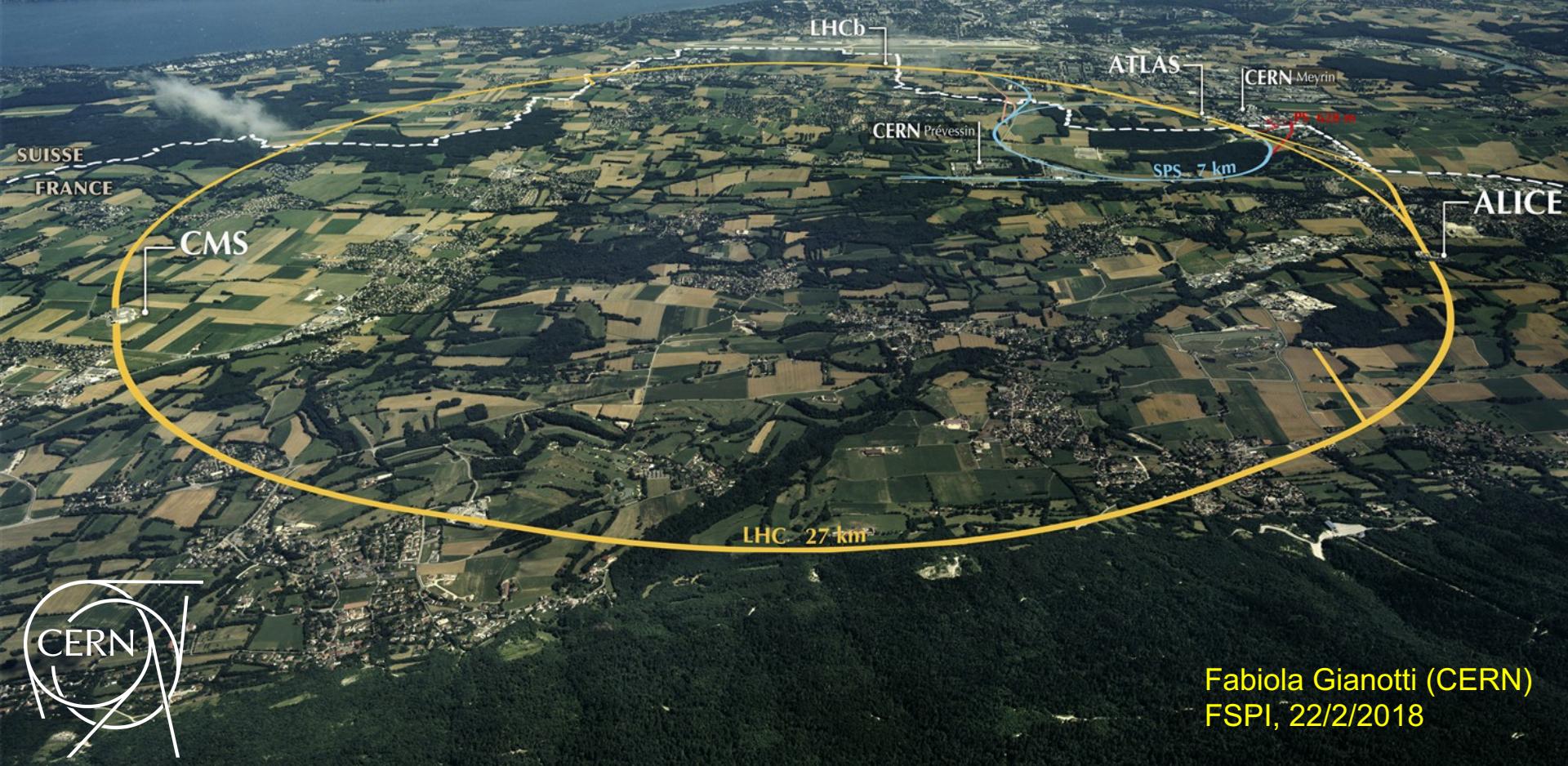


# Recherche (et beaucoup plus ...) au CERN

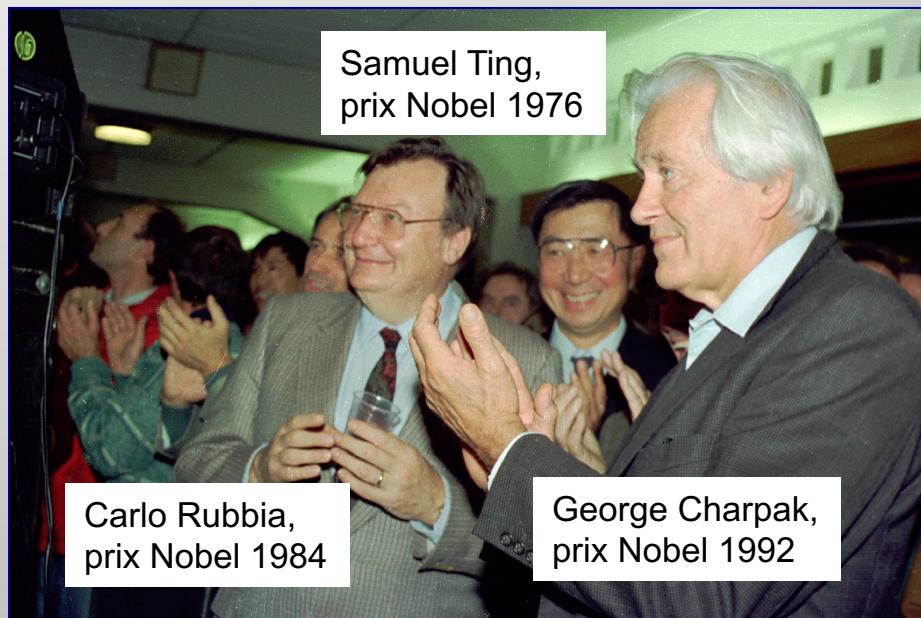


Fabiola Gianotti (CERN)  
FSPI, 22/2/2018

## Organisation intergouvernementale située à Genève

### Mission:

- science: recherche fondamentale en physique des particules  
(nombreuses découvertes, p. ex. le boson de Higgs)
- technologie et innovation → transferts vers la société  
(p. ex. World Wide Web, applications médicales)
- formation et éducation
- collaboration mondiale: ~ 17 000 scientifiques, > 110 nationalités



# Fondé en 1954 : 12 Etats européens Aujourd'hui : 22 Etats Membres

**22 États membres:** Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Israël, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Rép. tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède et **Suisse**

**8 États membres associés:** Chypre, Inde, Lituanie, Pakistan, Serbie, Slovénie, Turquie, Ukraine

**6 observateurs:** UNESCO, UE, JINR/Doubna, Fédération de Russie, Japon, États-Unis d'Amérique

**~50 accords de coopération internationaux:** avec des États non-membres, dont certains ont des communautés naissantes en physique des particules (le CERN a également pour mission d'aider au développement de capacités et de favoriser le développement de la physique des particules dans le monde). Dernier accord en date signé avec le Népal.

