

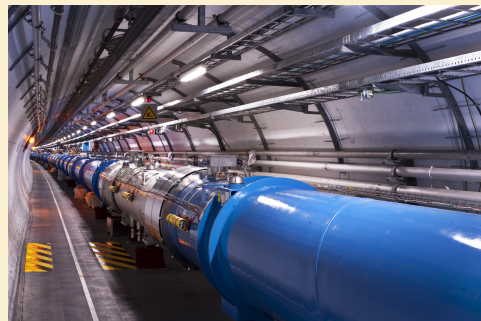
Qu'est-ce que le boson de Higgs mange en hiver?



Pauline Gagnon, Indiana University

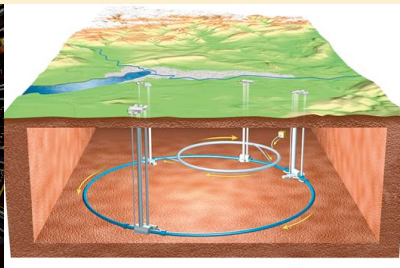
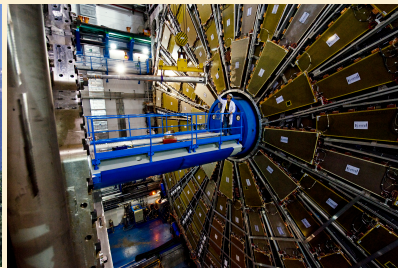
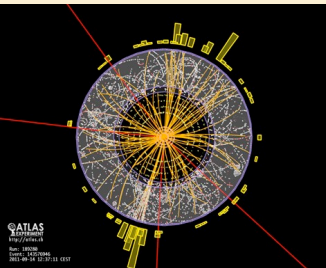
Synopsis

- # Le CERN et la physique des particules
- # Le modèle théorique et le rôle du boson de Higgs
- # Comment on le produit et le détecte
- # Que reste-t-il à découvrir?



Le CERN

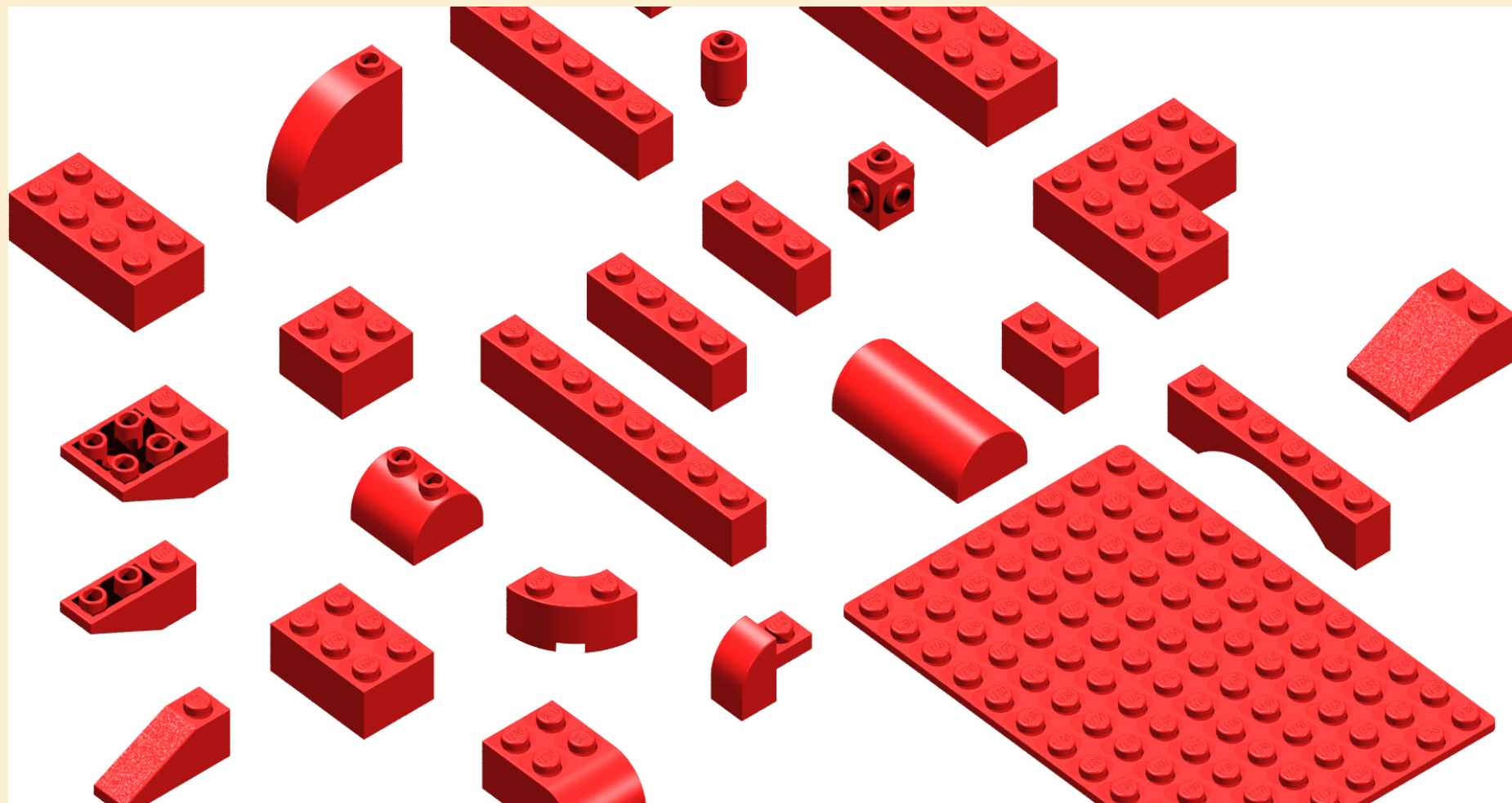
- # Laboratoire européen de la physique des particules
- # Situé près de Genève en Suisse
- # 12000 chercheur-e-s de 101 nationalités différentes
- # Financé par les pays européens, Israël (Pakistan, Turquie)
- # Plusieurs autres pays participent à des projets
Canada, Etats-Unis, Japon, Inde etc.
- # **But: trouver de quoi la matière est faite**



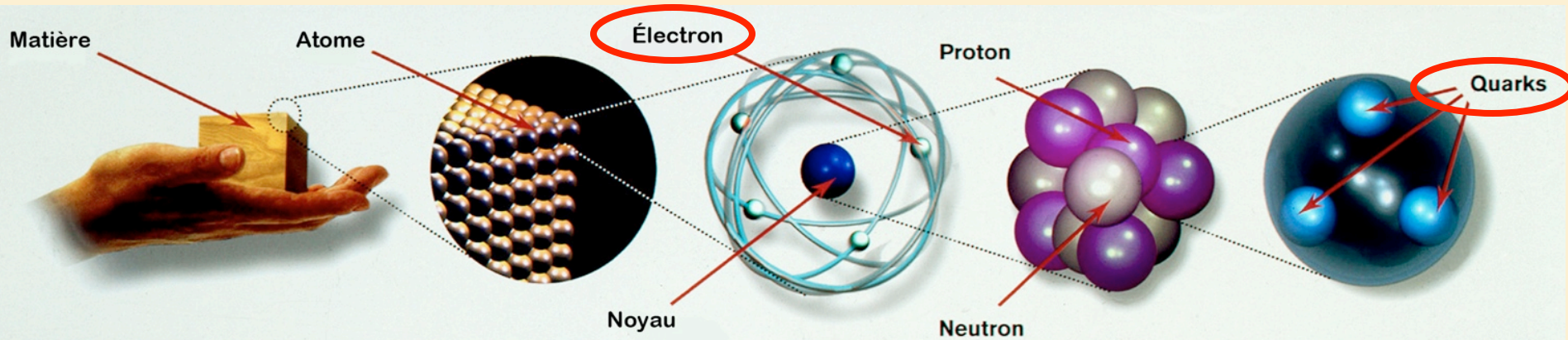
Le port de Copenhague version Legoland



A Legoland, voici les particules fondamentales





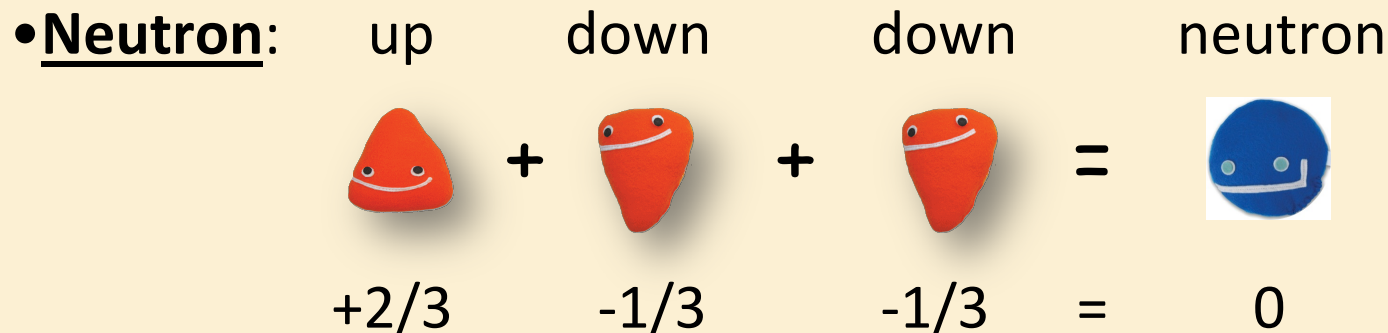
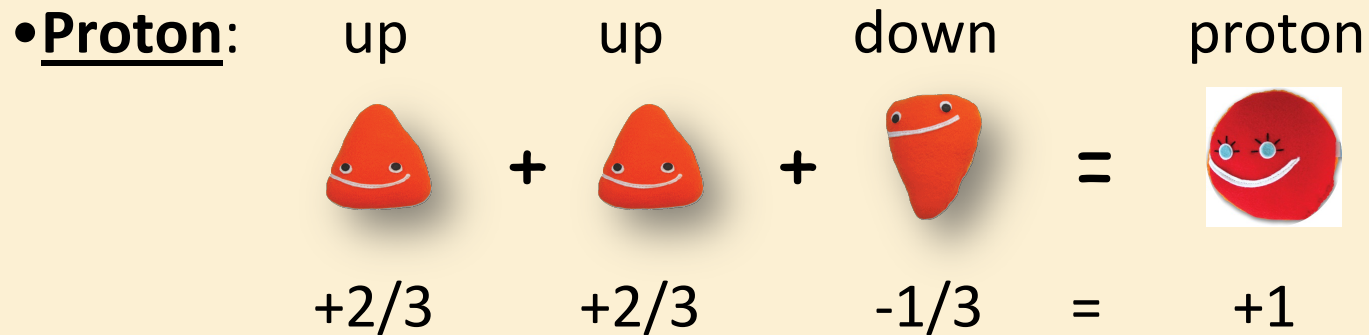
Quels sont les plus petits grains de matière?



**Les seules particules
fondamentales ici sont les
électrons et les quarks**

Protons et neutrons sont fait de quarks

quark **up**:  (charge $+2/3$) et **down**:  (charge $-1/3$)



de quoi former tous les éléments!

1 IA		New Original																18 VIIIA	
1	H Hydrogène 1.00784											2 IIA							2 He Hélium 4.002602
2	Li Lithium 6.941	Be Béryllium 9.012182																	
3	Na Sodium 22.989770	Mg Magnésium 24.3050																	
4	K Potassium 39.0983	Ca Calcium 40.078	Sc Scandium 44.955910	Ti Titane 47.867	V Vanadium 50.9415	Cr Chrome 51.9961	Mn Manganèse 54.938049	Fe Fer 55.8457	Co Cobalt 58.933200	Ni Nickel 58.6934	Cu Cuivre 63.546	Zn Zinc 65.409	Ga Gallium 69.723	Ge Germanium 72.64	As Arsenic 74.92160	Se Sélénium 78.96	Br Brome 79.904	Kr Krypton 83.798	
5	Rb Rubidium 85.4678	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.90585	Zr Zirconium 91.224	Nb Niobium 92.90638	Mo Molybdène 95.94	Tc Technétium (98)	Ru Ruthénium 101.07	Rh Rhodium 102.90550	Pd Palladium 106.42	Ag Argent 107.8682	Cd Cadmium 112.411	In Indium 114.818	Sn Étain 118.710	Sb Antimoine 121.760	Te Tellure 127.60	I Iode 126.90447	Xe Xénon 131.293	
6	Cs Césium 132.90545	Ba Baryum 137.327	57 to 71		Hf Hafnium 178.49	Ta Tantale 180.9479	W Tungstène 183.84	Re Rhénium 186.207	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.217	Pt Platine 195.078	Au Or 196.96655	Hg Mercure 200.59	Tl Thallium 204.3833	Pb Plomb 207.2	Bi Bismuth 208.98038	Po Polonium (209)	At Astate (210)	Rn Radon (222)
7	Fr Francium (223)	Ra Radium (226)	89 to 103		Rf Rutherfordium (261)	Db Dubnium (262)	Sg Seaborgium (266)	Bh Bohrium (264)	Hs Hassium (269)	Mt Meitnerium (268)	Ds Darmstadtium (271)	Rg Roentgenium (272)	Uub Ununbium (285)	Uut Ununtrium (284)	Uuq Ununquadium (289)	Uup Ununpentium (288)	Uuh Ununhexium (292)	Uus Ununseptium	Uuo Ununoctium

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.dayah.com/periodic/>

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International



57 La Lanthane	58 Ce Cérium	59 Pr Praséodyme	60 Nd Néodyme	61 Pm Prométhium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutécium
------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------



Mais dans les années 60, on avait un fouillis de particules



**protons, neutrons, pions, kaons, omégas, lambda, Xi,
rho, eta, sigma, psi, upsilon...**



**Murray Gell-Mann et George Zweig proposent les
quarks en 1964**

Tous les hadrons sont faits de quarks

• Pion: up anti-down pion positif
 +  = π^+
 $+2/3$ $+1/3$ = +1

• Pion: anti-up down pion négatif
 +  = π^-
 $-2/3$ $-1/3$ = -1

• Kaon: up anti-strange kaon positive
 +  = K^+
 $+2/3$ $+1/3$ = +1

• Kaon: anti-up strange kaon négatif
 +  = K^-
 $-2/3$ $-1/3$ = -1

Modèle simplifié

- Méson: 1 quark et 1 antiquark
- Baryon: 3 quarks ou 3 antiquarks
- Il y a 120 mésons et 89 baryons d'inscrits dans le Particle Physics Booklet



July 2012

PARTICLE PHYSICS BOOKLET

Extracted from the *Review of Particle Physics*
J. Beringer *et al.* (Particle Data Group),
Phys. Rev. D **86**, 010001 (2012)













See <http://pdg.lbl.gov/> for Particle Listings, complete reviews and pdgLive (our interactive database)







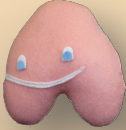
Available from PDG at LBNL and CERN

Le Modèle Standard

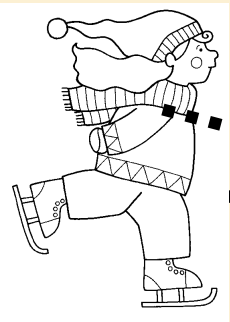
1. La matière est faite de particules fondamentales

	LEPTONS			QUARKS		
MATIÈRE ORDINAIRE	ELECTRON 	NEUTRINO ELECTRONIQUE 		UP 	DOWN 	
	MUON 	NEUTRINO MUONIQUE 		CHARMÉ 	ÉTRANGE 	
	TAU 	NEUTRINO TAU 		TOP 	BOTTOM 	

2. Des particules d'échange appelées **bosons** sont associées aux forces fondamentales.

GLUONS  <i>Interaction forte</i>	PHOTONS  <i>Electromagnétisme</i>	BOSONS W et Z  <i>Interaction faible</i>	HIGGS  <i>Champ de Brout-Englert-Higgs</i>	GRAVITONS  ? <i>Gravitation</i>
--	--	--	---	--

Analogie: deux patineurs sur la glace



Un nouveau champ

En 1964, François Englert, Robert Brout et Peter Higgs proposèrent un mécanisme mathématique pour générer la masse

Ceci implique l'existence d'un champ qui remplit tout l'espace. On l'appelle le champ de Brout-Englert-Higgs.

