

Accélérateurs et détecteurs

Centre de physique des particules de Marseille



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

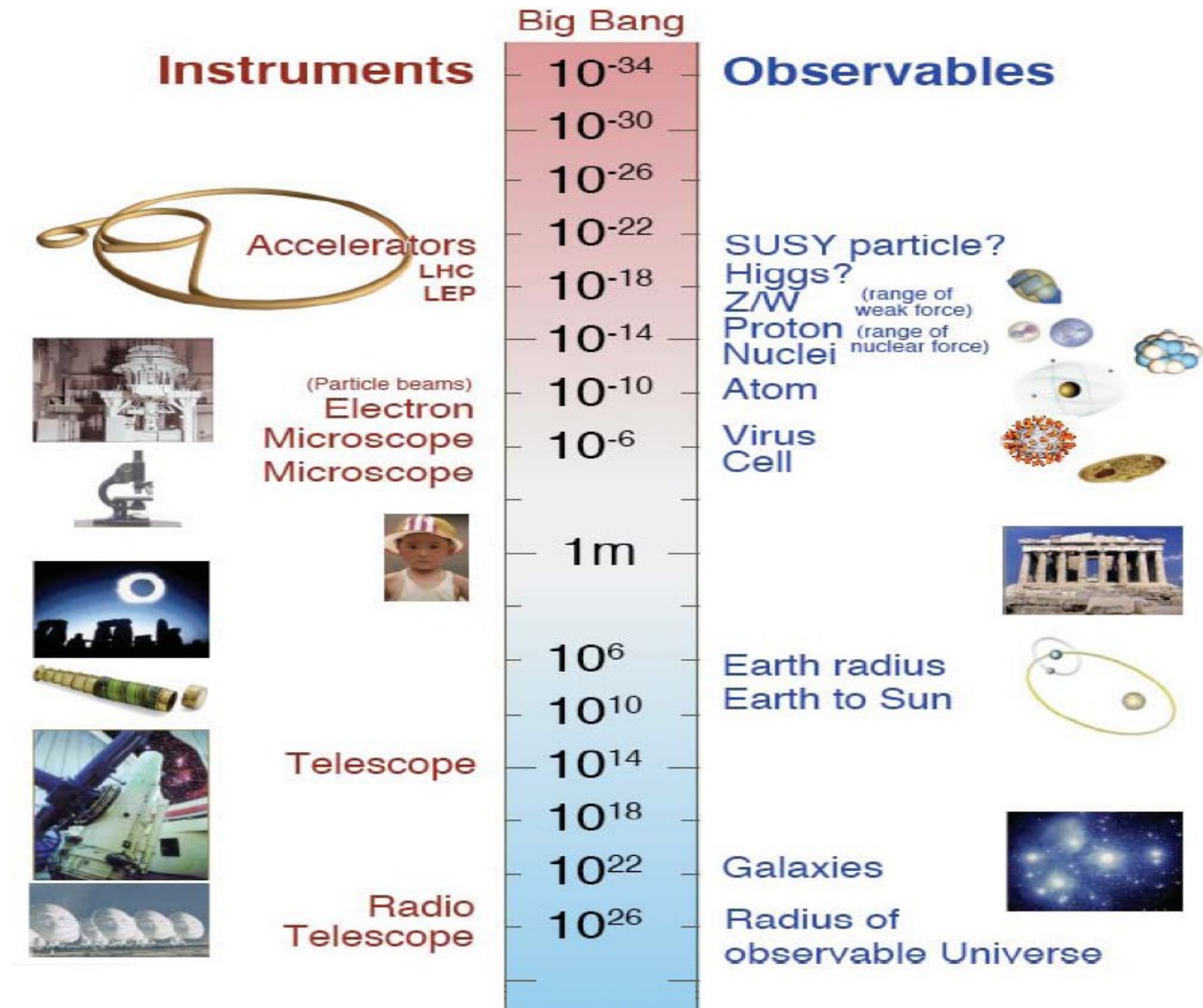
Pourquoi des accélérateurs de particules ?

- Pour voir des objets plus petits, il faut une énergie plus élevée :

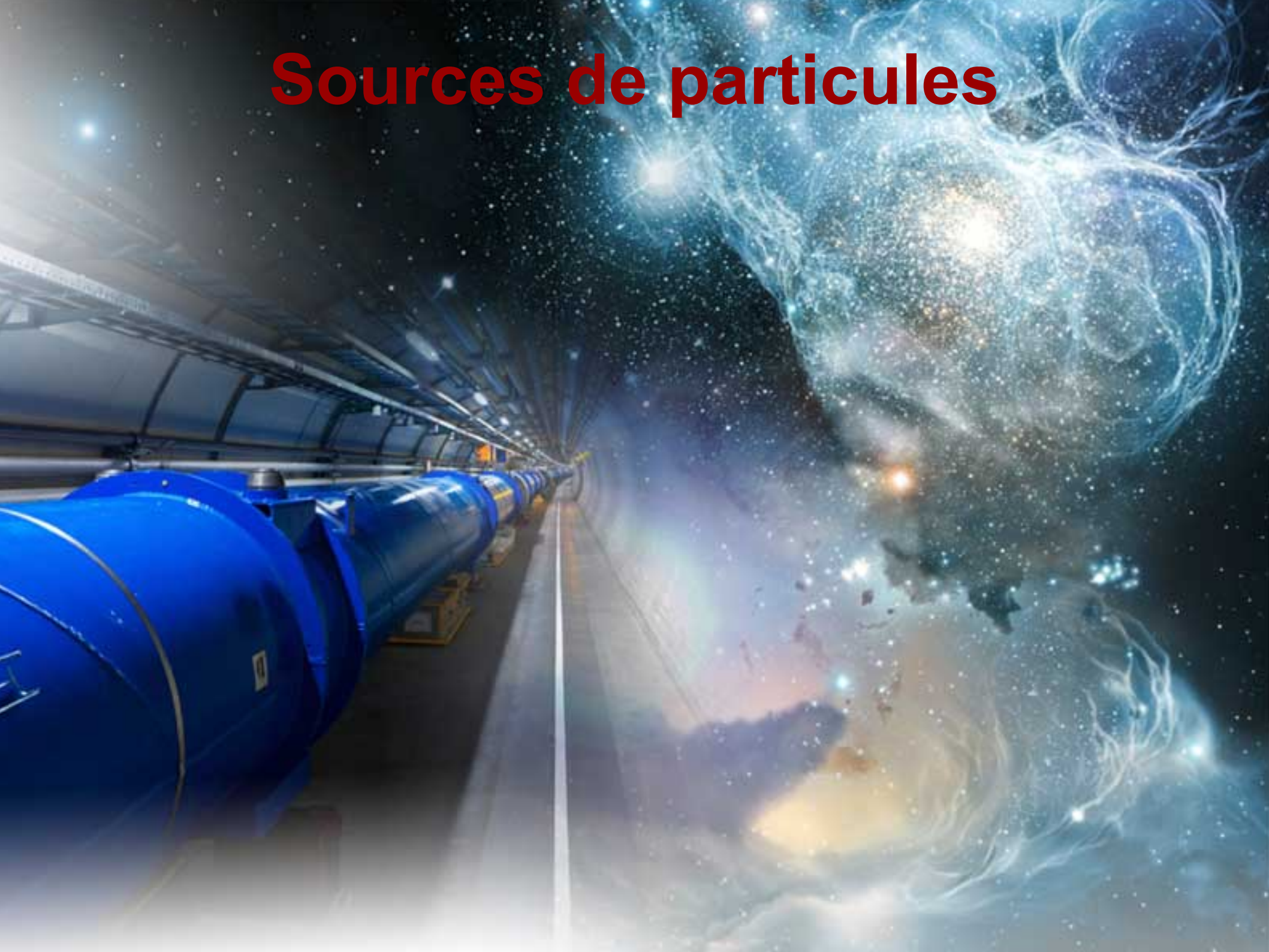
- ▶ longueur d'onde associée $\lambda = h/p$

- Pour créer des particules plus lourdes

- ▶ $E = mc^2$



Sources de particules



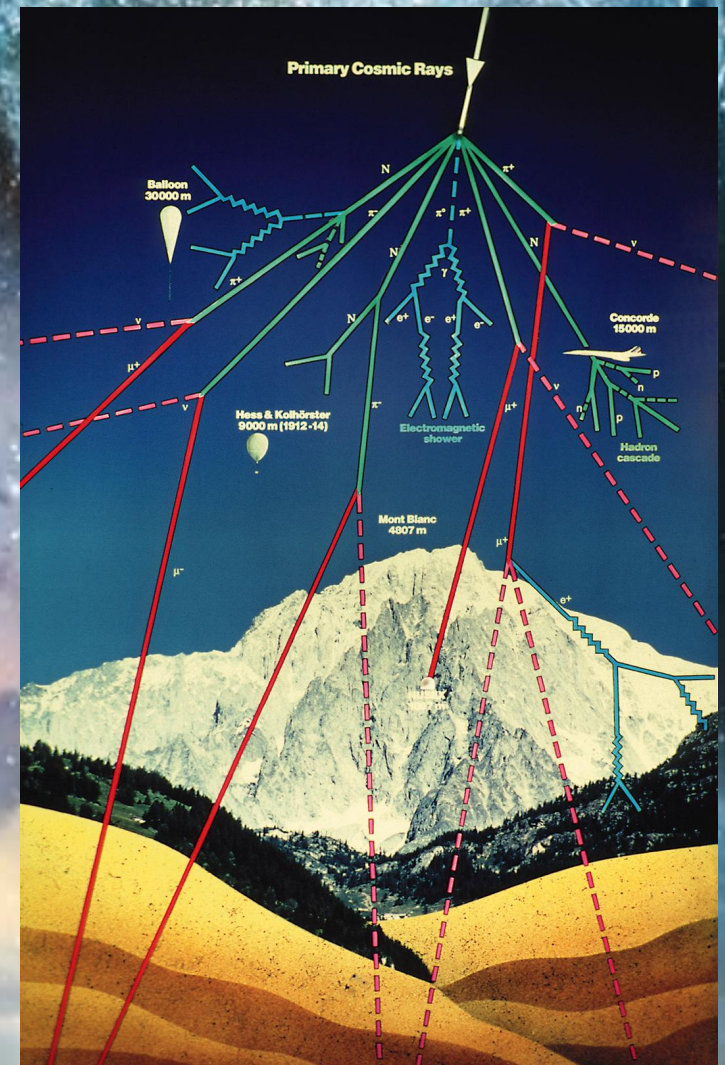
Sources de particules

**L'Univers et les
rayons cosmiques**
(protons, photons,
neutrinos, muons)



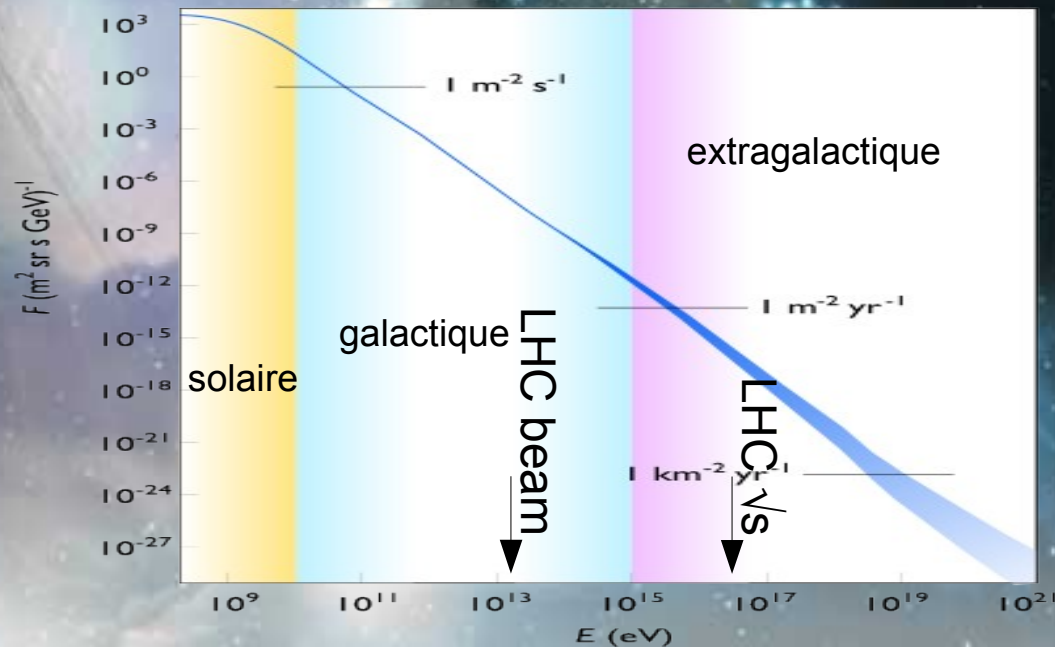
Sources de particules

L'Univers et les rayons cosmiques



Sources de particules

L'Univers et les
rayons cosmiques
(protons, photons,
neutrinos, muons)



Sources de particules

The image is a composite. The left side shows a perspective view of a particle accelerator tunnel, with blue cylindrical components and a dark, arched ceiling receding into the distance. The right side shows a vibrant, multi-colored nebula or galaxy core with swirling patterns of blue, purple, and yellow, set against a dark starry background.

**L'Univers et les
rayons cosmiques**
(protons, photons,
neutrinos, muons)

**Les accélérateurs
de particules**
(protons, photons,
électrons, muons,
pions, kaons, etc)

Quelques accélérateurs récents

- Le LEP

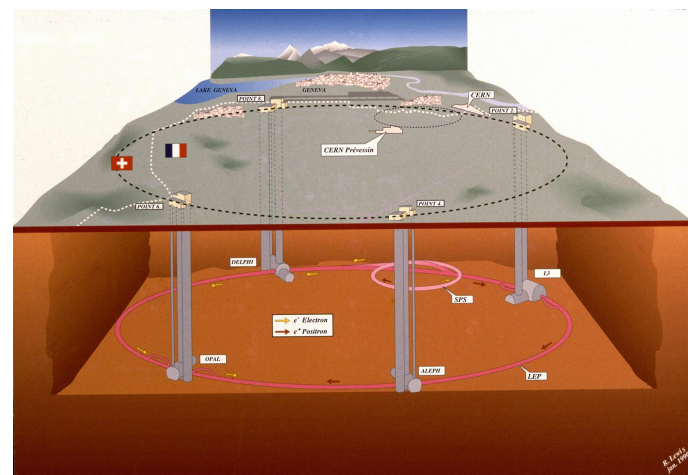
- ▶ Au CERN, Genève
- ▶ Collisions e^+e^-
- ▶ 1989-2000

- Le Tevatron

- ▶ Fermilab, Chicago
- ▶ Collisions proton-antiproton
- ▶ 1983-2011

- Le LHC

- ▶ Au CERN
- ▶ Collisions proton-proton
- ▶ Depuis 2009



Le LHC

(grand collisionneur de hadrons)



Le LHC

(grand collisionneur de hadrons)

LHCb

ATLAS

CMS

ALICE



Le LHC

(grand collisionneur de hadrons)



Le LHC

(grand collisionneur de hadrons)

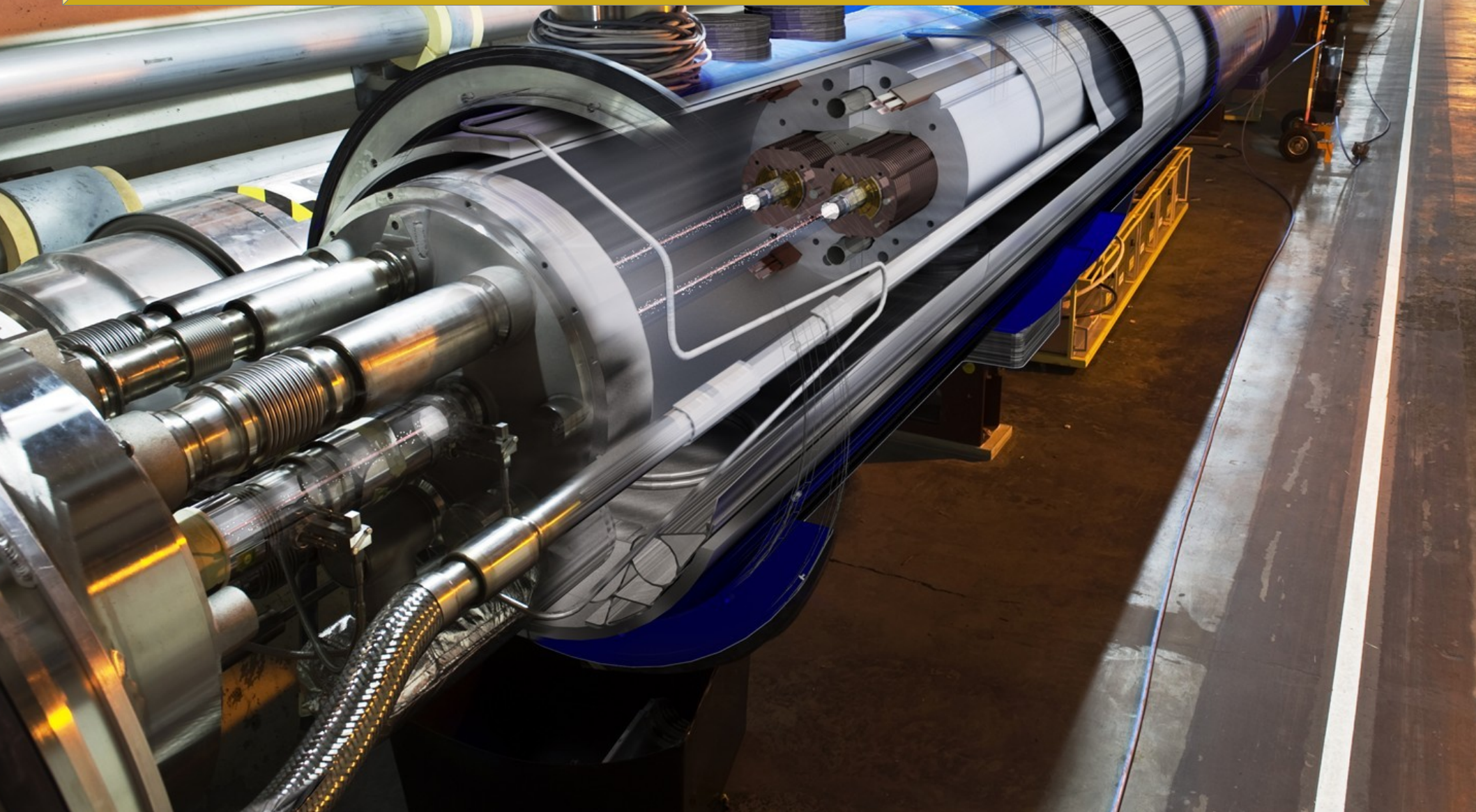


Le LHC : la machine à superlatifs



Le LHC : la machine à superlatifs

La plus grande et la plus complexe machine scientifique jamais construite



Le LHC : la machine à superlatifs



27 km de circonférence
100 m sous terre

Le LHC : la machine à superlatifs



Protons voyageant à
99,9999991%
de la vitesse de la lumière,
soit 11000 tours
par seconde

Le LHC : la machine à superlatifs



Le plus grand congélateur : 1,9 K (-271 °C), plus froid que l'espace intersidéral (2,7 K), avec de l'hélium superfluide pour rendre les câbles supraconducteurs et générer un champ magnétique de 8,3 T (200000 fois le champ magnétique terrestre)

Le LHC : la machine à superlatifs

1232 dipôles.
Un dipôle :
15 m de long
35 tonnes



Le LHC : la machine à superlatifs

Longueur des câbles supraconducteurs :
assez pour 5 aller-retours Terre-soleil



Le LHC : la machine à superlatifs

Vide presque parfait (10^{-13} atm) :
pression 10 fois plus faible
que sur la Lune

Le LHC : la machine à superlatifs



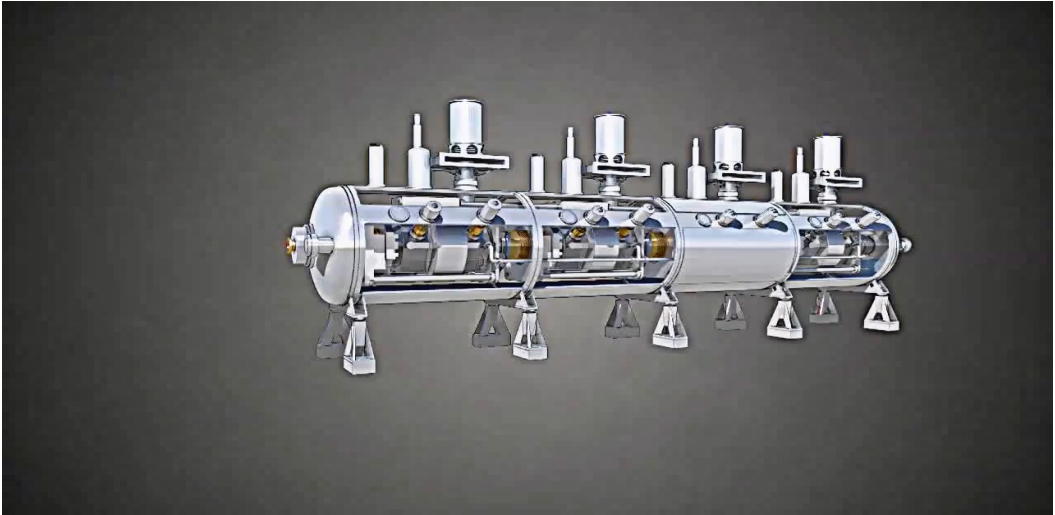
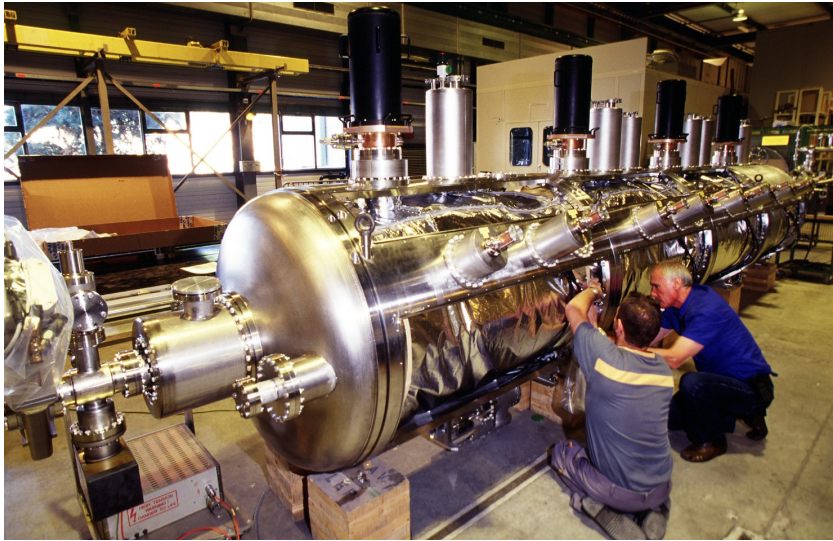
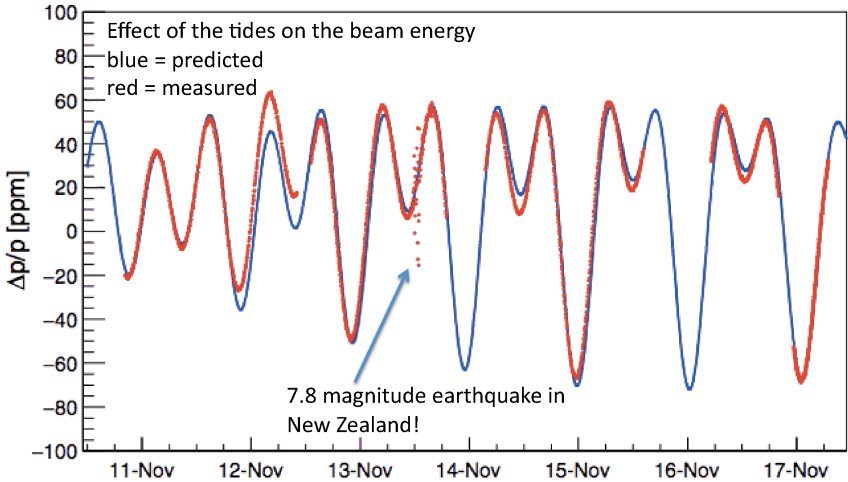
Chaque proton a l'énergie d'un moustique en vol, mais il y en a 2800 paquets de 100 milliards !
▶ Énergie du faisceau : TGV à 150 km/h.

