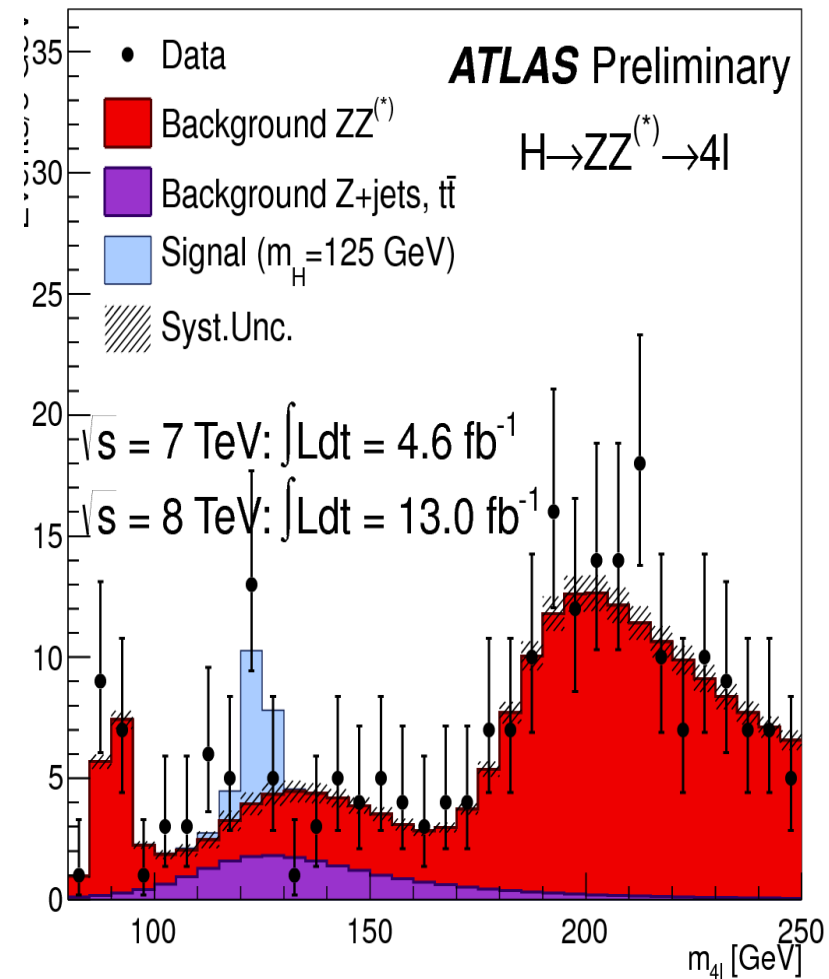
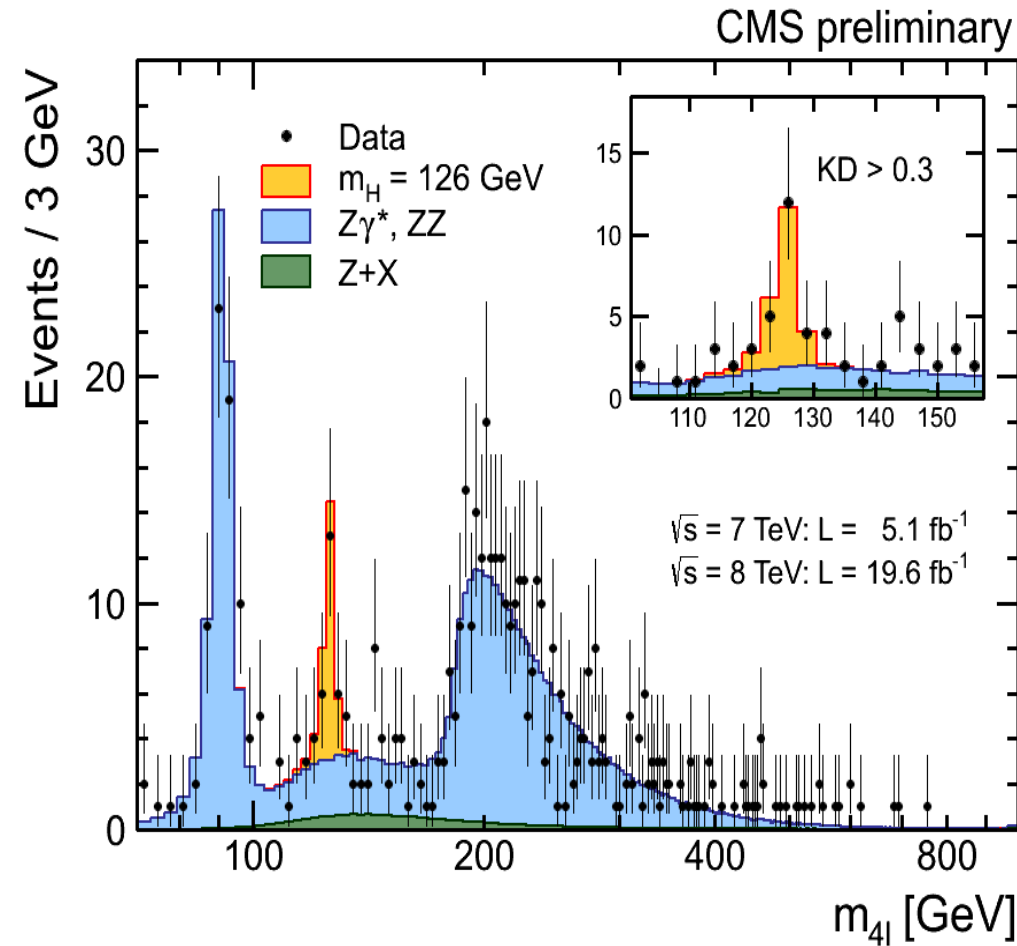
**ATLAS**  
 EXPERIMENT  
<http://atlas.ch>  
 Run: 203602  
 Event: 82614360  
 Date: 2012-05-18  
 Time: 20:28:11 CEST





# Last LHC results: 2011 + 2012 (20 fb<sup>-1</sup>)

SCALAR BOSON OF SPIN 0 STRONGLY INDICATED!



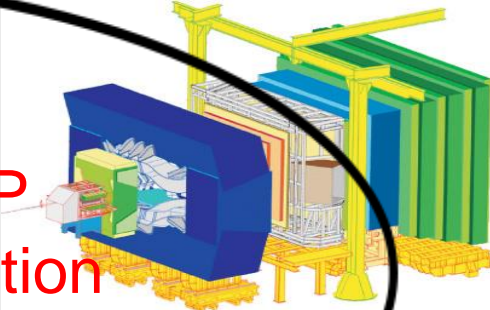
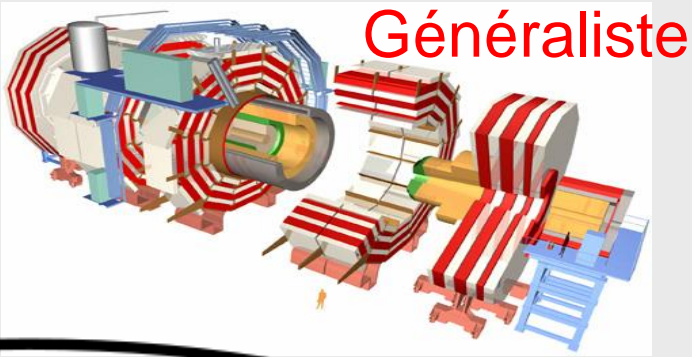
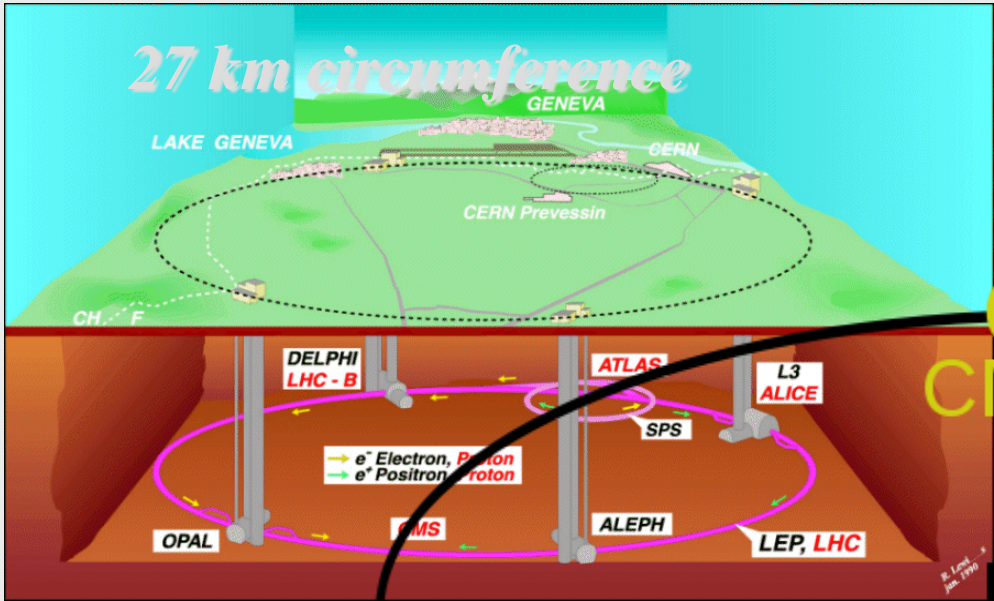
**A total of 15 physics papers and 100 conference notes!  
A fantastic year for ATLAS!**



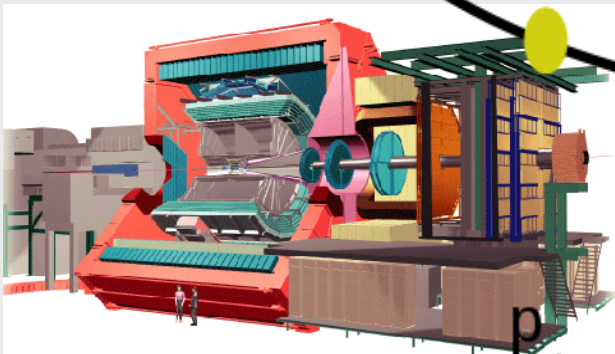
**huge thanks to the LHC team for delivering such beautiful  
data to the experiments!**