Toute particule interagissant avec ce champ acquiert une masse.



Tom Kibble, Gerald Guralnik, Carl Hagen, François Englert, Robert Brout et Peter Higgs

Qu'est-ce qu'un champ?



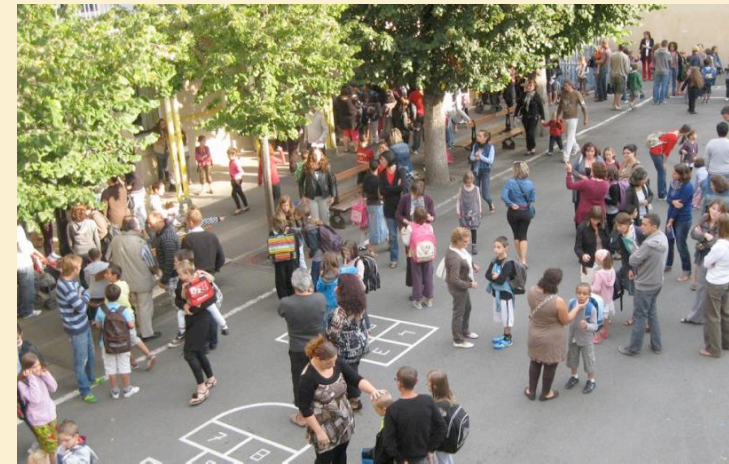
Comment ce champ donne-t-il la masse? (masse = résistance au mouvement)

C'est comme traverser une cour bondée

Il faut sans cesse s'arrêter pour dire bonjour

On n'avance pas aussi vite

Comme si on était plus lourd



Pour générer la masse, il faut:

1. Le mécanisme de Brout-Englert-Higgs

- Une description mathématique

2. Le champ de Brout-Englert-Higgs

- L'entité physique réelle correspondant à ce mécanisme

3. Le boson de Higgs

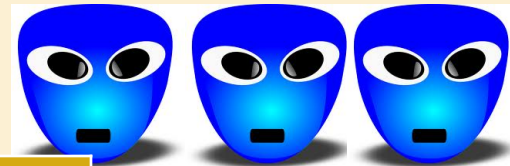
- La matérialisation de tout cela

1. Le mécanisme de Brout-Englert-Higgs

La théorie prédit 4 bosons sans masse:



Le mécanisme de Brout-Englert-Higgs brise cette symétrie en rebrassant tout après avoir ajouté des particules fictives



	Masse en GeV	Charge électrique
photon	0	0
W^+	80.4 GeV	+1
W^-	80.4 GeV	-1
Z^0	91.2 GeV	0

- Masse

En physique, la masse est
la résistance au mouvement

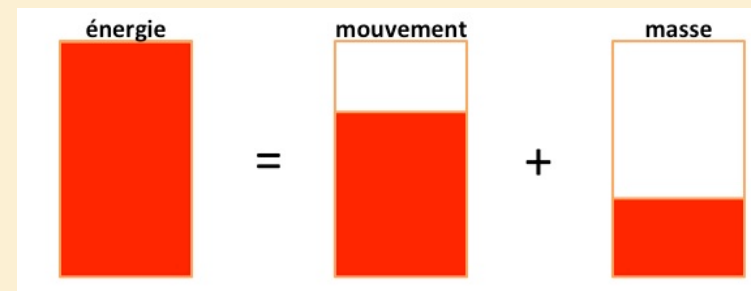


- $E = m c^2$

Énergie et Masse sont
équivalents

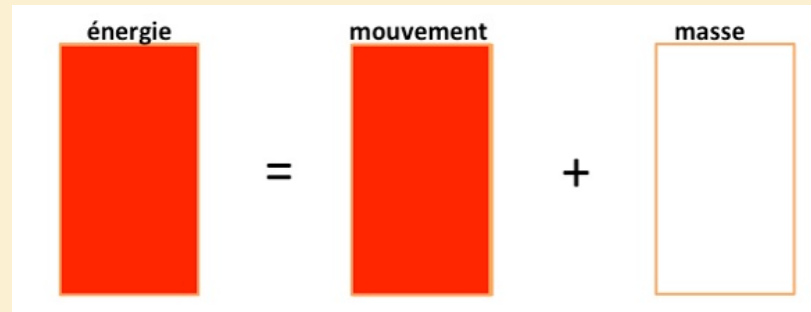
- Conservation de l'énergie

L'énergie peut prendre plusieurs
forme mais la somme est
conservée

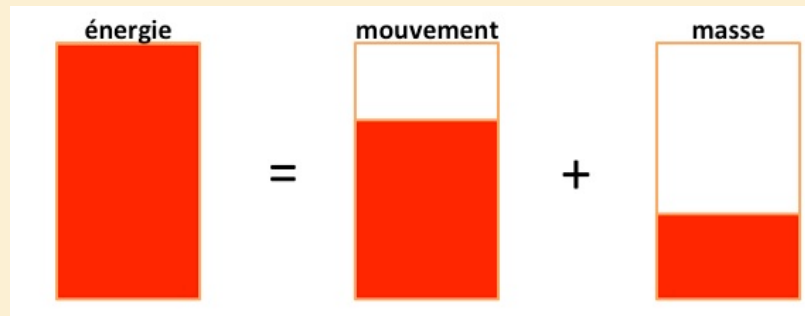


2. Le champ donne la masse

A espace vide, sans champ de Brout-Englert-Higgs **B**



espace avec champ de Brout-Englert-Higgs



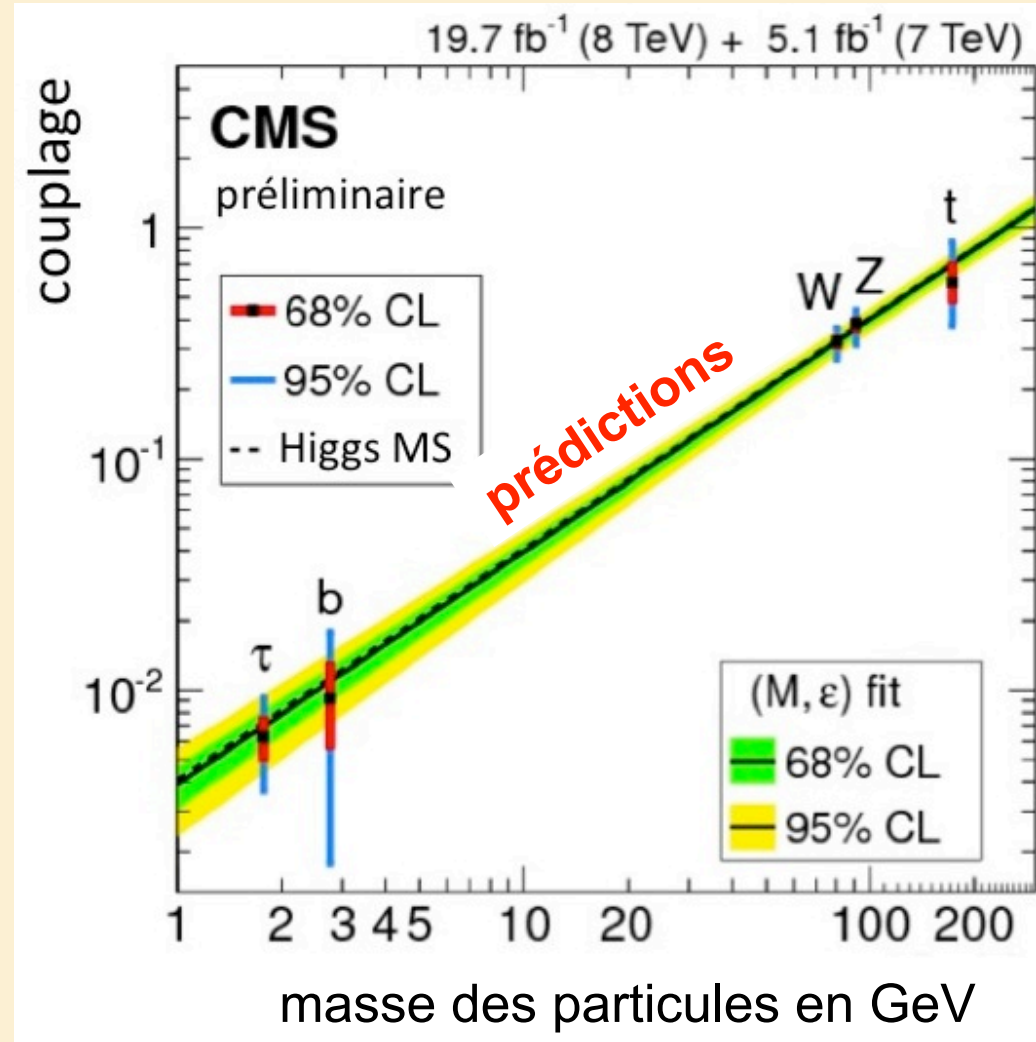
La particule acquiert une masse mais sans perdre d'énergie (contrairement à un milieu visqueux)

Combien de masse?

Plus les particules interagissent avec le champ de Brout-Englert-Higgs, plus elles acquièrent de masse

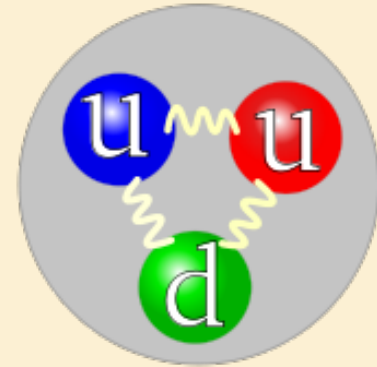


photon



La masse de la matière

- # Masse des quarks: 11 MeV
- # Masse d'un proton: 938 MeV

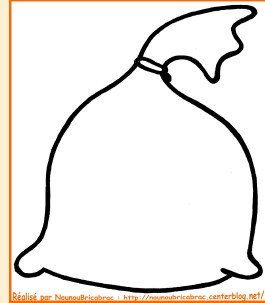


- # Presque toute la masse du proton vient de l'énergie de liaison fournie par les gluons

En résumé, il y a trois aspects:

1. Un outil mathématique:

Le mécanisme de Brout-Englert-Higgs (BEH)
 Z^0 et W^\pm acquièrent une masse mais pas les photons



2. Une entité physique:

le champ BEH qui remplit tout l'espace et
apparaît quelques instants après le Big Bang



3. Une excitation du champ: le boson de Higgs



3. Le boson de Higgs

Une vague est une excitation de la surface de l'océan.

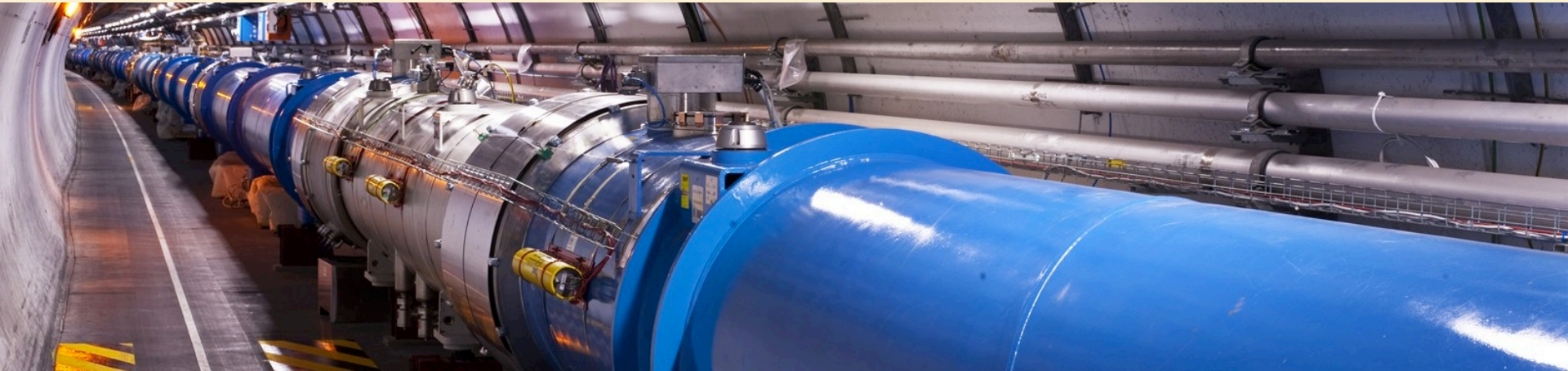


champ de Brout-Englert-Higgs → surface de l'océan

le boson de Higgs → une vague

Comment crée-t-on un boson de Higgs?

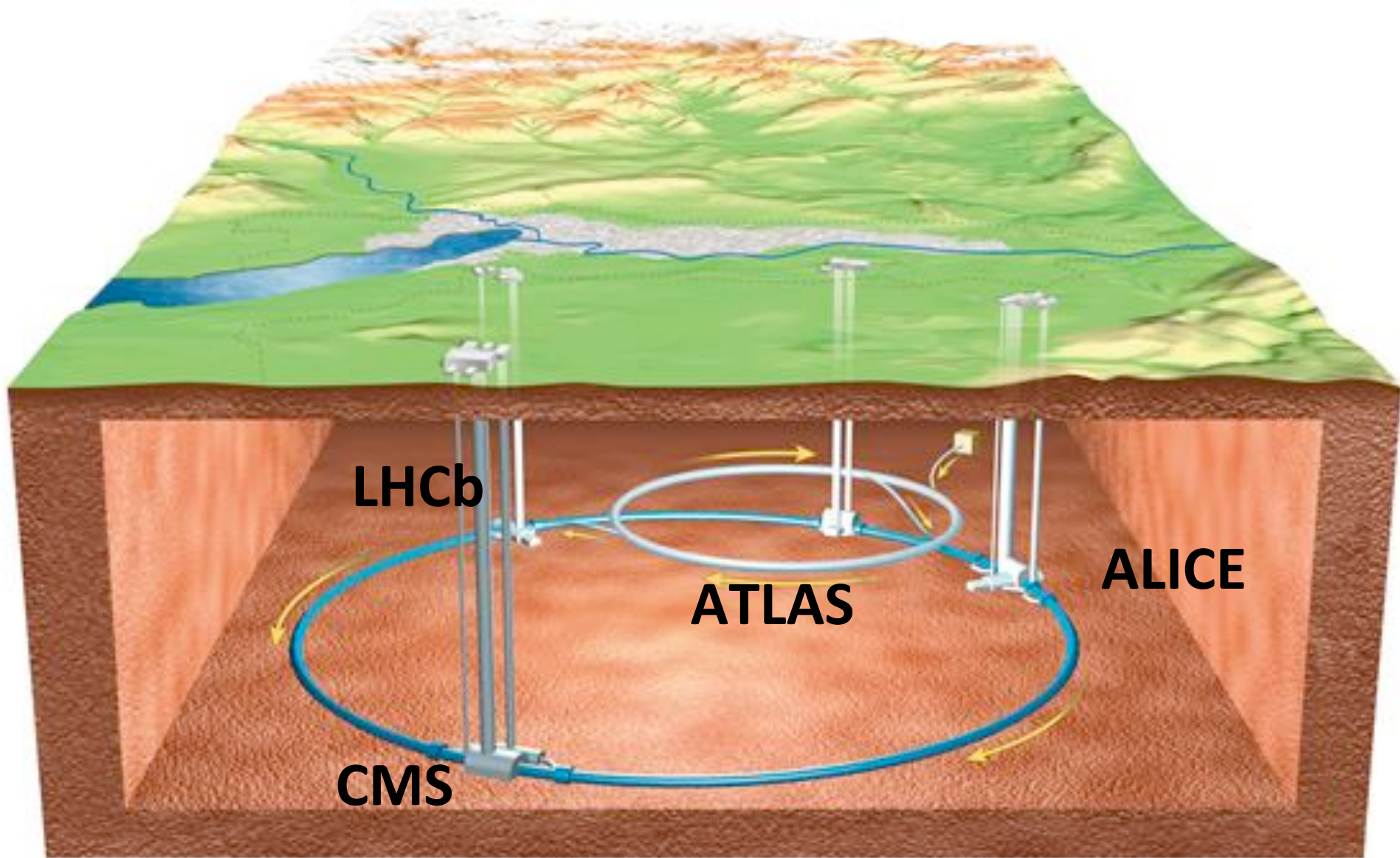
Il faut concentrer énormément d'énergie en un tout petit point de l'espace – rôle de l'accélérateur