Le LHC : la machine à superlatifs

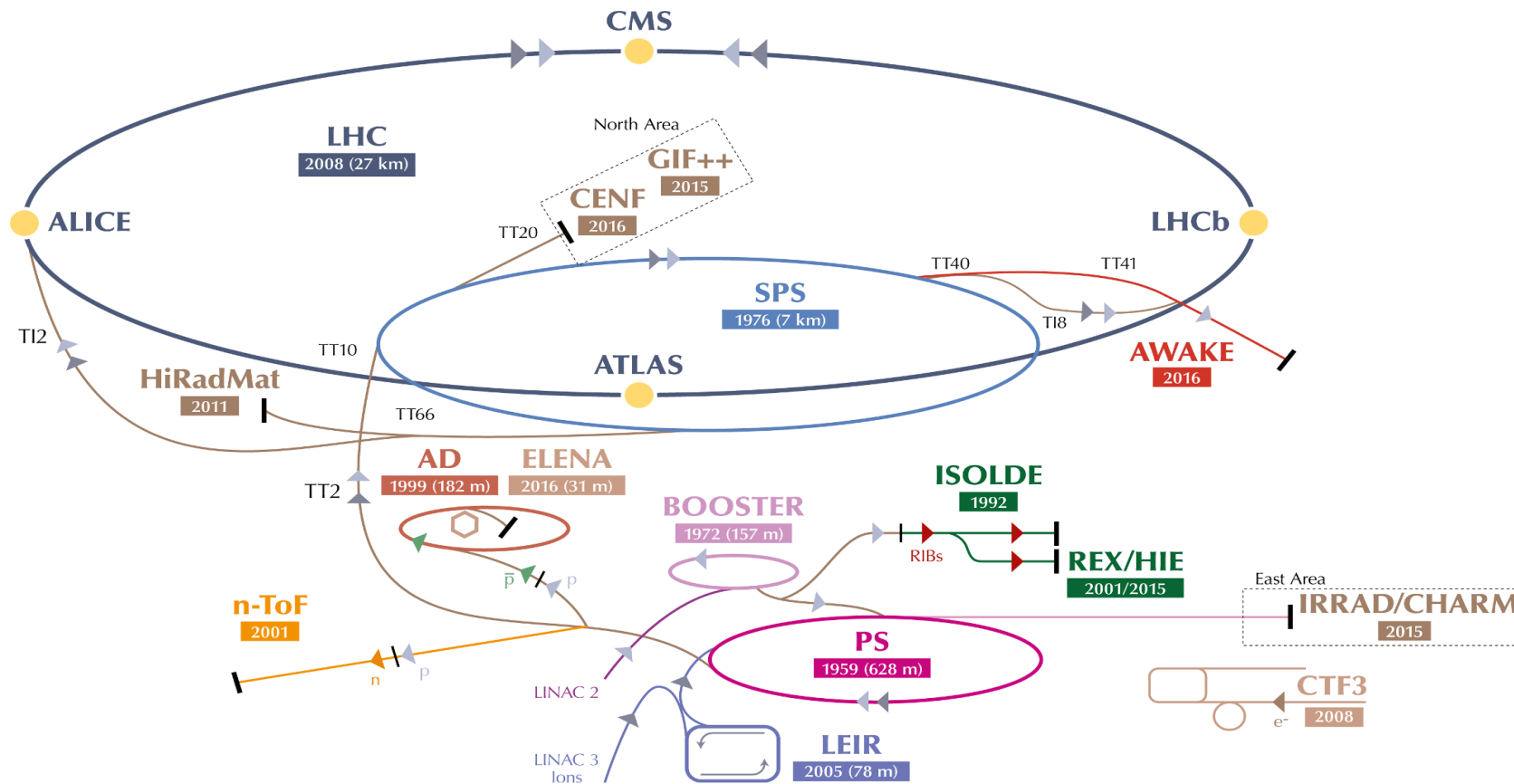
A long, complex tunnel filled with superconducting magnets and pipes, part of the LHC facility. The tunnel is dimly lit, with overhead lights illuminating the machinery. The magnets are large, cylindrical structures with blue and silver components. A yellow cart is visible on the right side of the tunnel. A sign with a warning symbol is on the left wall. A black box with the number '2385' is attached to one of the magnets.

Consommation électrique :
Tous les foyers du canton de Genève

Aimants et cavités



Le CERN : les accélérateurs



▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶ \bar{p} (antiprotons) ▶ e^- (electrons)

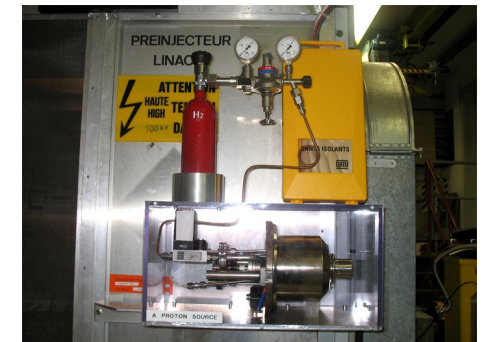
LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility

AWAKE Advanced WAKEfield Experiment ISOLDE Isotope Separator OnLine REX/HIE Radioactive EXperiment/High Intensity and Energy ISOLDE

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight HiRadMat High-Radiation to Materials

CHARM Cern High energy AcceleRator Mixed field facility IRRAD proton IRRADIation facility GIF++ Gamma Irradiation Facility

CENF CERN Neutrino platform



Large Hadron Collider : un projet de longue haleine

25 ans de préparation

1984	Études préliminaires
1992	Création de la collaboration ATLAS
1994	Approbation par le conseil du CERN
1996-1998	Approbation des quatre grandes expériences
1998-2008	Construction du LHC et des détecteurs
Septembre 2008	Mise en service, panne cryogénique
Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)

25 ans d'exploitation

Large Hadron Collider : un projet de longue haleine



25 ans de préparation

1984	Études préliminaires
1992	Création de la collaboration ATLAS
1994	Approbation par le conseil du CERN
1996-1998	Approbation des quatre grandes agences
1998-2008	Construction du LHC et des détecteurs
Septembre 2008	Mise en service, panne cryogénique

25 ans d'exploitation

Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)

Large Hadron Collider : un projet de longue haleine

25 ans de préparation

1984	Études préliminaires
1992	Création de la collaboration ATLAS
1994	Approbation par le conseil du CERN
1996-1998	Approbation des
1998-2008	Construction du L
Septembre 2008	Mise en service,



25 ans d'exploitation

Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)

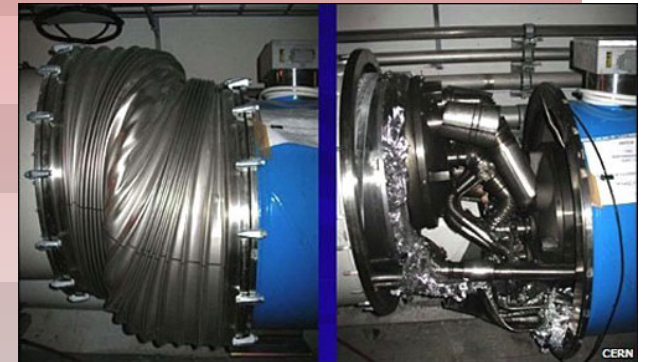
Large Hadron Collider : un projet de longue haleine

25 ans de préparation

1984	Études préliminaires
1992	Création de la collaboration ATLAS
1994	Approbation par le conseil du CERN
1996-1998	Approbation des quatre grandes expériences
1998-2008	Construction du LHC et des détecteurs
Septembre 2008	Mise en service, panne cryogénique

25 ans d'exploitation

Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)



Large Hadron Collider : un projet de longue haleine

25 ans de préparation

1984	Études préliminaires
1992	Création de la collaboration ATLAS
1994	Approbation par le conseil du CERN
1996-1998	Approbation des quatre grandes expériences
1998-2008	Construction du LHC et des détecteurs
Septembre 2008	Mise en service, panne cryogénique
Octobre 2009	Redémarrage
Mars 2010	Premières collisions à 7 TeV
Fin 2012	Fin des collisions à 8 TeV
Printemps 2015	Redémarrage à 13 TeV
2023	Fin des collisions à luminosité nominale
2025-2035	Phase à haute luminosité (10 fois plus de données)

25 ans d'exploitation



Le CERN



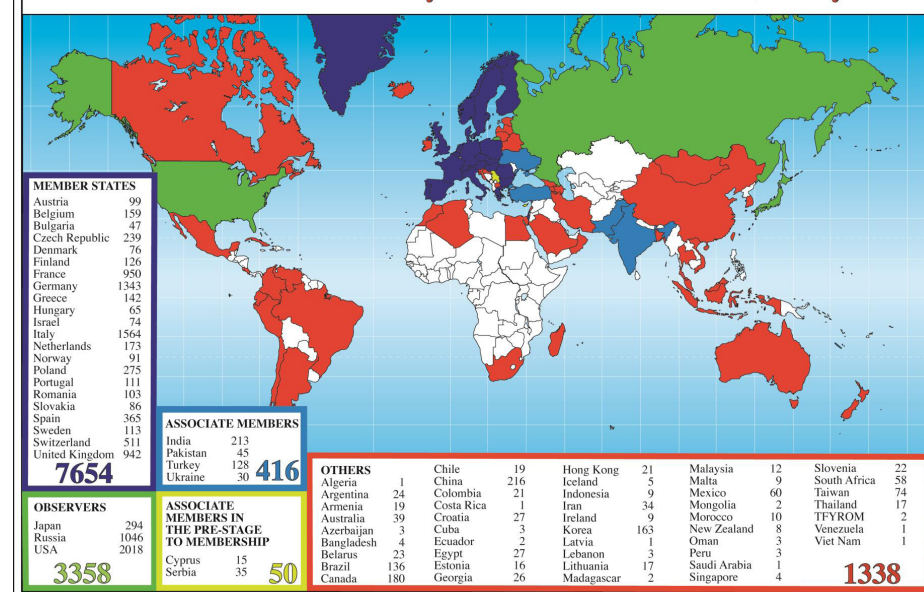
Organisation européenne pour la recherche nucléaire

Le laboratoire européen pour la physique des particules

- organisation internationale
- créé en 1954
- 22 état membres
- Emploie ~2500
- ~12000 utilisateurs

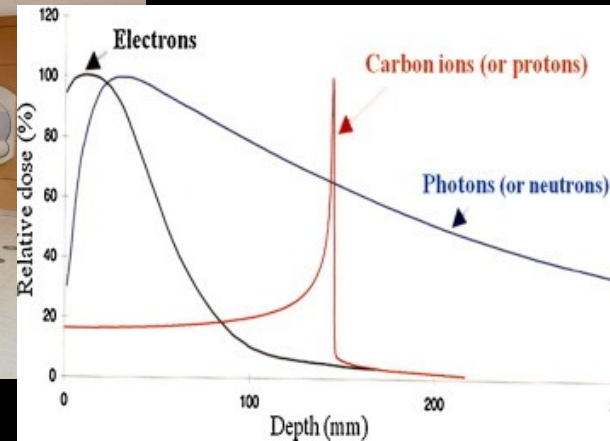
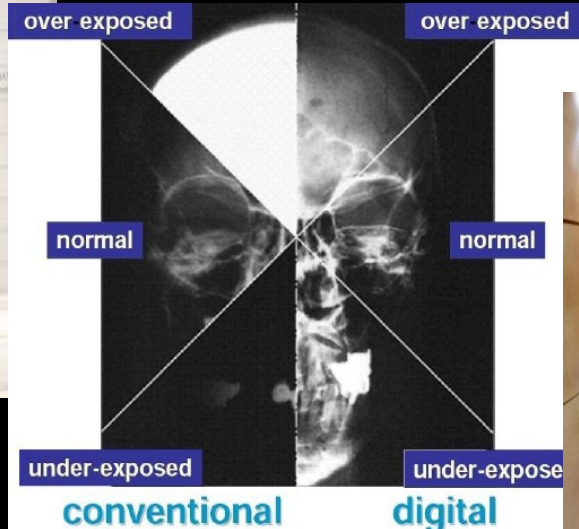
- 500 instituts, 80 pays

Distribution of All CERN Users by Location of Institute on 12 January 2017



- Nombreuses découvertes scientifiques et techniques / Plusieurs prix Nobel
- Formidable lieu de collaboration internationale
- Programme d'étudiant d'été

A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?



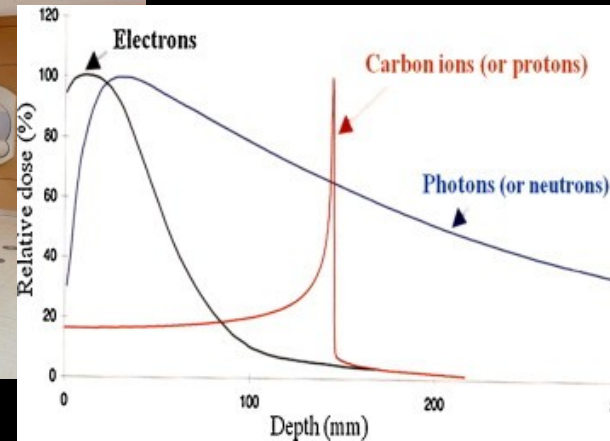
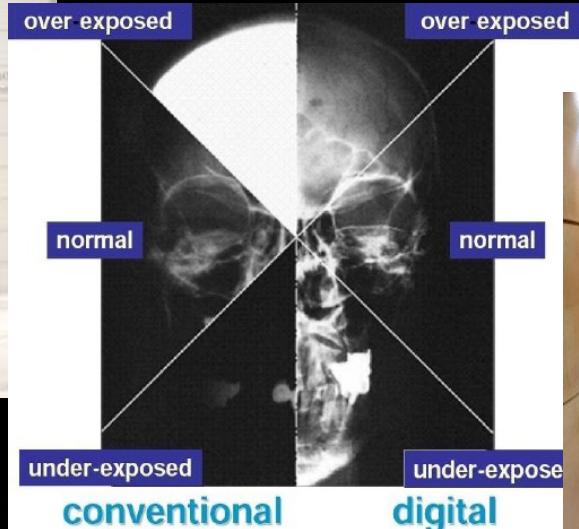
Running jobs: 246791
Transfer rate: 13.98 GiB/sec



Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
© 2012 Google
US Dept of State Geographer
© 2009 GeoBasis-DE/BKG



A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?

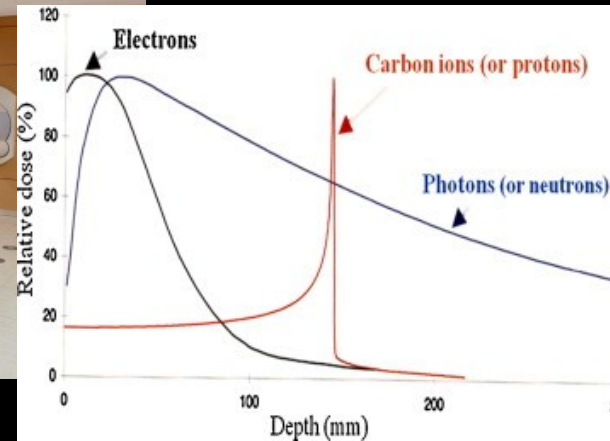
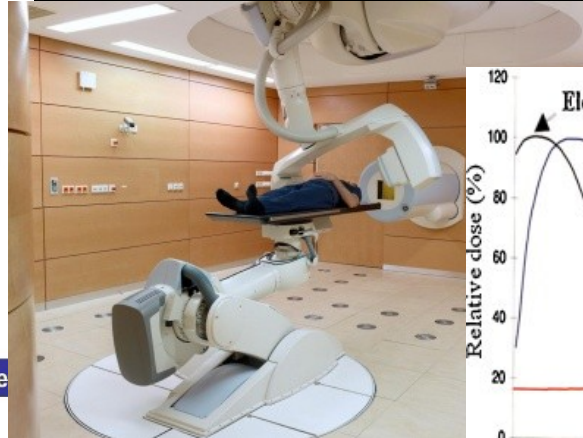
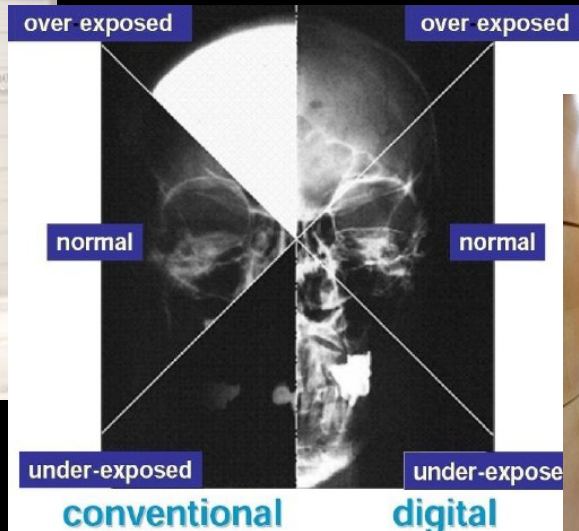


Running jobs: 246791
Transfer rate: 13.98 GiB/sec



► Le Web a été inventé au CERN !

A quoi sert la recherche fondamentale en physique des particules ?

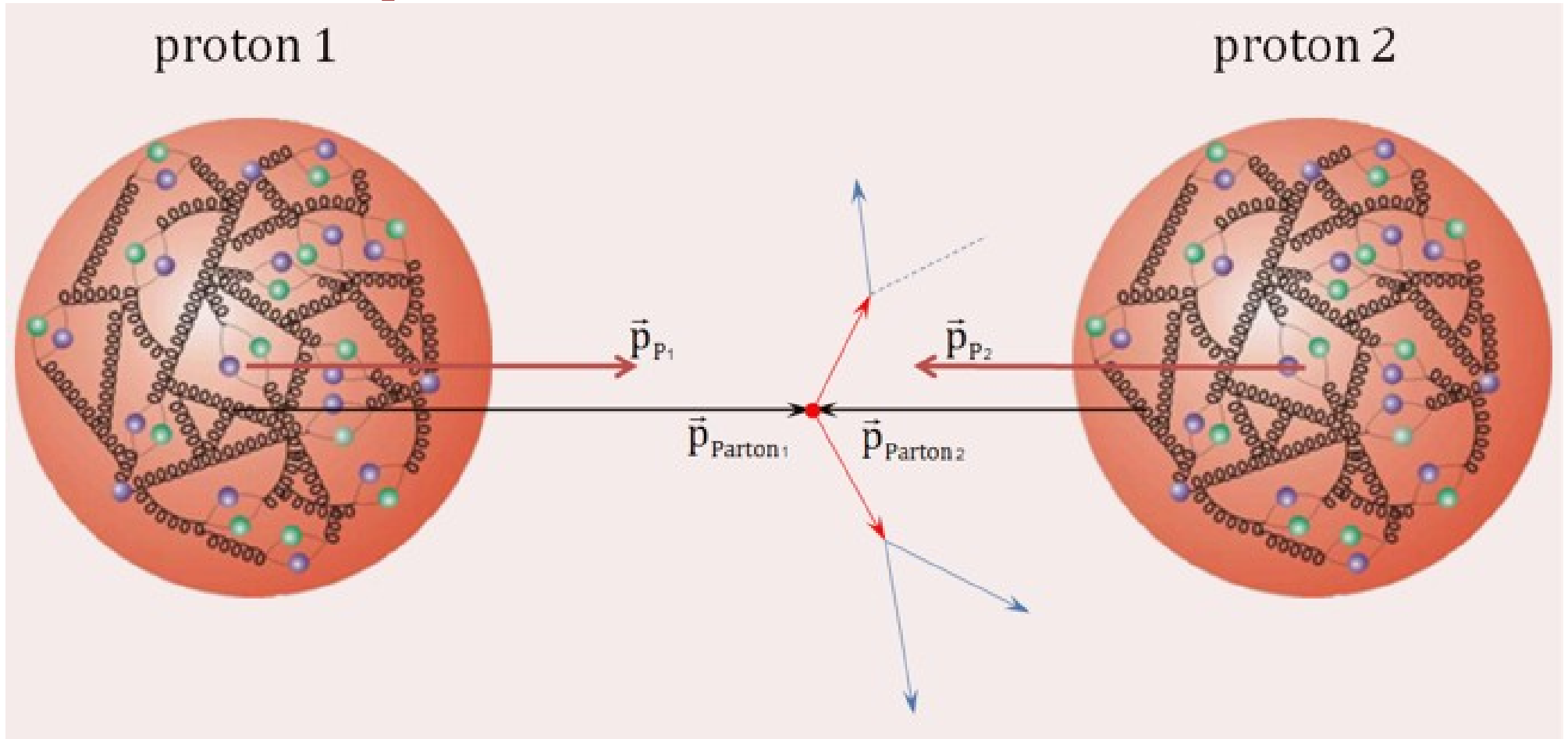


aujourd'hui !

► Le Web a été inventé au CERN !



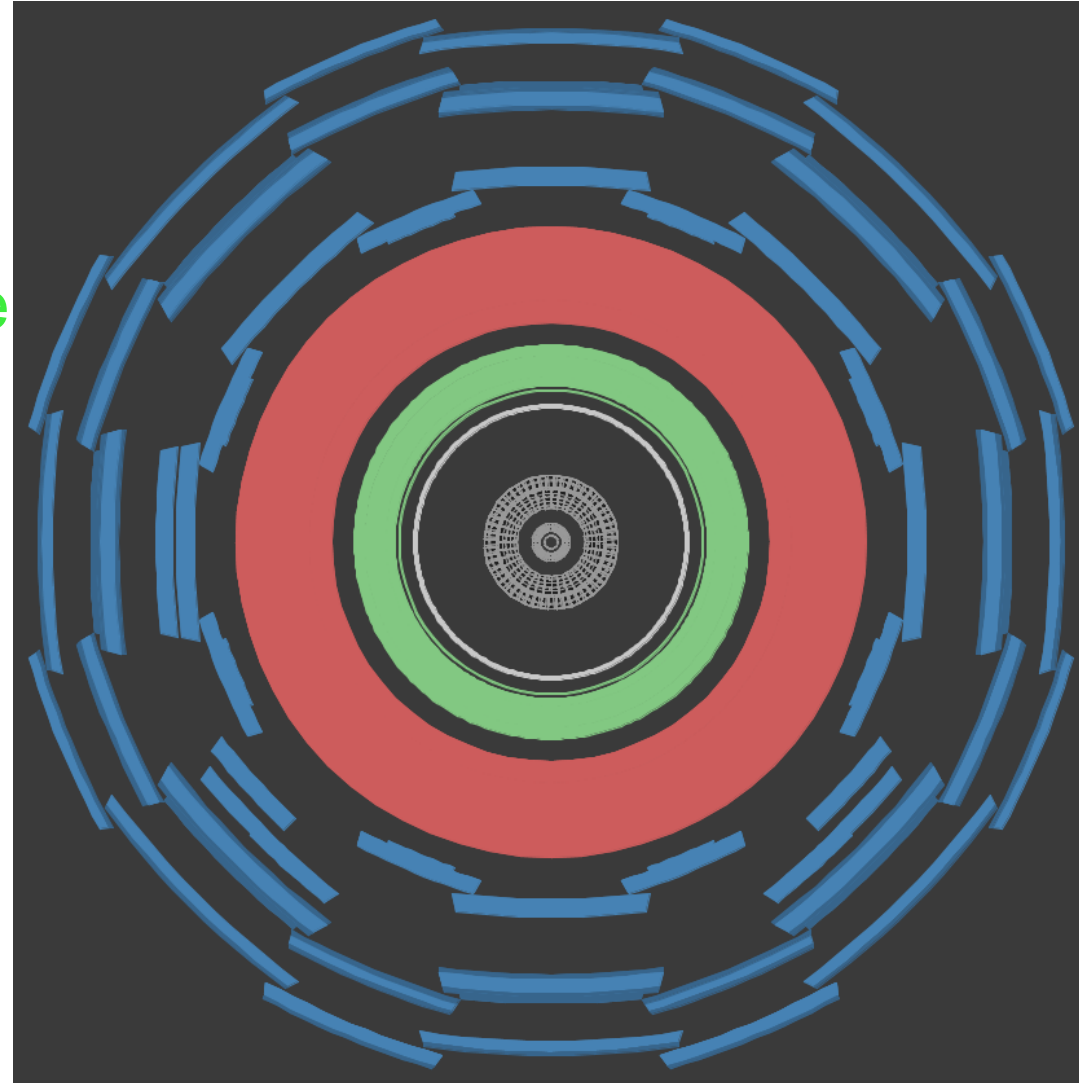
Deux protons se rencontrent...