**huge thanks to the collaborating institutes and funding**





100 m underground



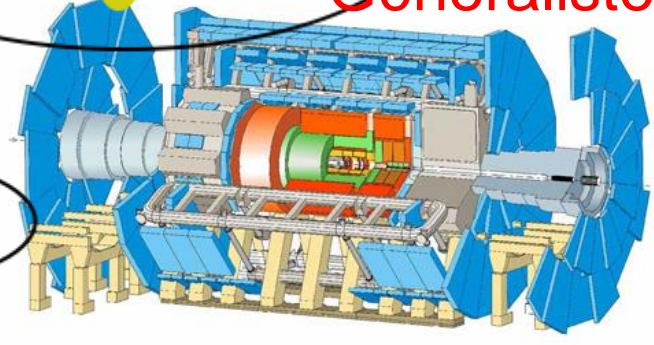
Pb Pb collisions

ALICE

SPS

ATLAS

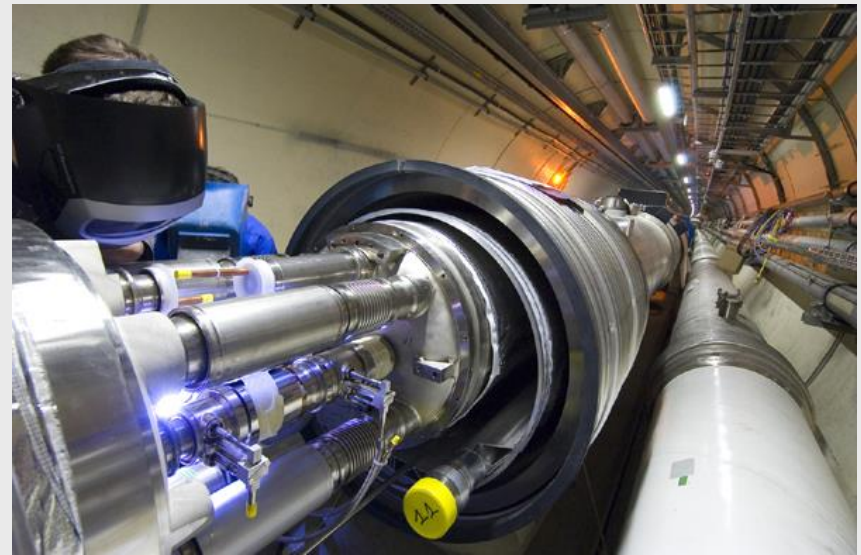
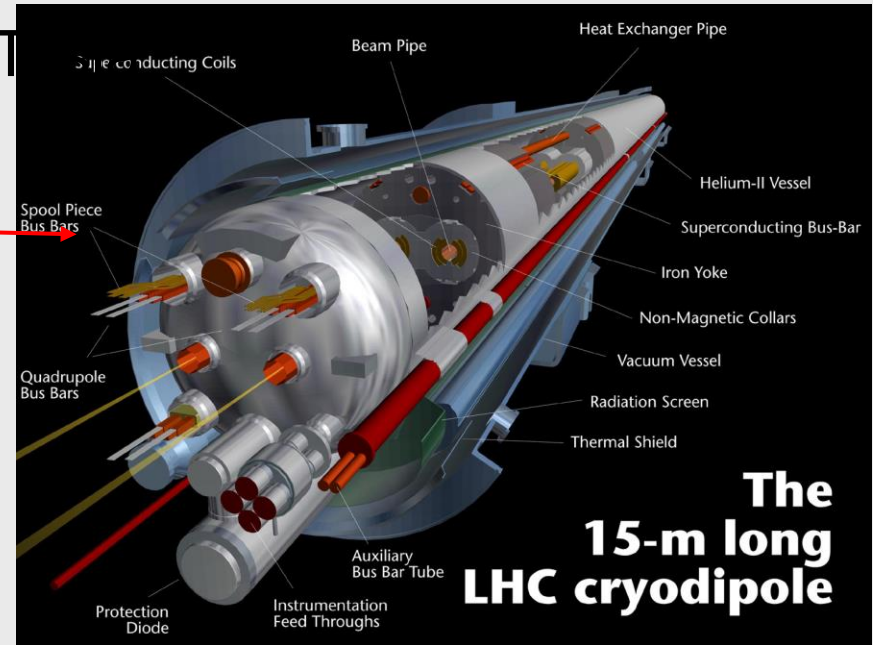
Généraliste



PS

# Le “ Large Hadron Collider “

Champ magnétique à 7 TeV: 8.33 T  
T bain Hélium superfluide: 1.9 K  
Nb. D'aimants: ~9300  
Nb. dipoles: 1232  
Nb. quadrupoles: ~858  
Nb. aimants de correction: ~6208  
Nb. de cavités RF: 8 / faisceau;  
Puissance électrique: 120 MW



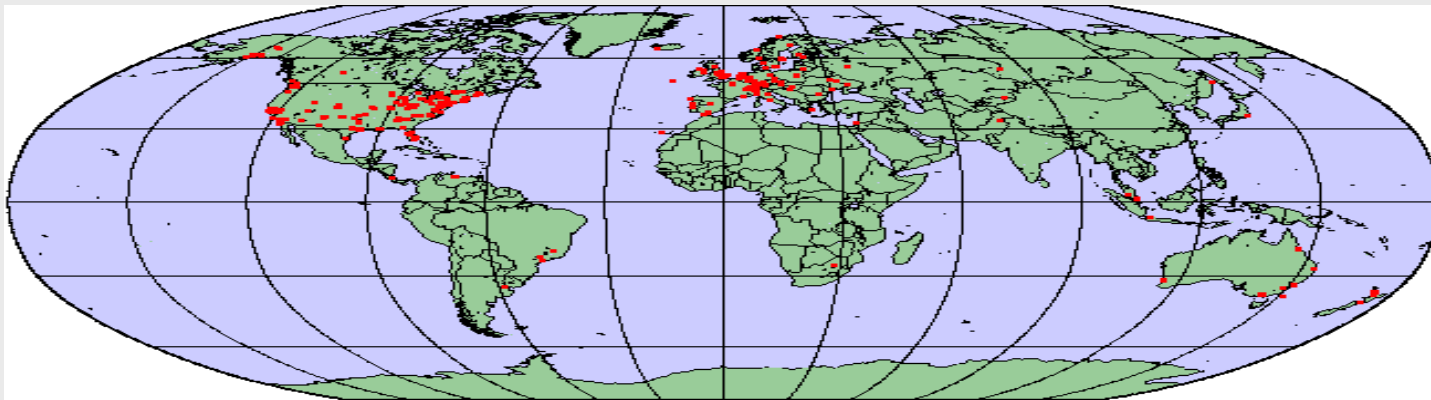


# Computing pour LHC

- **Problème:** même le centre de calcul du CERN ne peut fournir qu'une partie des ressources nécessaires (1 milliard de collisions par seconde)
- **Solution:** Les centres de traitement qui étaient isolés dans le passé, ont été connectés, **en interconnectant ainsi toutes les ressources auxquelles ont accès les utilisateurs du monde entier (la Grille de calcul qui a donné depuis le Cloud Computing)**

*Europe:*  
*267 instituts*  
*4603 utilisateurs*

*Ailleurs:*  
*208 instituts*  
*1632 utilisateurs*





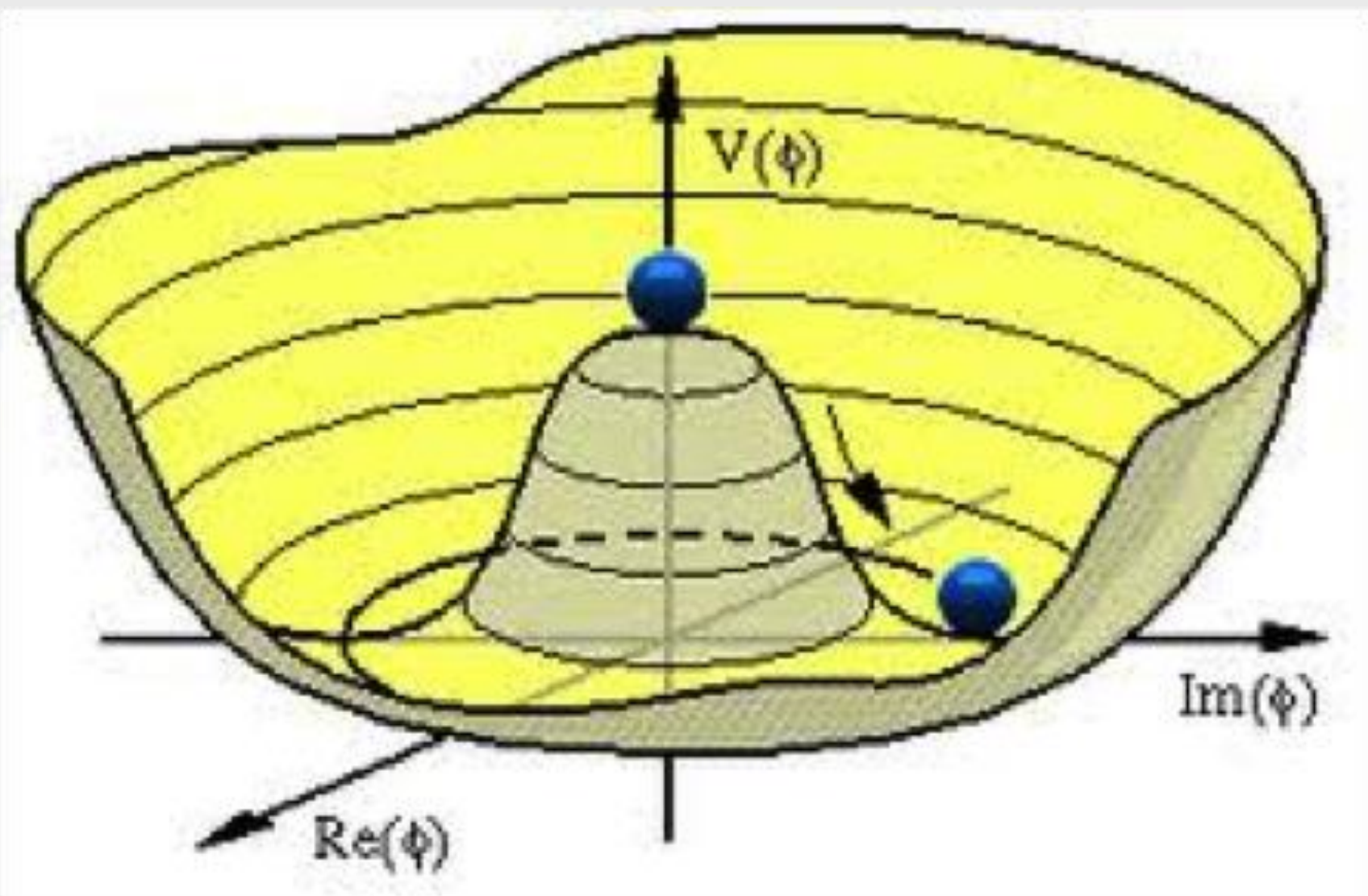
$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

$$+ i\bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.}$$

$$+ \bar{\chi}_i \gamma_{ij} \chi_j \phi + \text{h.c.}$$

$$+ |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$







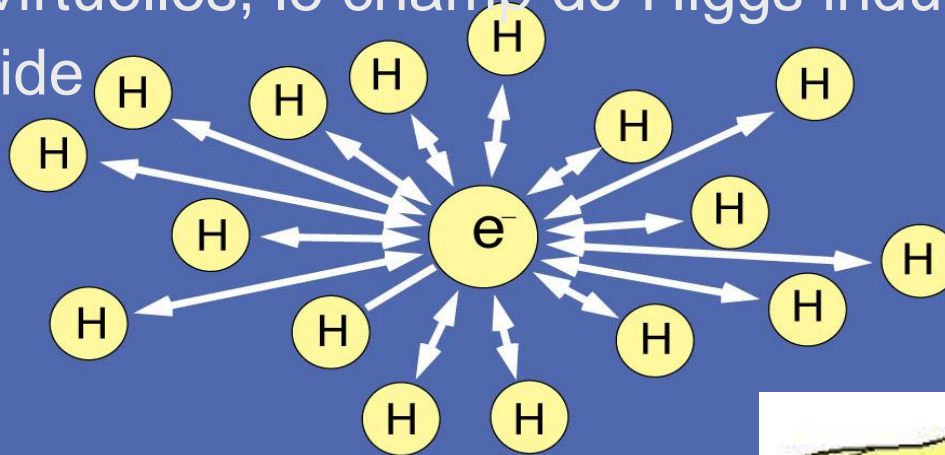
# Mécanisme de Brout, Englert et Higgs

Qu'est-ce que le vide ?