Le Grand Collisionneur de Hadrons ou “Large Hadron Collider” (LHC)

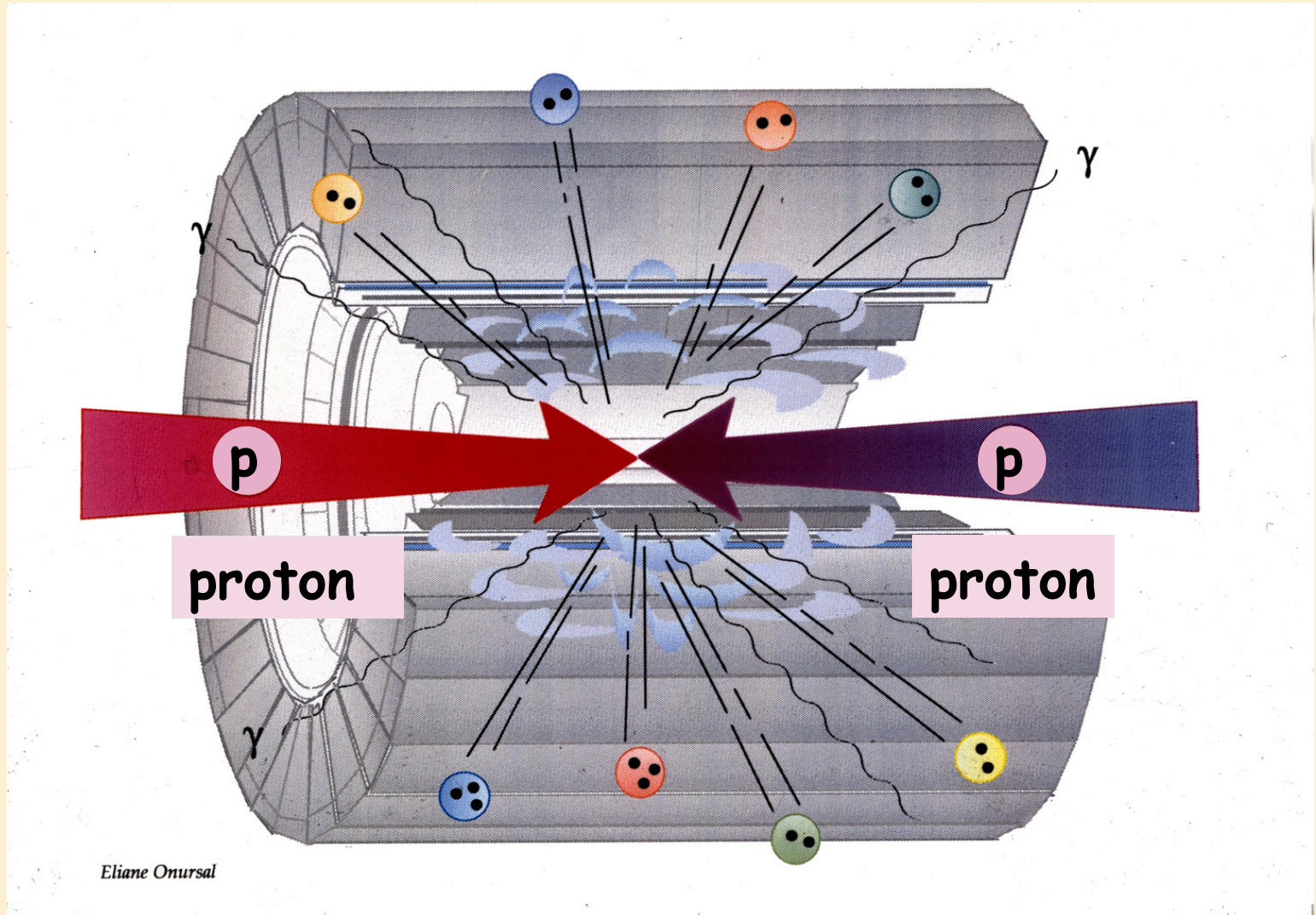


Pauline Gacon

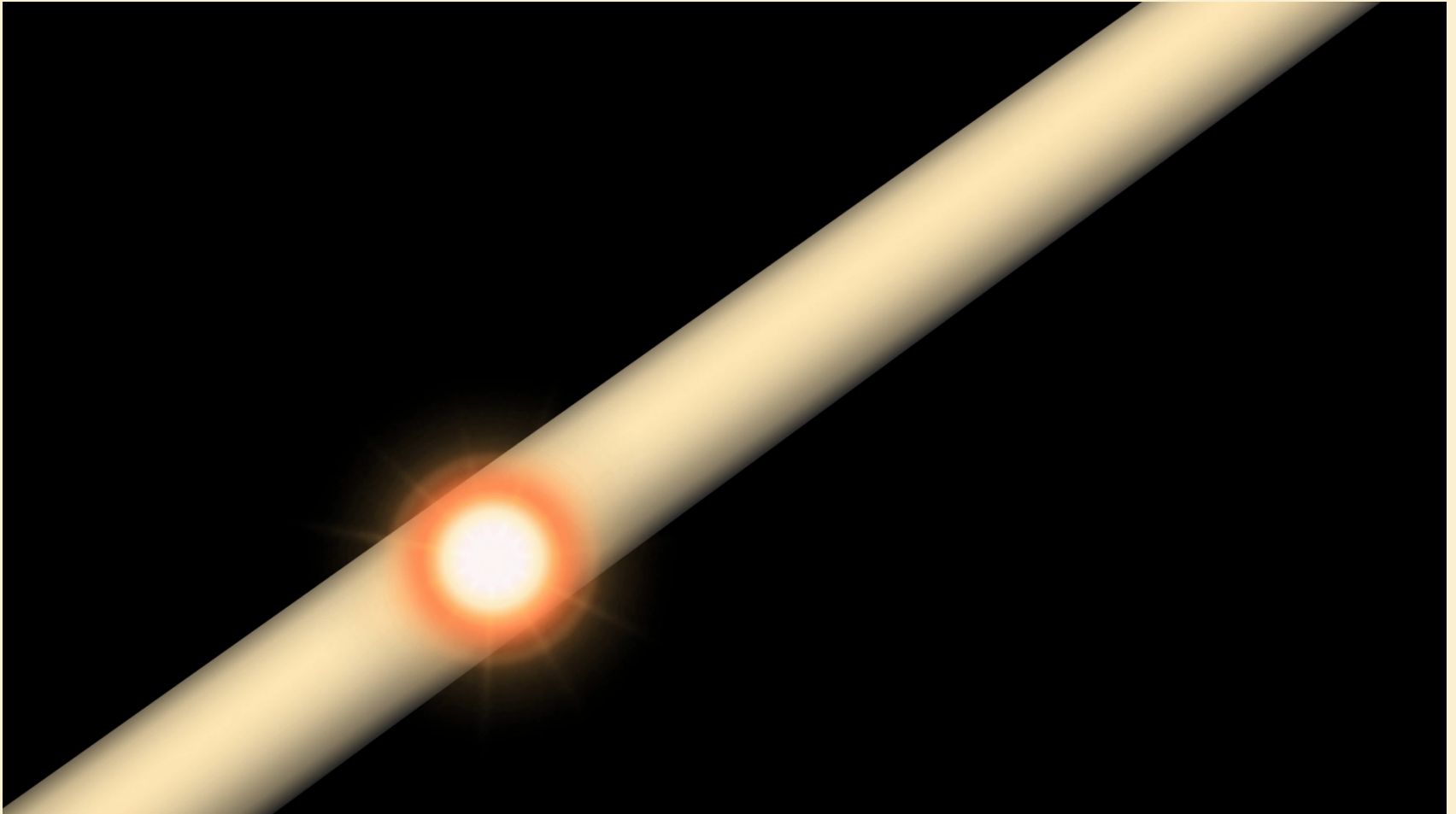


L'énergie dégagée lors des collisions se matérialise sous forme de particules:

$$E=mc^2$$



Collisions de protons



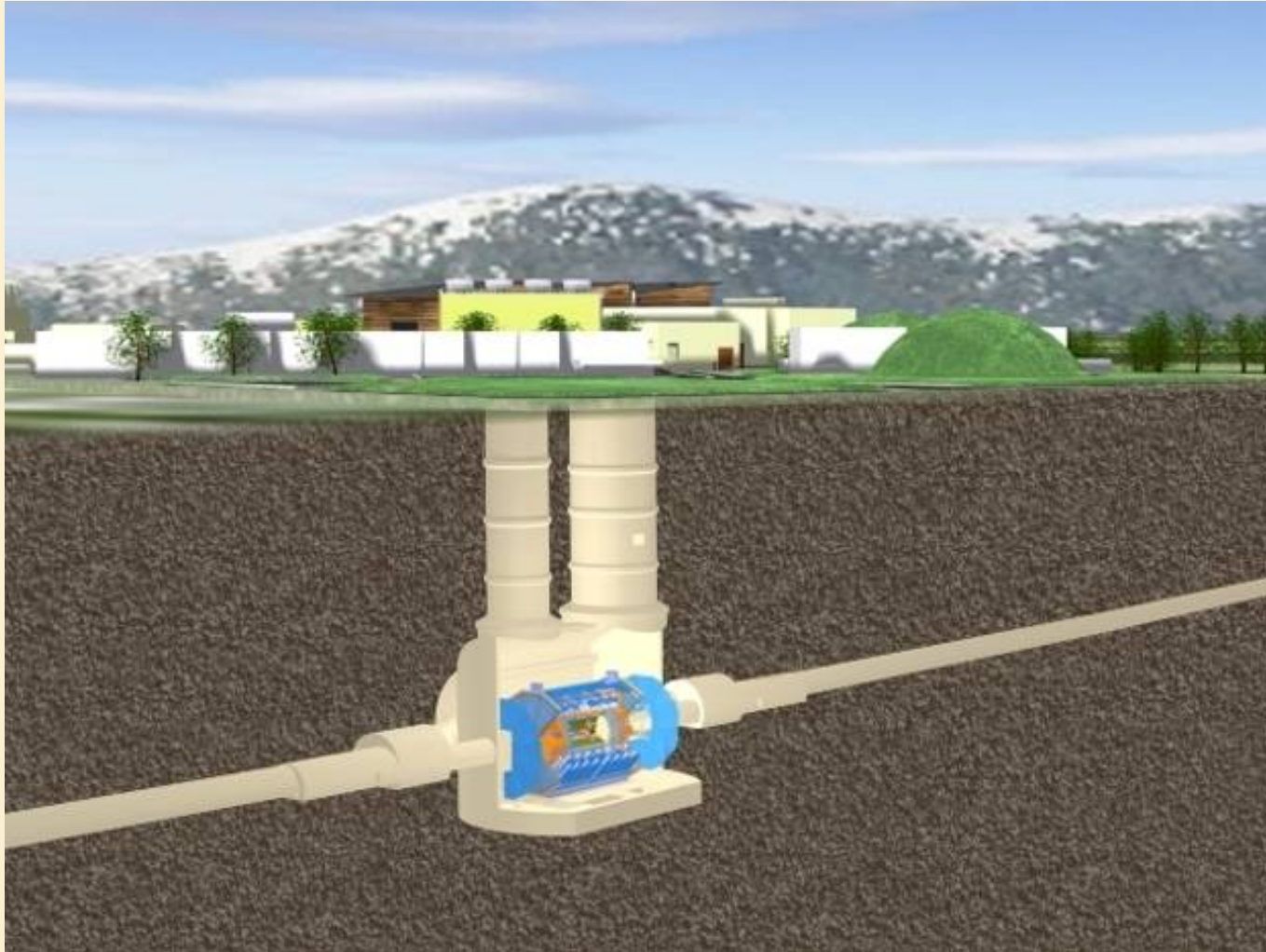


Aimants dipôles utilisés pour courber les faisceaux de protons



**Des aimants quadrupôles
pour focaliser les faisceaux**

Le détecteur ATLAS a été assemblé sous terre, comme un bateau dans une bouteille



Caverne:

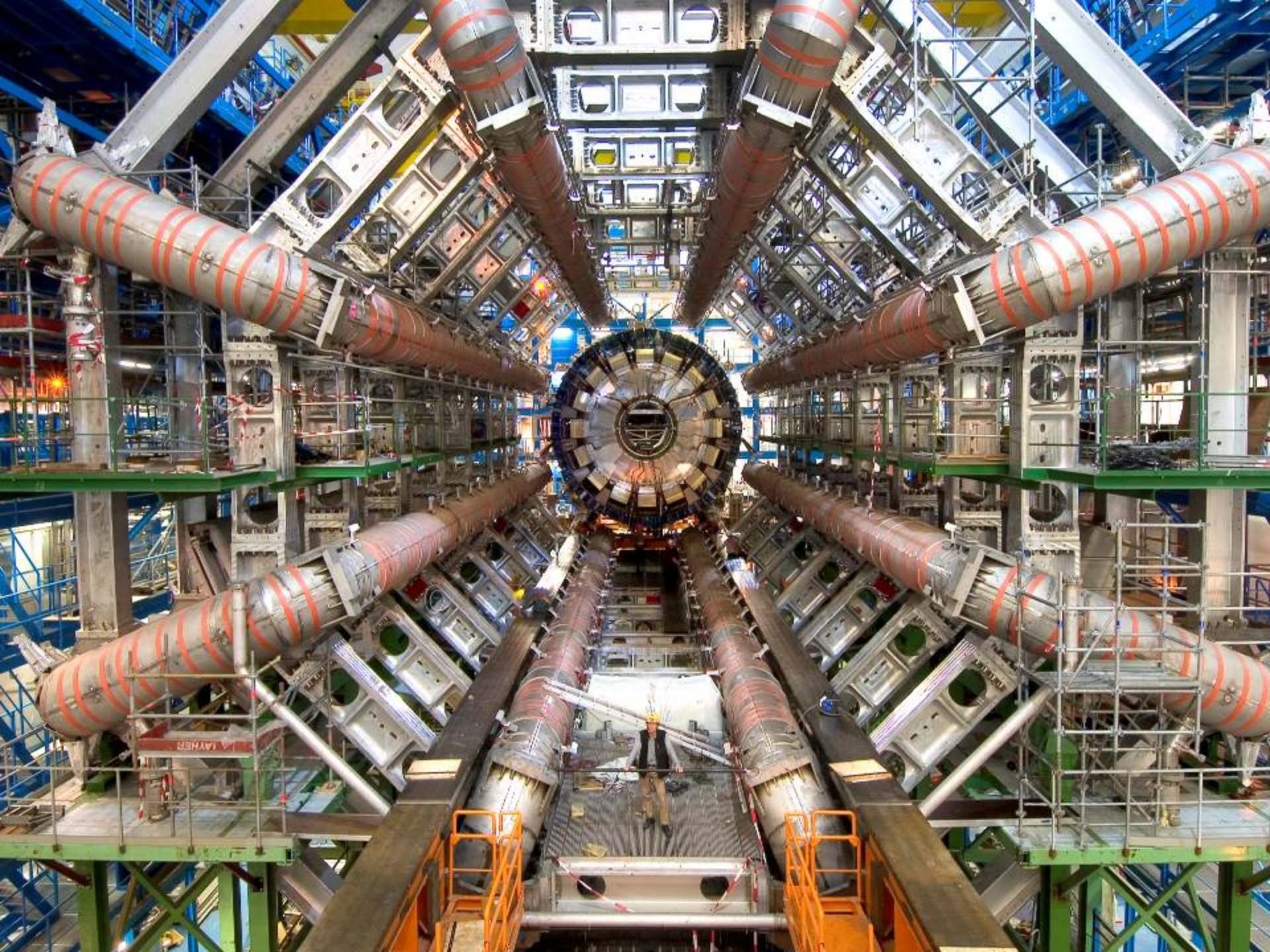
Longueur = 55 m

Largeur = 32 m

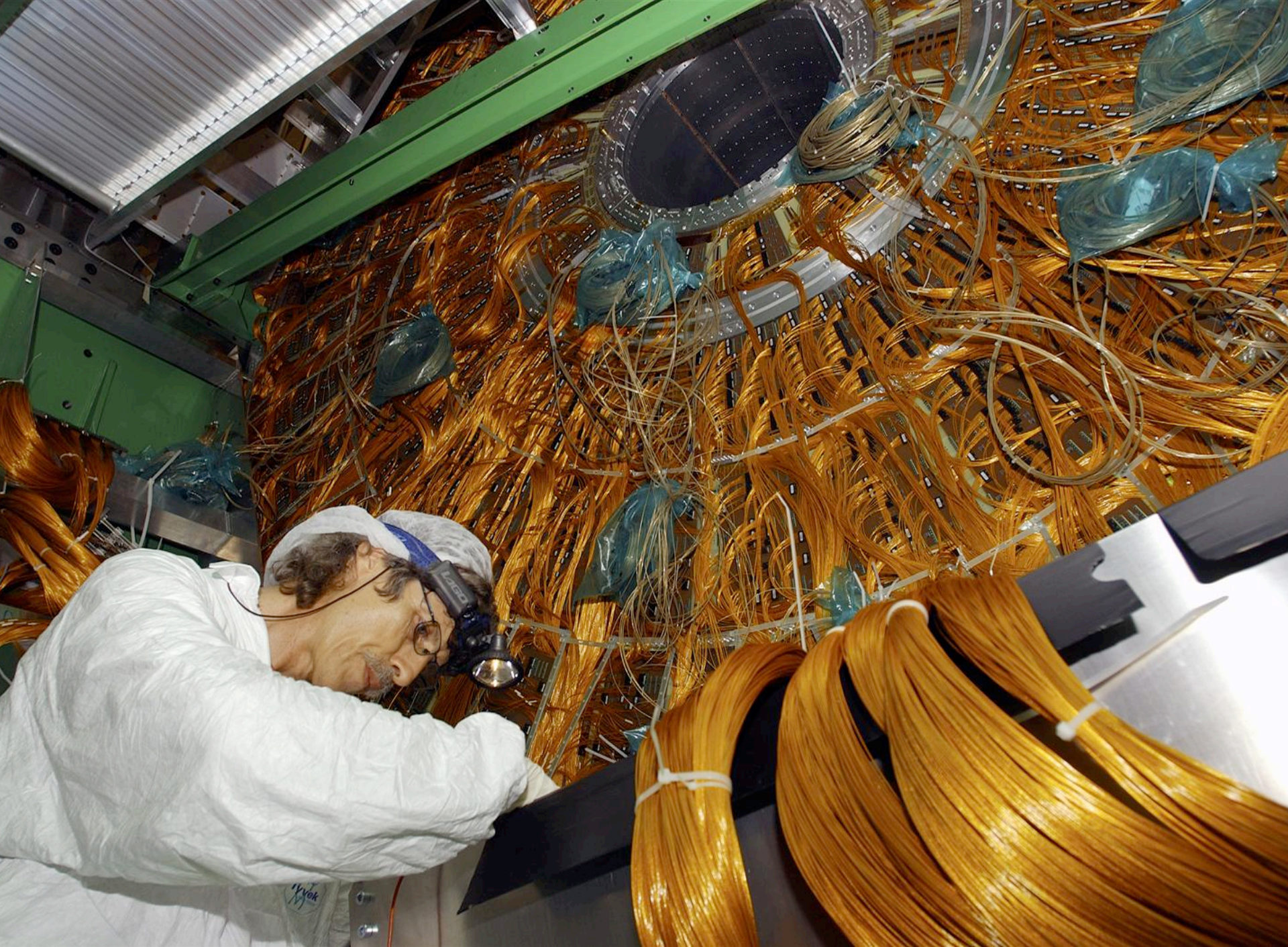
Hauteur = 35 m

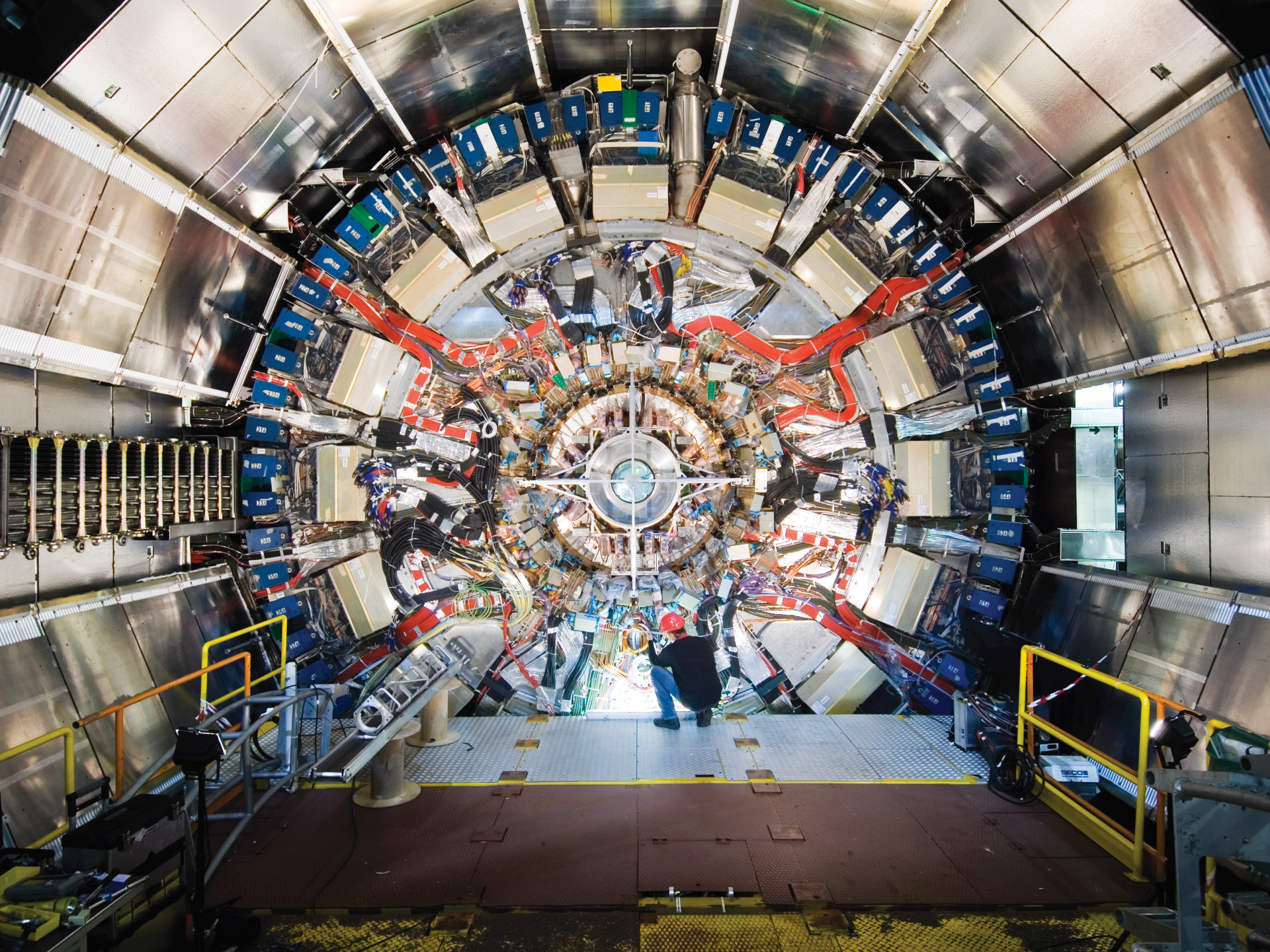
Profondeur = 93 m



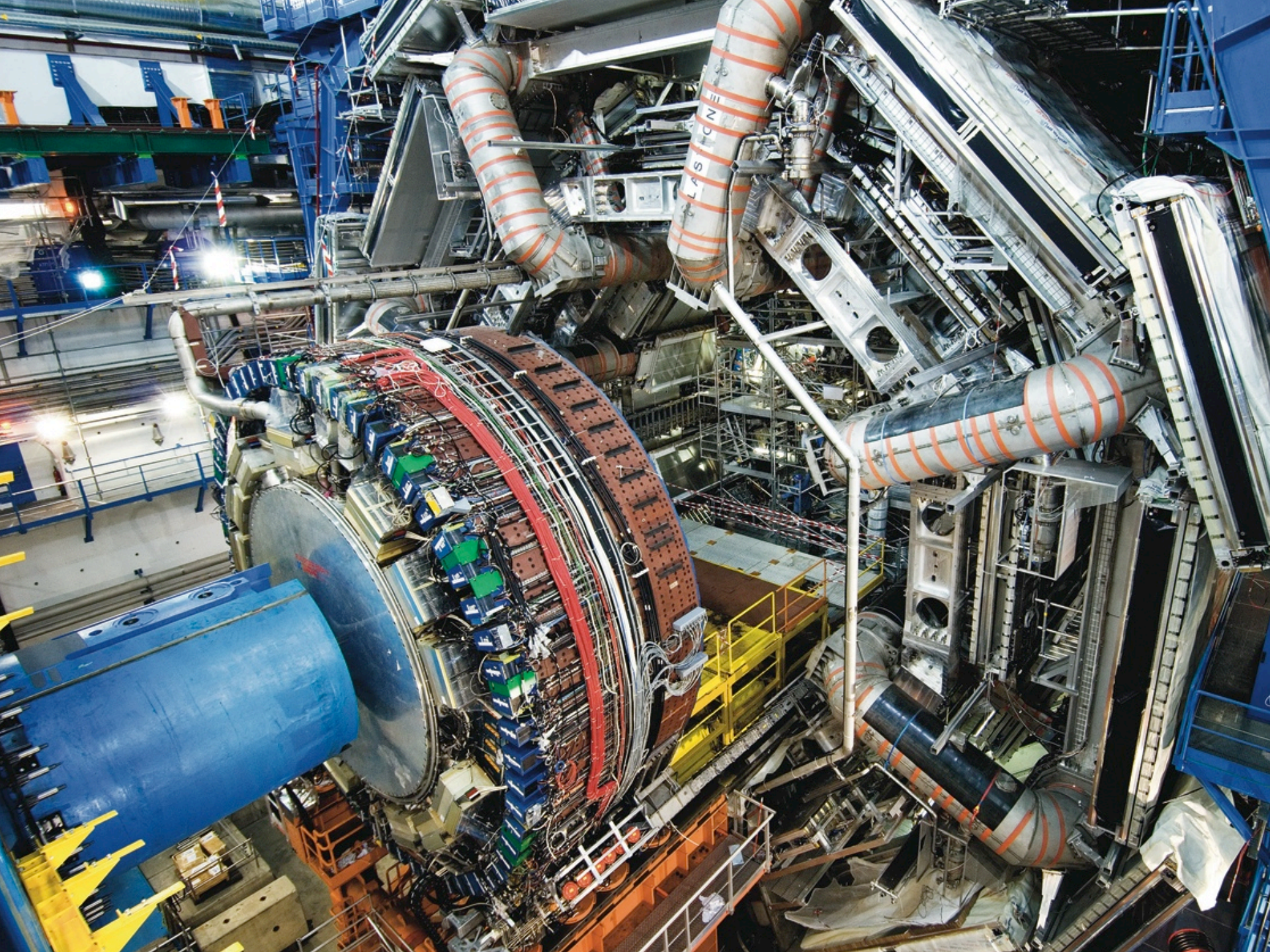