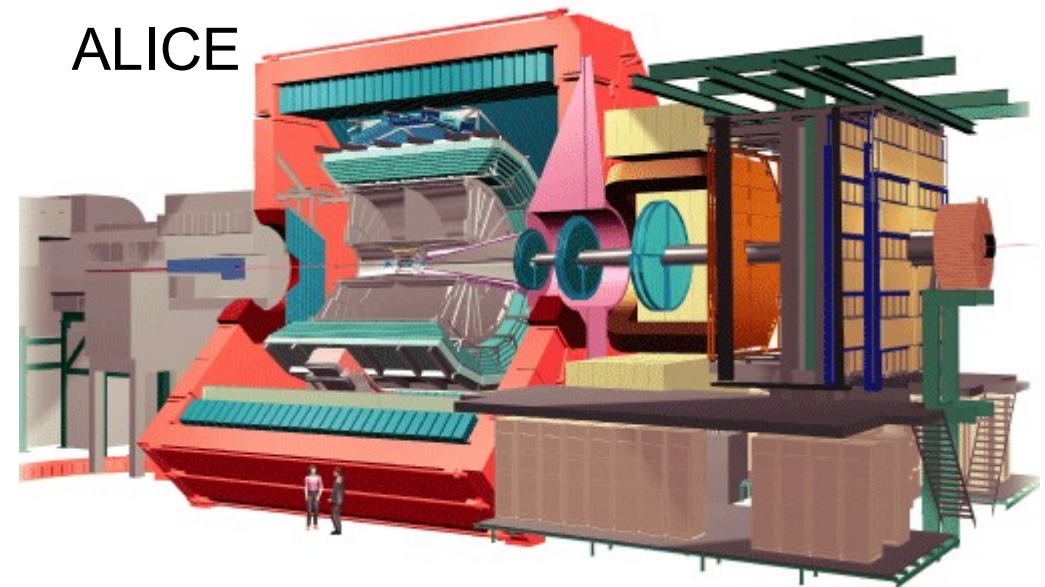
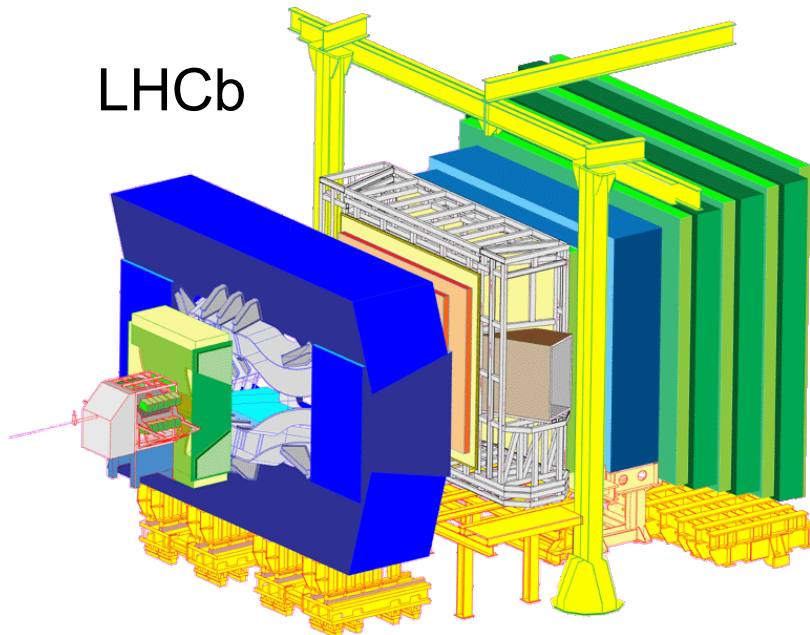
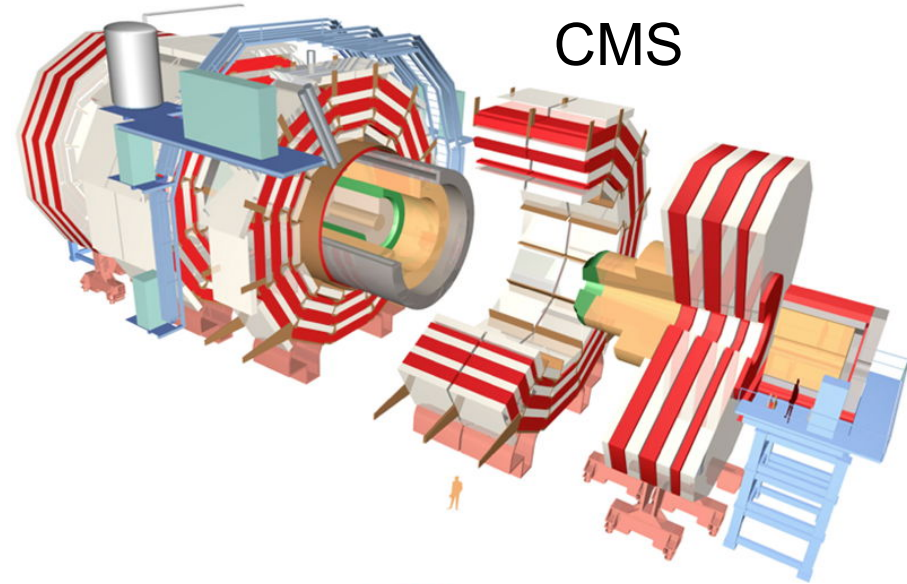
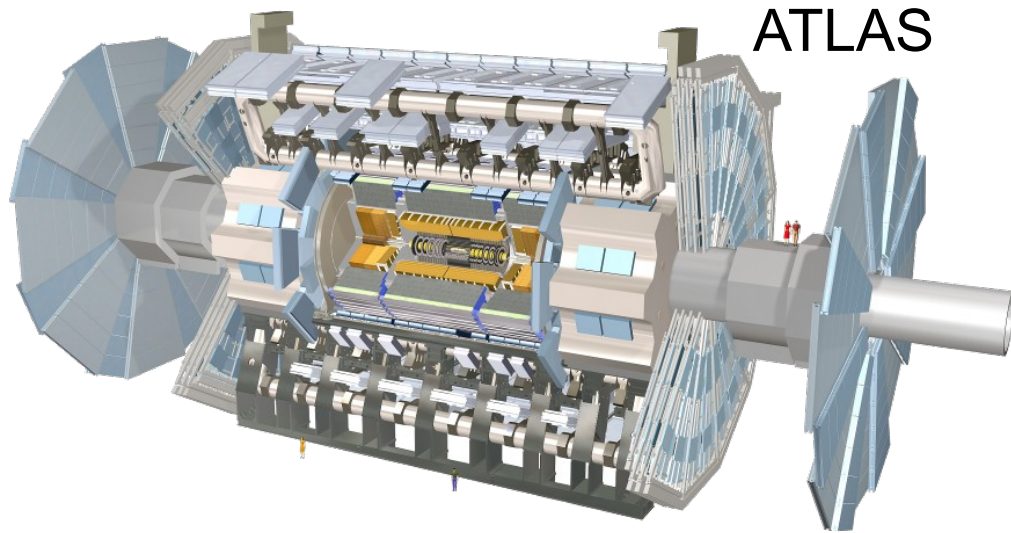
- Collision proton-proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)
- Jamais deux fois la même collision → mesures statistiques
- Traces de la collision mesurées dans des détecteurs autour du point d'interaction

Un détecteur, qu'est-ce que c'est ?

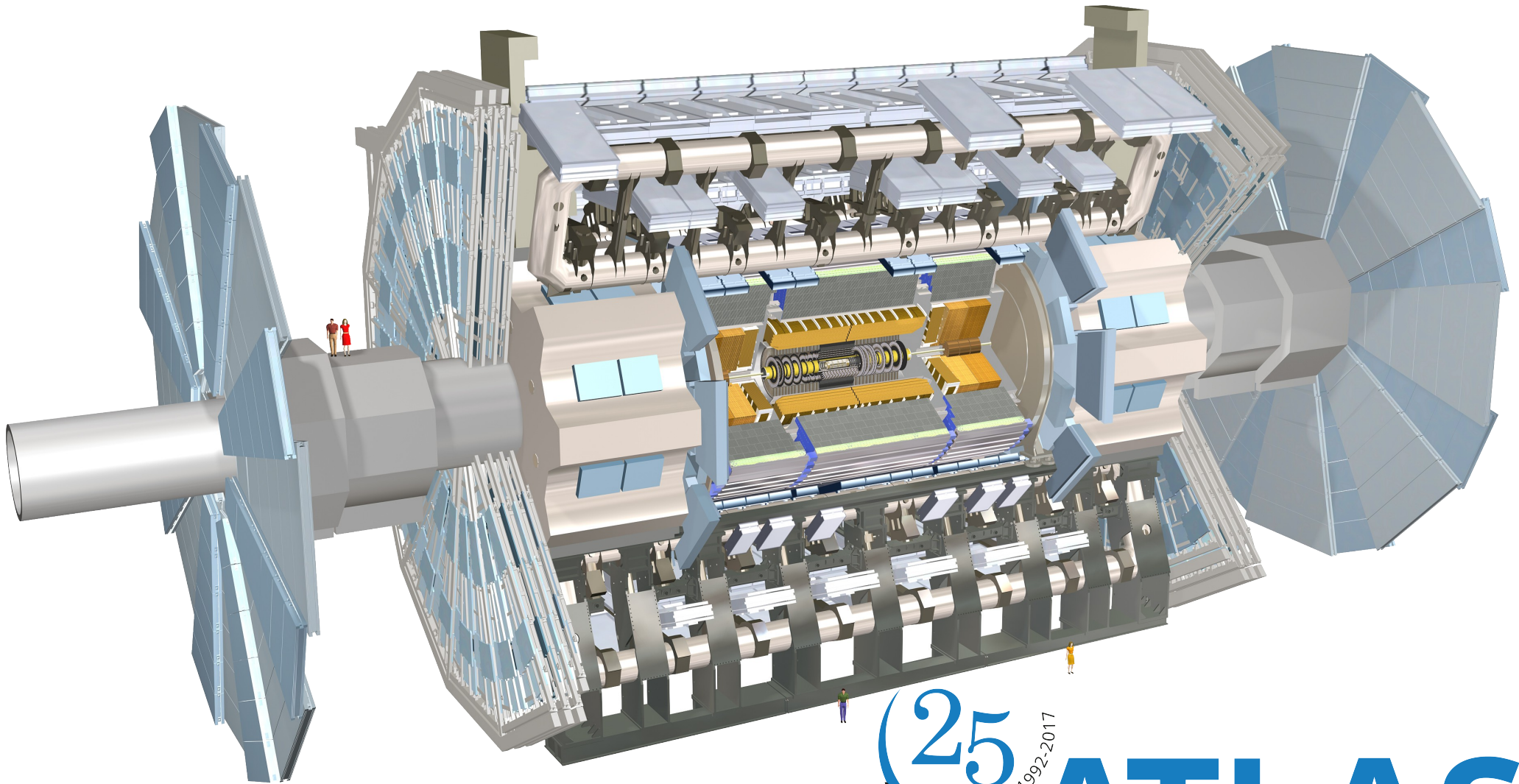
- Détecteur interne (trajectographe)
 - ▶ Mesure charge et impulsion des particules chargées, dans un champ magnétique
- Calorimètre électromagnétique
 - ▶ Mesure l'énergie des électrons, positrons et photons
- Calorimètre hadronique
 - ▶ Mesure l'énergie des hadrons (particules contenant des quarks), comme les protons, neutrons, pions, etc.
- Détecteur à muons
 - ▶ Mesure la charge et l'impulsion des muons