- Plein de particules virtuelles non détectables: les fluctuations quantiques

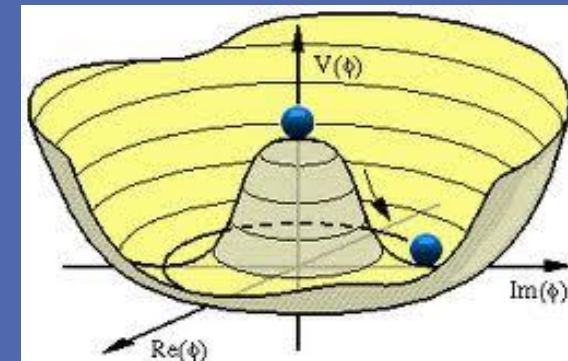


- Les particules virtuelles, le champ de Higgs induisent une "viscosité" du vide



Le chapeau mexicain

**Mais encore fallait-il découvrir une  
particule de Brout, Englert et Higgs ...**

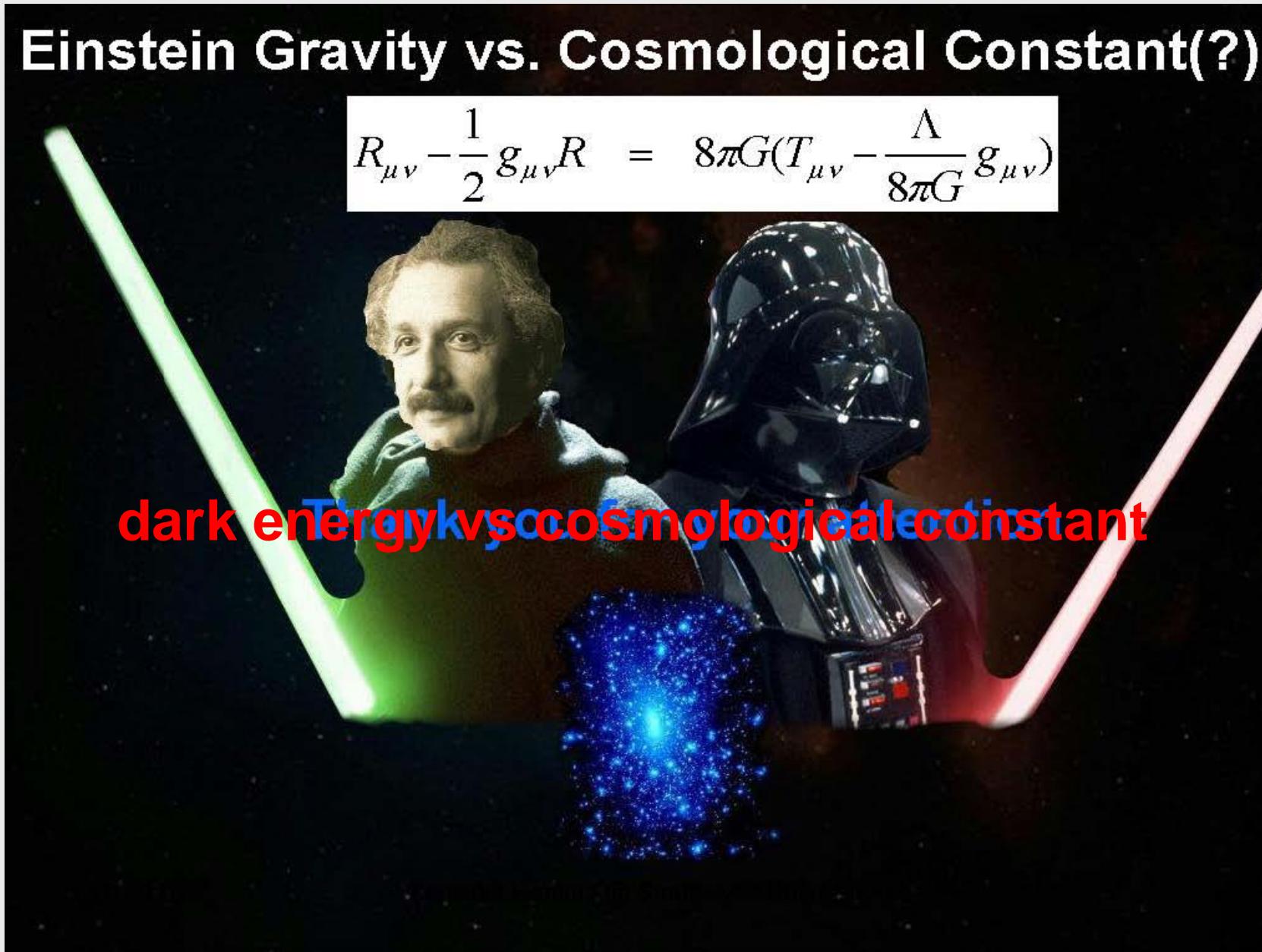


# Einstein Gravity vs. Cosmological Constant(?)

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = 8\pi G(T_{\mu\nu} - \frac{\Lambda}{8\pi G}g_{\mu\nu})$$

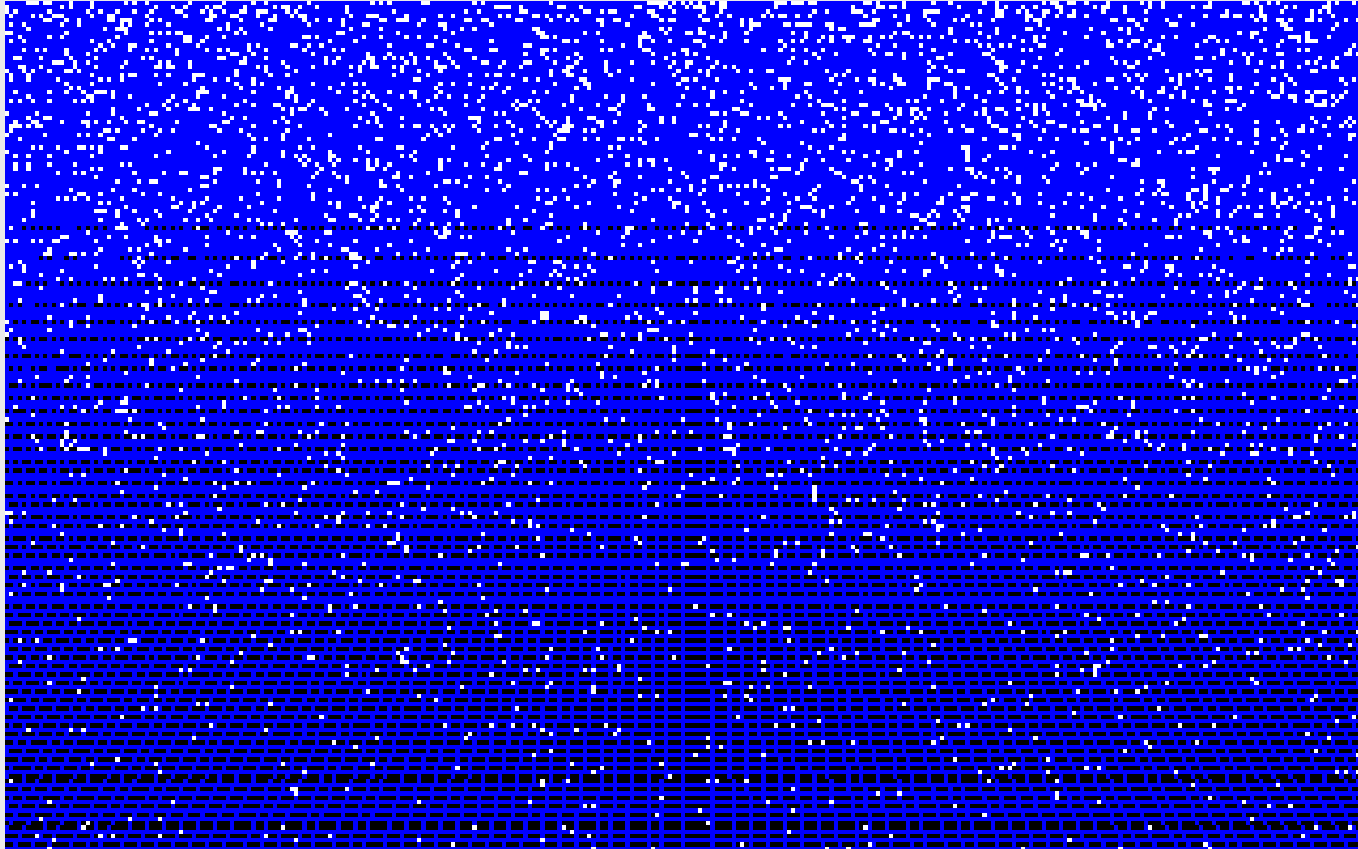
dark energy vs cosmological constant

Thank you for your attention

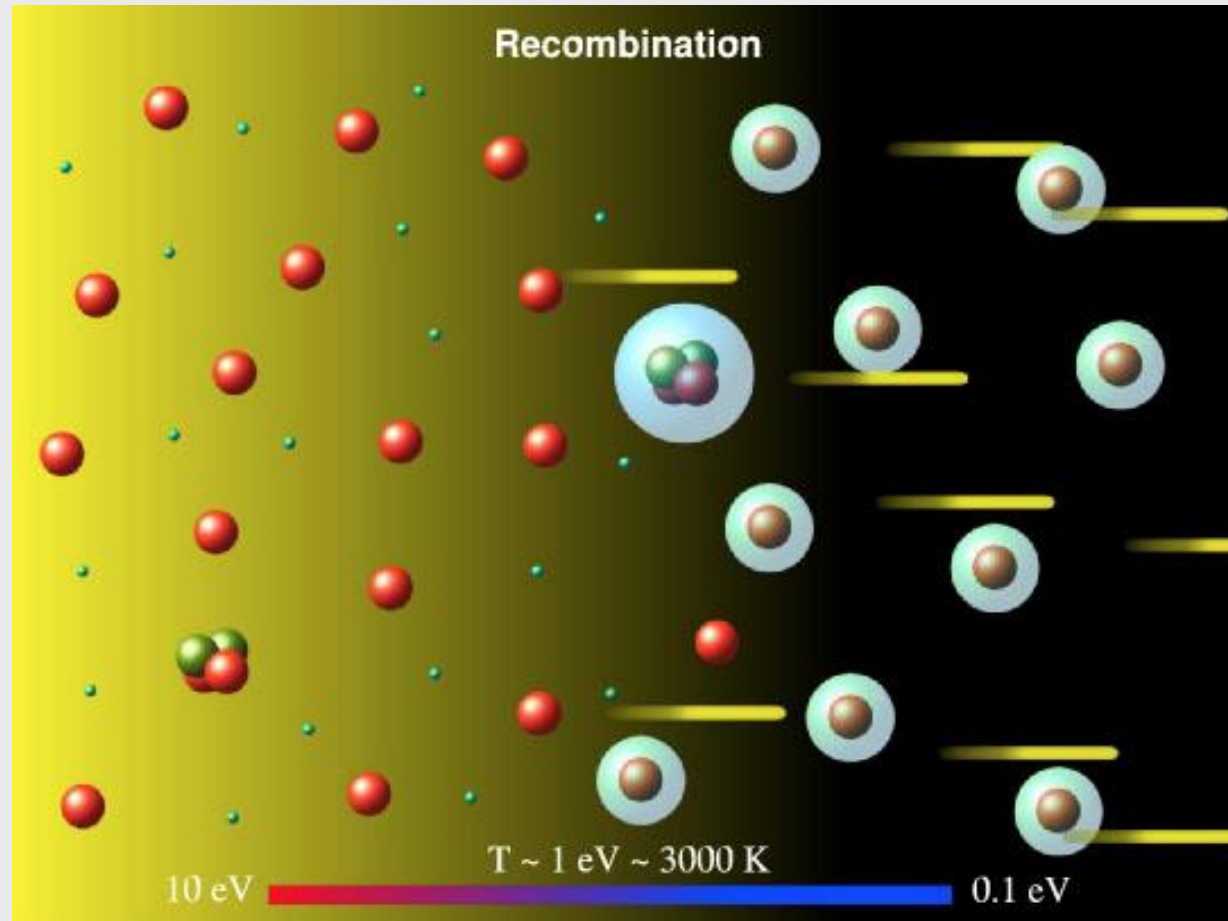




L'espace de l'univers s'étend!