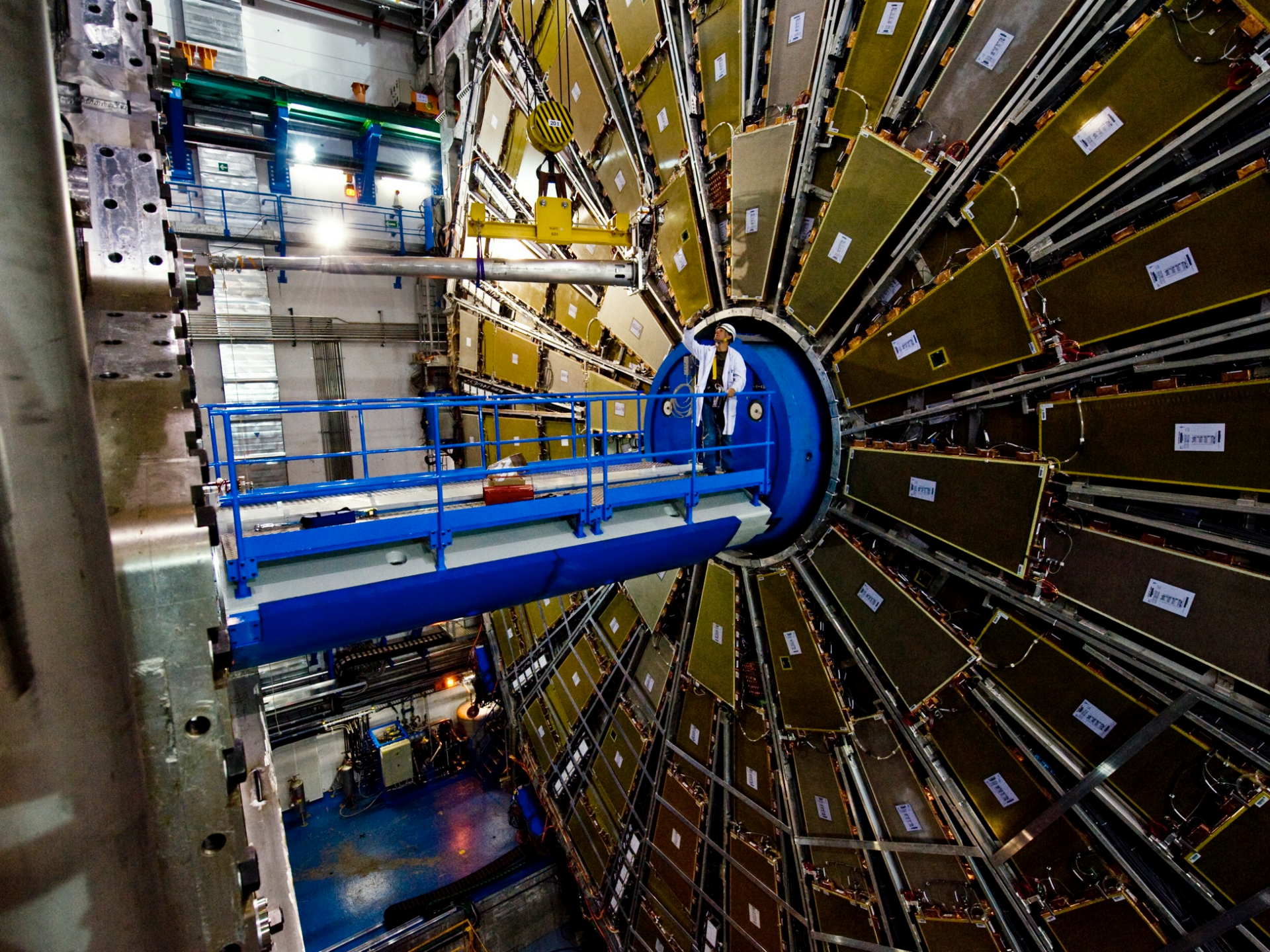




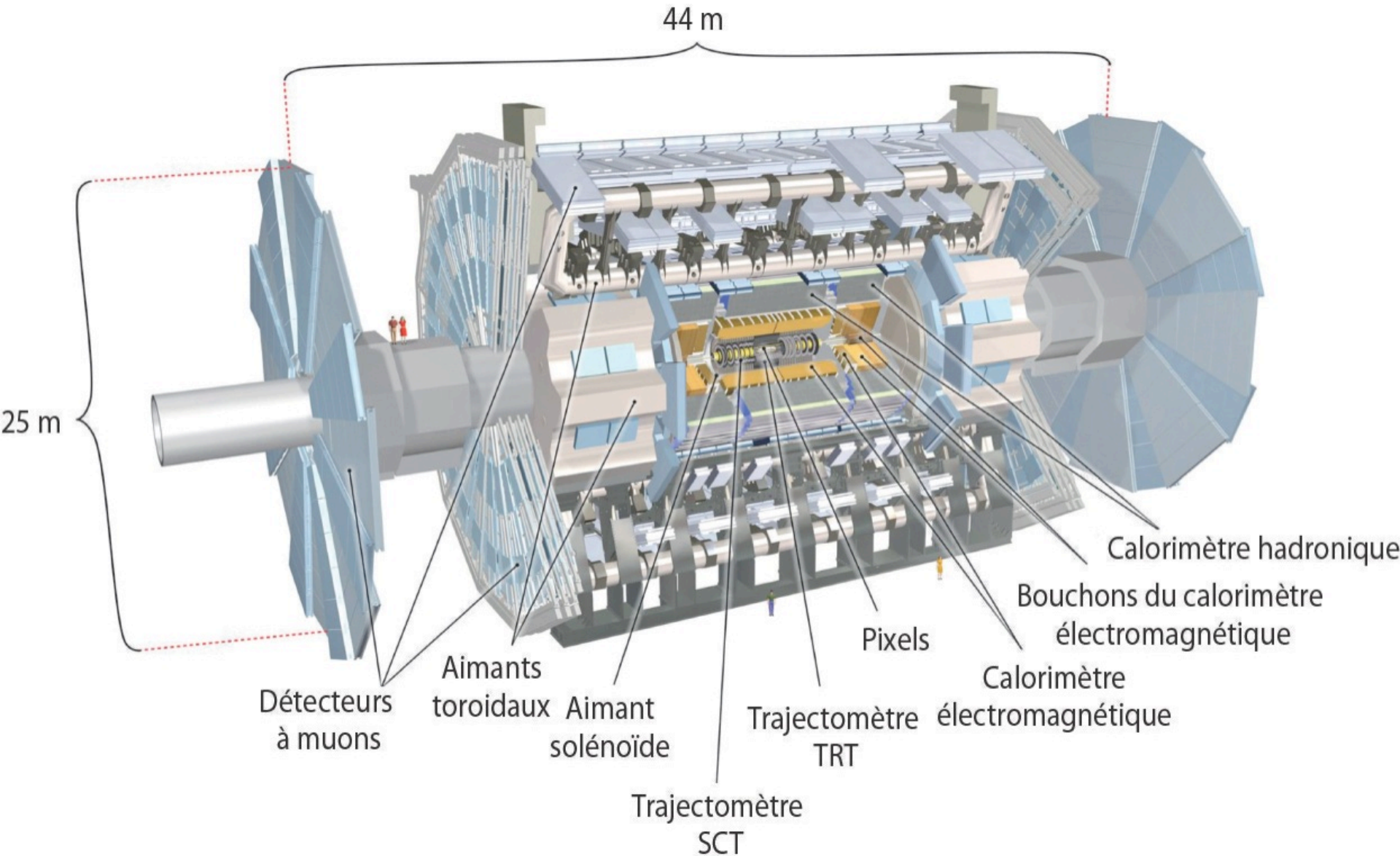




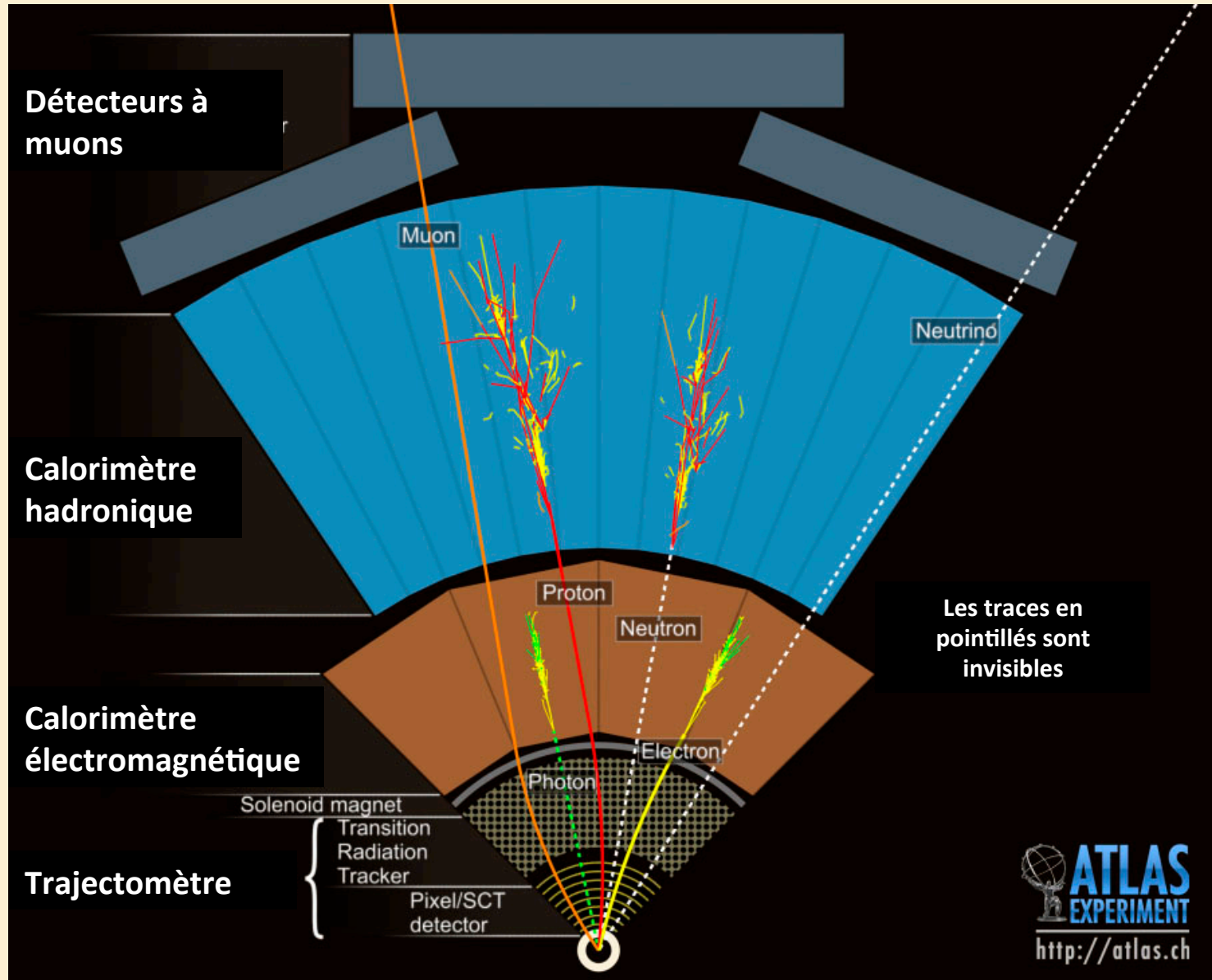




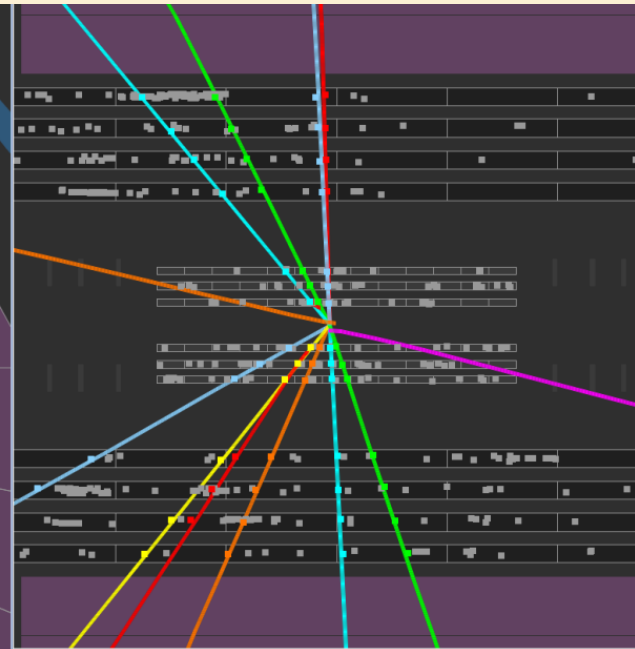
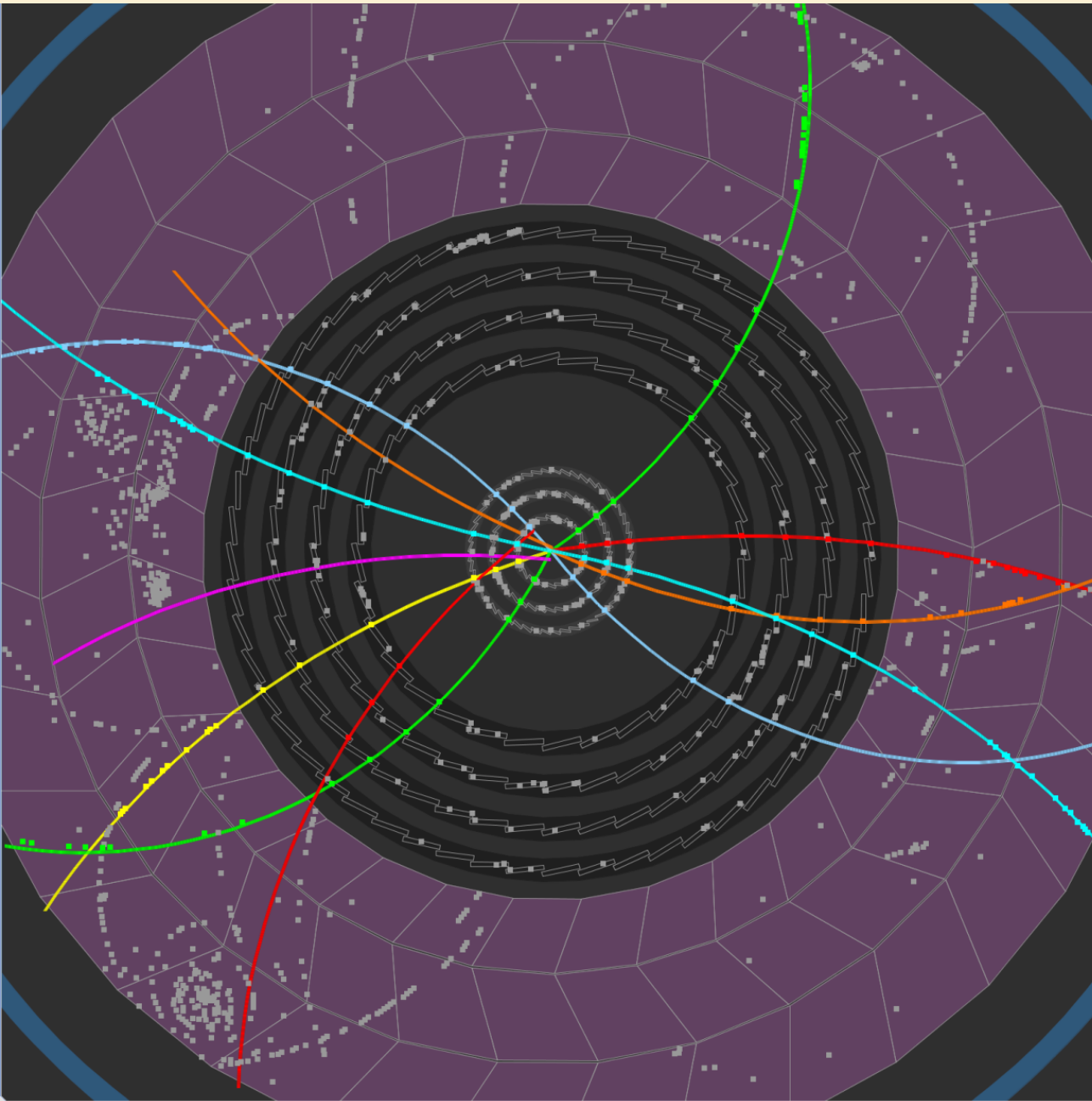
Le détecteur ATLAS: une caméra géante