Les détecteurs géants du LHC



Le détecteur ATLAS



ATLAS
EXPERIMENT

La collaboration ATLAS



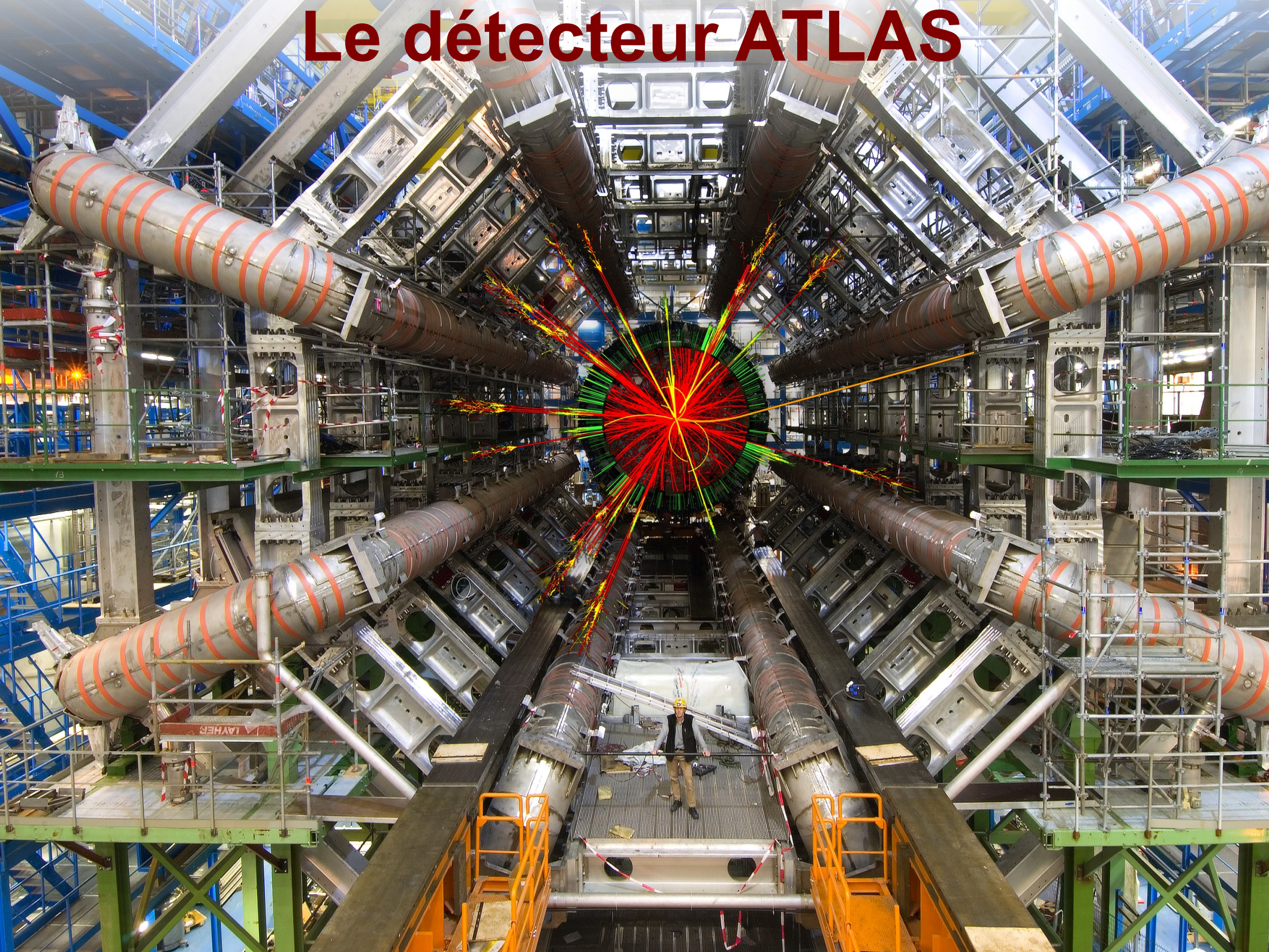
La collaboration ATLAS

38 pays
174 instituts
3000 scientifiques

<http://atlas.ch>

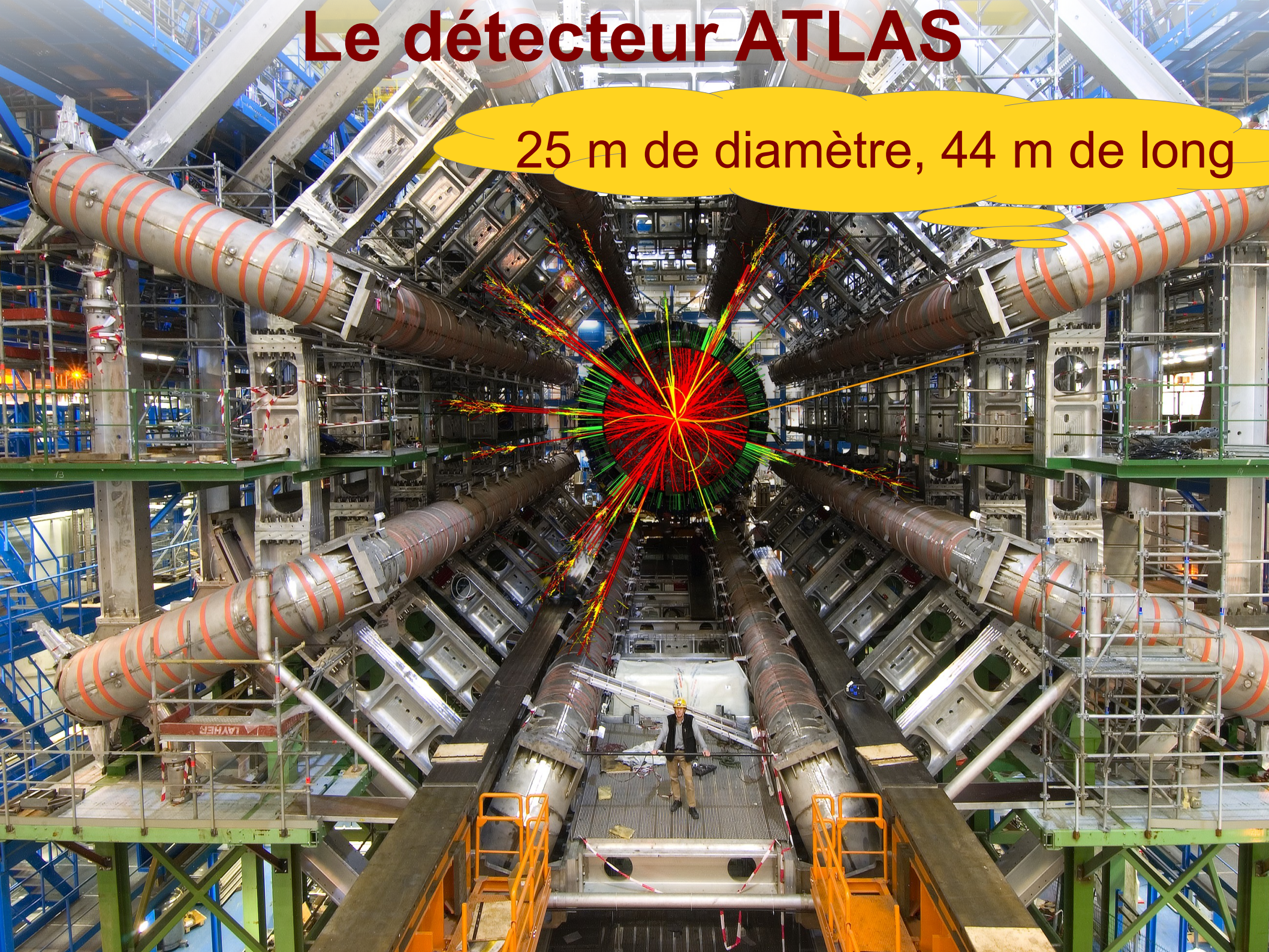


Le détecteur ATLAS



Le détecteur ATLAS

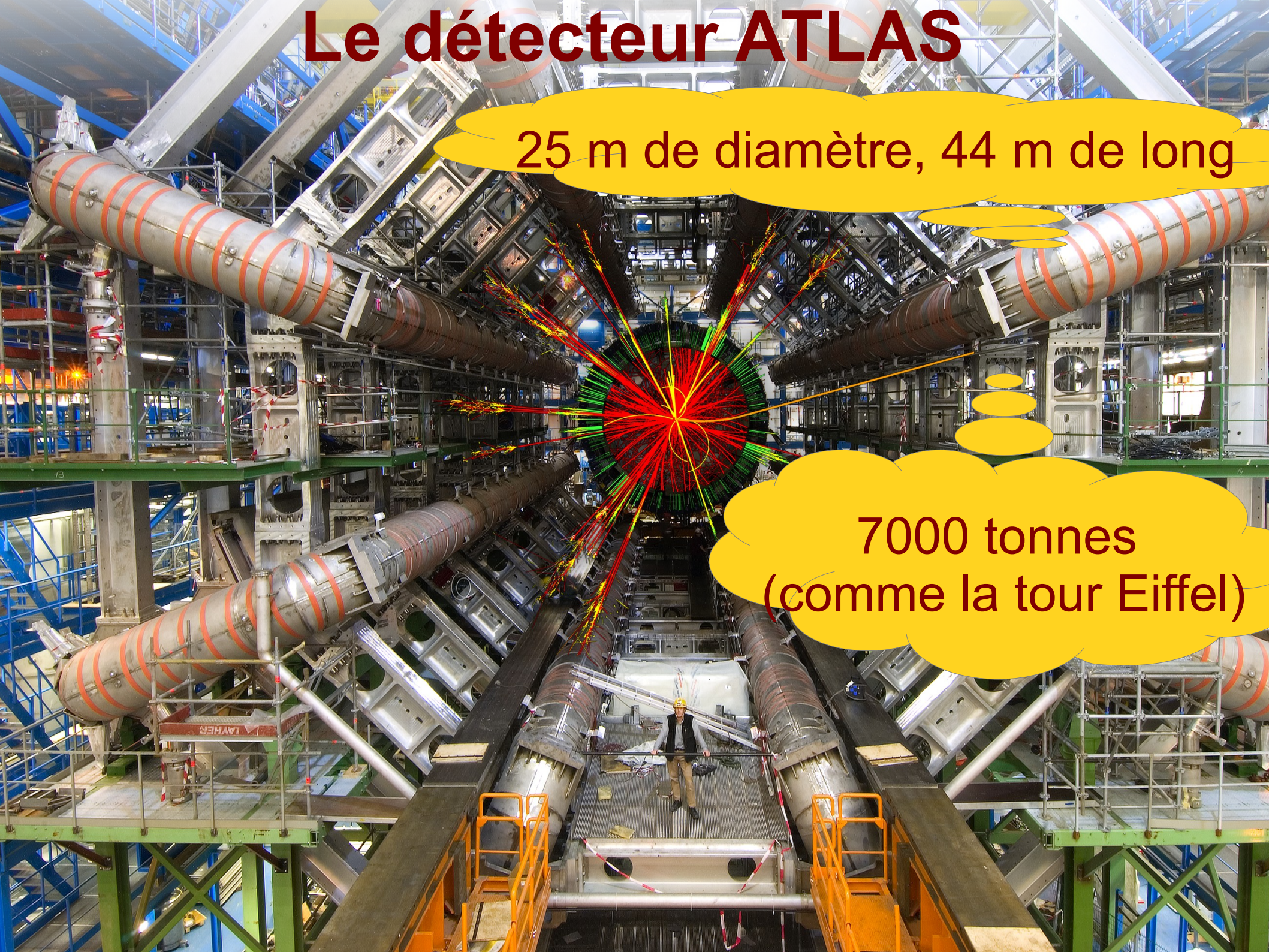
25 m de diamètre, 44 m de long



Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

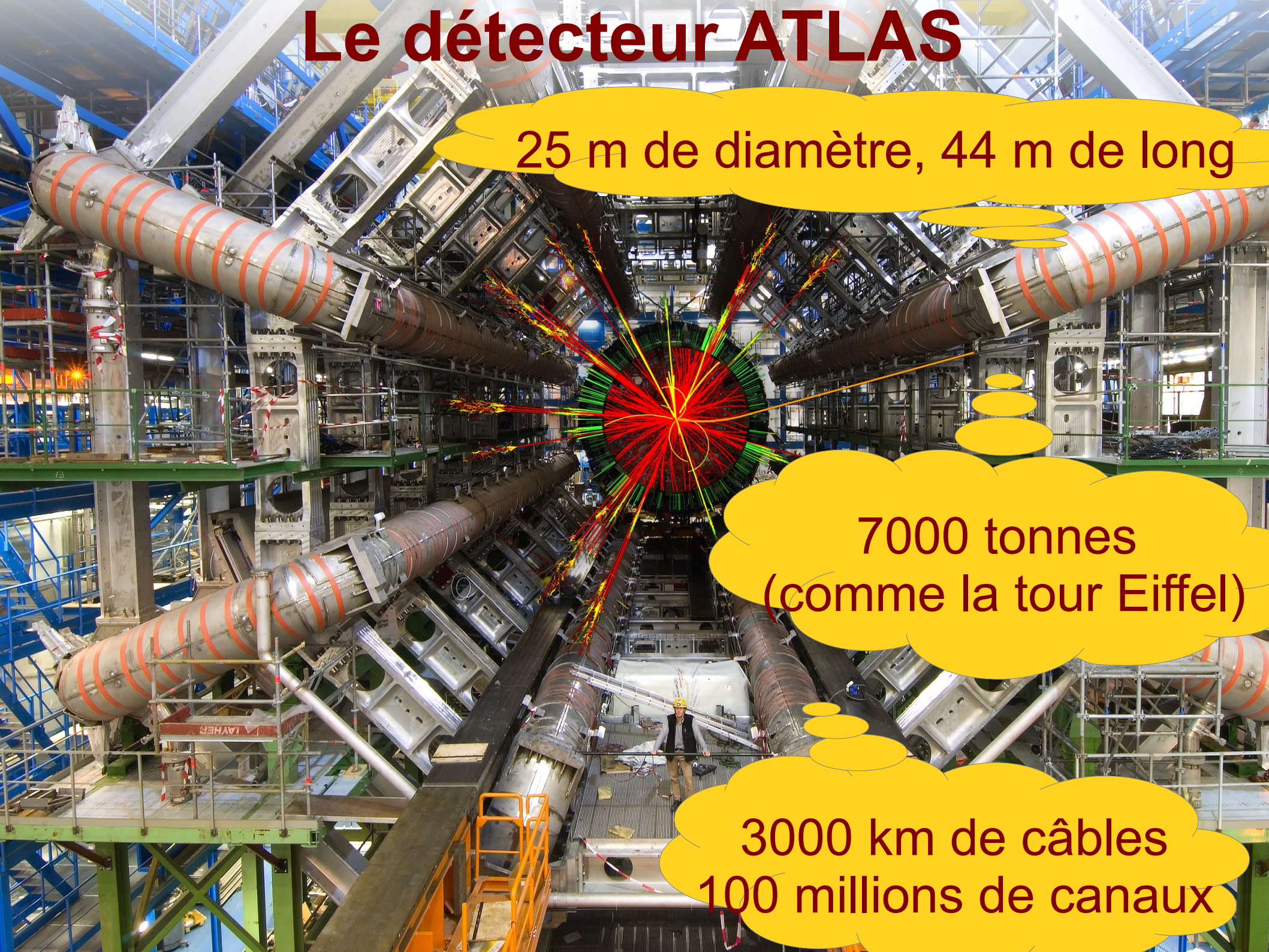


Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

3000 km de câbles
100 millions de canaux



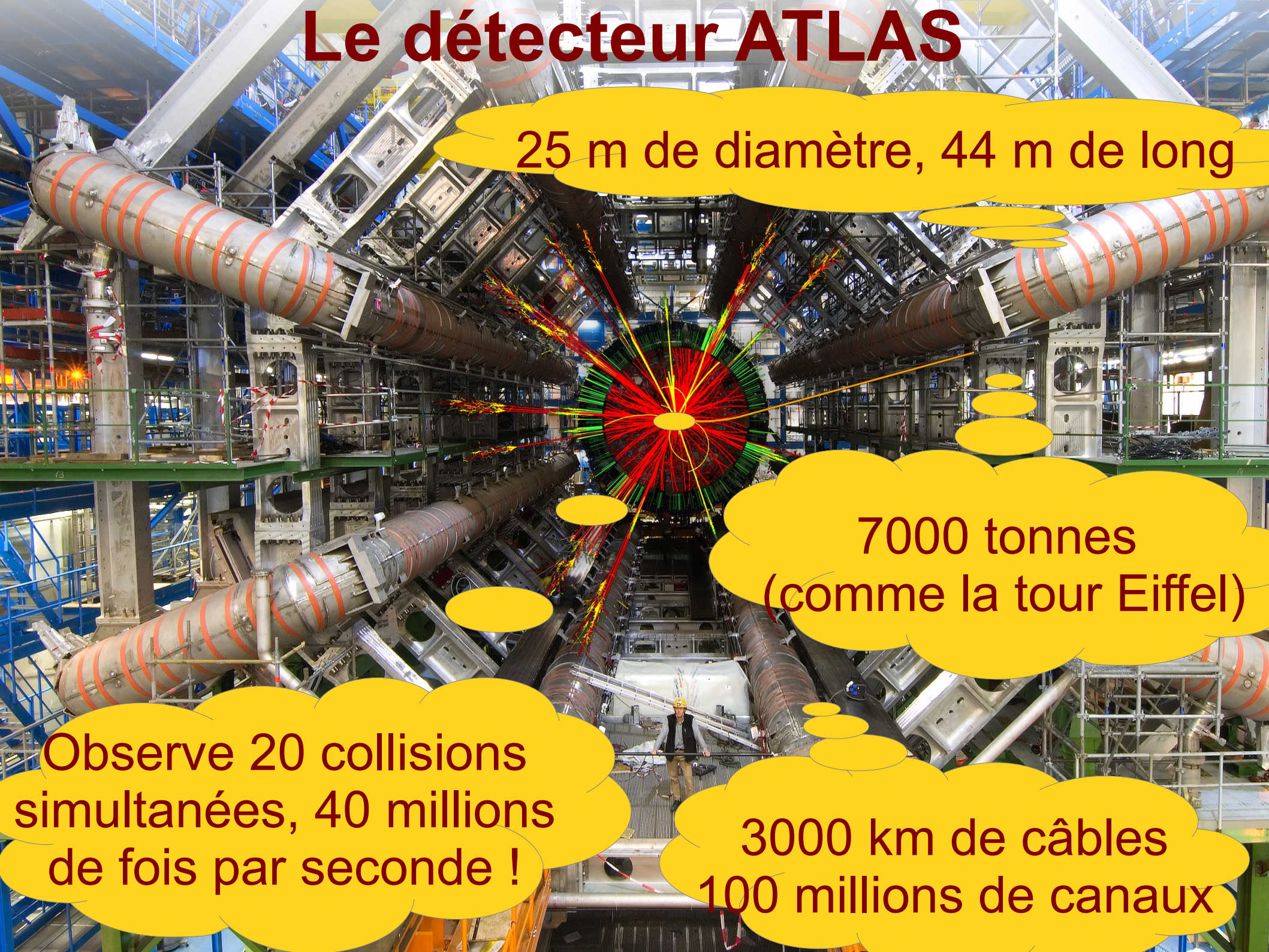
Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

Observe 20 collisions
simultanées, 40 millions
de fois par seconde !

3000 km de câbles
100 millions de canaux



Le détecteur ATLAS

The image shows the interior of the ATLAS detector tunnel. The central feature is a large, circular calorimeter structure with a complex arrangement of red and green cables radiating from its center. The tunnel is lined with large, cylindrical components, likely part of the detector's structure, and is supported by a network of metal beams and scaffolding. A worker wearing a yellow hard hat and safety vest is visible on a platform in the lower center, providing a sense of scale to the massive structure.

25 m de diamètre, 44 m de long

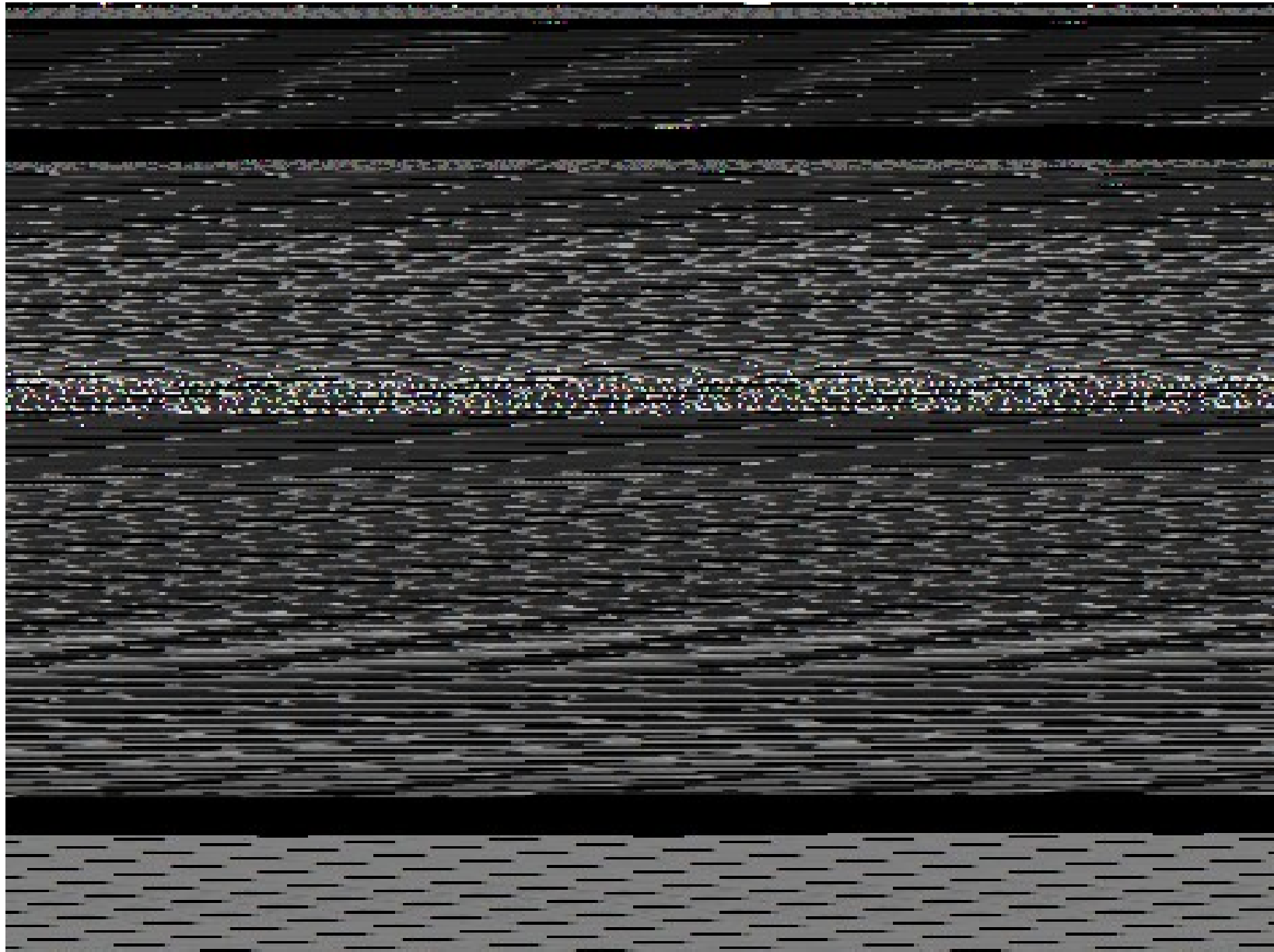
En France :
6 laboratoires CNRS,
1 CEA, 400 personnes
(physiciens, ingénieurs,
étudiants)

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

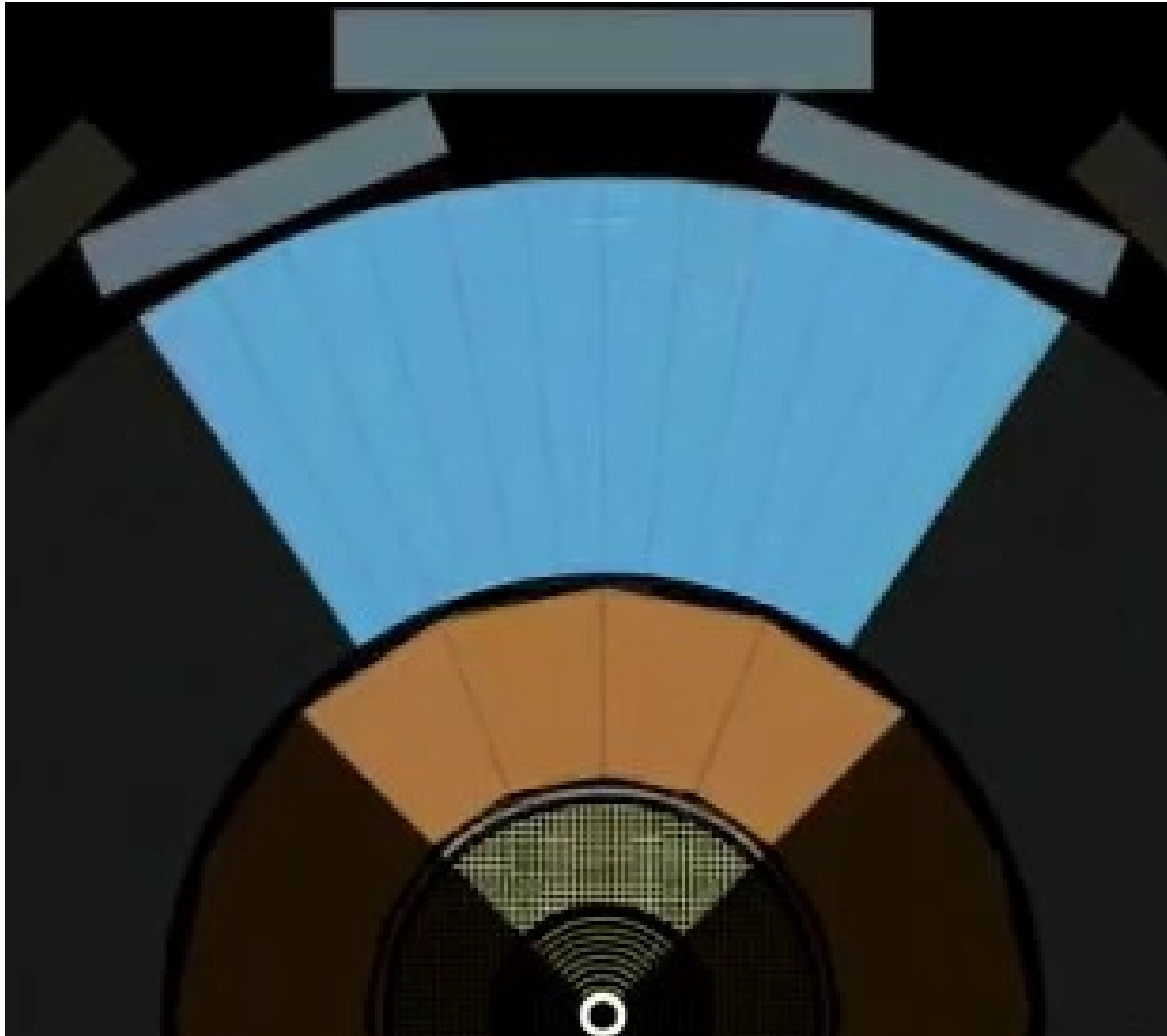
Observe 20 collisions
simultanées, 40 millions
de fois par seconde !

3000 km de câbles
100 millions de canaux

Le détecteur ATLAS avec des explications



Interaction des particules avec le détecteur

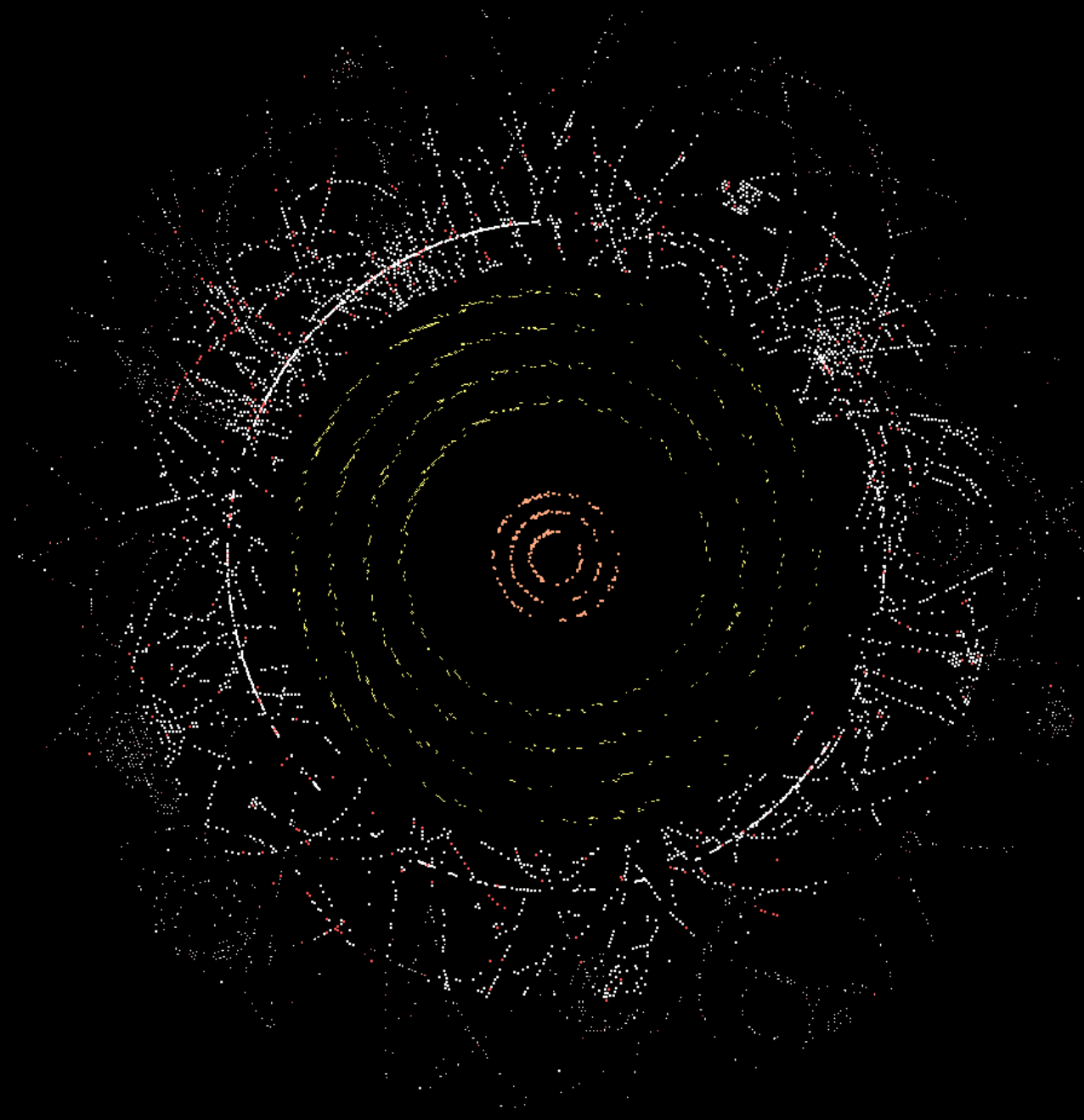


Mesurer le passage des particules dans le détecteur à pixels



- 80 Mégapixels
- 40 millions d'images par seconde
- 1,7 m² de silicium

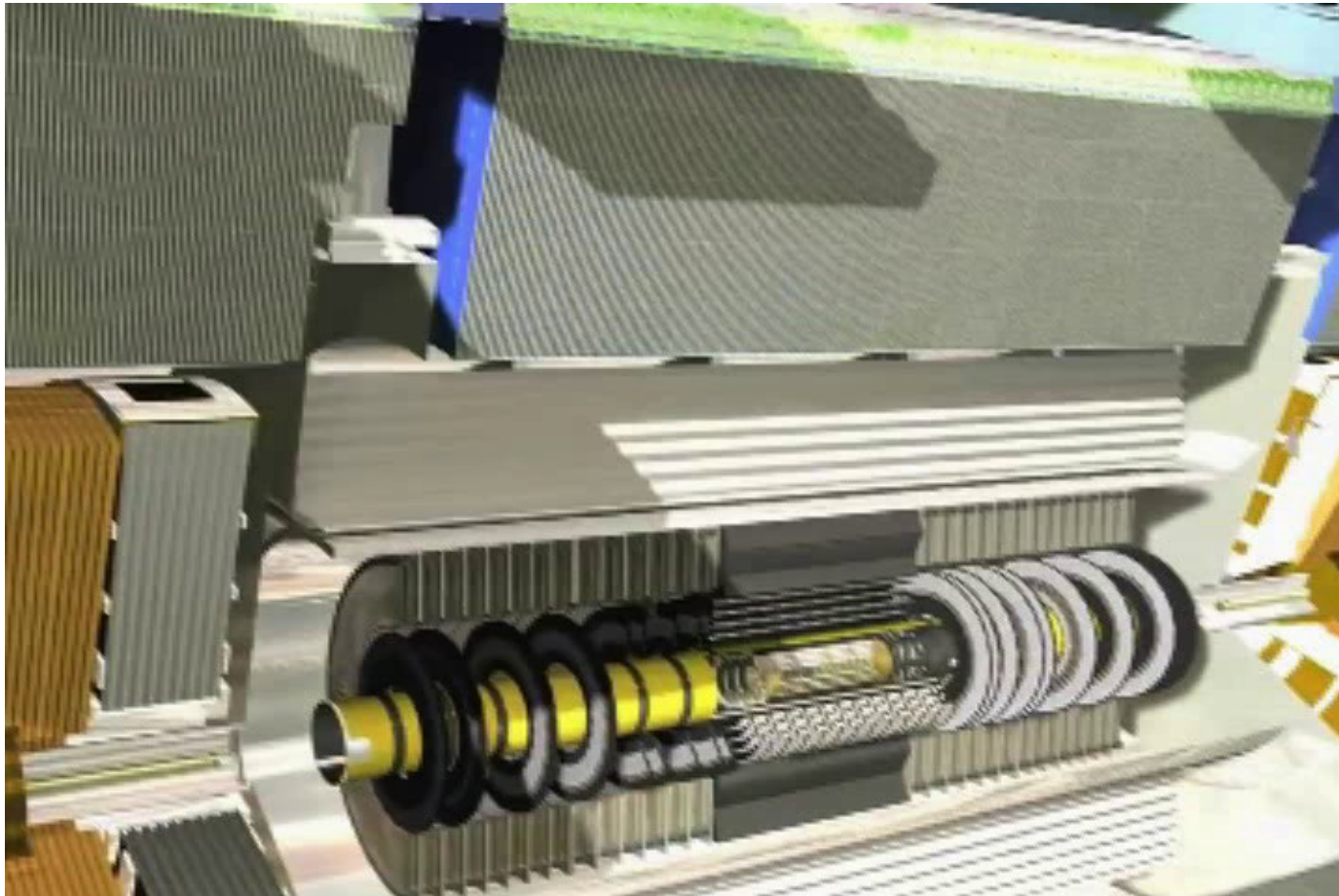
Passage des particules



Reconstruction des trajectoires



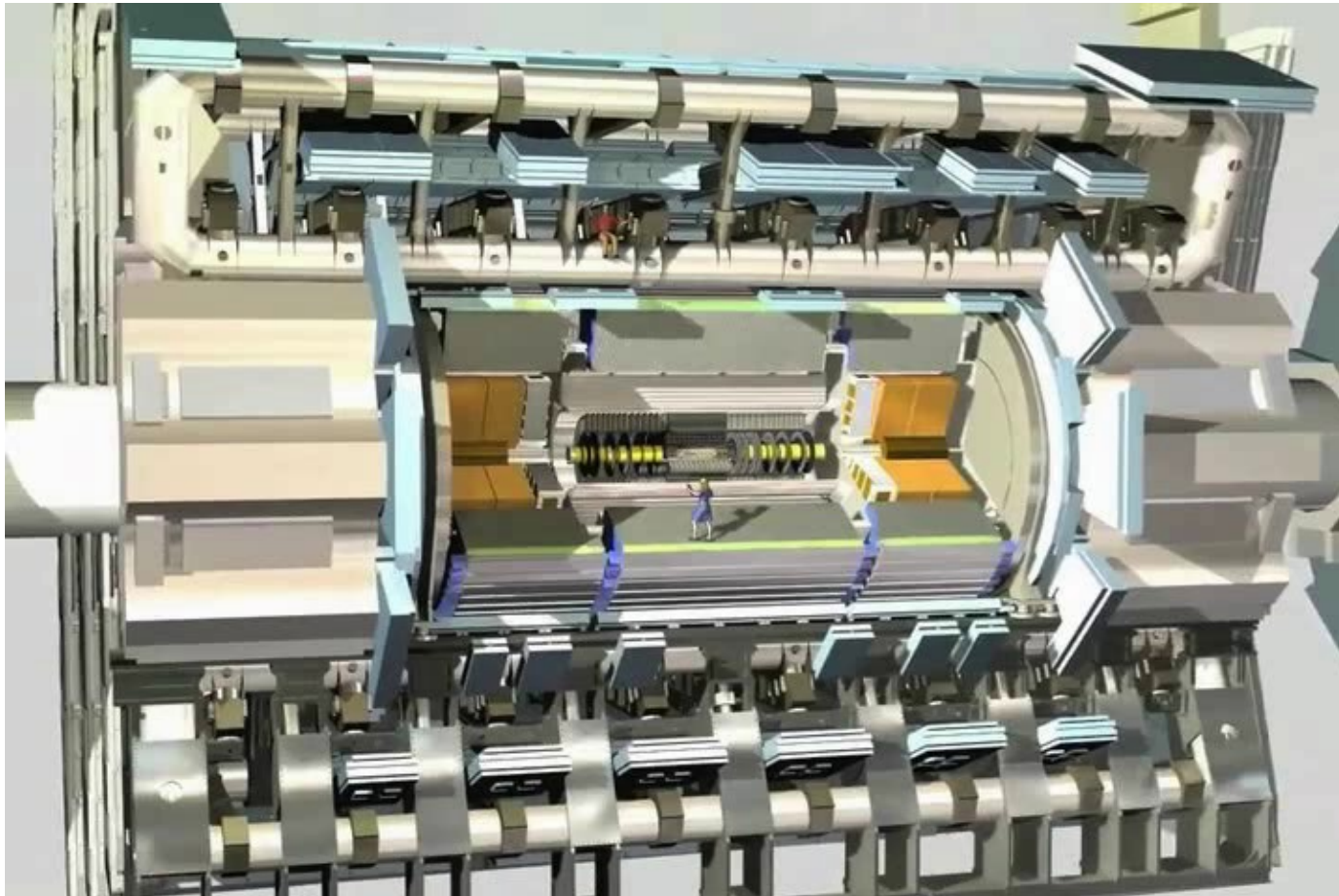
Mesurer l'énergie des particules dans le calorimètre électromagnétique