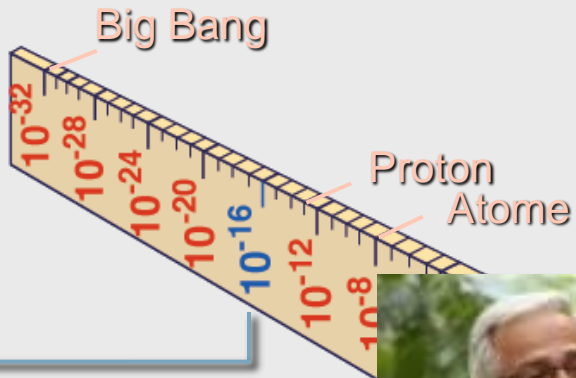


Quand on voit loin, on voit l'univers tel qu'il était il ya longtemps.  
Dans le passé l'univers était plus dense et plus chaud

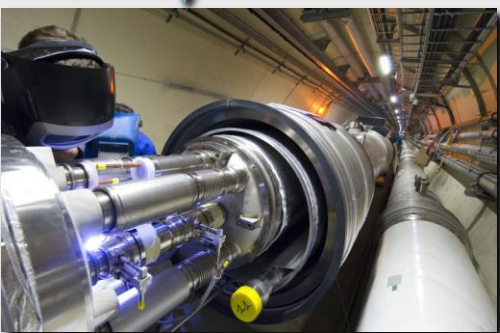


Les structures étaient décomposées, l'univers était une soupe de particules en collision





Rayon de la Terre  
 De la Terre au Soleil

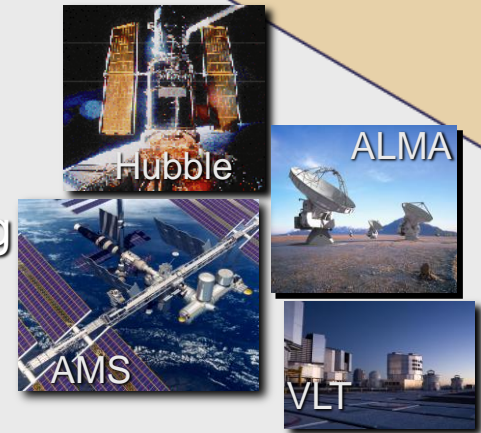
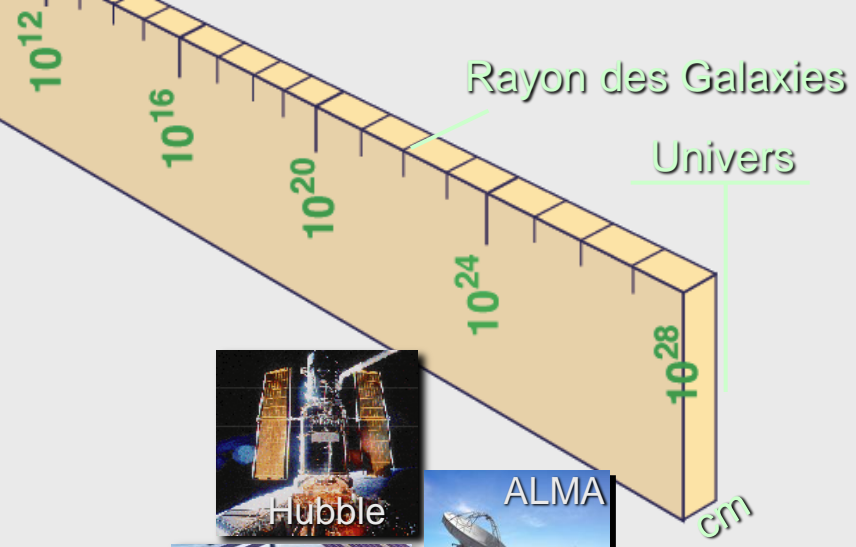


LHC

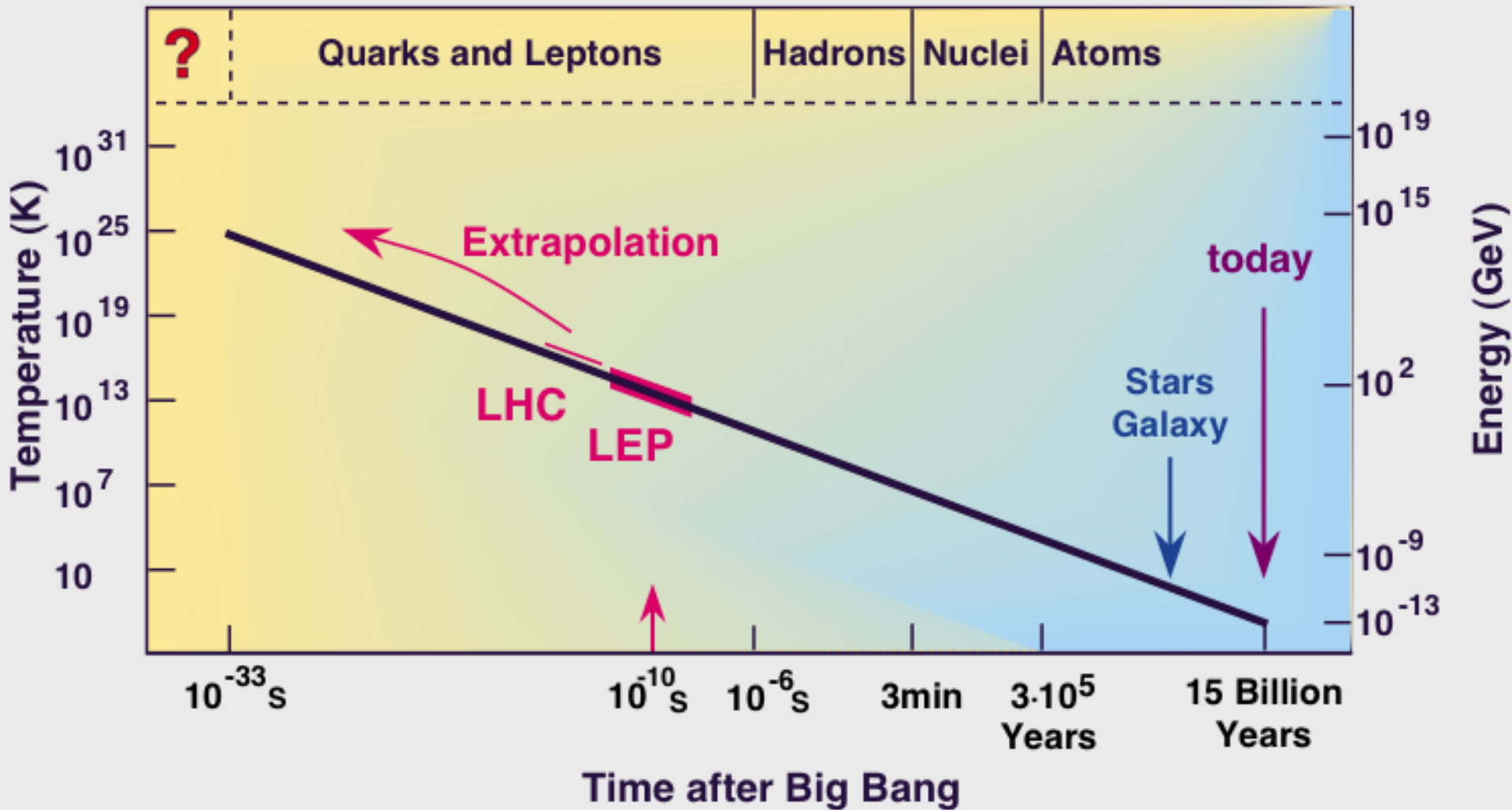
Super-Microscope



Etudie les lois de la physique juste après le Big Bang  
 augmente la symbiose entre la physique des  
 particules, l'astrophysique et la cosmologie

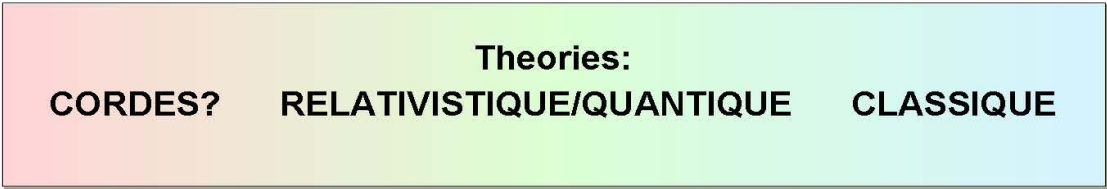
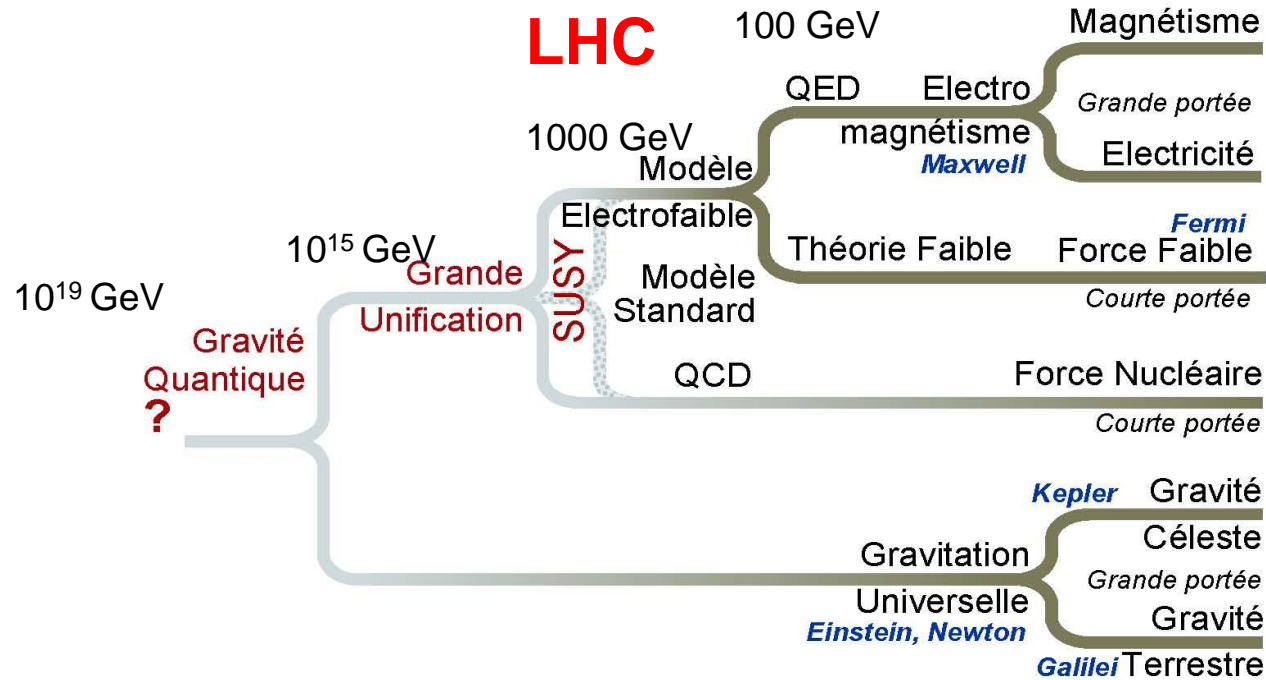