Rôle de chaque couche du détecteur



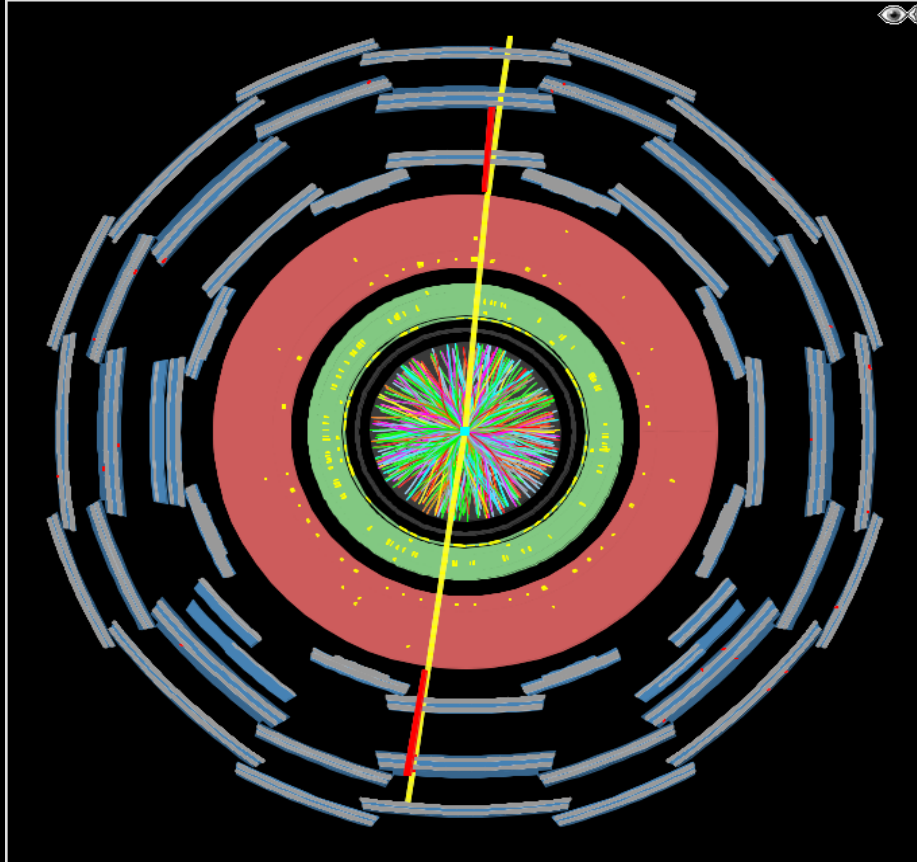
Premières collisions



ATLAS
EXPERIMENT

2009-12-06, 10:03 CET
Run 141749, Event 405315

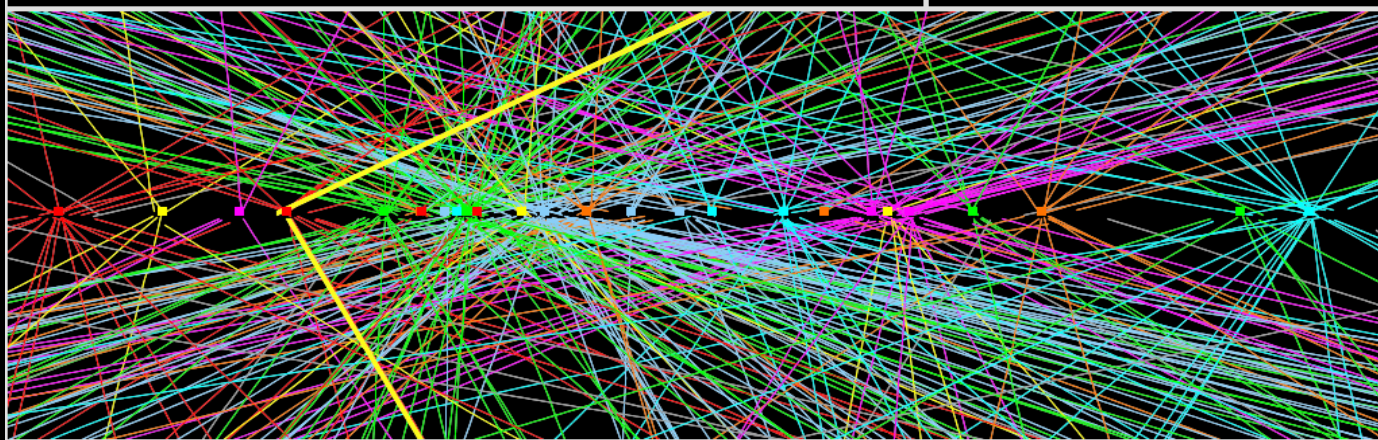
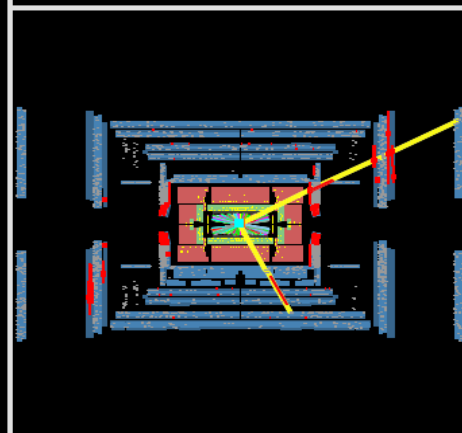
Collision Event



 **ATLAS**
EXPERIMENT

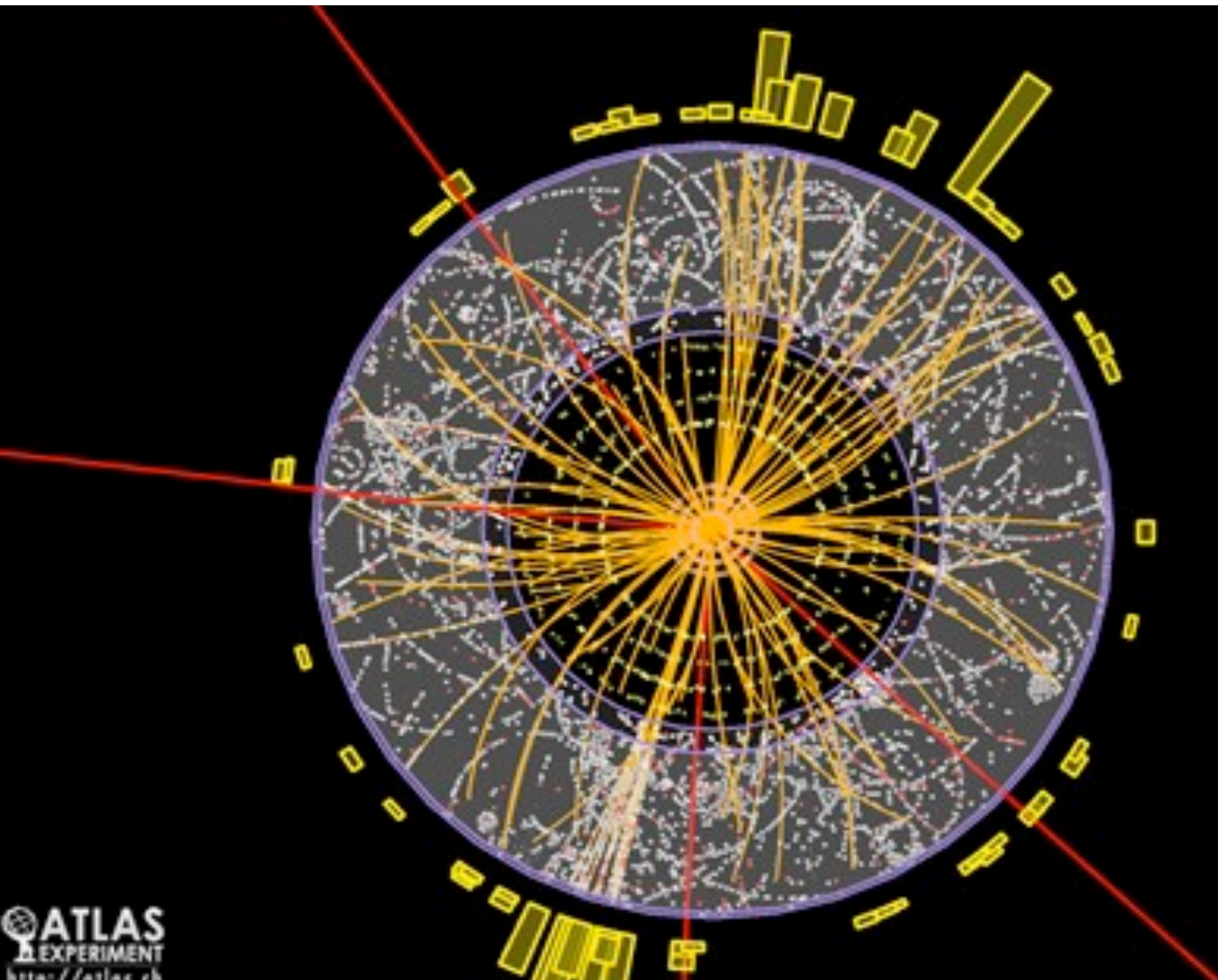
Run Number: 201289, Event Number: 24151616

Date: 2012-04-15 16:52:58 CEST



← ~ 5.6 cm →

Evènement reconstitué



Désintégration d'un boson de Higgs



Higgs



boson Z + boson Z



muon + muon + muon + muon



boson Z + boson Z



muon + muon + muon + muon

Désintégration d'un boson de Higgs

Signal



Higgs \rightarrow boson Z + boson Z \rightarrow muon + muon + muon + muon

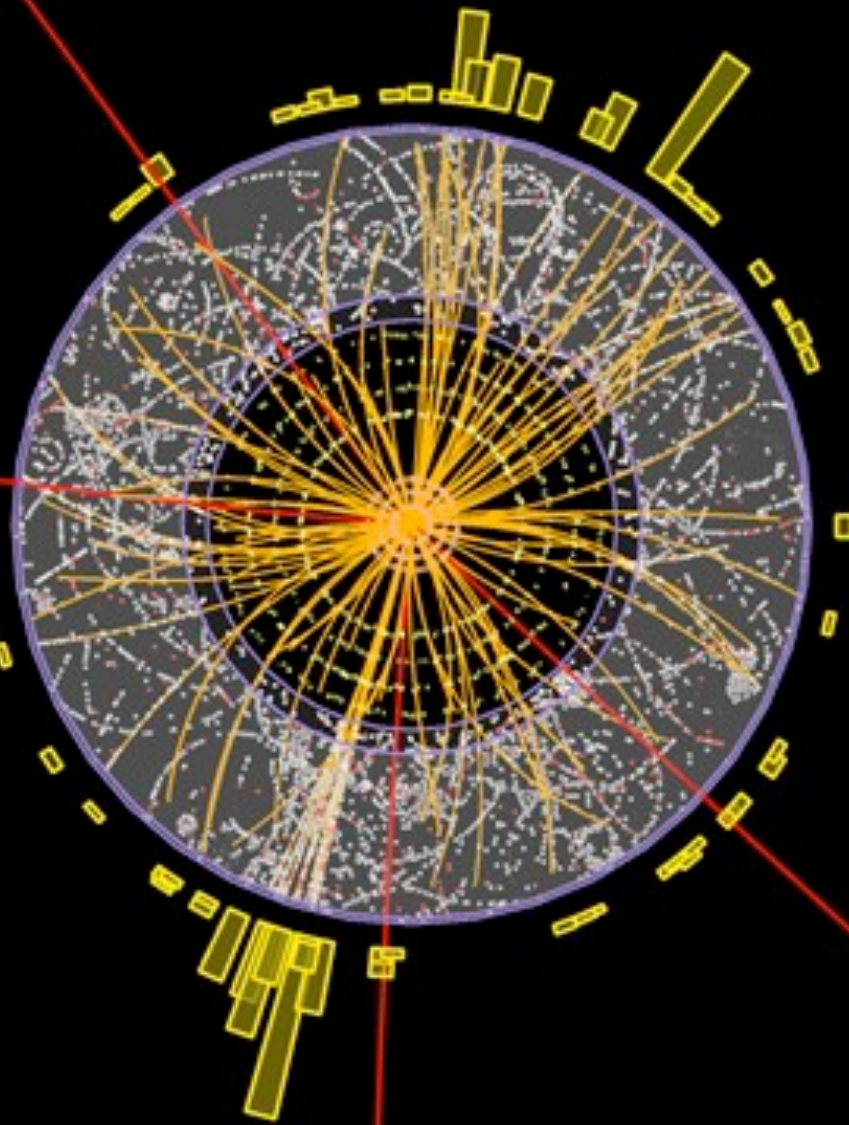
Bruit de fond



boson Z + boson Z \rightarrow muon + muon + muon + muon

muon $H \rightarrow ZZ$ ou ZZ ?

muon



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

Run: 189280
Event: 143576946
2011-09-14 12:37:11 CEST

muon

muon

Recette de sirop de boson

1. Les bons arbres
– *érable à sucre*

1. Les bons évènements
exemple: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ muons}$

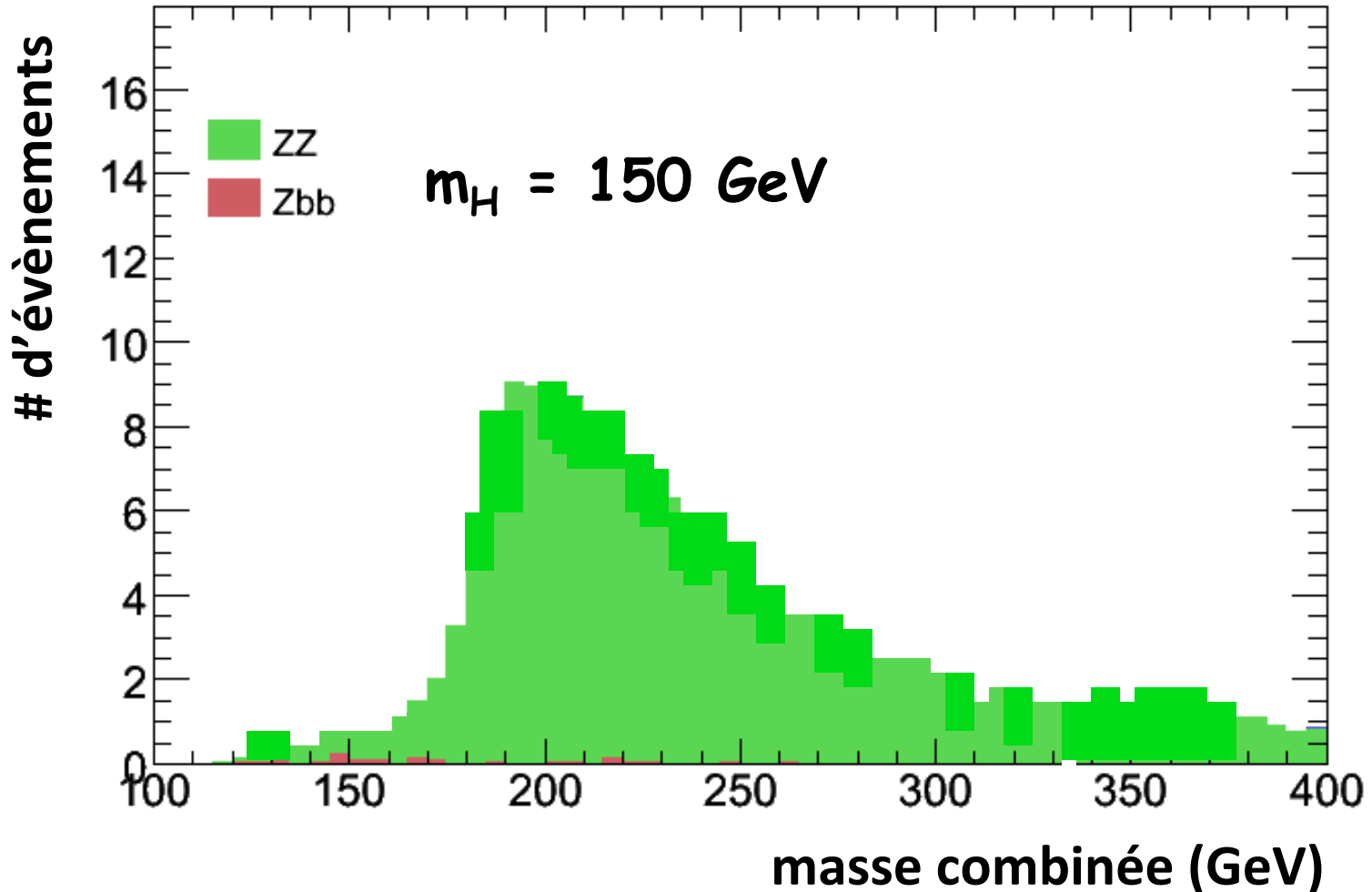
2. Eviter la dilution
– bouleaux, noyers