© CERN

- Argon liquide à -183°C

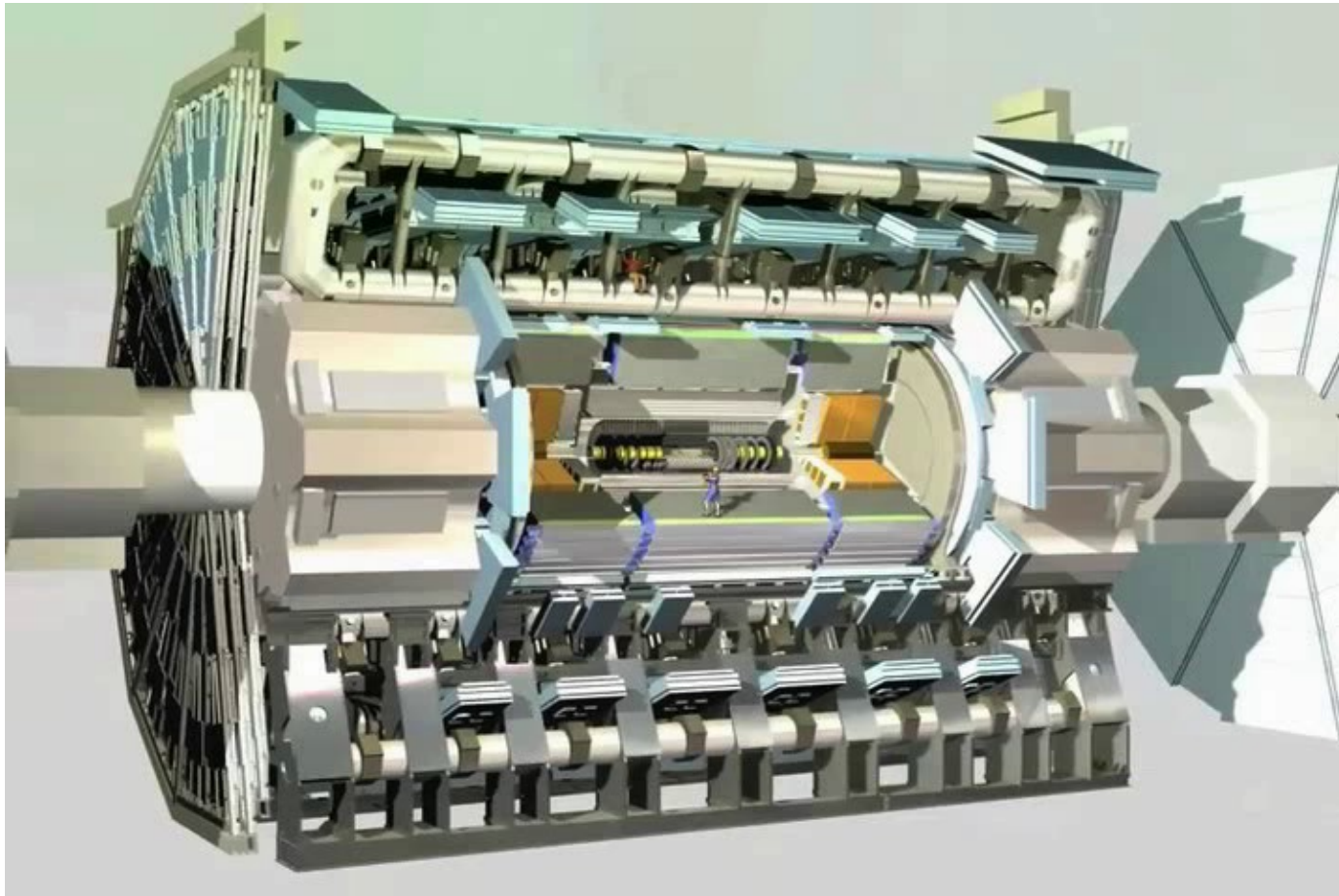
Mesurer l'énergie des particules dans le calorimètre hadronique



© CERN

- 500 000 tuiles de plastique scintillant

Mesurer le passage des particules dans le système à muons



- Champ électrique de 5000 V/mm
- Alignement par faisceaux laser
- Précision de l'ordre de l'épaisseur d'un cheveu sur 25 m de distance

© CERN

Le LHC en action

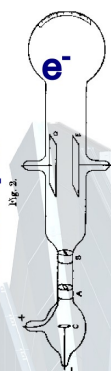


Accélérateur de science

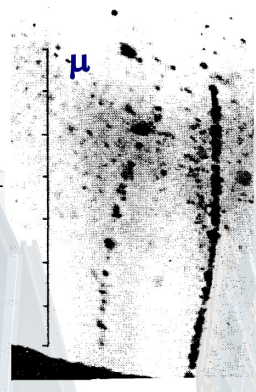
Le modèle standard redécouvert

LHC 2010 : un siècle en un an

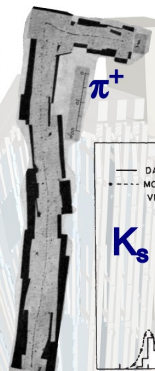
Découverte historique



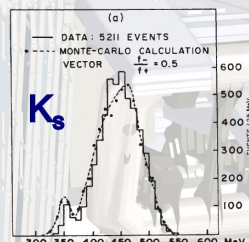
1897



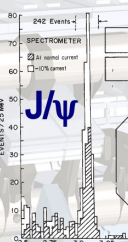
1937



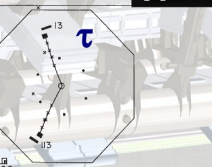
1947



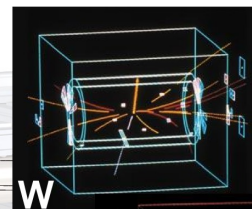
1964



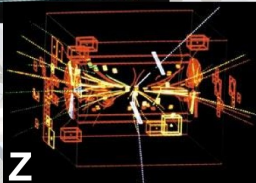
1974



1976

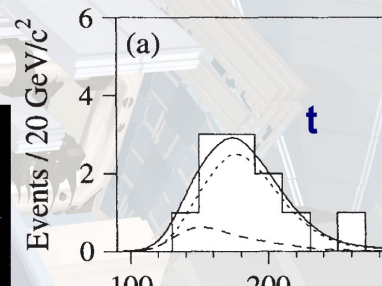


W



Z

1983

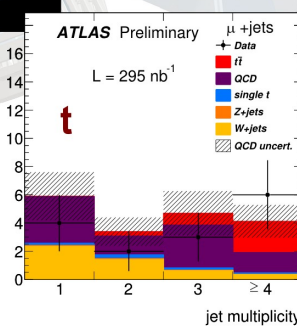
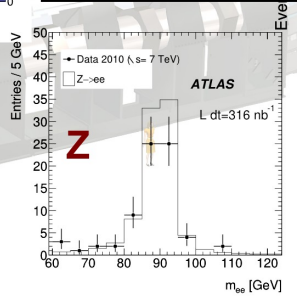
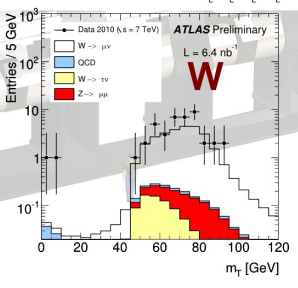
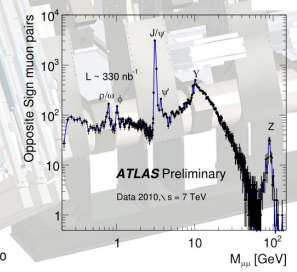
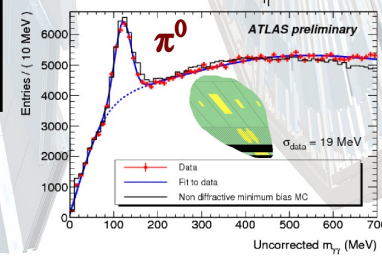
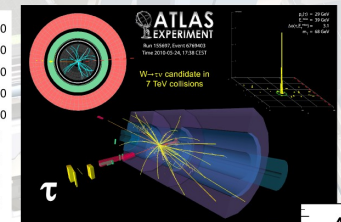
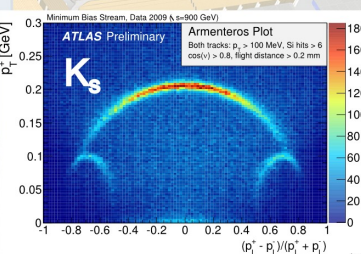
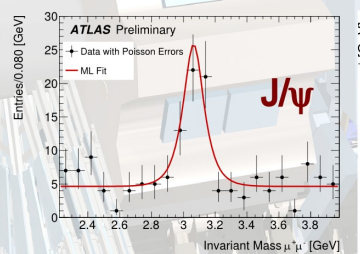
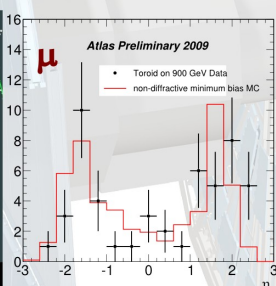
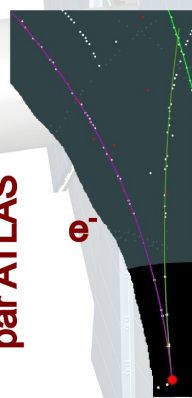


1995

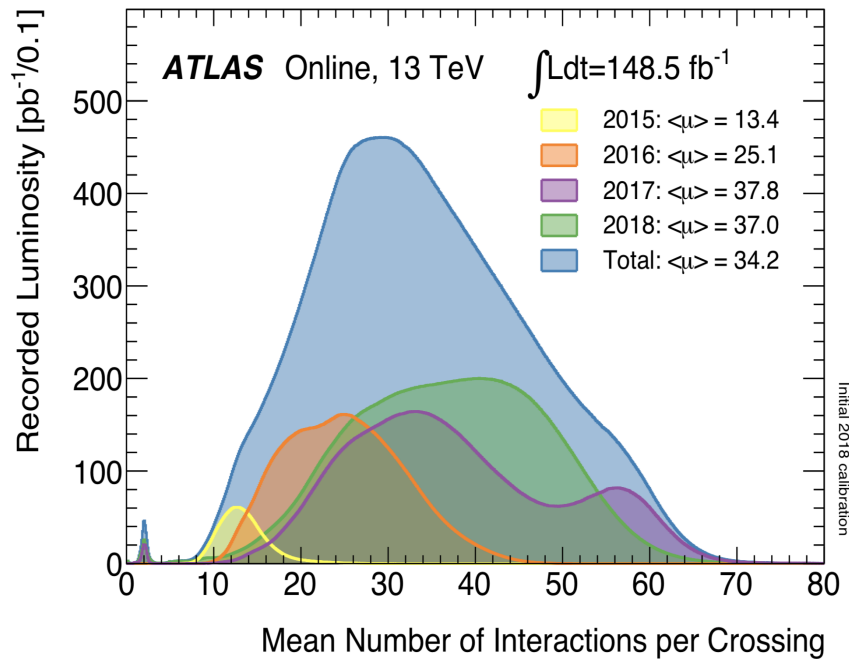
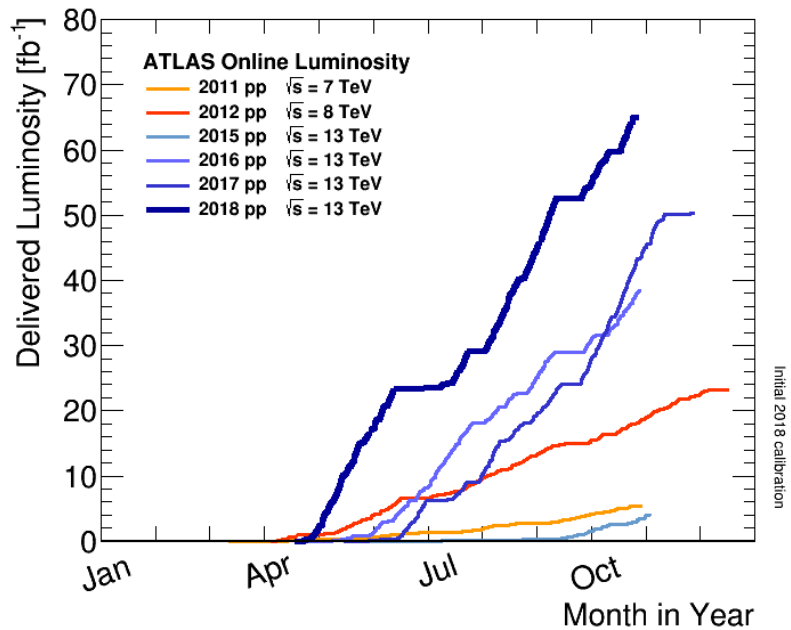
déc 2009

août 2010

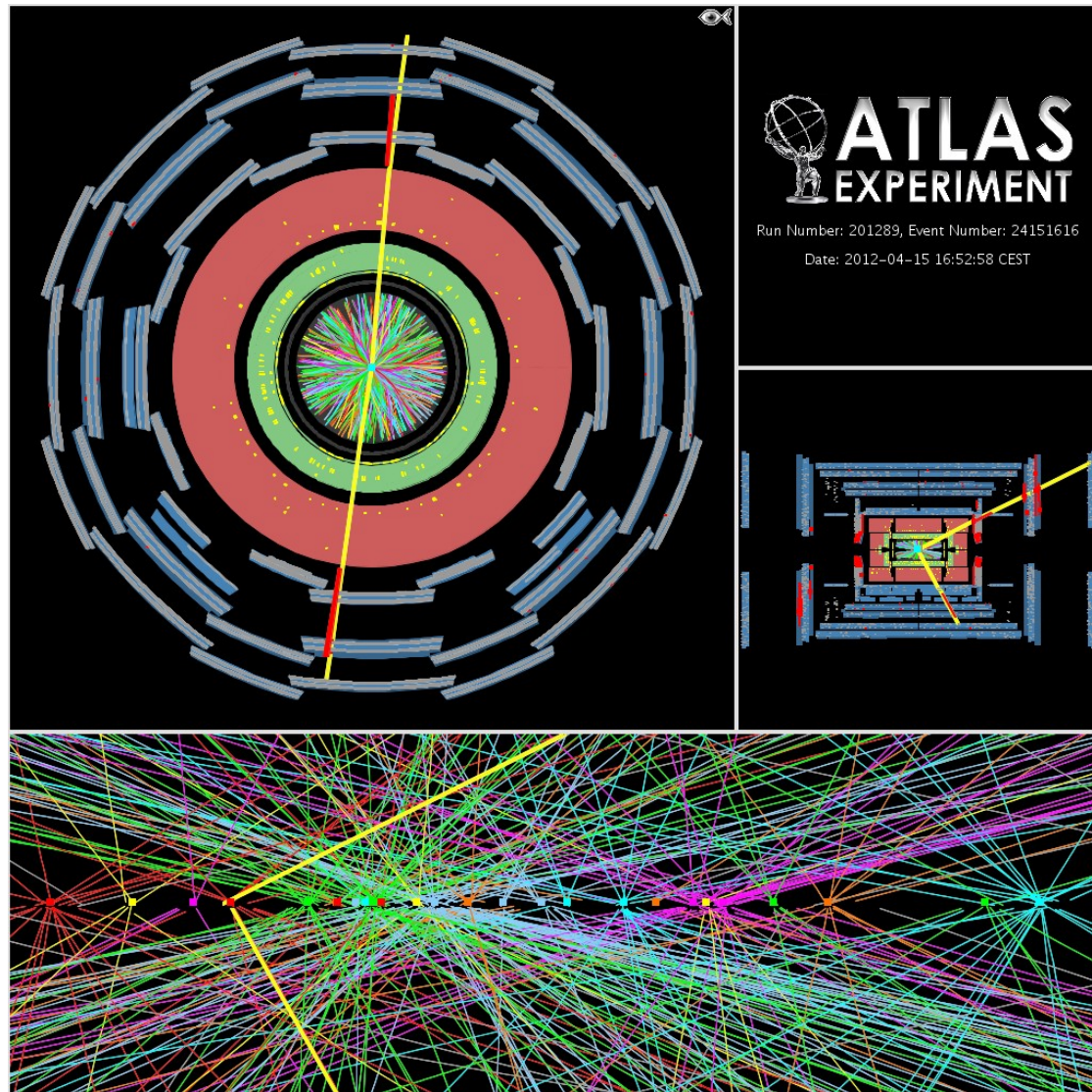
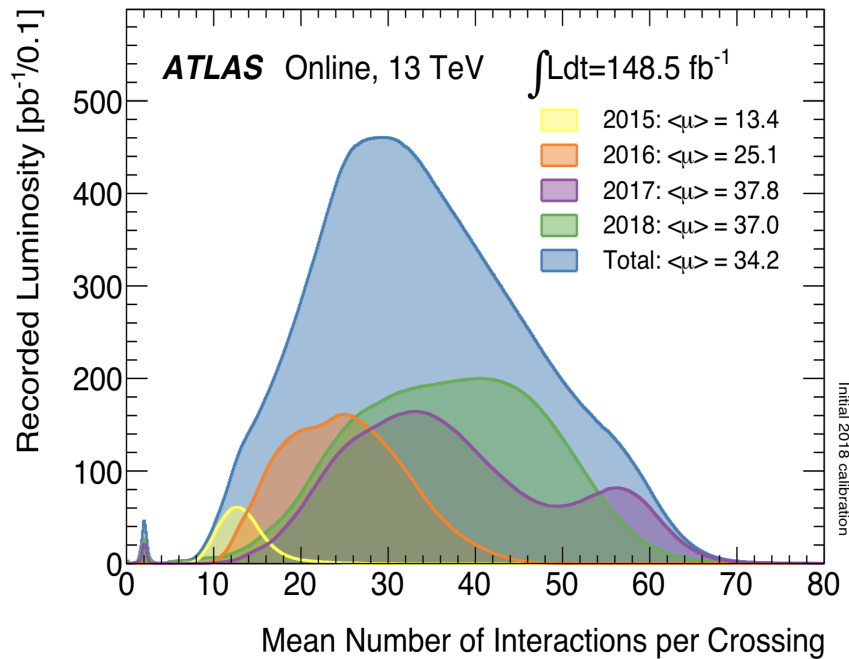
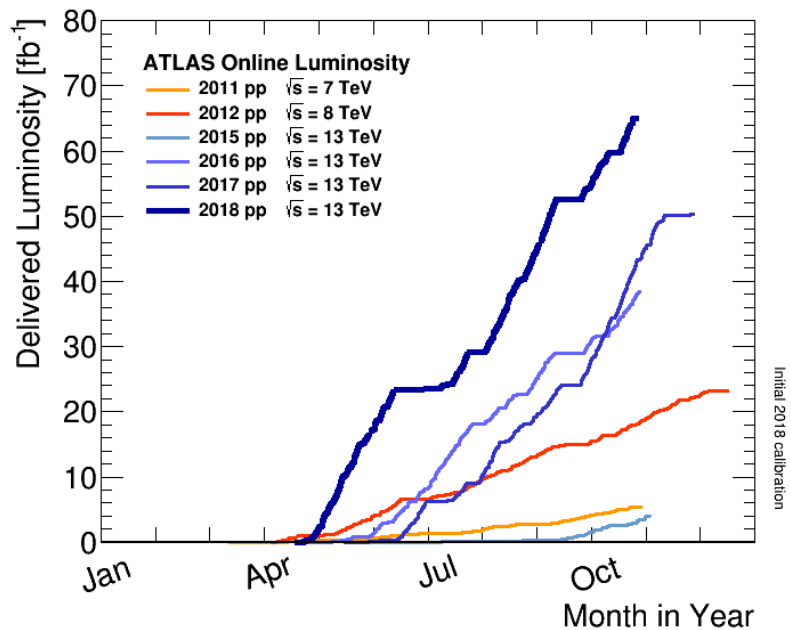
Redécouverte par ATLAS