# Evolution of the Universe





# Résumé

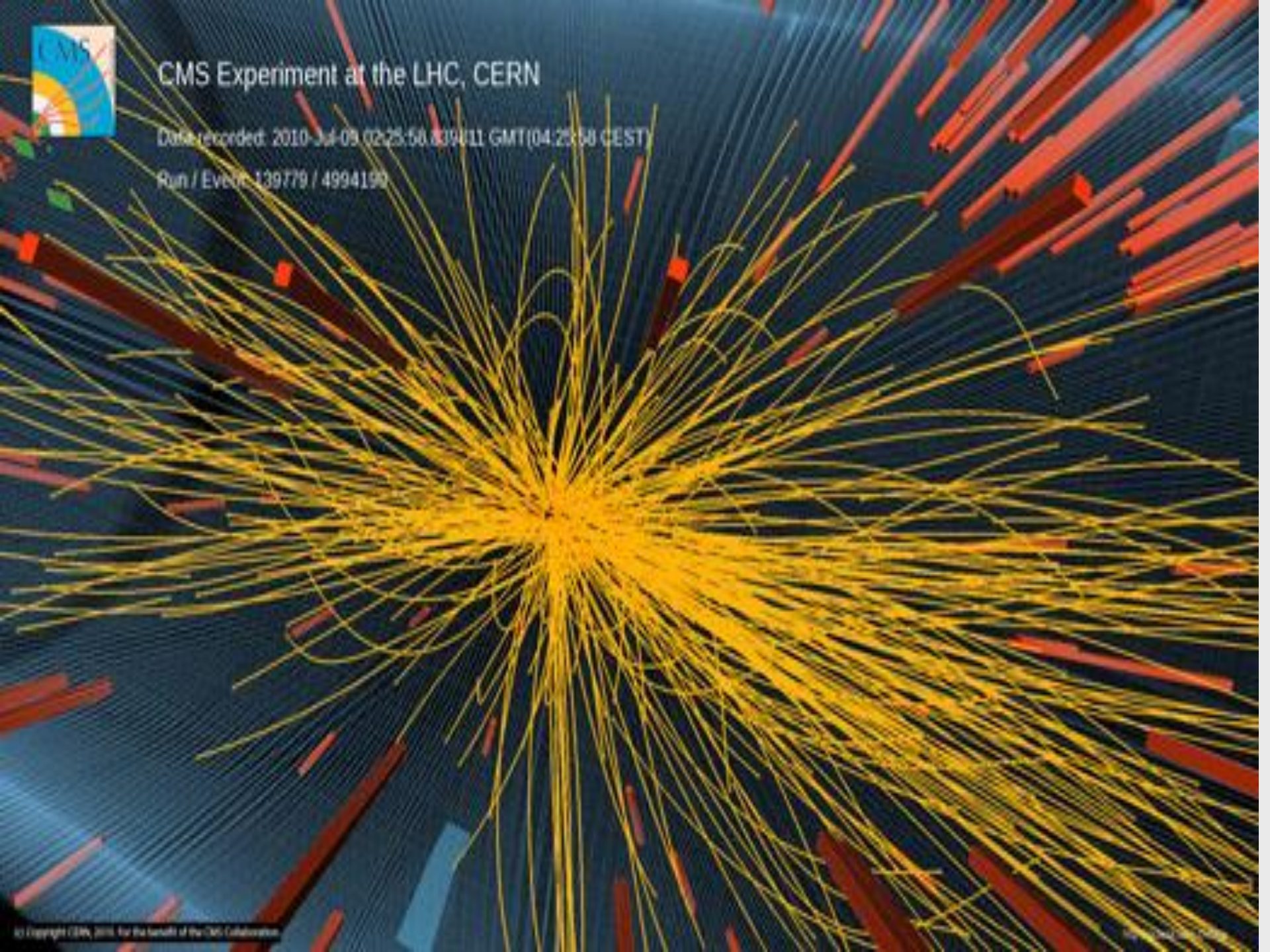




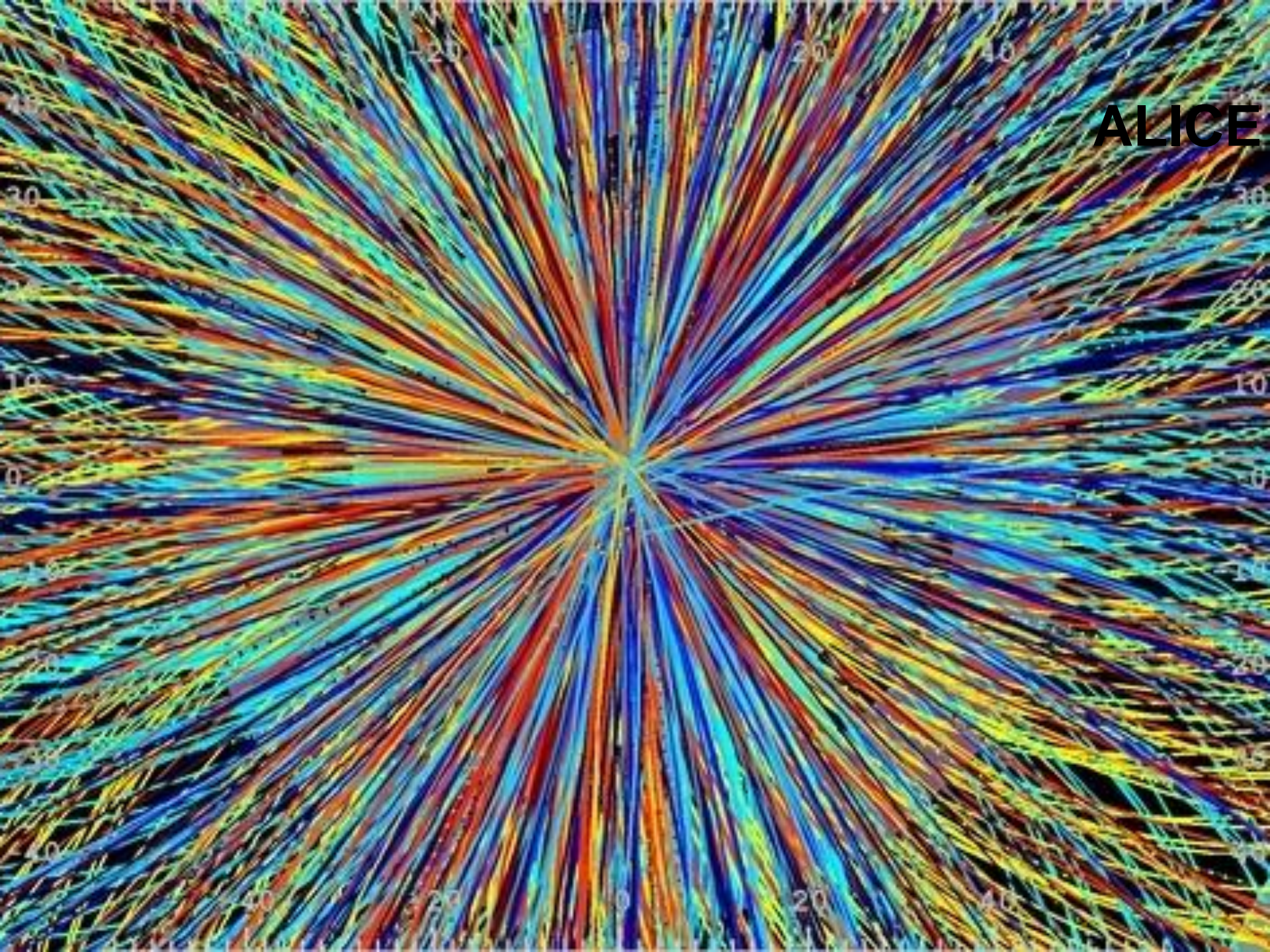
# CMS Experiment at the LHC, CERN

Date recorded: 2010-Jul-09 02:25:58.839411 GMT(04:25:58 CEST)