~ 2 500 titulaires, 3 700 membres du personnel rémunérés

~ 13 000 utilisateurs venus du monde entier

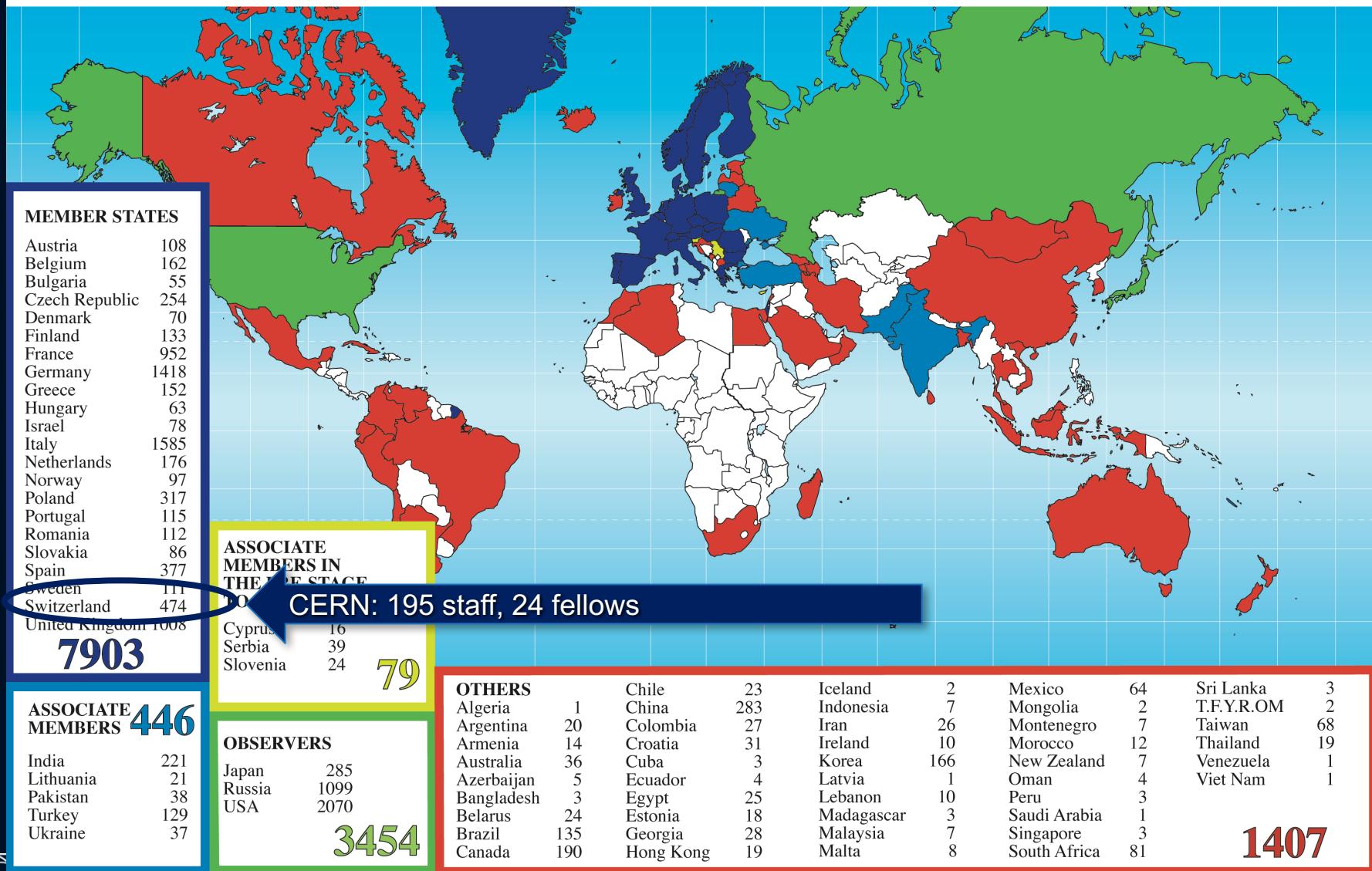
**Budget (2017) ~1 100 MCHF (~ 1 cappuccino/an par citoyen européen):**