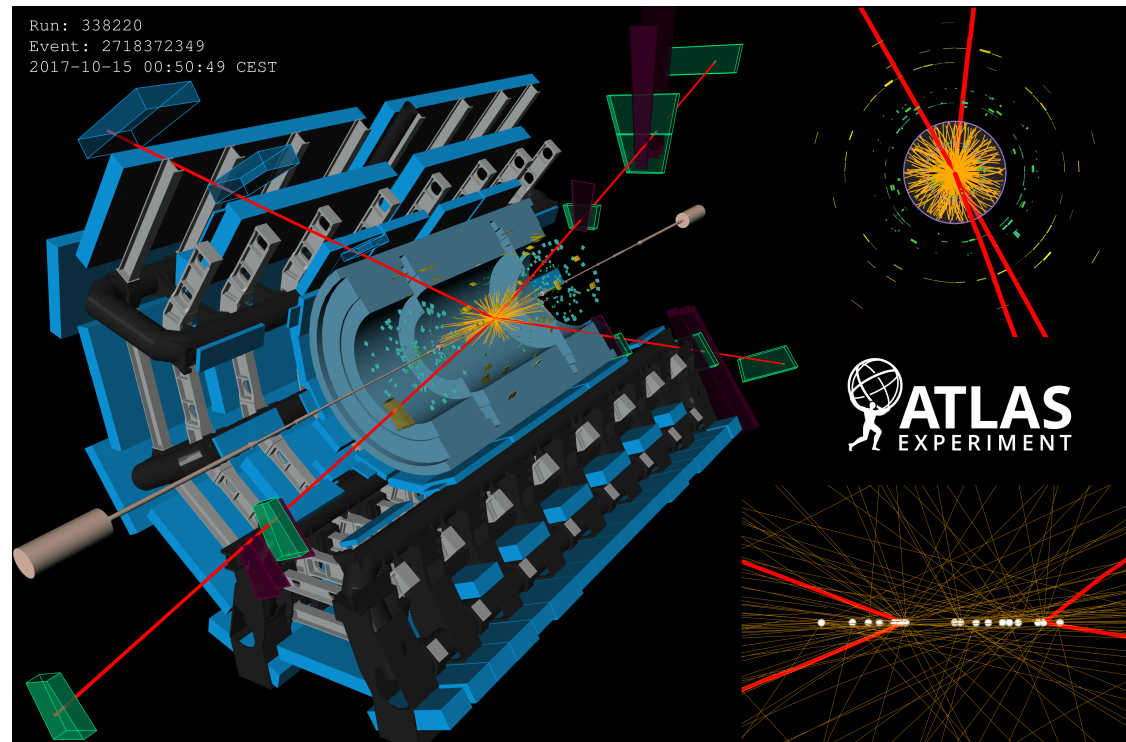
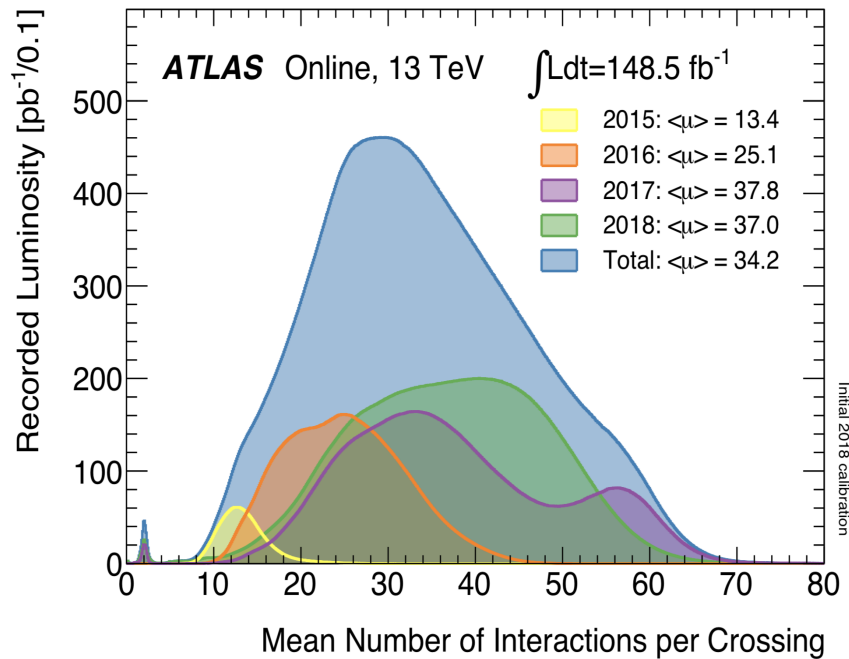
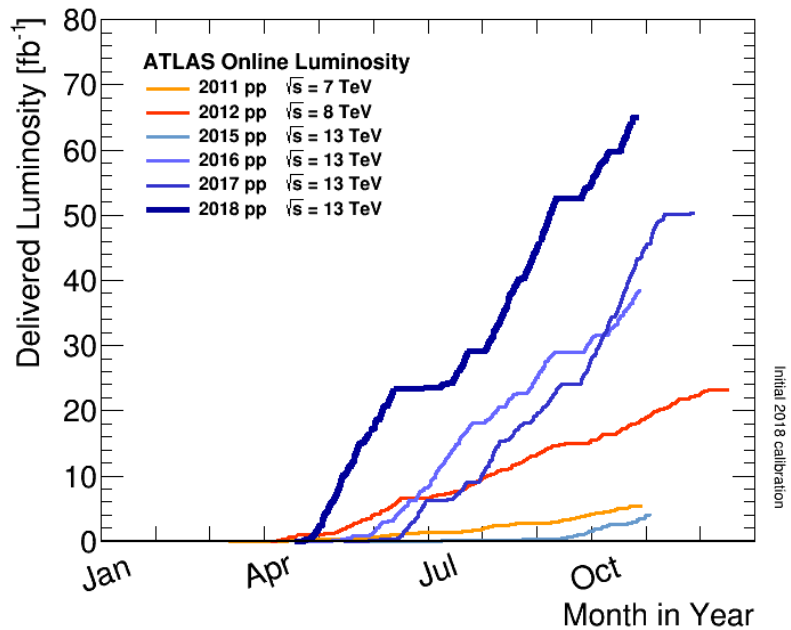
Accumulation des données



Accumulation des données

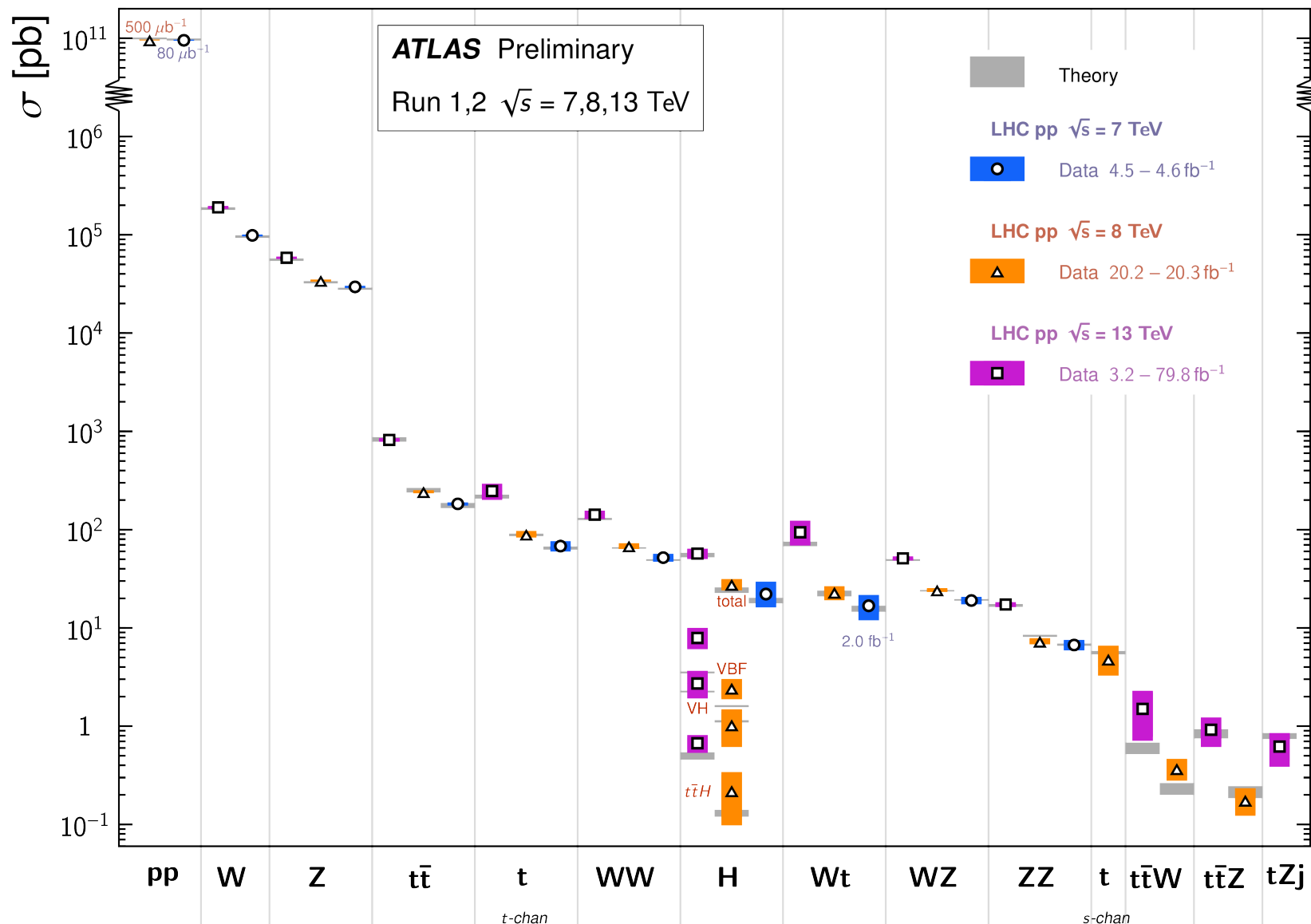


Accumulation des données



Modèle standard : état des lieux

Standard Model Total Production Cross Section Measurements *Status: July 2018*

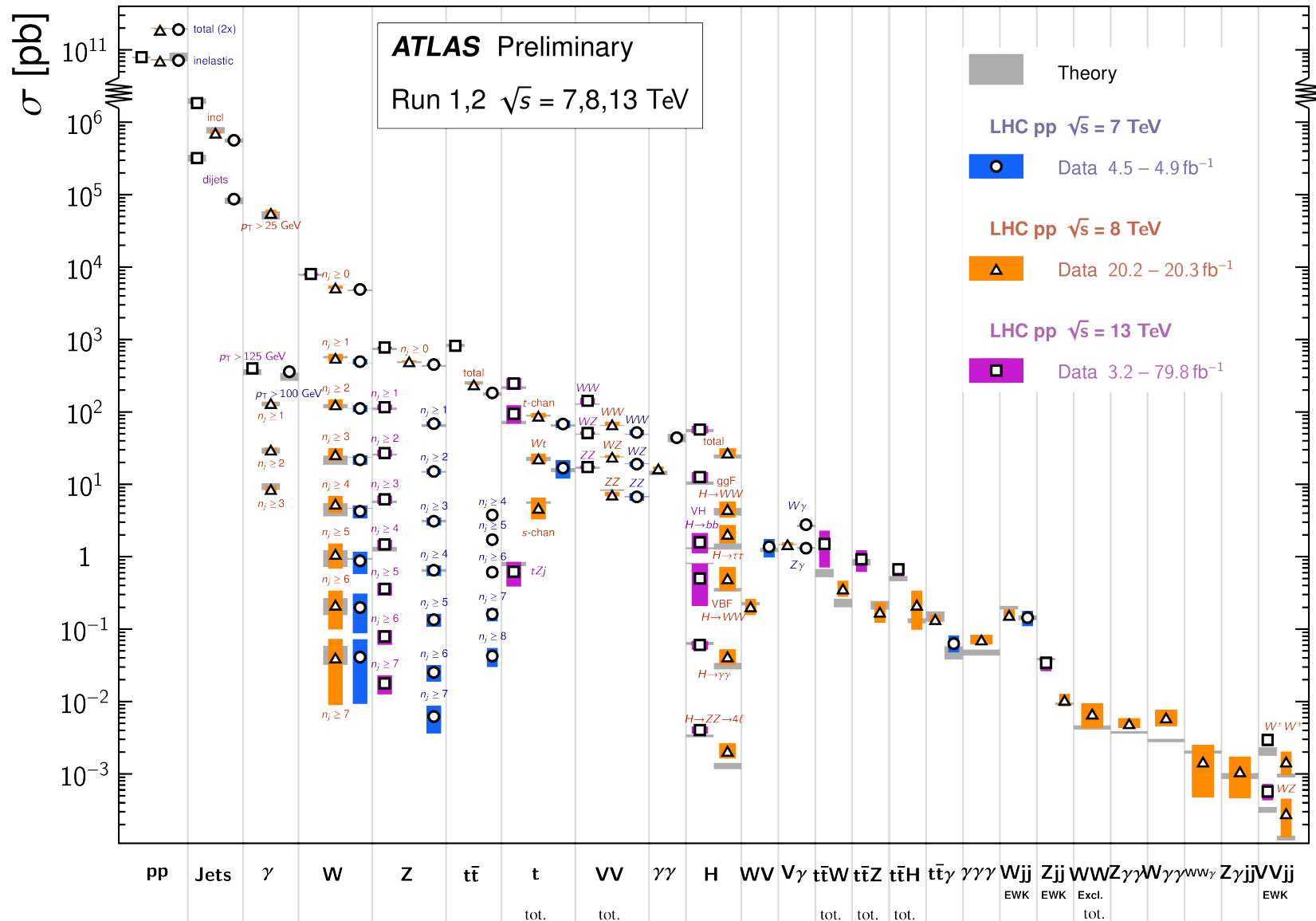


- Très bon accord avec les prédictions théoriques !

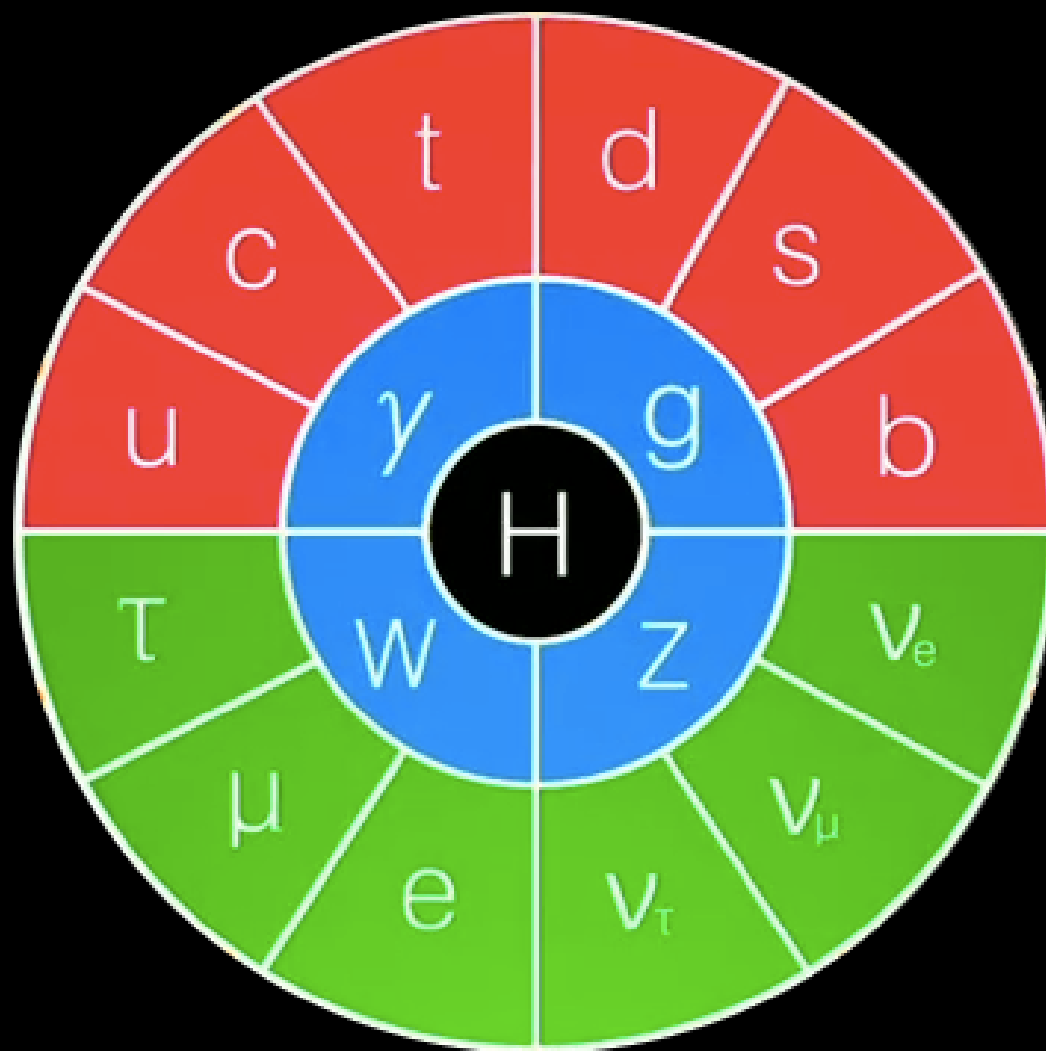
Modèle standard : état des lieux

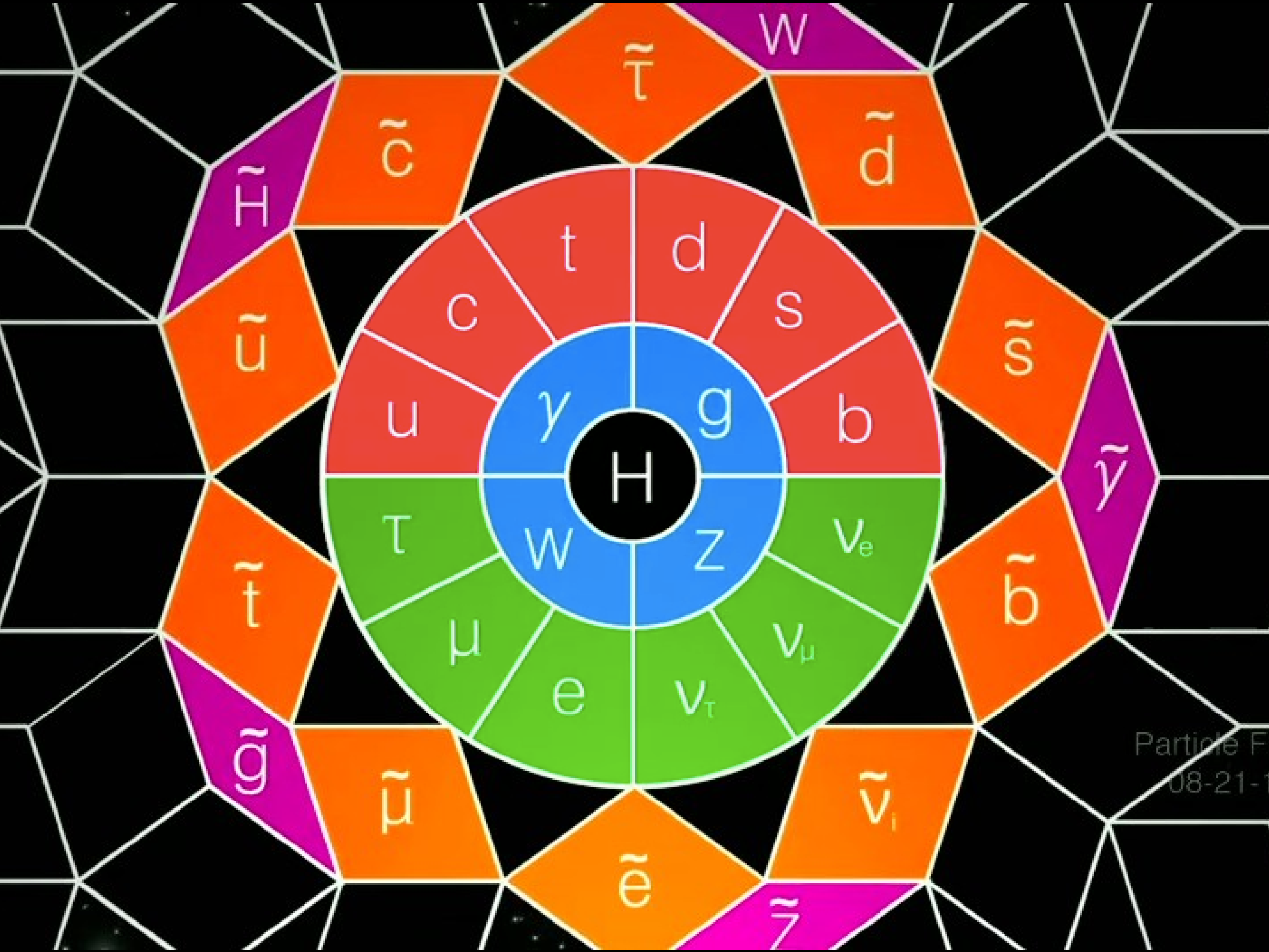
Standard Model Production Cross Section Measurements

Status: July 2018



- Très bon accord avec les prédictions théoriques !

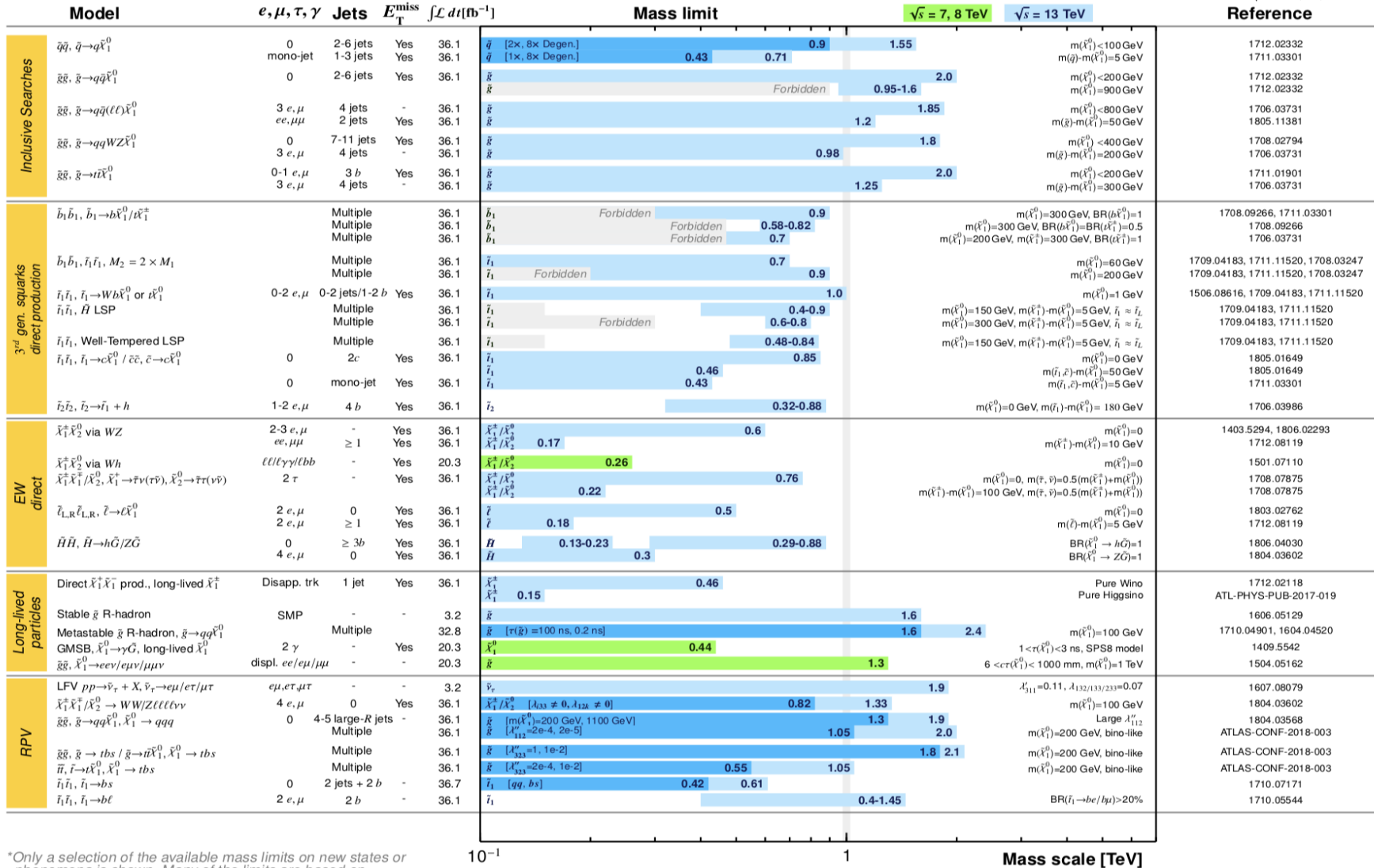




Supersymétrie : état des lieux

ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits
July 2018

ATLAS Preliminary
 $\sqrt{s} = 7, 8, 13$ TeV

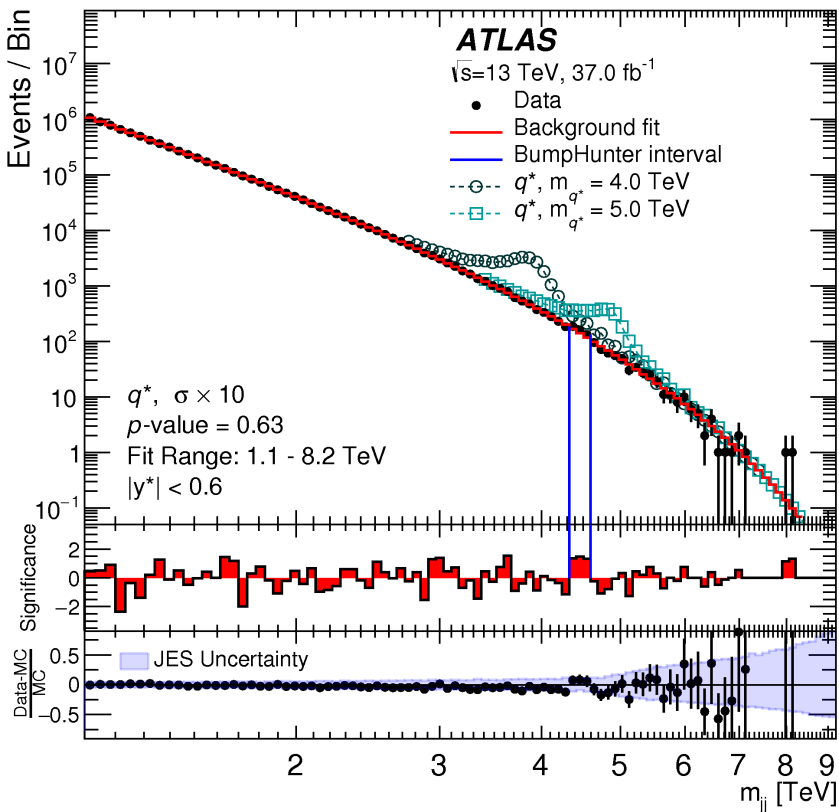


*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. Many of the limits are based on simplified models, c.f. refs. for the assumptions made.