Run / Event: 139779 / 4994199

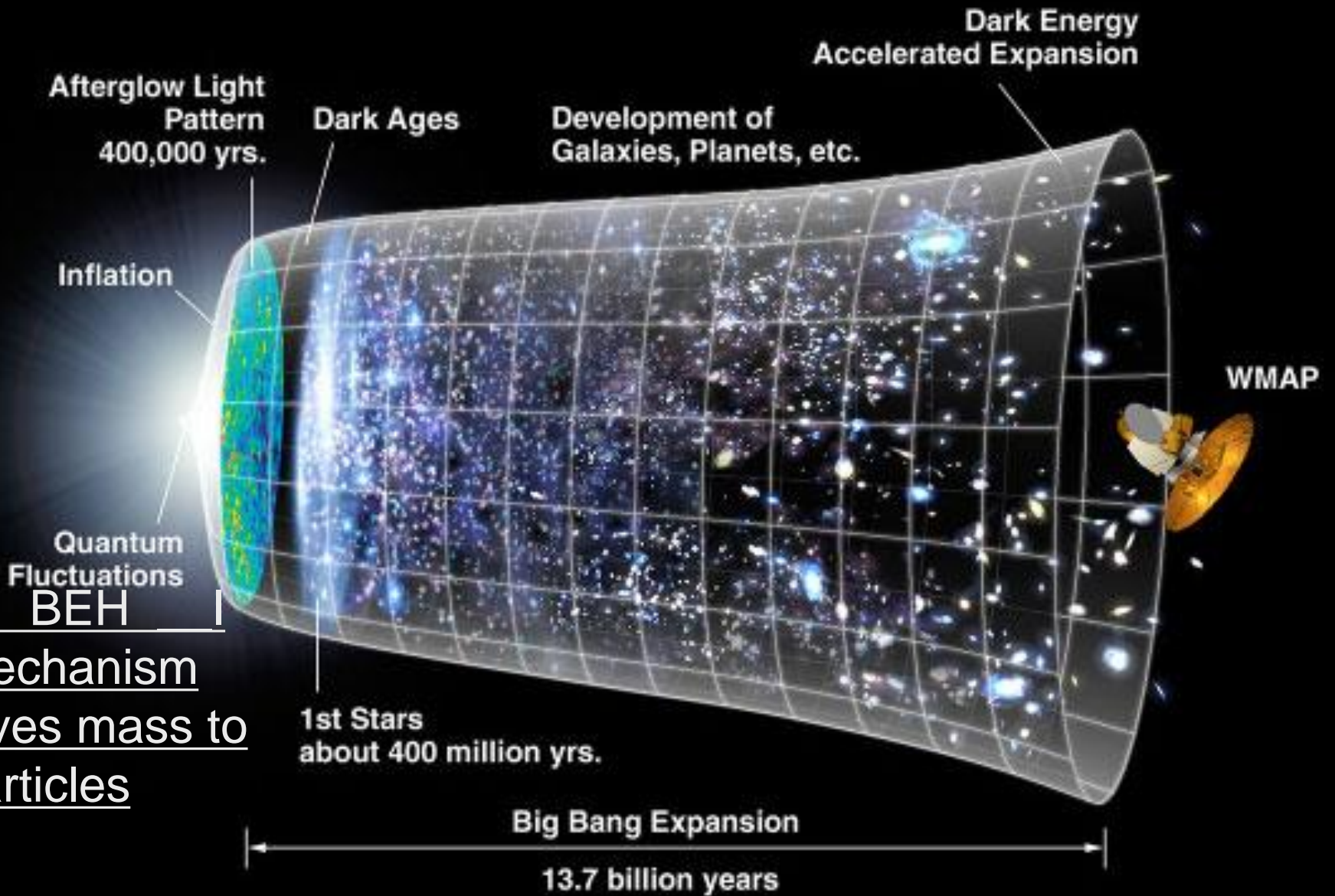






ALICE





mechanism  
gives mass to  
particles



# BICEP2 Gravitational waves: confirms « big-bang » inflation and grand unification at $10^{16}$ GeV

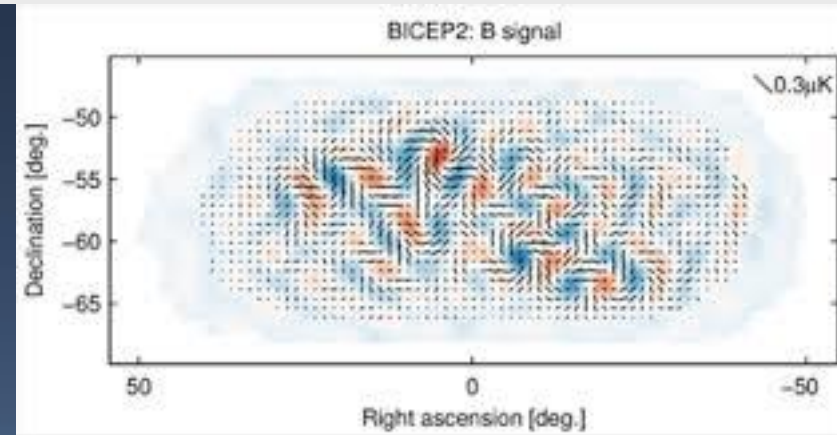
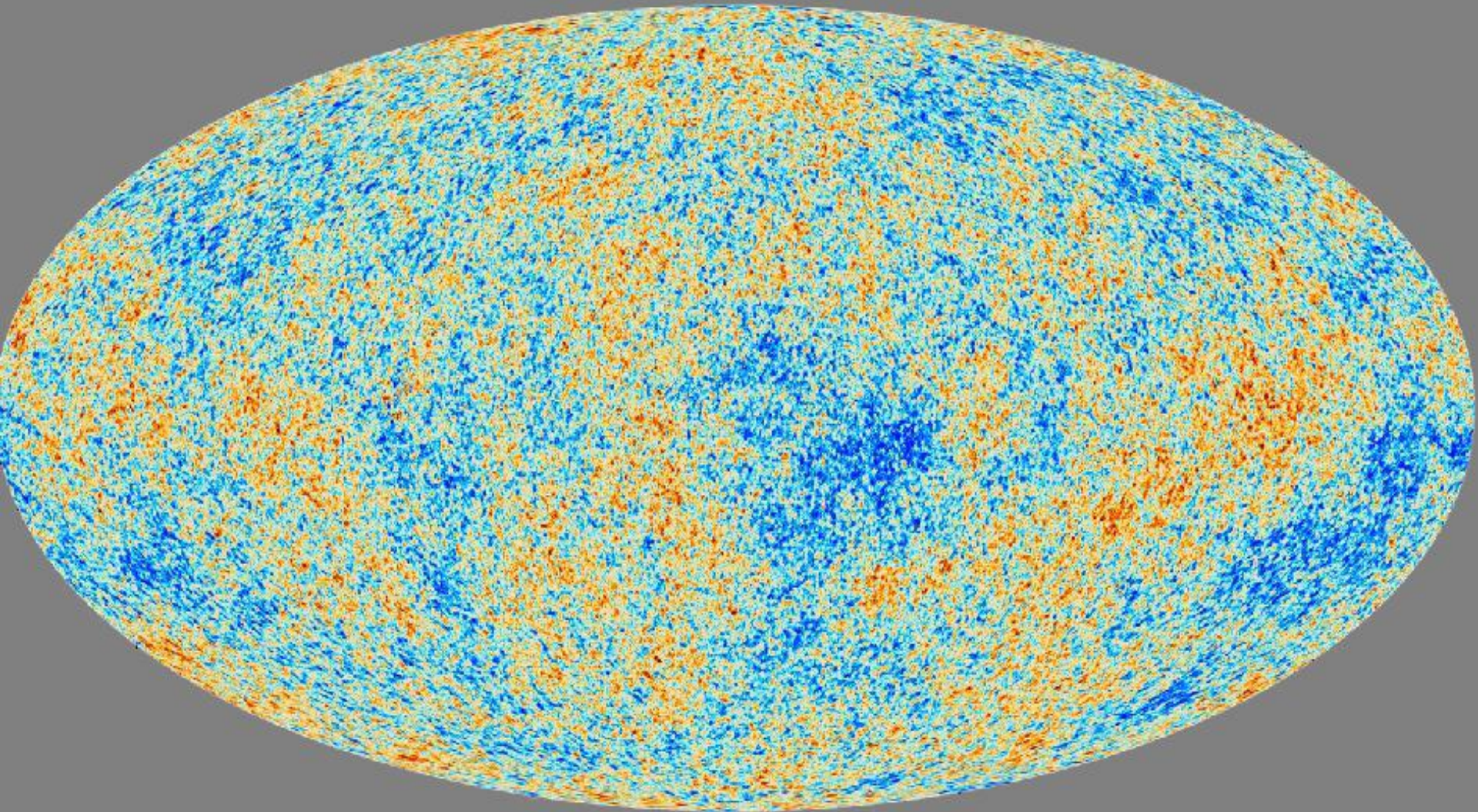




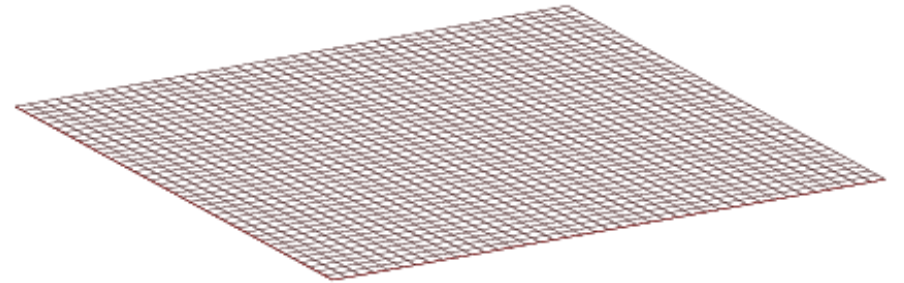
Image du fond du ciel vue par le satellite PLANCK



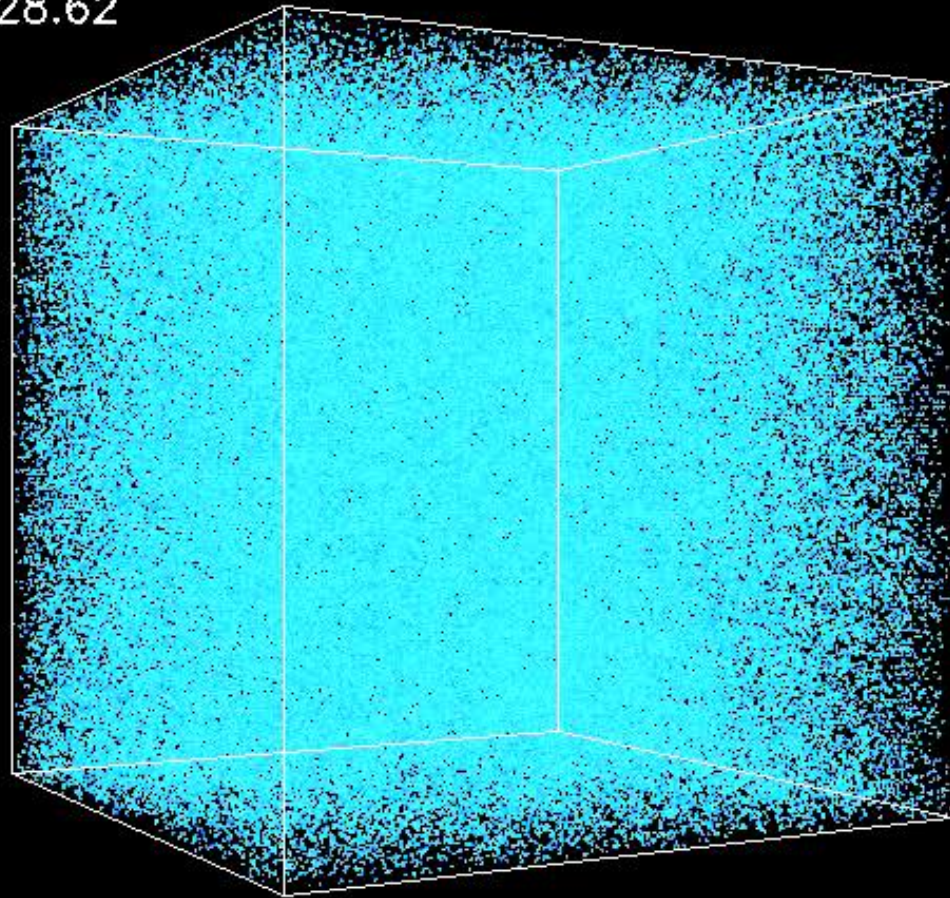


# *Inflation*

- Fluctuations quantiques primordiales!
- Il y eut une époque où ces fluctuations (énergie du vide?) ont induit une expansion accélérée avant que les interactions se différencient, que les particules deviennent massives et que la lumière fut!

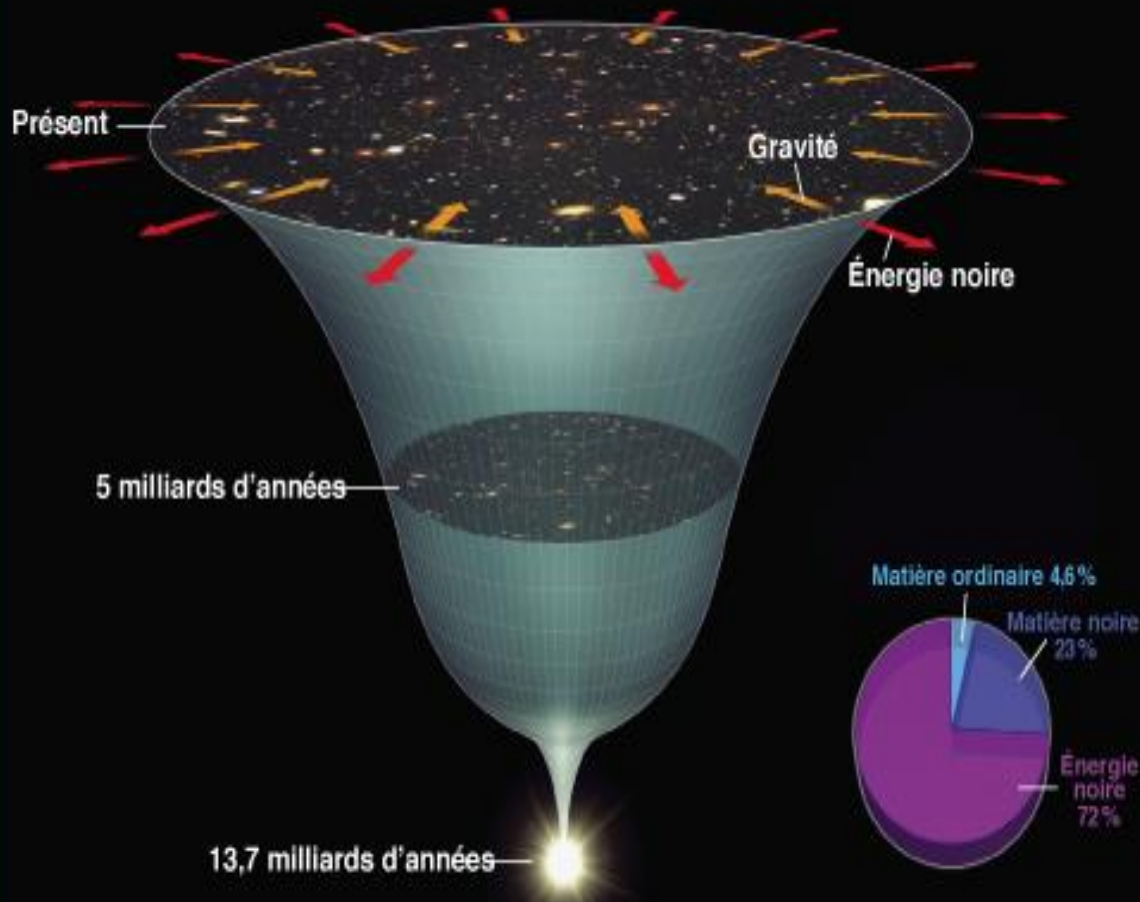


$Z=28.62$





# L'expansion de l'Univers



Qu'est ce que la matière sombre?

Qu'est-ce que l'énergie sombre?

Où est passée l'antimatière?

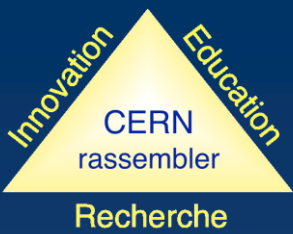
Les énigmatiques neutrinos

Gravité quantique

Hasard, nécessité, émergence?

L'UNIVERS est en expansion depuis le Big Bang – il a 13,7 milliards d'années. L'observation d'étoiles très lointaines suggère que cette expansion a décéléré pendant les 9 milliards d'années qui ont suivi, où l'influence de la matière dominait. Puis la densité de matière n'a plus été assez importante pour contrebalancer la force répulsive exercée par l'énergie noire. Depuis, celle-ci dilate l'Univers à un rythme de plus en plus important.

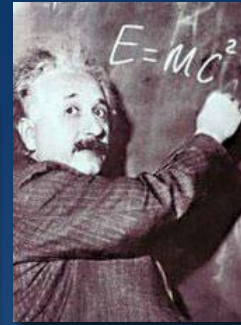
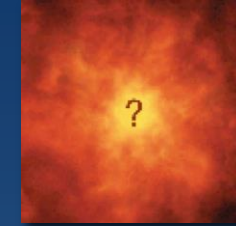
L'ÉNERGIE NOIRE emplirait 72% de l'Univers actuel; la matière « ordinaire », qui constitue les planètes et les étoiles, ne représenterait que 4,6%; enfin la « matière noire », qui ne peut être observée, mais dont l'existence se manifeste par ses effets gravitationnels, 23%.