2. Réduire le bruit de fond
- exemple: $ZZ \rightarrow 4 \text{ muons}$

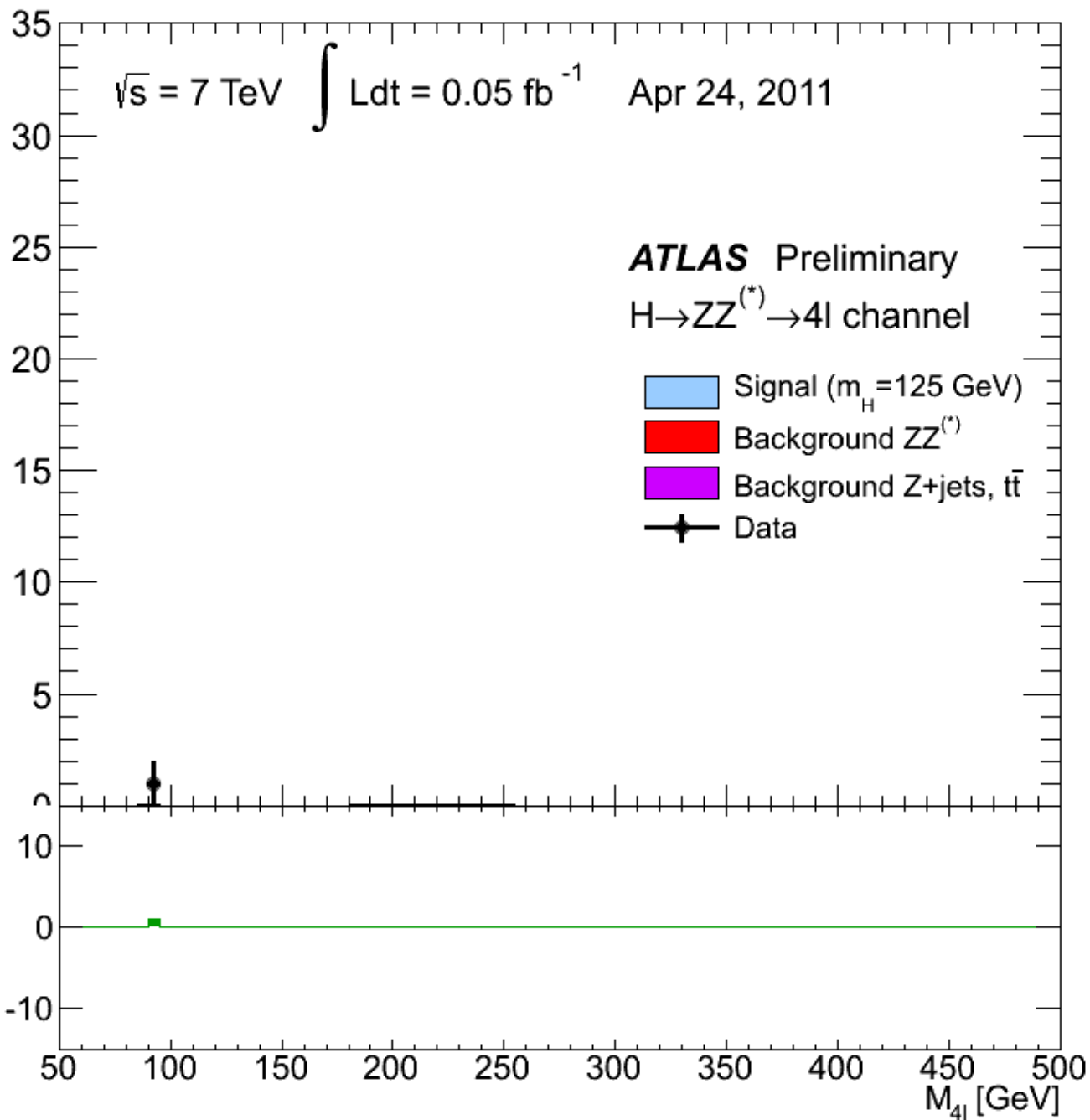
3. 27 litres d'eau pour faire un litre de sirop d'érable

3. Produire un million de million d'évènements pour trouver un boson de Higgs

Comment distinguer un évènement contenant un boson de Higgs des autres types d'évènements?



Events / 5 GeV





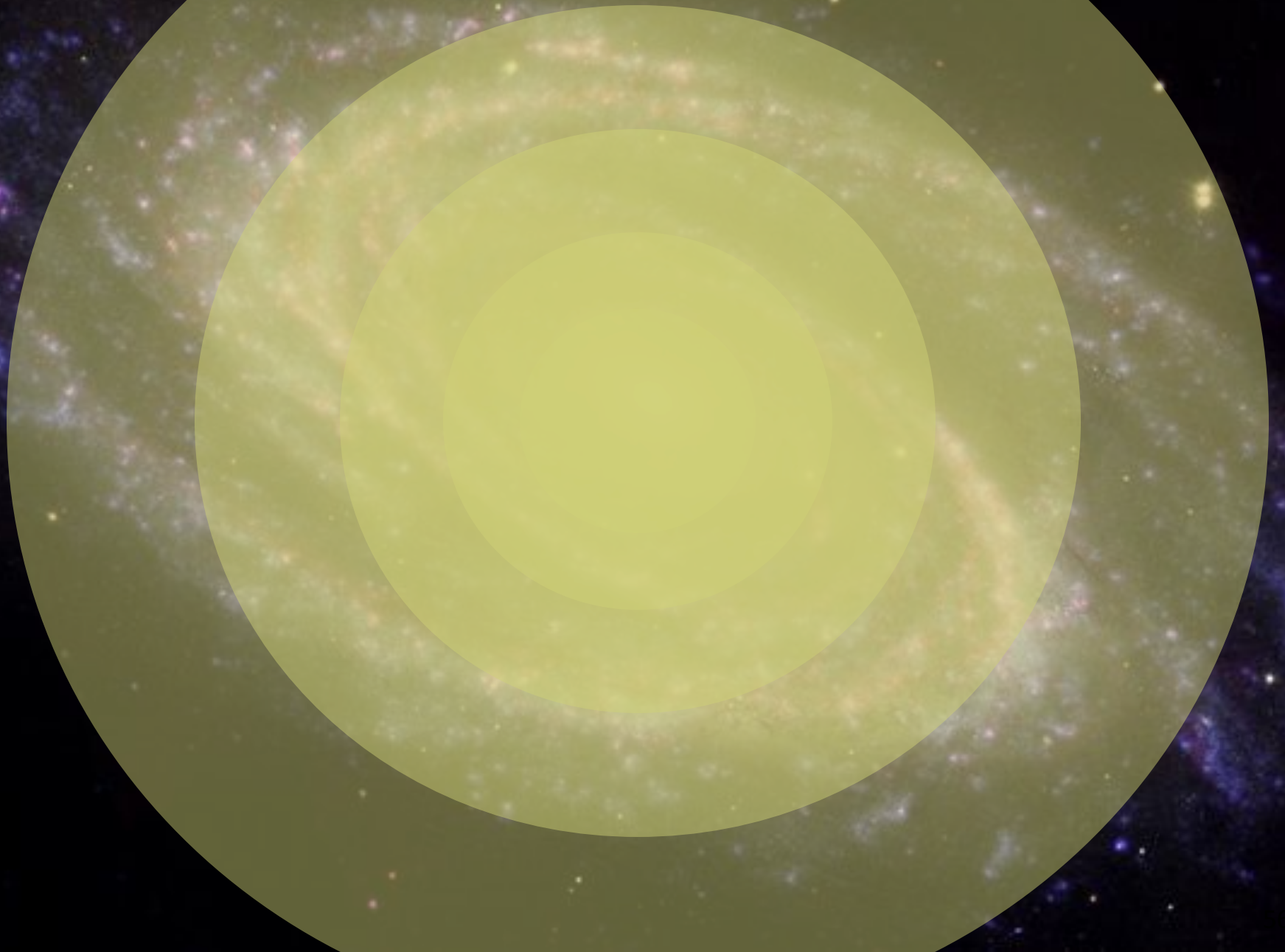


A photograph of three children on a merry-go-round. The children are smiling and holding onto the metal railings. The background is a blurred green field, suggesting motion. The child on the left is a girl with long brown hair wearing a red sequined dress. The child in the middle is a boy with short red hair wearing a grey t-shirt with a 'SUPER' graphic. The child on the right is a girl with brown hair wearing a white dress with a colorful ruffled collar. The merry-go-round has a red base with small circular patterns.

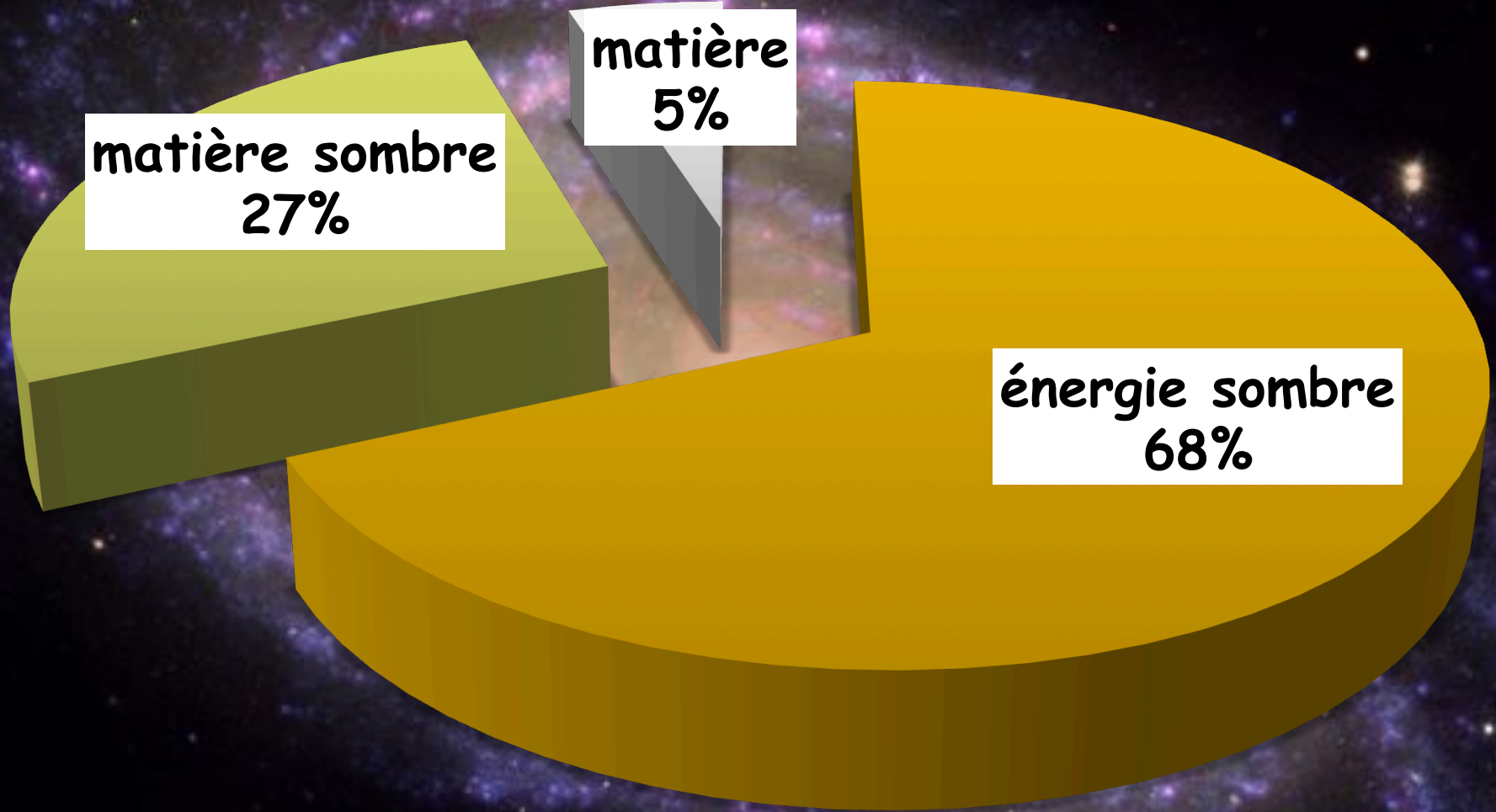
IN PHOTOGRAPHY

AVAILABLE

L'énigme de la matière sombre



L'énigme de la matière sombre



Nous connaissons à peine 4,9% de l'univers



Le boson de Higgs a encore bien des particules à manger

A quoi servira le boson de Higgs?

- **Probablement à rien! Personne ne le sait...**
- **Il y a 100 ans, qui aurait pu imaginer tout ce qui a suivi la découverte de l'électron et des ondes électromagnétiques?**
- **La recherche fondamentale est essentielle:**
 - **Augmente la connaissance humaine**
 - **Pleins d'applications – World Wide Web vient du CERN**
 - **Permet de former une main d'oeuvre spécialisée**

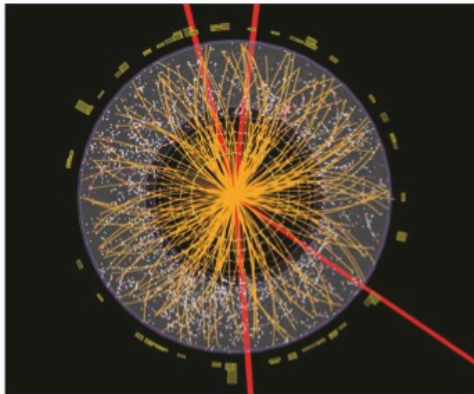
Bénéfices pour l'Humanité

Grâce à la recherche en physique, aujourd'hui on a :

- Le World Wide Web
- Les télécommunications
- L'électronique
- L'imagerie médicale
- Les ordinateurs
- La tartiflette

Qu'est-ce que le **boson de Higgs** mange en hiver

et autres détails essentiels



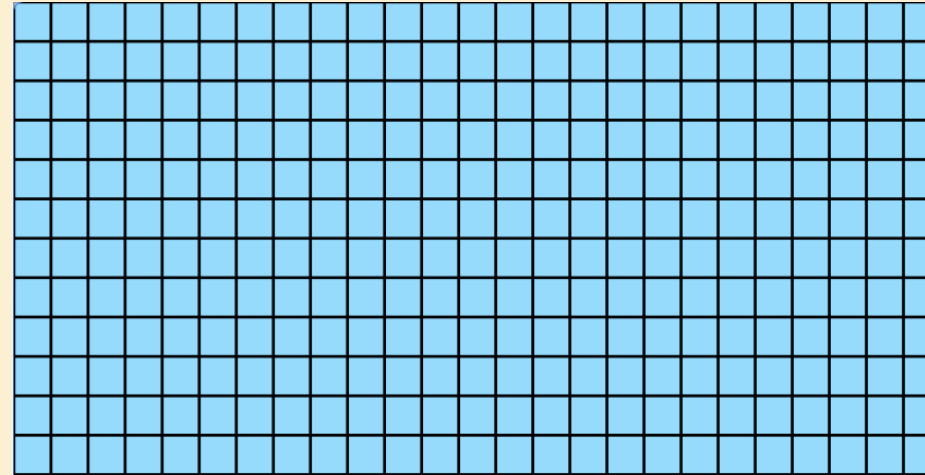
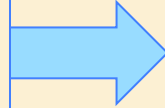
ÉDITIONS
MULTIMONDES

Comment devenir physicien-ne des particules et travailler au CERN?