• On n'a rien trouvé, et pourtant on cherche !

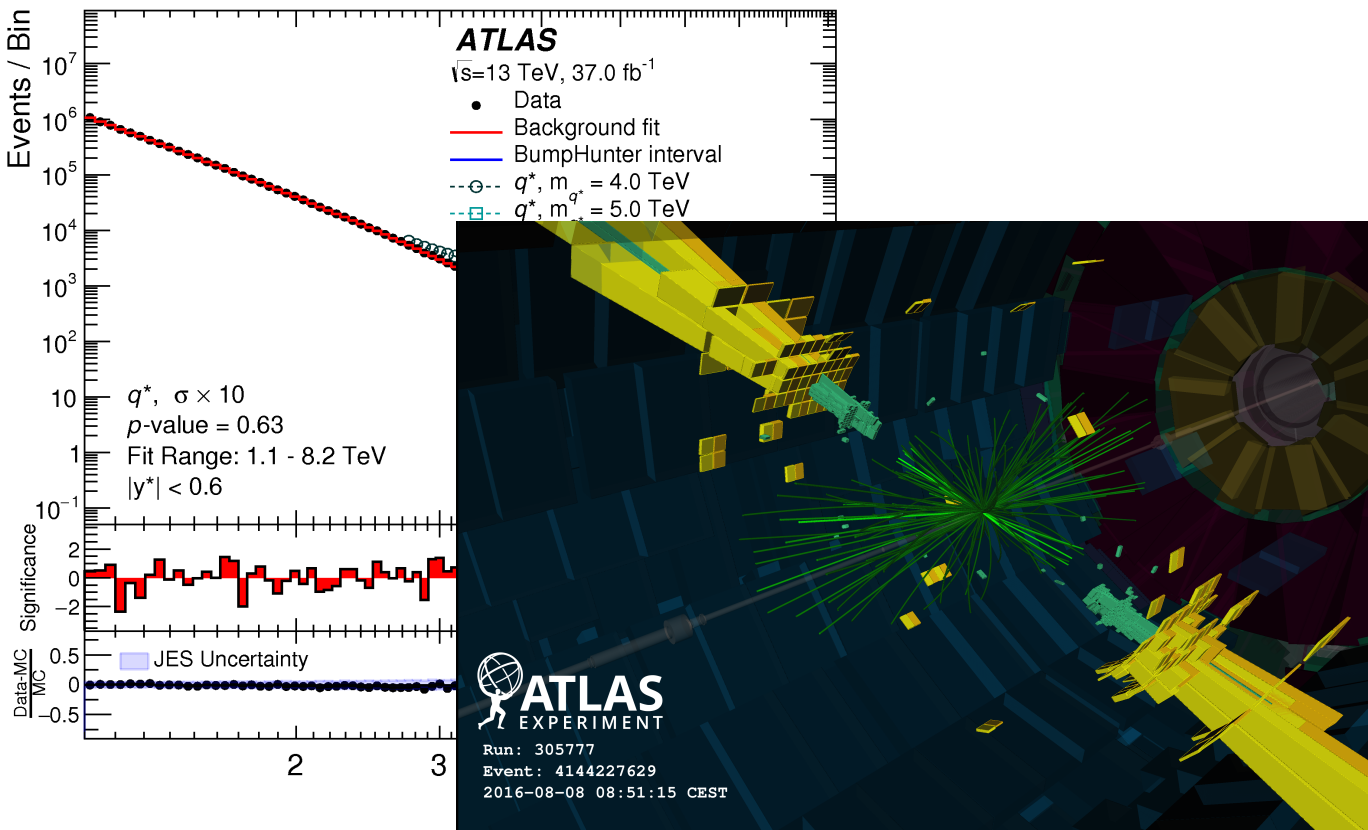
Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



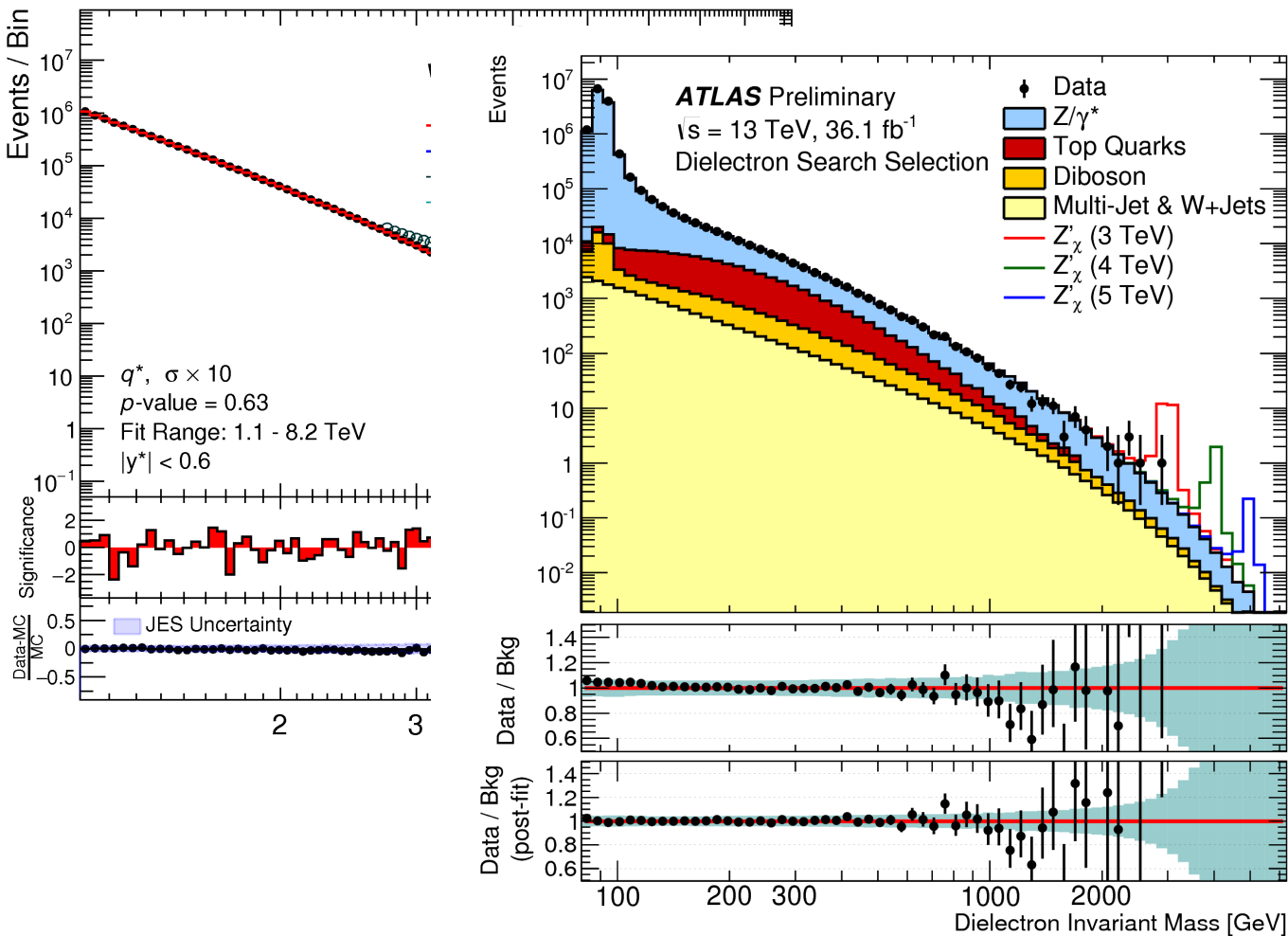
Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



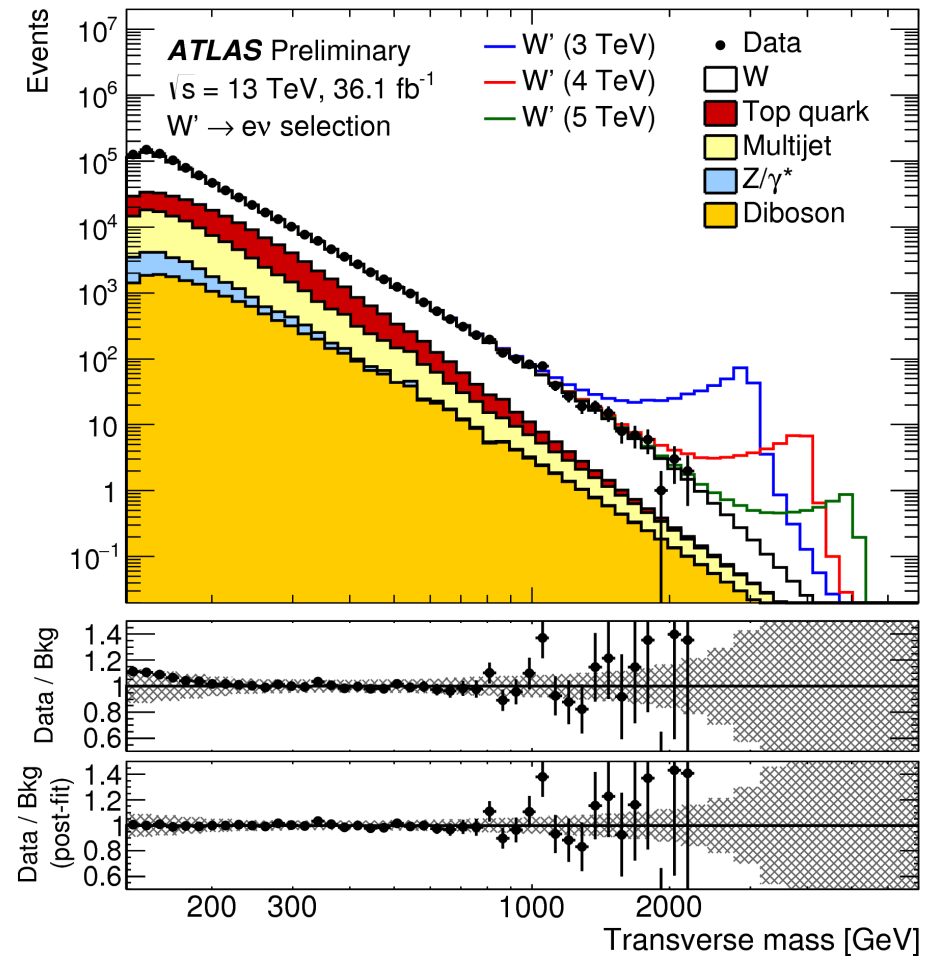
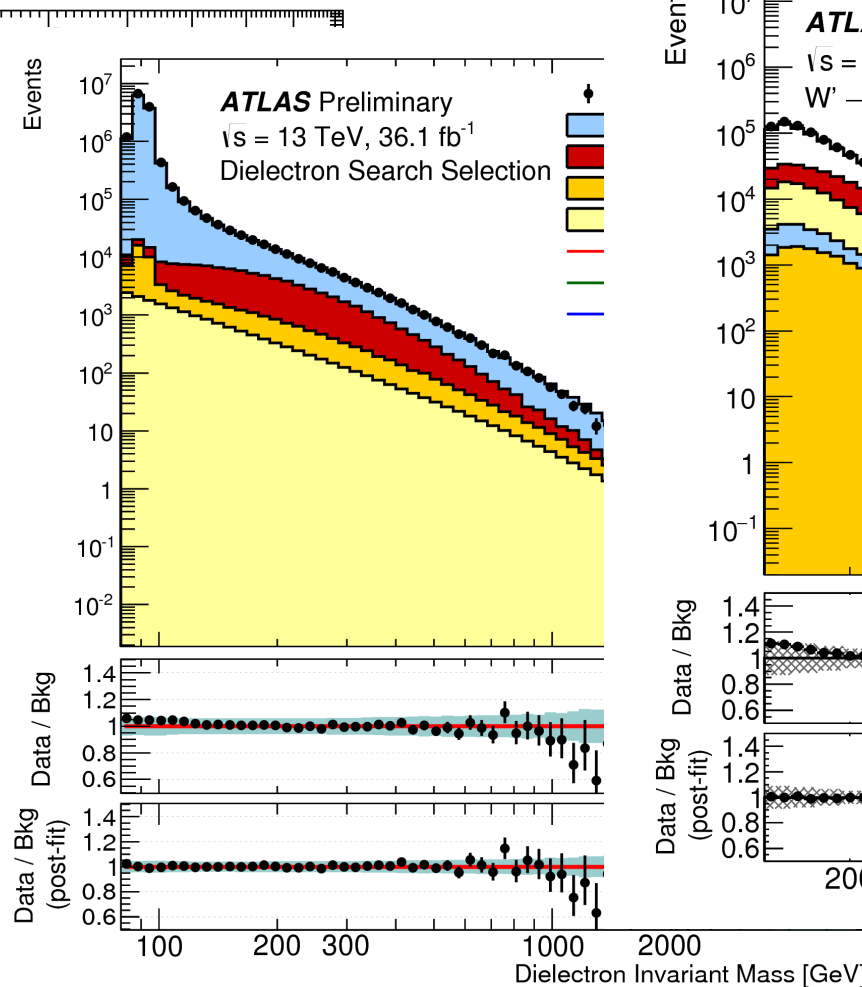
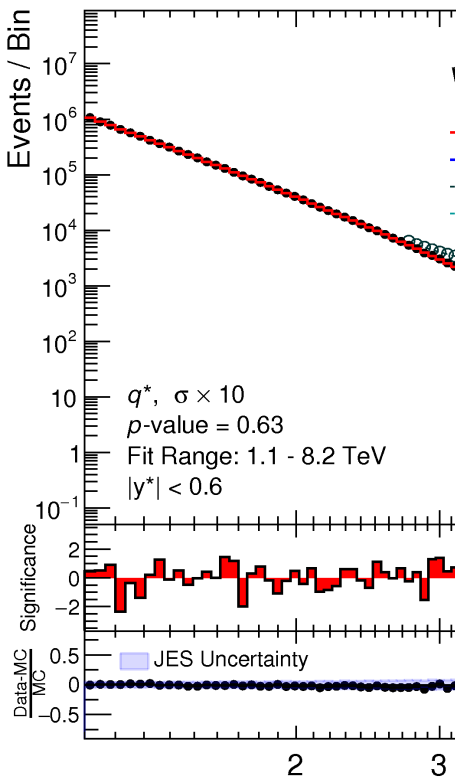
Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



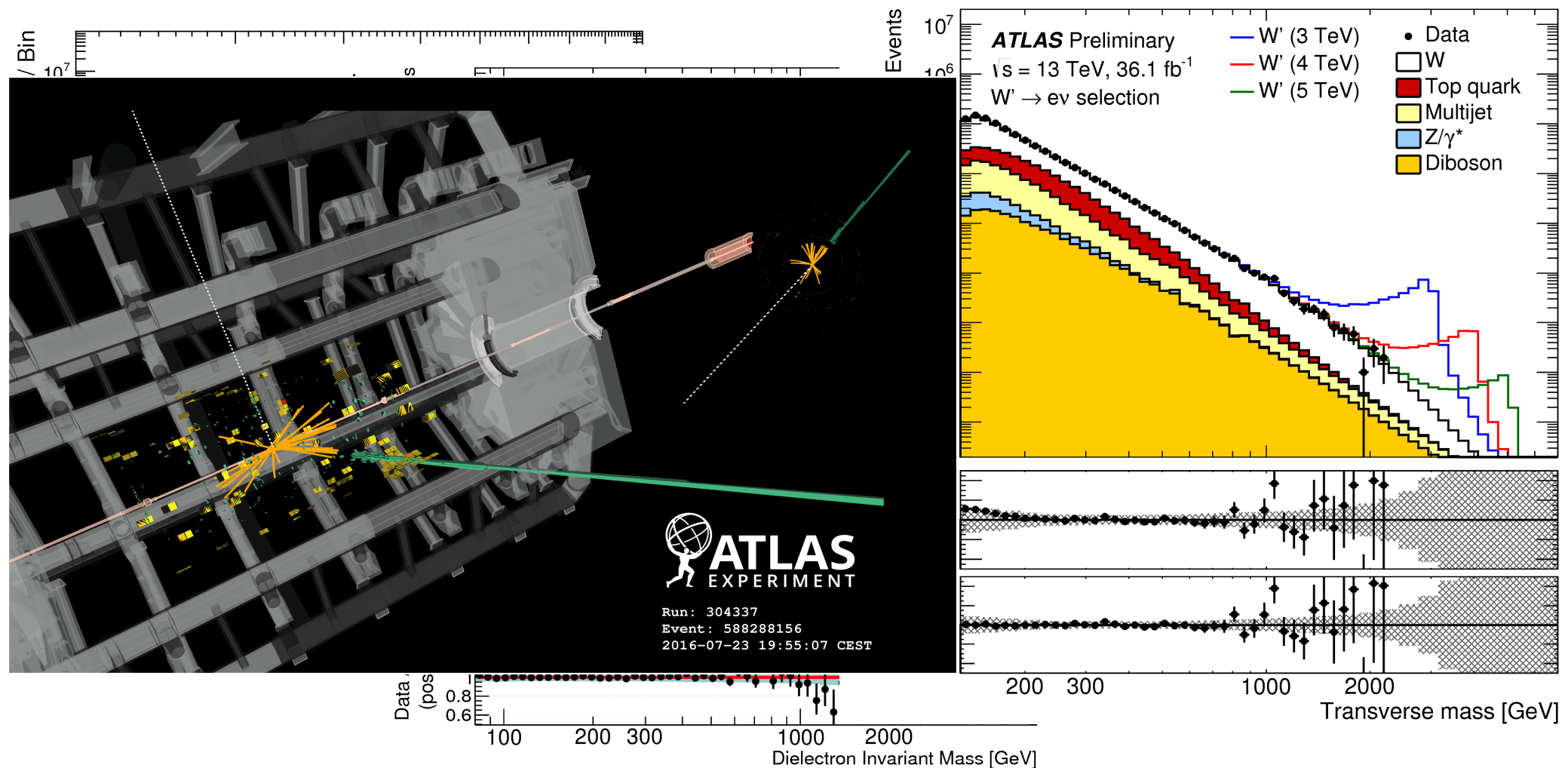
Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



Exotiques

- On cherche la signature de particules nouvelles
- Désintégrations en jets, paires d'électrons ou muons, ...