# Les missions du CERN

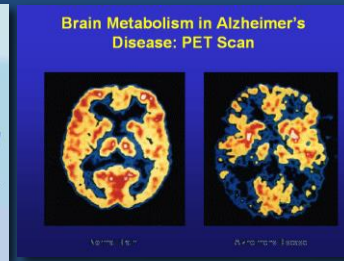
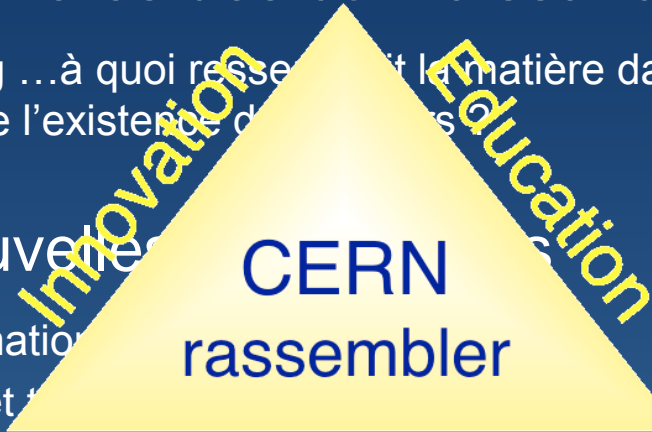
## Repousser les frontières des connaissances

Les secrets du Big Bang ... à quoi ressemble la matière dans les tout premiers instants de l'existence de l'univers



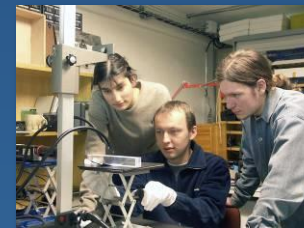
## Développer de nouvelles technologies

Technologies de l'information  
Médecine – diagnostic et traitement



## Former les scientifiques et les ingénieurs de demain

Recherche



## Rassembler des personnes de différentes nations et cultures





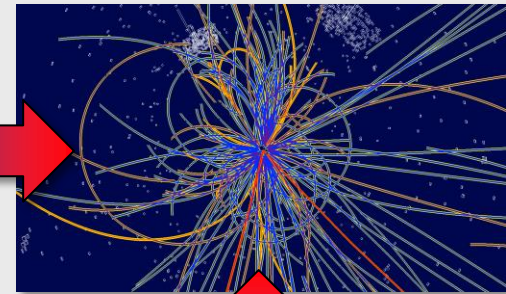
# CERN Technologies - Innovation

Exemple: applications médicales

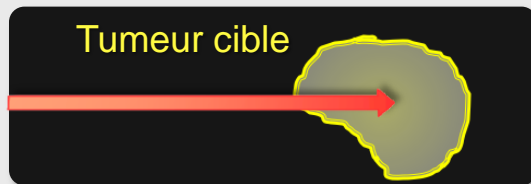
Imagerie médicale



Détection



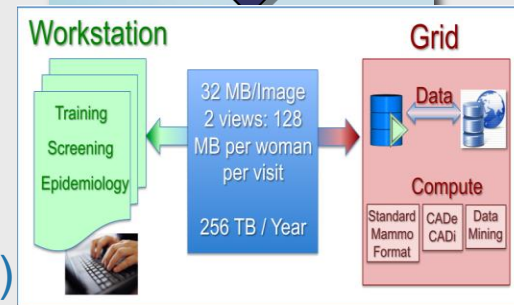
Accélération  
de particules



Faisceau de hadrons  
chargés qui perd de  
l'énergie dans la matière



Traitement de données  
à grande échelle (Grille de calcul)



# Innovations stimulées par le CERN

- Ecrans tactiles dans les années 70
- WEB (<http://>) en 1990
- Logiciels libres
- simulation rayonnement matière détecteurs
- PET camera, IRM
- Innovation ouverte (hardware libre)
- Publications gratuites
- Accès aux données
- Outils collaboratifs mondiaux (gestion de projets, agenda, doc...)

Rapport OECD en cours



# CERN was founded 1954: 12 European States

“Science for Peace”

## Today: 21 Member States

~ 2300 staff

~ 1600 other paid personnel

~ 10500 users

Budget (2014) ~1000 MCHF

**Member States:** Austria, Belgium, Bulgaria, the Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Israel, Italy, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom

**Candidate for Accession:** Romania

**Associate Member in Pre-Stage to Membership:** Serbia

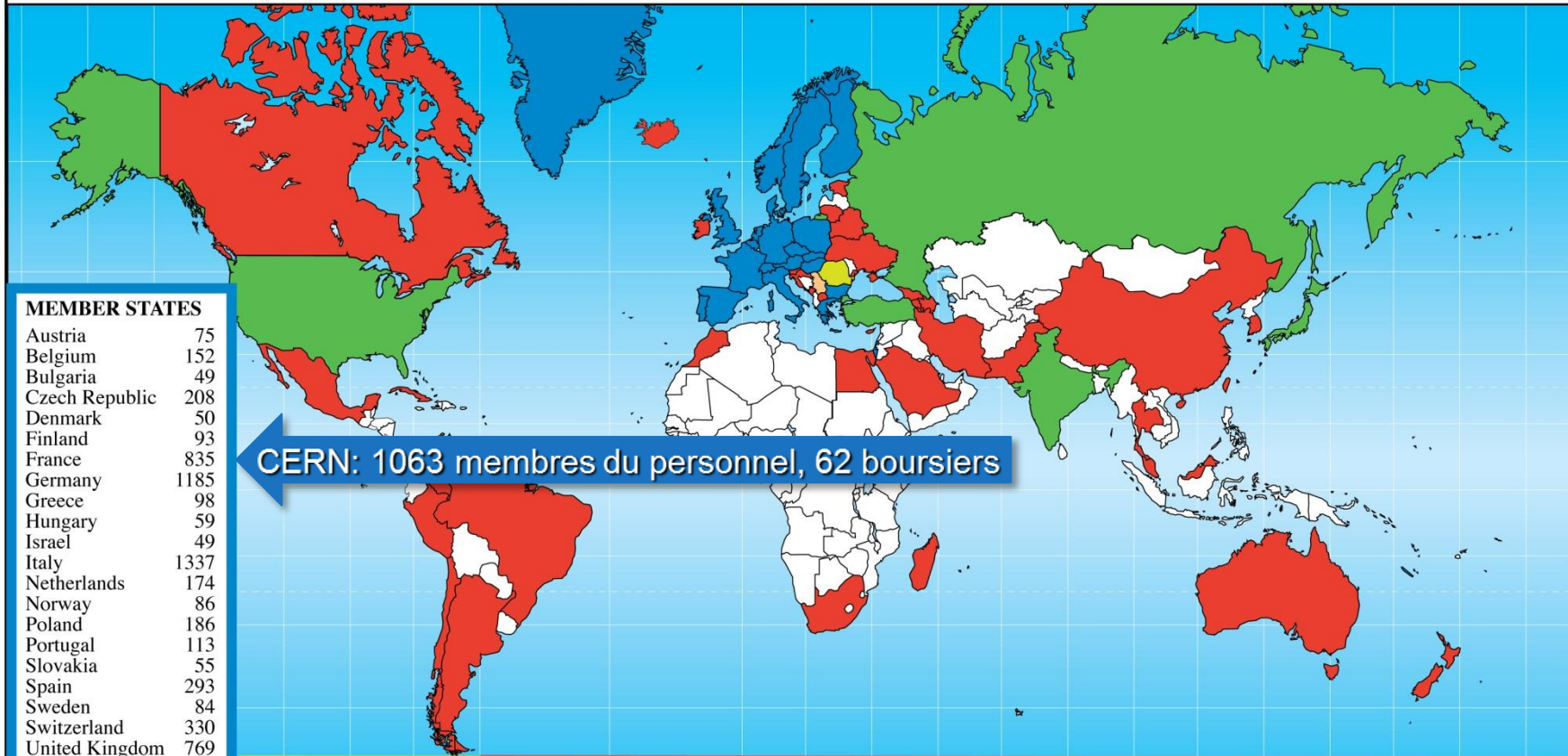
**Applicant States for Membership or Associate Membership:**

Brazil, Cyprus, Pakistan, Russia, Slovenia, Turkey, Ukraine

**Observers to Council:** India, Japan, Russia, Turkey, United States of America, European Commission and UNESCO

# La communauté de l'anneau!

## Distribution of All CERN Users by Location of Institute on 14 January 2014



### MEMBER STATES

Austria	75
Belgium	152
Bulgaria	49
Czech Republic	208
Denmark	50
Finland	93
France	835
Germany	1185
Greece	98
Hungary	59
Israel	49
Italy	1337
Netherlands	174
Norway	86
Poland	186
Portugal	113
Slovakia	55
Spain	293
Sweden	84
Switzerland	330
United Kingdom	769

**6280**

### OBSERVERS

India	153
Japan	217
Russia	890
Turkey	110
USA	1724

**3094**

CERN: 1063 membres du personnel, 62 boursiers

### CANDIDATE FOR ACCESSION

Romania	86
---------	----

### ASSOCIATE MEMBER IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP

Serbia	30
--------	----

### OTHERS

Argentina	13	China	122	Iran	20	Pakistan	18
Armenia	16	China (Taipei)	71	Ireland	5	Peru	2
Australia	39	Colombia	10	Korea	105	Saudi Arabia	3
Azerbaijan	2	Croatia	23	Lithuania	13	Slovenia	25
Belarus	24	Cuba	3	Madagascar	3	South Africa	32
Brazil	116	Cyprus	13	Malaysia	8	Thailand	8
Canada	147	Egypt	18	Mexico	46	T.F.Y.R.O.M.	1
Chile	8	Estonia	17	Montenegro	1	Ukraine	24
		Georgia	11	Morocco	6		
		Iceland	4	New Zealand	5		

**982**



# CERN : Activités de formation

**Scientifiques au CERN**  
Academic Training Programme



Latin American School  
of High Energy Physics  
Chile, 2007

**Jeunes Chercheurs**

CERN School of High Energy Physics  
CERN School of Computing  
CERN Accelerator School



Accelerator School  
France, 2008

en collaboration avec SOLEIL,  
Gif-sur-Yvette



**Etudiants**

Programme des  
étudiants d'été



**Professeurs de Physique**  
Programmes nationaux et  
internationaux

100 000 visiteurs par an!

# QUESTIONS pour le futur:

Quelle est la masse? 125-126 GeV, comment expliquer cette masse? Comment expliquer cette échelle d'énergie (le TeV), qui dans l'histoire de l'univers, a donné une masse aux particules et les a différencié? Nouvelle physique?