Chaque État membre contribue à hauteur de son revenu national net

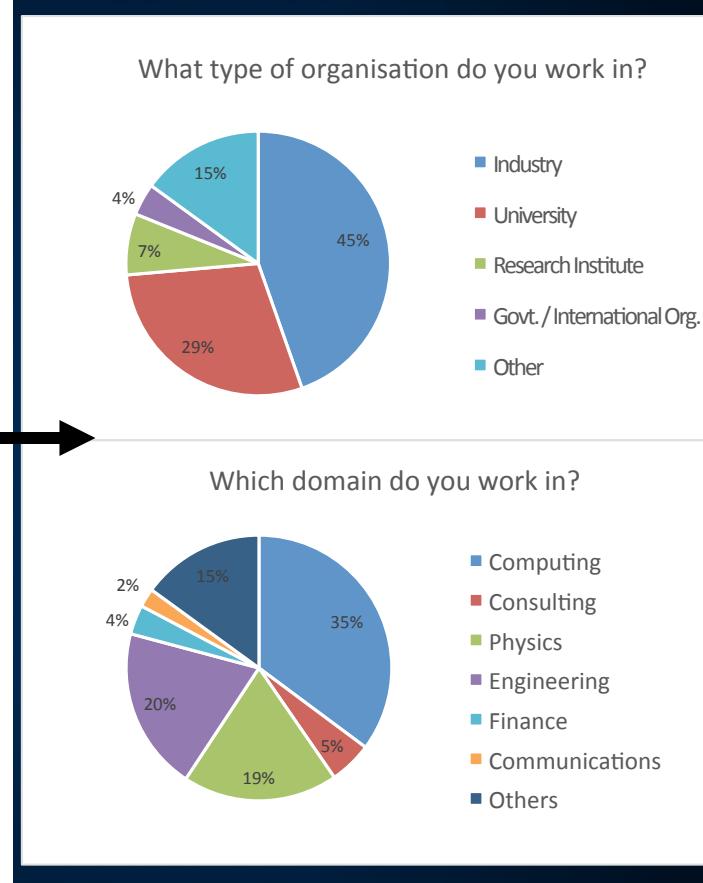
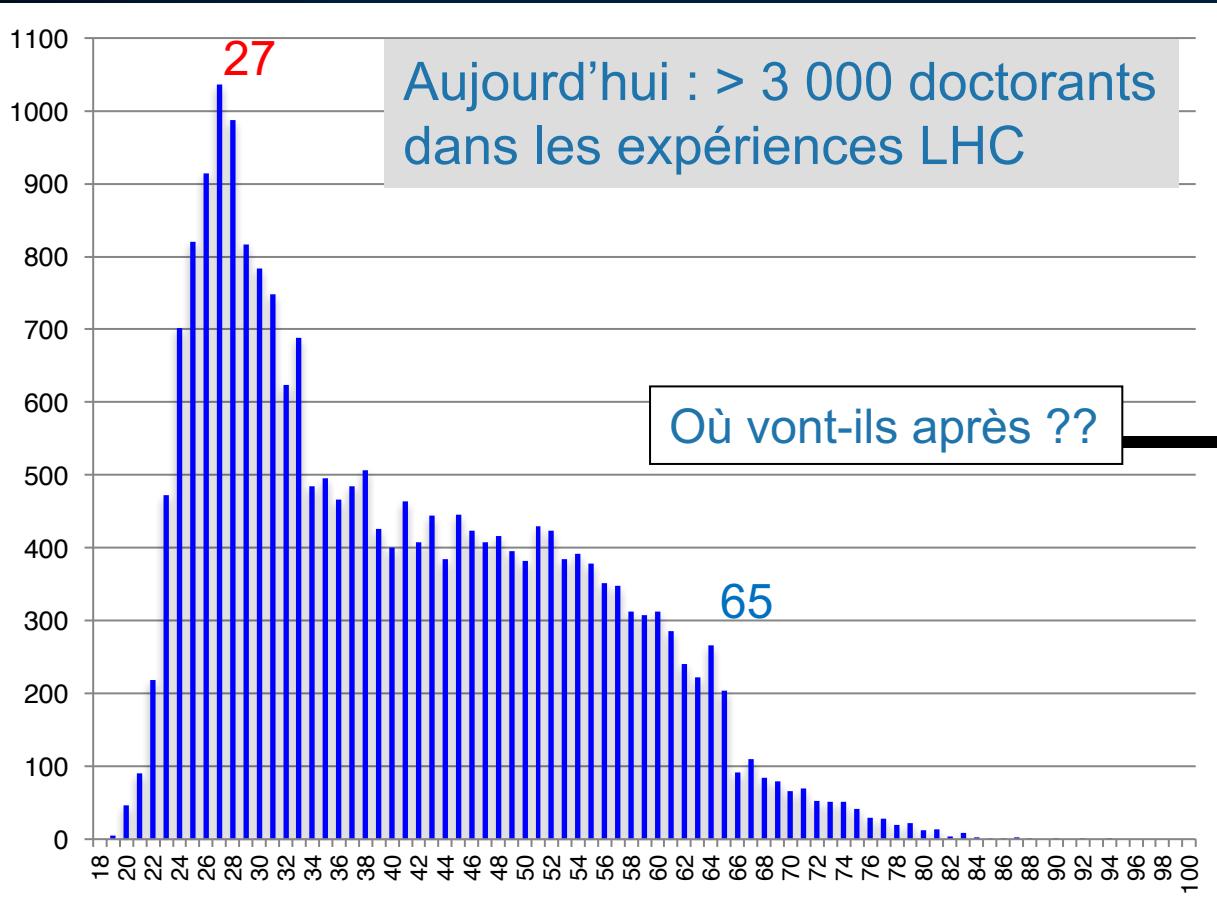
CH ~ 4% (~ 45 MCHF) → retour (achats dans l'industrie, économie de la zone locale en Suisse): ~ 290 MCHF/an