Exotiques : état des lieux

ATLAS Exotics Searches* - 95% CL Upper Exclusion Limits

Status: July 2018

ATLAS Preliminary

$$\int \mathcal{L} dt = (3.2 - 79.8) \text{ fb}^{-1}$$

$$\sqrt{s} = 8, 13 \text{ TeV}$$

Model	ℓ, γ	Jets [†]	E_T^{miss}	$\int \mathcal{L} dt [\text{fb}^{-1}]$	Limit	Reference		
Extra dimensions	ADD $G_{KK} + g/q$	0 e, μ	1-4 j	Yes	36.1	M_D 7.7 TeV	$n = 2$	1711.03301
	ADD non-resonant $\gamma\gamma$	2 γ	-	-	36.7	M_S 8.6 TeV	$n = 3$ HLZ NLO	1707.04147
	ADD QBH	-	2 j	-	37.0	M_{th} 8.9 TeV	$n = 6$	1703.09217
	ADD BH high Σp_T	$\geq 1 e, \mu$	$\geq 2 j$	-	3.2	M_{th} 8.2 TeV	$n = 6, M_D = 3 \text{ TeV}$, rot BH	1606.02265
	ADD BH multijet	-	$\geq 3 j$	-	3.6	M_{th} 9.55 TeV	$n = 6, M_D = 3 \text{ TeV}$, rot BH	1512.02586
	RS1 $G_{KK} \rightarrow \gamma\gamma$	2 γ	-	-	36.7	G_{KK} mass 4.1 TeV	$k/\bar{M}_{pl} = 0.1$	1707.04147
	Bulk RS $G_{KK} \rightarrow WW/ZZ$	multi-channel	-	-	36.1	G_{KK} mass 2.3 TeV	$k/\bar{M}_{pl} = 1.0$	CERN-EP-2018-179
	Bulk RS $g_{KK} \rightarrow tt$	1 e, μ	$\geq 1 b, \geq 1J/2j$	Yes	36.1	g_{KK} mass 3.8 TeV	$\Gamma/m = 15\%$	1804.10823
2UED / RPP	1 e, μ	$\geq 2 b, \geq 3 j$	Yes	36.1	KK mass 1.8 TeV	Tier (1,1), $\mathcal{B}(A^{(1,1)} \rightarrow tt) = 1$	1803.09678	
Gauge bosons	SSM $Z' \rightarrow \ell\ell$	2 e, μ	-	-	36.1	Z' mass 4.5 TeV		1707.02424
	SSM $Z' \rightarrow \tau\tau$	2 τ	-	-	36.1	Z' mass 2.42 TeV		1709.07242
	Leptophobic $Z' \rightarrow bb$	-	2 b	-	36.1	Z' mass 2.1 TeV		1805.09299
	Leptophobic $Z' \rightarrow tt$	1 e, μ	$\geq 1 b, \geq 1J/2j$	Yes	36.1	Z' mass 3.0 TeV	$\Gamma/m = 1\%$	1804.10823
	SSM $W' \rightarrow \ell\nu$	1 e, μ	-	Yes	79.8	W' mass 5.6 TeV		ATLAS-CONF-2018-017
	SSM $W' \rightarrow \tau\nu$	1 τ	-	Yes	36.1	W' mass 3.7 TeV		1801.06992
	HVT $V' \rightarrow WV \rightarrow qq\bar{q}\bar{q}$ model B	0 e, μ	2 J	-	79.8	V' mass 4.15 TeV	$g_V = 3$	ATLAS-CONF-2018-016
	HVT $V' \rightarrow WH/ZH$ model B	multi-channel	-	-	36.1	V' mass 2.93 TeV	$g_V = 3$	1712.06518
LRSM $W'_R \rightarrow tb$	multi-channel	-	-	36.1	W'_R mass 3.25 TeV		CERN-EP-2018-142	
CI	CI $qq\bar{q}\bar{q}$	-	2 j	-	37.0	Λ 21.8 TeV	$\tilde{\eta}_{LL}$	1703.09217
	CI $\ell\ell\bar{q}\bar{q}$	2 e, μ	-	-	36.1	Λ 40.0 TeV	$\tilde{\eta}_{LL}$	1707.02424
	CI $t\bar{t}\bar{t}\bar{t}$	$\geq 1 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	36.1	Λ 2.57 TeV	$ C_{4t} = 4\pi$	CERN-EP-2018-174
DM	Axial-vector mediator (Dirac DM)	0 e, μ	1-4 j	Yes	36.1	m_{med} 1.55 TeV	$g_q=0.25, g_\ell=1.0, m(\chi) = 1 \text{ GeV}$	1711.03301
	Colored scalar mediator (Dirac DM)	0 e, μ	1-4 j	Yes	36.1	m_{med} 1.67 TeV	$g=1.0, m(\chi) = 1 \text{ GeV}$	1711.03301
	$VV_{\chi\chi}$ EFT (Dirac DM)	0 e, μ	1 J, $\leq 1 j$	Yes	3.2	M_* 700 GeV	$m(\chi) < 150 \text{ GeV}$	1608.02372
LQ	Scalar LQ 1 st gen	2 e	$\geq 2 j$	-	3.2	LQ mass 1.1 TeV	$\beta = 1$	1605.06035
	Scalar LQ 2 nd gen	2 μ	$\geq 2 j$	-	3.2	LQ mass 1.05 TeV	$\beta = 1$	1605.06035
	Scalar LQ 3 rd gen	1 e, μ	$\geq 1 b, \geq 3 j$	Yes	20.3	LQ mass 640 GeV	$\beta = 0$	1508.04735
Heavy quarks	VLQ $TT \rightarrow Ht/Zt/Wb + X$	multi-channel	-	-	36.1	T mass 1.37 TeV	SU(2) doublet	ATLAS-CONF-2018-032
	VLQ $BB \rightarrow Wt/Zb + X$	multi-channel	-	-	36.1	B mass 1.34 TeV	SU(2) doublet	ATLAS-CONF-2018-032
	VLQ $T_{5/3} T_{5/3} T_{5/3} \rightarrow Wt + X$	2(SS) $\geq 3 e, \mu \geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	36.1	$T_{5/3}$ mass 1.64 TeV	$\mathcal{B}(T_{5/3} \rightarrow Wt) = 1, c(T_{5/3} Wt) = 1$	CERN-EP-2018-171	
	VLQ $Y \rightarrow Wb + X$	1 e, μ	$\geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	3.2	Y mass 1.44 TeV	$\mathcal{B}(Y \rightarrow Wb) = 1, c(YWb) = 1/\sqrt{2}$	ATLAS-CONF-2016-072
	VLQ $B \rightarrow Hb + X$	0 $e, \mu, 2 \gamma$	$\geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	79.8	B mass 1.21 TeV	$\kappa_B = 0.5$	ATLAS-CONF-2018-024
VLQ $QQ \rightarrow WqWq$	1 e, μ	$\geq 4 j$	Yes	20.3	Q mass 690 GeV		1509.04261	
Excited fermions	Excited quark $q^* \rightarrow qg$	-	2 j	-	37.0	q^* mass 6.0 TeV	only u^* and d^* , $\Lambda = m(q^*)$	1703.09127
	Excited quark $q^* \rightarrow q\gamma$	1 γ	1 j	-	36.7	q^* mass 5.3 TeV	only u^* and d^* , $\Lambda = m(q^*)$	1709.10440
	Excited quark $b^* \rightarrow bg$	-	1 b, 1 j	-	36.1	b^* mass 2.6 TeV		1805.09299
	Excited lepton ℓ^*	3 e, μ	-	-	20.3	ℓ^* mass 3.0 TeV	$\Lambda = 3.0 \text{ TeV}$	1411.2921
	Excited lepton ν^*	3 e, μ, τ	-	-	20.3	ν^* mass 1.6 TeV	$\Lambda = 1.6 \text{ TeV}$	1411.2921
Other	Type III Seesaw	1 e, μ	$\geq 2 j$	Yes	79.8	N^0 mass 560 GeV		ATLAS-CONF-2018-020
	LRSM Majorana ν	2 e, μ	2 j	-	20.3	N^0 mass 2.0 TeV	$m(W_R) = 2.4 \text{ TeV}$, no mixing	1506.06020
	Higgs triplet $H^{\pm\pm} \rightarrow \ell\ell$	2,3,4 e, μ (SS)	-	-	36.1	$H^{\pm\pm}$ mass 870 GeV	DY production	1710.09748
	Higgs triplet $H^{\pm\pm} \rightarrow \ell\tau$	3 e, μ, τ	-	-	20.3	$H^{\pm\pm}$ mass 400 GeV	DY production, $\mathcal{B}(H_L^{\pm\pm} \rightarrow \ell\tau) = 1$	1411.2921
	Monotop (non-res prod)	1 e, μ	1 b	Yes	20.3	spin-1 invisible particle mass 657 GeV	$a_{\text{non-res}} = 0.2$	1410.5404
	Multi-charged particles	-	-	-	20.3	multi-charged particle mass 785 GeV	DY production, $ q = 5e$	1504.04188
Magnetic monopoles	-	-	-	7.0	monopole mass 1.34 TeV	DY production, $ g = 1g_D$, spin 1/2	1509.08059	

$\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$

10⁻¹ 1 10 Mass scale [TeV]

*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown.

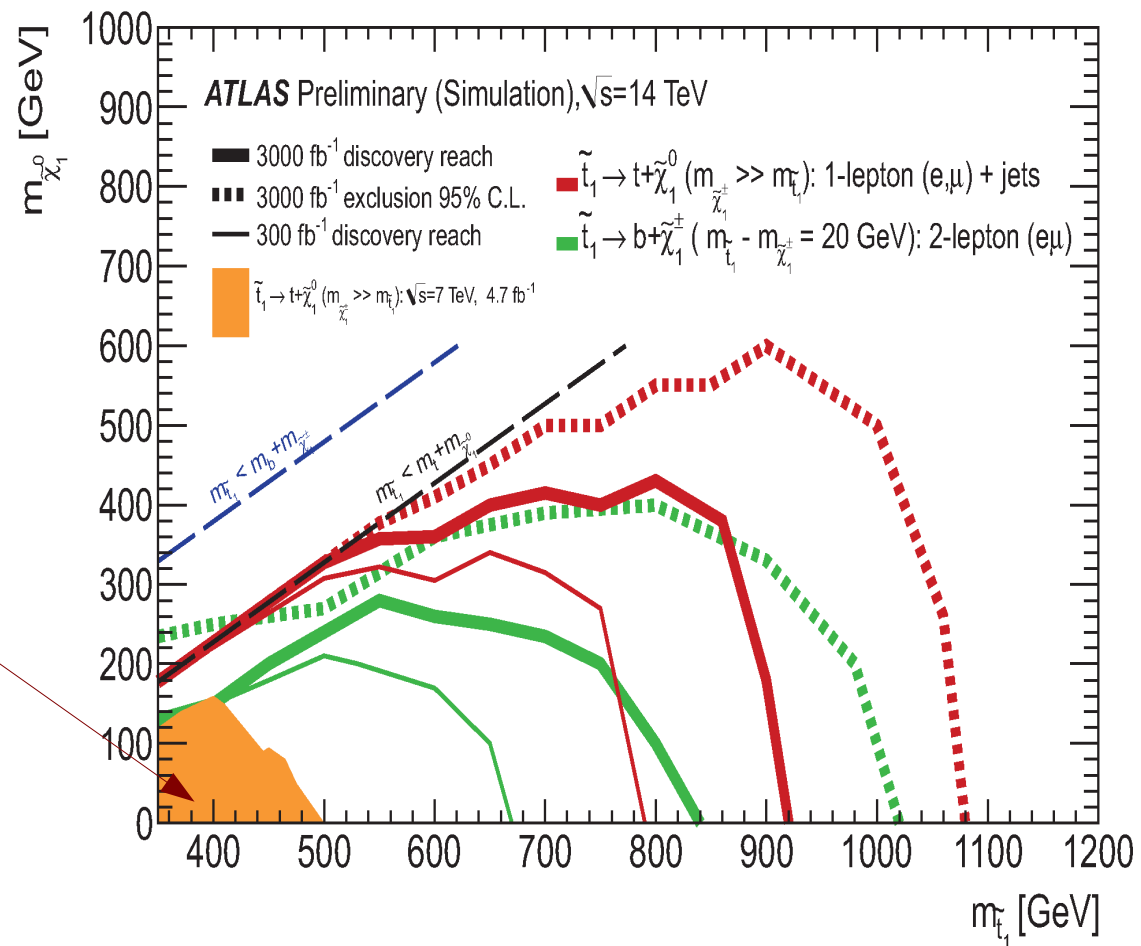
[†]Small-radius (large-radius) jets are denoted by the letter j (J).

- On n'a rien trouvé non plus, mais on continue de chercher !

SUSY et exotiques : le futur

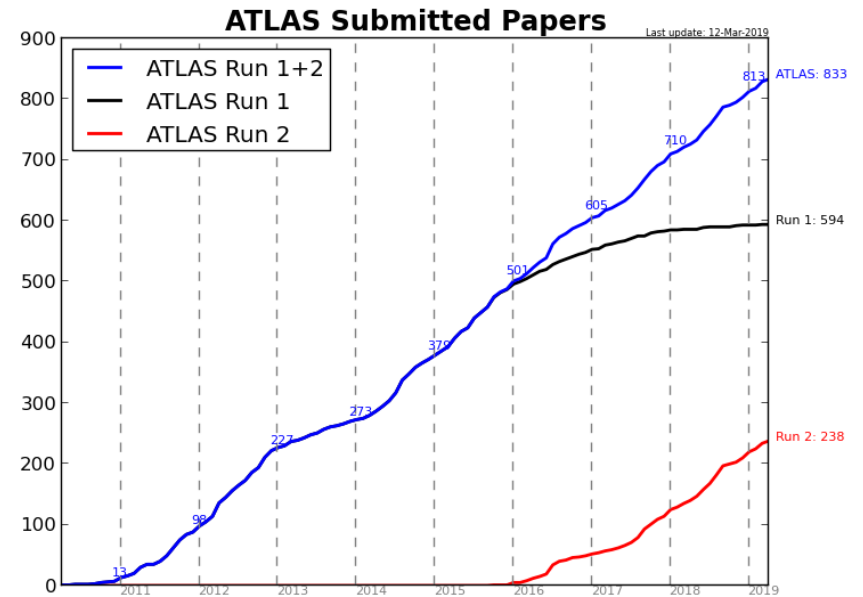
- Pour l'instant, 25 fb⁻¹ collectés jusqu'en 2012 (7-8 TeV), 150 fb⁻¹ depuis juin 2015 (13 TeV)
- On envisage 300 fb⁻¹ d'ici 2023
- puis 3000 fb⁻¹ pour 2035

Exclus actuellement



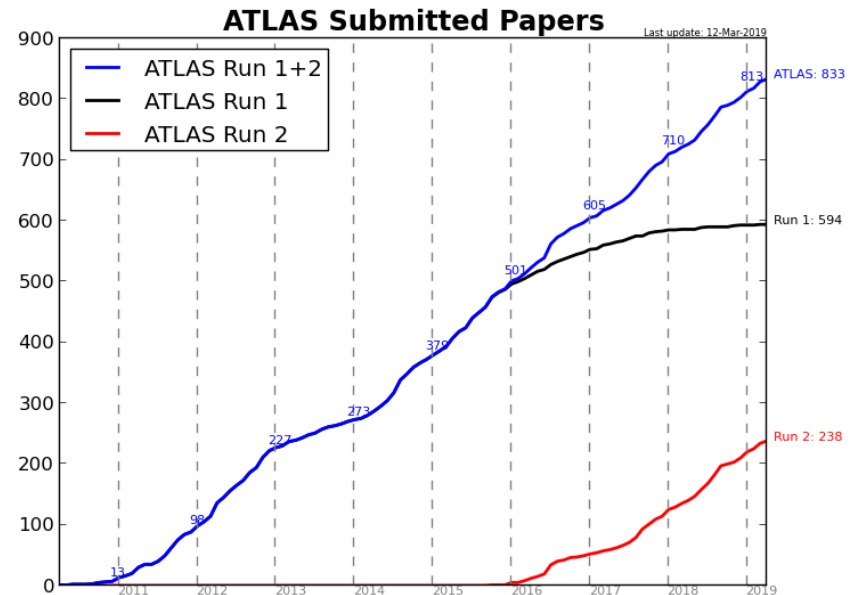
Publications

- ATLAS :
 - ▶ > 830 publications
 - ▶ > 900 notes de conférence
- CMS : similaire
- LHCb :
 - ▶ > 450 publications
- ALICE :
 - ▶ > 200 publications



Publications

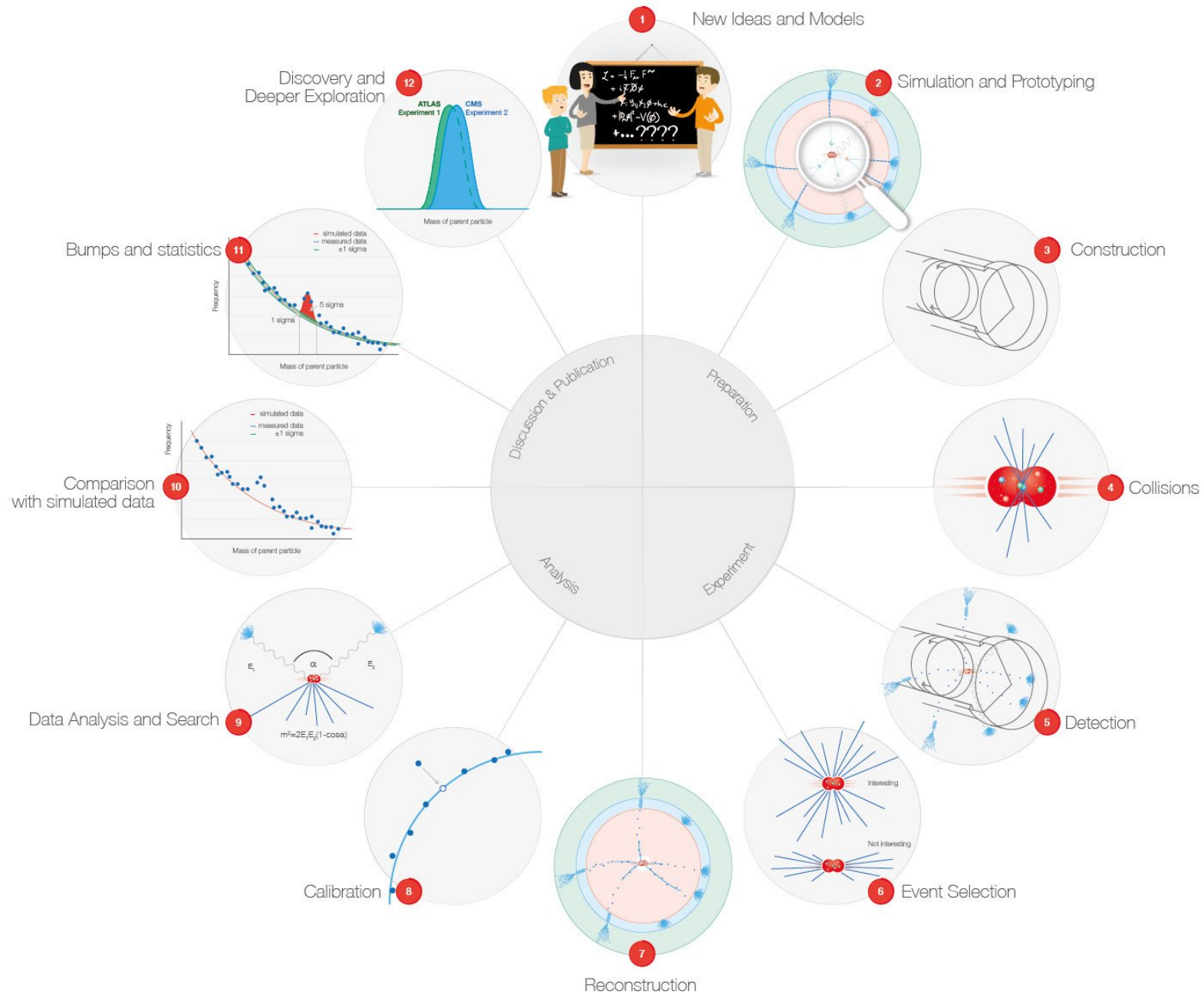
- ATLAS :
 - ▶ > 830 publications
 - ▶ > 900 notes de conférence
- CMS : similaire
- LHCb :
 - ▶ > 450 publications
- ALICE :
 - ▶ > 200 publications



**Toutes les publications du LHC
sont accessibles gratuitement
par tous**

Forte pression du CERN sur les journaux :
Open Access

Cycle de vie



Lien entre l'infiniment grand et l'infiniment petit

- Lien entre le boson de Higgs et l'inflation ?
- Lien avec la masse des neutrinos ?



Lien entre l'infiniment grand et l'infiniment petit

- Lien entre le boson de Higgs et l'inflation ?
- Lien avec la masse des neutrinos ?

LHC Saison 2 :

- Étude des propriétés du boson observé
 - ▶ Déviations du modèle standard ?
- Recherche d'autres bosons de Higgs
 - ▶ Signe de nouvelle physique ?

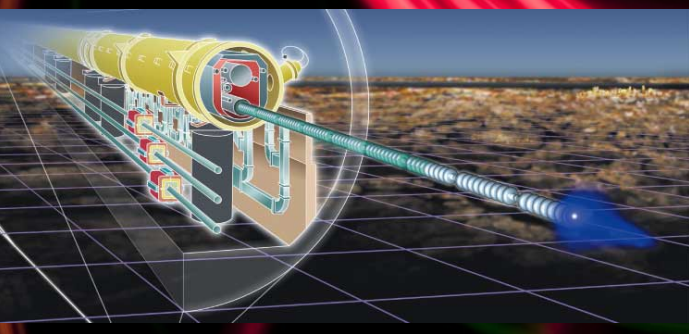
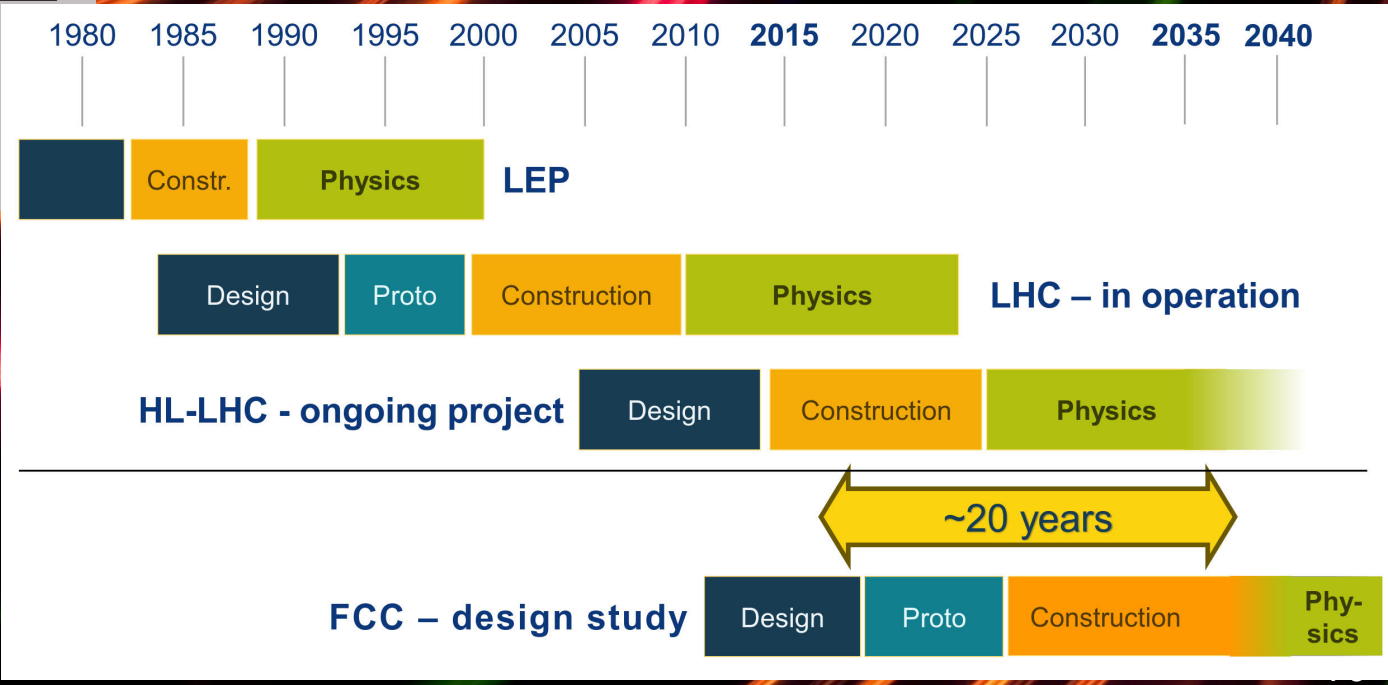
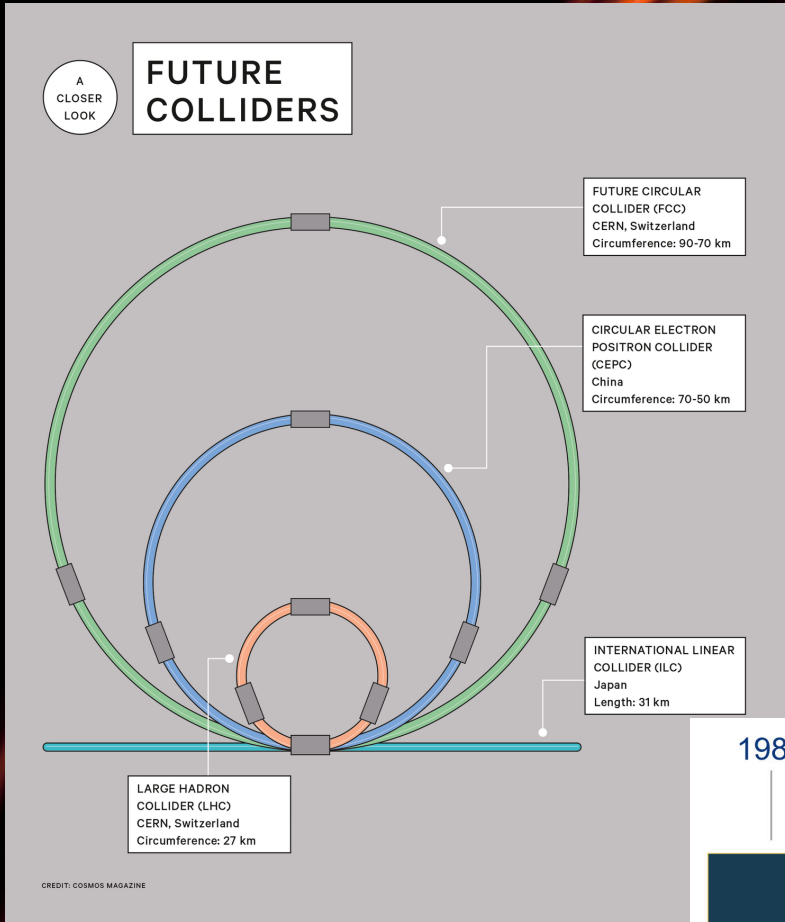
Lien entre l'infiniment grand et l'infiniment petit

- Lien entre le boson de Higgs et l'inflation ?
- Lien avec la masse des neutrinos ?

LHC Saison 2 :

- Étude des propriétés du boson observé
 - Déviations du modèle standard ?
- Recherche d'autres bosons de Higgs
 - Signe de nouvelle physique ?
- Recherche de candidats pour expliquer la matière noire
- Asymétrie matière-antimatière
- On espère des surprises !

Et après ?



Liens

#LHCIMC

 @physicsIMC

Nos présentations

ATLAS grand public

ATLAS en direct

ATLAS sur



ATLAS sur



ATLAS sur



ATLAS sur



Site français du



Le CPPM



Le CERN



Le CERN sur



Nouvelle affiche du SM



www.cppm.in2p3.fr/Masterclasses

atlas.cern

atlas-live.cern.ch

 atlasathome.cern.ch

twitter.com/ATLASexperiment

www.facebook.com/ATLASexperiment

www.instagram.com/atlasexperiment

www.youtube.com/theATLASExperiment

www.lhc-france.fr

www.cppm.in2p3.fr



twitter.com/cppmluminy

home.cern

twitter.com/cern

www.facebook.com/cern

www.particuleselementaires.fr