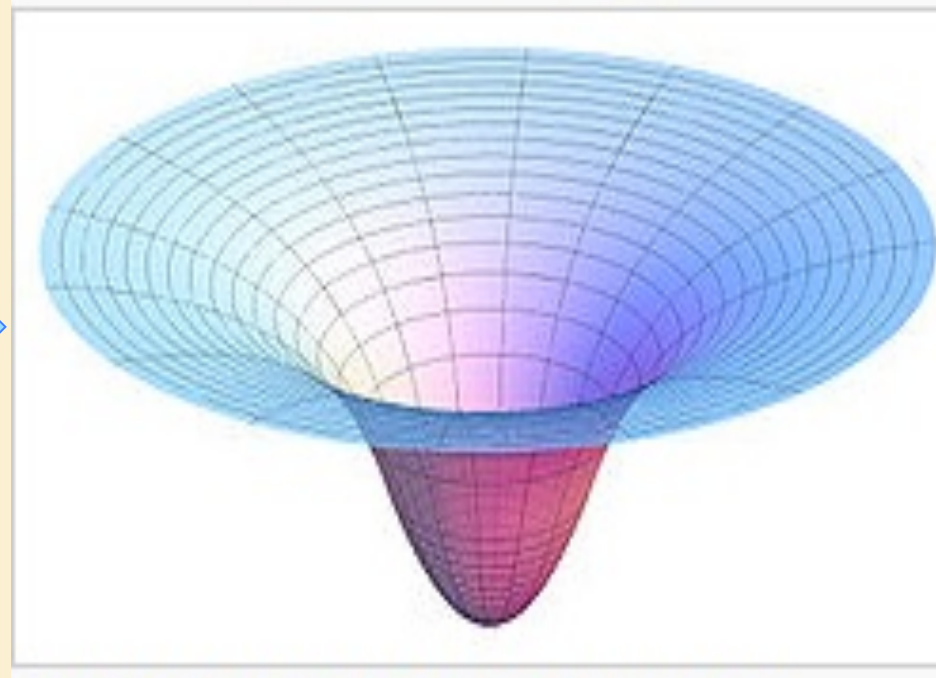
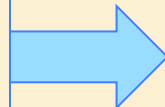
- # Il faut étudier en Sciences de la Nature au Cégep puis faire un baccalauréat en physique à l'université
- # Puis vous pourrez appliquer au programme d'été du CERN pour venir voir qu'est-ce qu'on fait
<http://jobs.web.cern.ch/join-us/studentships-summer-non-member-state-nationals>
- # Faire un doctorat en physique des particules
- # Le CERN embauche aussi des personnes formées en informatique, génie, technique et technologie

Exemple: Le champ gravitationnel

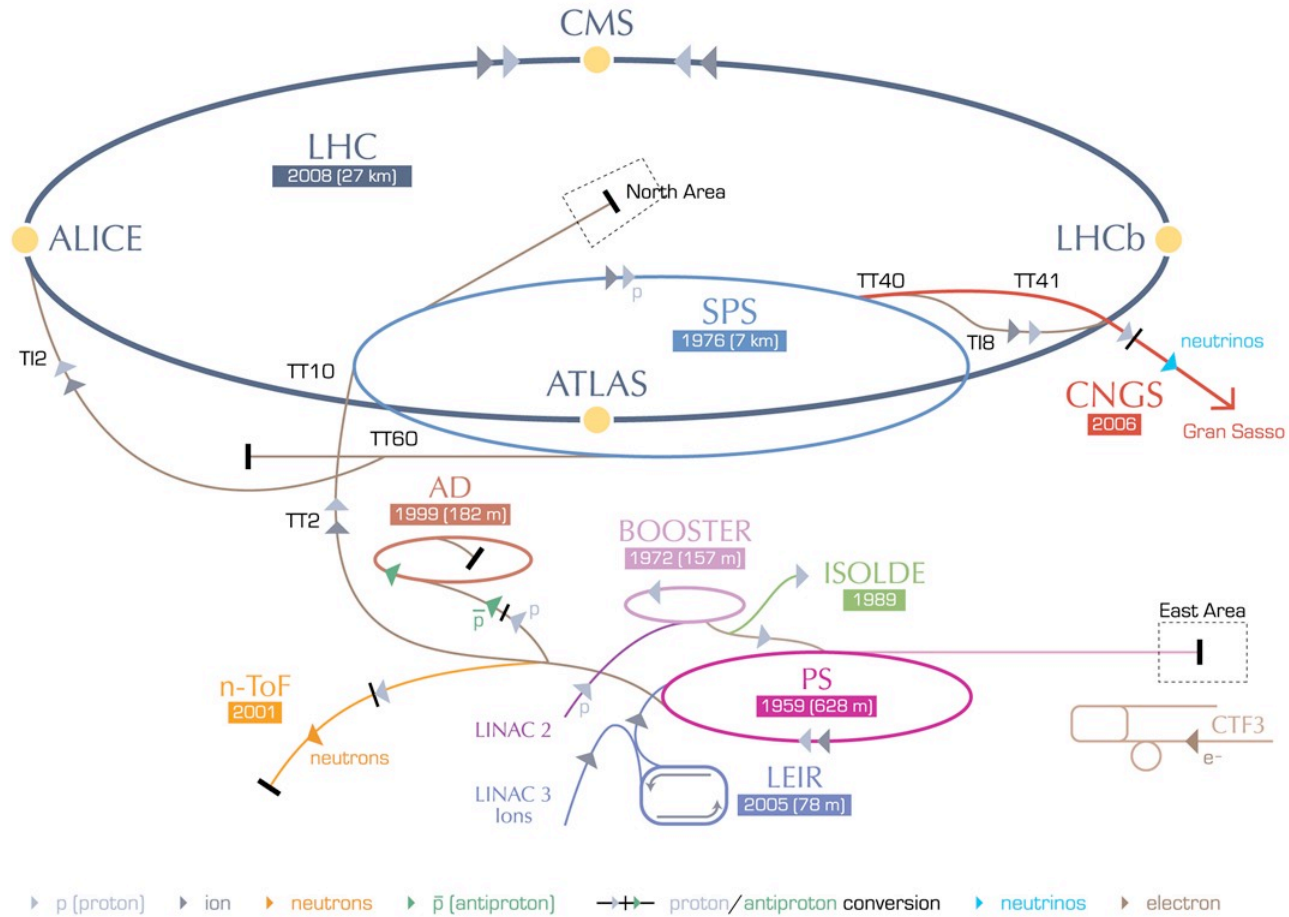
Espace vide: l'espace-temps est uniforme; tout se déplace en ligne droite



On ne le voit pas mais le champ gravitationnel affecte tout corps ou lumière passant a proximité



Les accélérateurs du CERN



LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice
LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

Énergie cinétique d'un proton (K)	Vitesse (%c)	Accélérateur
50 MeV	31.4	Linac 2
1.4 GeV	91.6	Booster PS
25 GeV	99.93	PS
450 GeV	99.9998	SPS
7 TeV	99.9999991	LHC

Relation entre l'énergie cinétique et la vitesse d'un proton dans les accélérateurs du CERN. La masse au repos du proton est $0.938 \text{ GeV}/c^2$

Caractéristique	Valeur
Circonférence	26 659 m
Température d'exploitation des dipôles	1,9 K (-271.3°C)
Nombre d'aimants	9593
Nombre de dipôles principaux	1232
Nombre de quadripôles principaux	392
Nombre de cavités radiofréquence	8 par faisceau
Énergie nominale, mode protons	7 TeV
Énergie nominale, mode ions	2,76 TeV/u (*)
Champ magnétique dipolaire maximal	8.33 T
Distance min. entre les paquets	~7 m
Luminosité nominale	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Nombre de paquets par faisceau de protons	2808
Protons par paquet (au départ)	$1,1 \times 10^{11}$
Nombre de tours par seconde	11 245
Nombre de collisions par seconde	600 millions

(*) Énergie par nucléon

Principaux travaux de consolidation pour le LHC en 2013-2014

Ouvrir et refermer définitivement 1 695 interconnexions

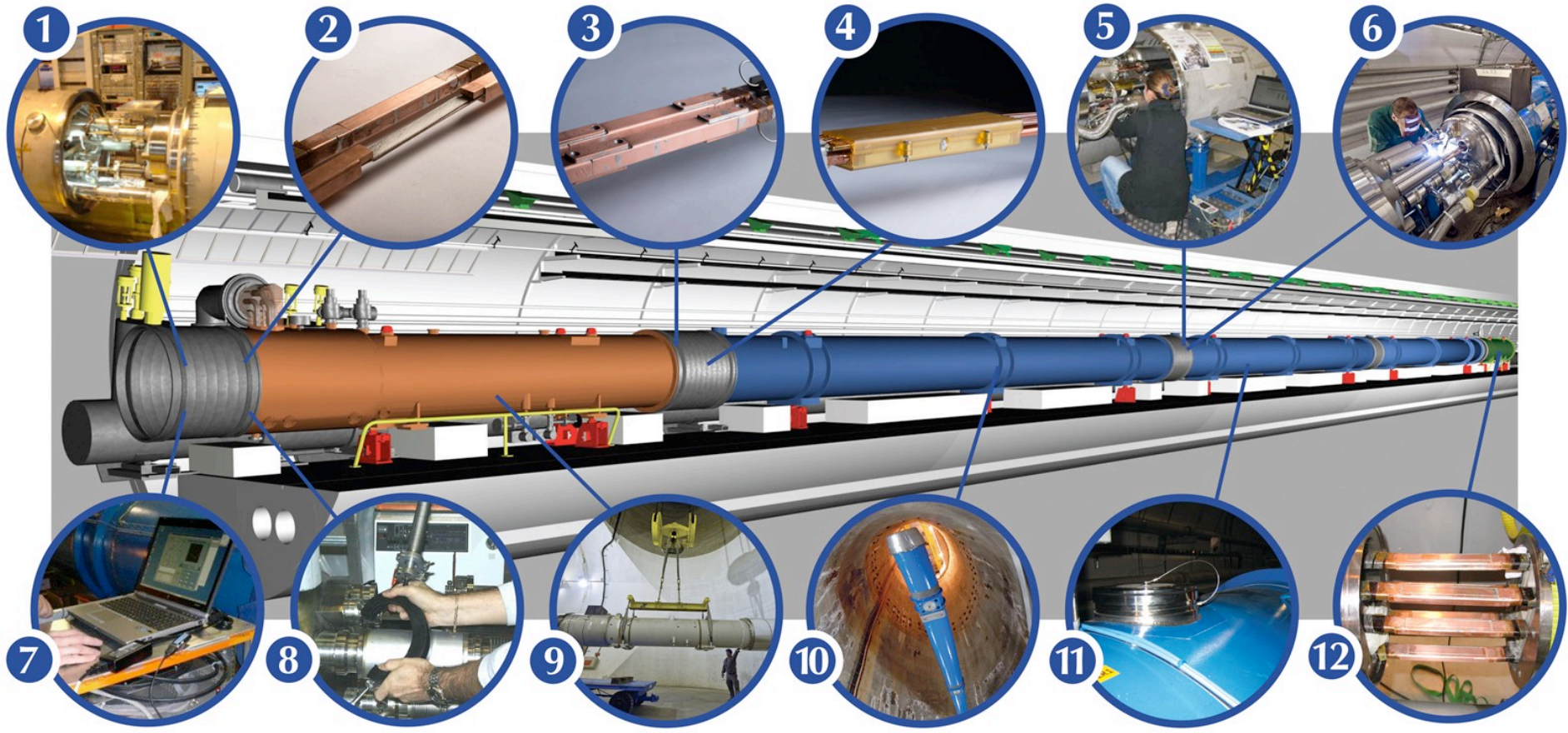
Refaire entièrement 1 500 de ces interconnexions

Consolider les 10 170 interconnexions de 13 kA; installer 27 000 dérivations

Installer 5 000 systèmes d'isolation électrique consolidés

Réaliser 300 000 mesures de la résistance électrique

Réaliser 10 170 soudures orbitales de lignes en acier inoxydable



Réaliser 18 000 tests d'assurance qualité électrique



Réaliser 10 170 tests d'étanchéité



Remplacer 4 quadripôles



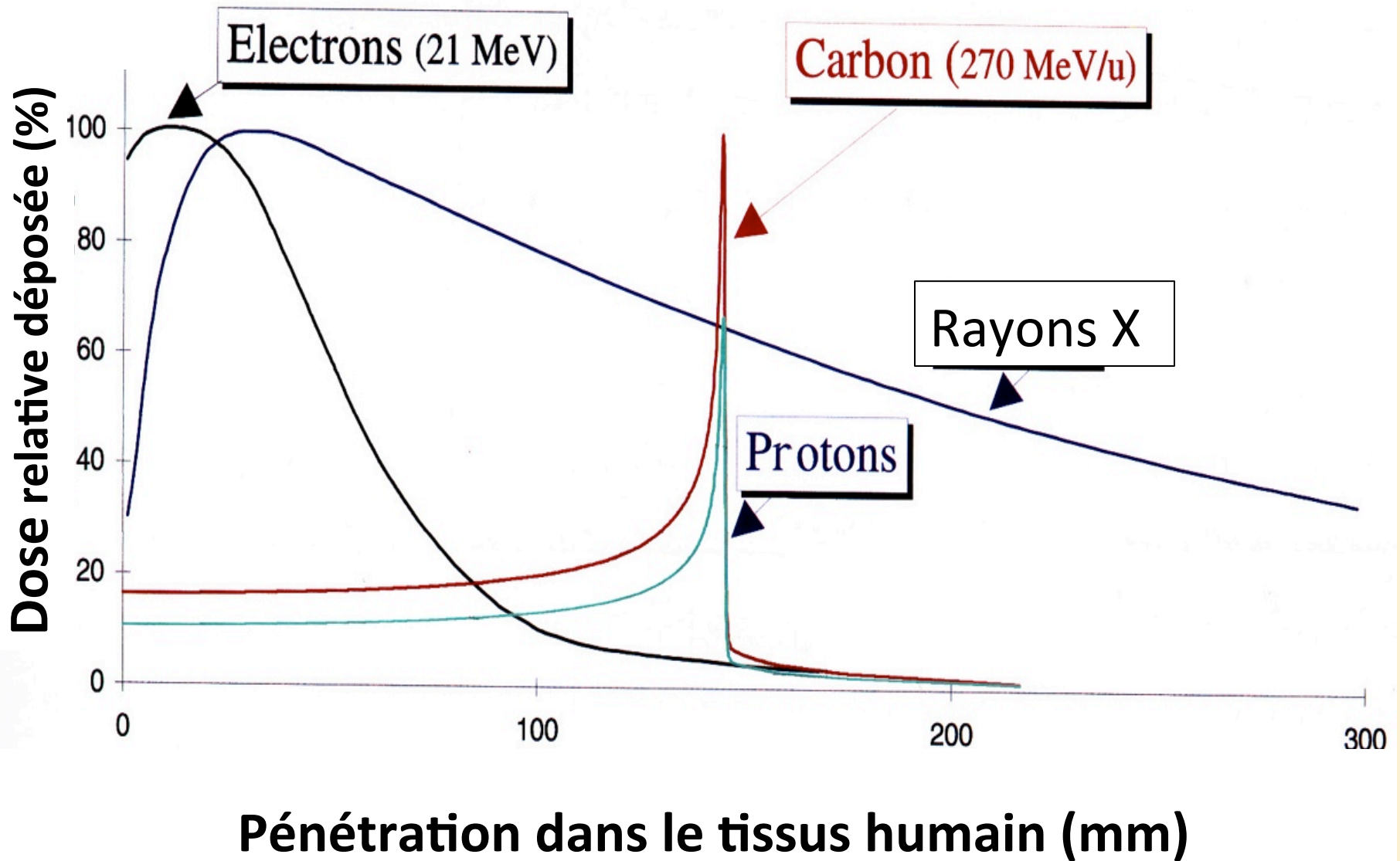
Remplacer 15 dipôles



Installer 612 nouvelles soupapes, ce qui porte leur nombre total à 1344

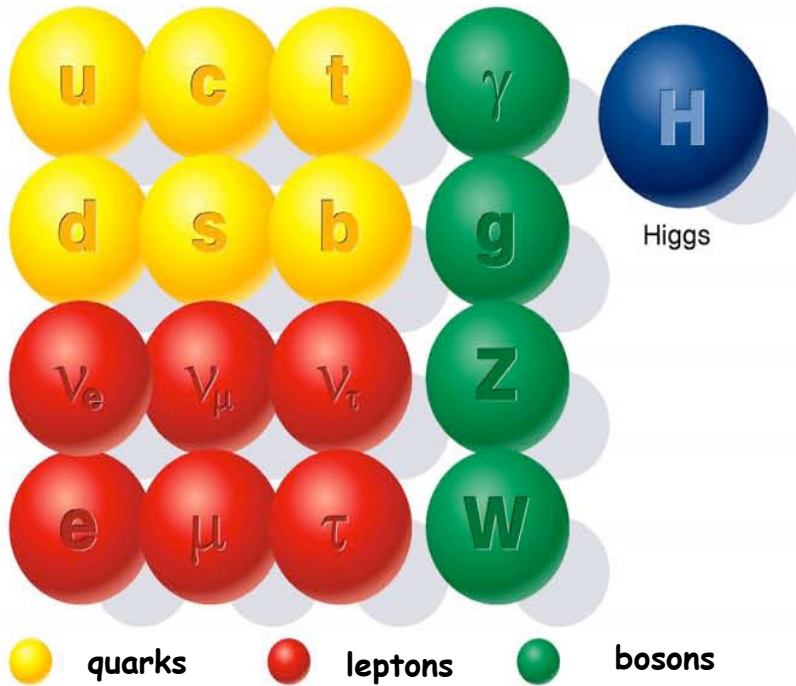


Consolider les circuits de 13 kA dans les 16 boîtiers principaux d'alimentation électrique



Supersymétrie: unifier matière et forces

Le monde des particules standard



Peut-être existe-t-il un monde de particules supersymétriques?