Est-ce le boson de higgs du Modèle Standard ou est-ce plus compliqué? Y a t-il une ouverture au delà du Modèle Standard? On aura besoin de plus de données





? 2040-2100

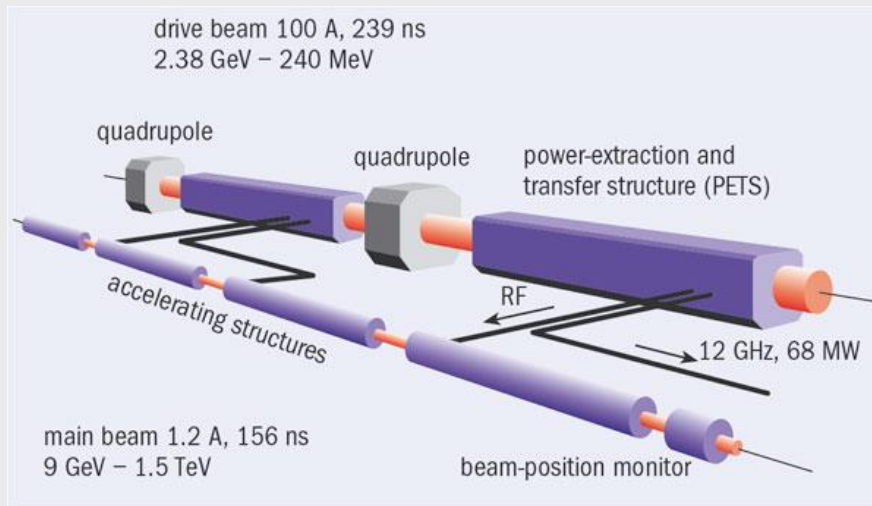
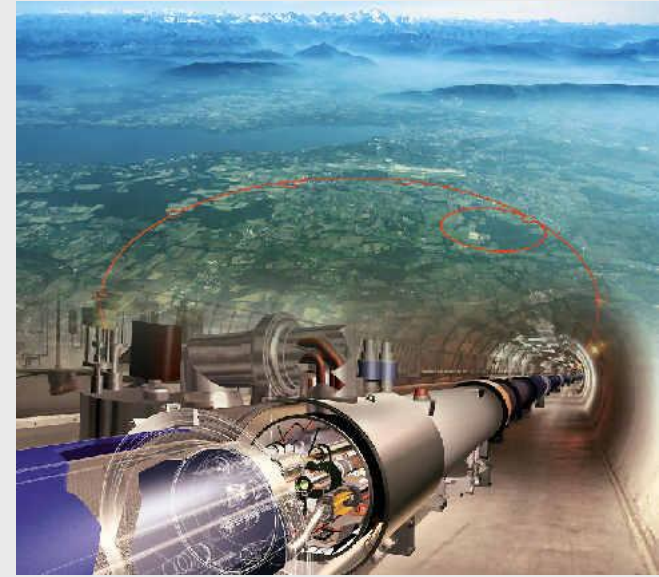
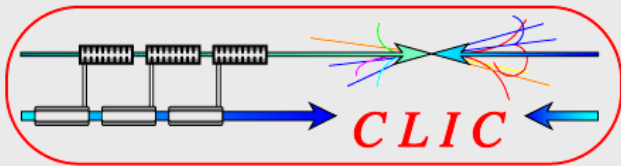
HL-LHC ( $3000 \text{ fb}^{-1}$ ) 2022-2035

LHC 13-14 TeV ( $300 \text{ fb}^{-1}$ ) 2015-2022

LHC 7-8 TeV ( $30 \text{ fb}^{-1}$ ) 2010-2012

# Vision for next machine at CERN, after LHC to be decided around 2020?

$e^+e^-$  3 TeV or more, Feasibility Study →  
Klystrons (Higgs),  
2 beam acceleration (max 1.5 TeV)  
→ plasma acceleration 3 TeV or more?



High Energy LHC (Nb<sub>3</sub>Sn  
+? high T<sub>c</sub> magnets)

≥ 30 TeV

Or even 100 TeV 100 km  
new tunnel VHE-LHC,  
starting

with TLEP,  $e^+e^-$ , 340 GeV



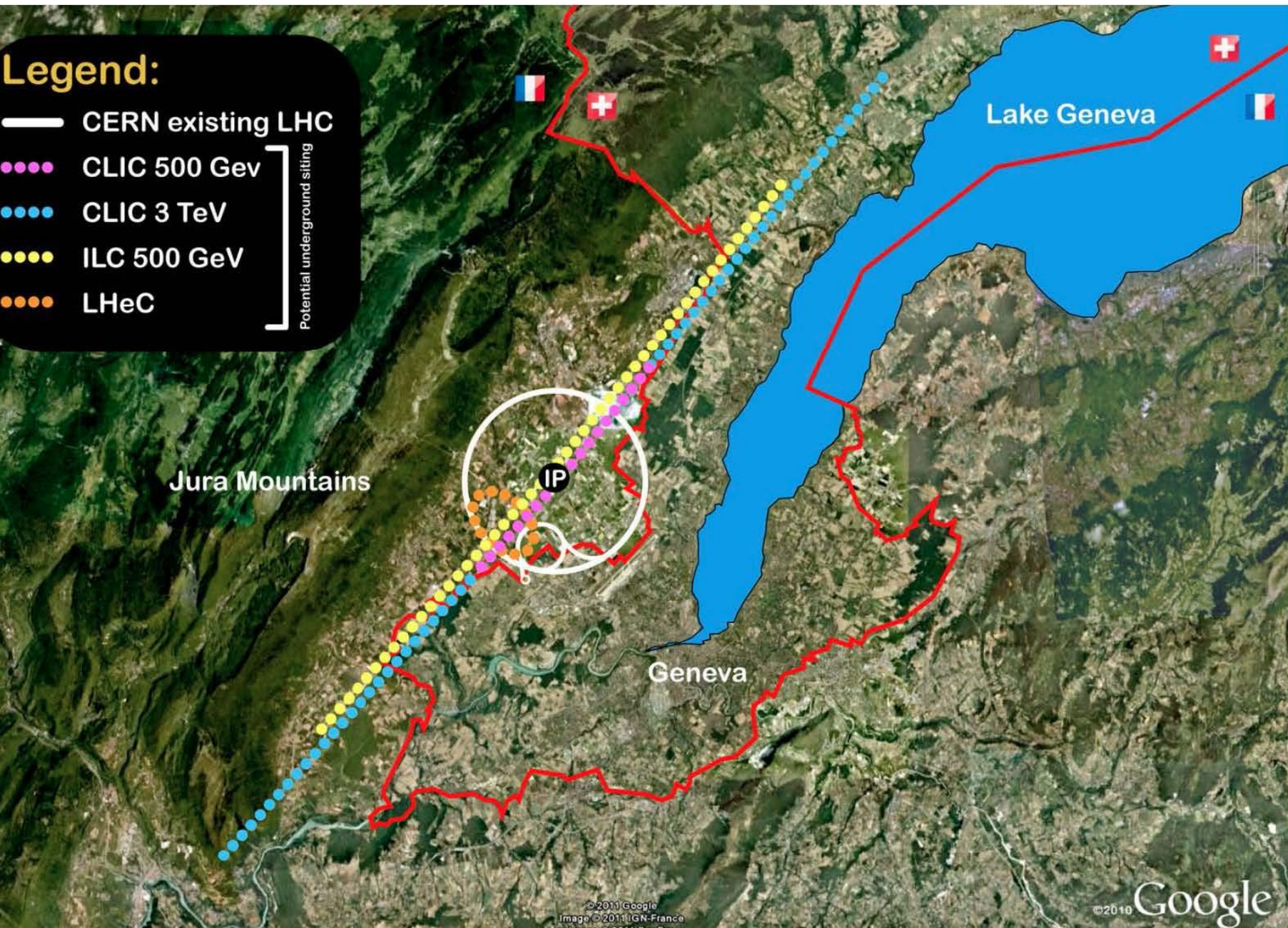
# Indicating the Scale for Liner Colliders

(Taken from C. Biscari, 'High Energy Accelerators', Krakow ES Symposium)

## Legend:

- CERN existing LHC
- CLIC 500 GeV
- CLIC 3 TeV
- ILC 500 GeV
- LHeC

Potential underground siting





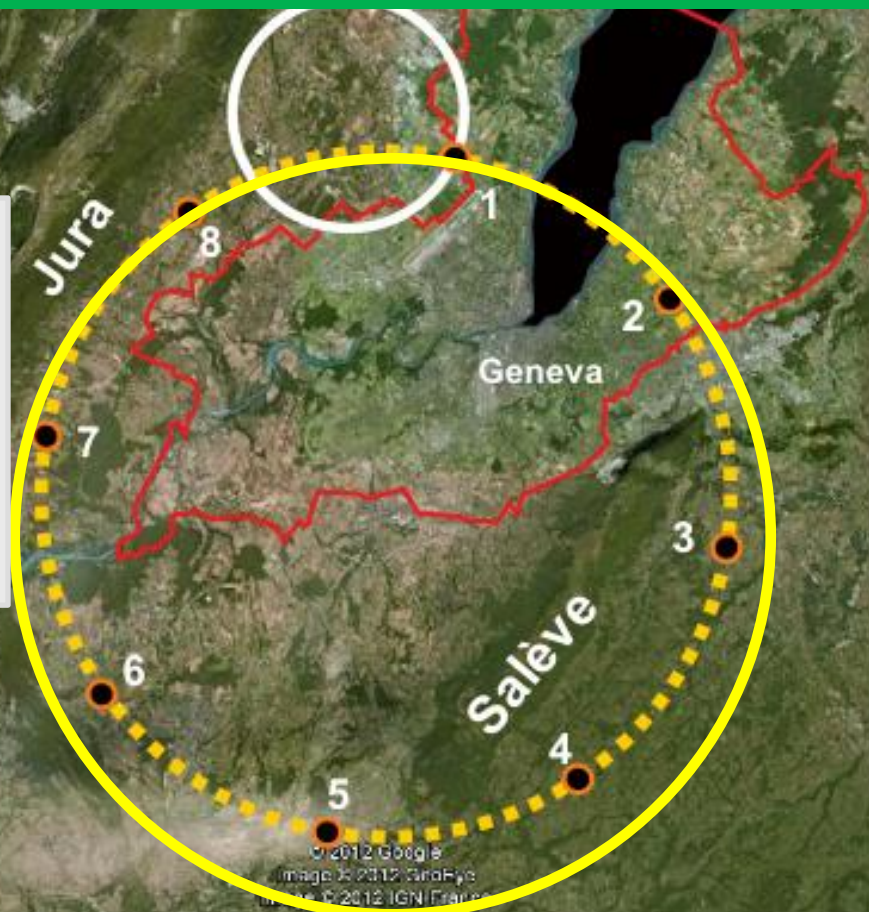
# FCC Study (Future Circular Colliders)

## CDR and cost review for the next ES (2018)

- 80-100 km tunnel infrastructure in Geneva area: a 50 year long program
- design driven by pp-collider requirements
- with possibility of e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> (TLEP) and p-e (VLHeC)
- CERN-hosted study performed in international collaboration

**-TLEP: 90, 250, 340 to 500 GeV  
ultrahigh precision e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>  
machine**

**-15 T Nb<sub>3</sub>Sn ⇒ 100 TeV pp new  
frontier machine in 100 km or  
20T HTS ⇒ 100 TeV in 80 km**



### LEGEND

— LHC tunnel

⋯ HE\_LHC 80km option

● potential shaft location





# Dessine-moi un physicien



Un physicien cherche le pourquoi du pourquoi.

*Clément*

[www.cern.ch/dessine-moi-un-physicien](http://www.cern.ch/dessine-moi-un-physicien)

# **UN NOUVEAU GRAND RECIT DE L'UNIVERS**

## **Quête de l'humanité**

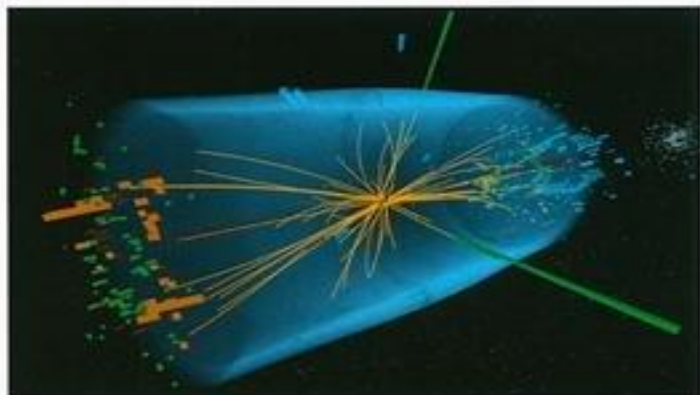
**Basée sur un rationalisme collectif et des valeurs communes: rassemble par delà les différences (religieuses ou citoyenneté..). Le LHC, la plus grande aventure scientifique mondialisée.**

**Des interférences subtiles entre hasard (fluctuations quantiques, brisures de symétries ...) et nécessité (lois, théories effectives): émergence d'un emboîtement de structures et de lois**  
**Un nouveau paradigme dans le grand récit de la matière et de l'Univers: le boson et le chapeau mexicain!**

**Encore du chemin, mais de nombreux rendez-vous**



Gilles Cohen-  
Tannoudji  
Michel Spiro  
Le boson et le  
chapeau mexicain



folio **essais**  
INÉDIT

<http://www.originslespectacle.eu/>  
(Marie-Odile Monchicourt, Sortie  
le 15 septembre

Et plus simplement allez-voir à  
côté du bureau, l'exposition  
[Empruntés au cosmos \(art et  
cosmos, cécile martin guirkinger  
et carole penin\)](#)





SUISSE  
FRANCE

LHCb

ATLAS

CERN Meyrin

CERN Prévessin

SPS 7 km

CMS

# Merci Beaucoup !

ALICE

LHC 27 km