Des physiciens du monde entier utilisent les installations du CERN

## Distribution of All CERN Users by Location of Institute on 24 January 2018



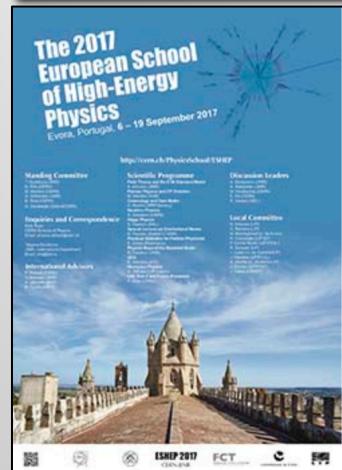
# Répartition des scientifiques par âge



~ 50 % des jeunes formés au CERN vont dans l'industrie

## Activités éducatives du CERN

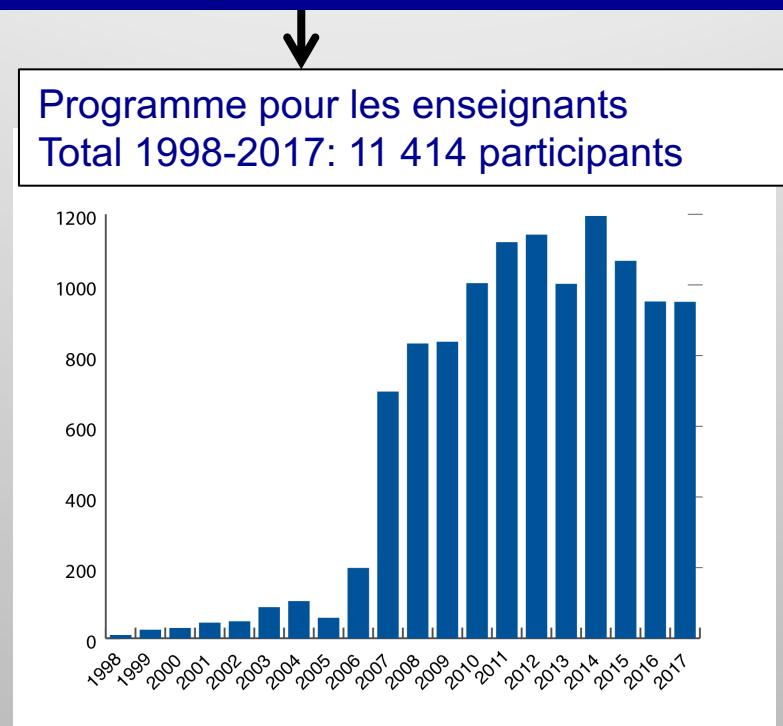
# Écoles Europe/Russie



Écoles Amérique latine:  
Brésil 2011, Pérou 2013,  
Équateur 2015,  
Mexique 2017



Pour les jeunes chercheurs  
Pour les étudiants en physique/ingénierie  
Pour les élèves du secondaire  
Pour les enseignants du secondaire



# Écoles Asie-Europe-Pacifique: Japon 2012, Inde 2014, Chine 2016



Écoles Afrique :  
Afrique du Sud 2010,  
Ghana 2012,  
Sénégal 2014,  
Rwanda 2016

AFRICAN SCHOOL OF FUNDAMENTAL  
PHYSICS AND ITS APPLICATIONS

July 15-Aug 04, 2012

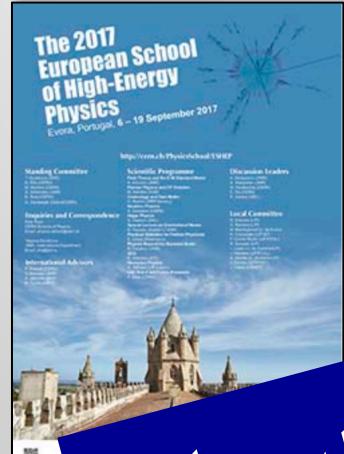
KNUST, Kumasi, Ghana

[africanschoolofphysics.web.cern.ch/AfricanSchoolOfPhysics/](http://africanschoolofphysics.web.cern.ch/AfricanSchoolOfPhysics/)  
In connection to APS2012, a dedicated Grid School will follow on August 6-8, 2012.



## Activités éducatives du CERN

# Écoles Europe/Russie

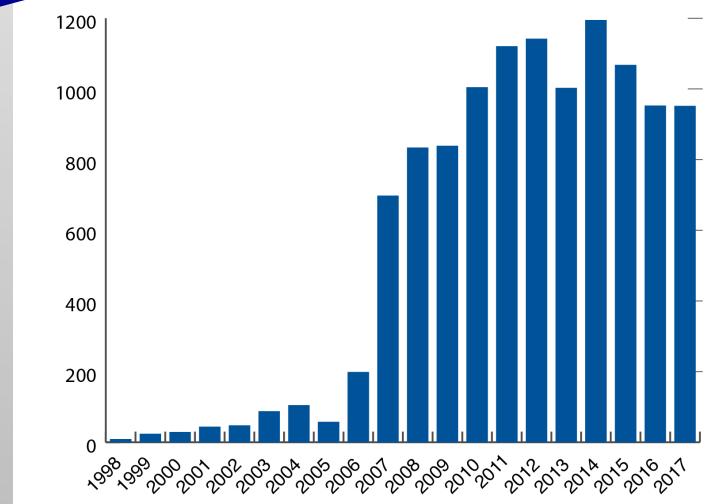


Et ~1200 (~ 60% élèves du secondaire) des enseignants  
2008-2017: 11 414 participants

**Écoles  
Brésil 2011, Pérou 2013,  
Équateur 2015,  
Mexique 2017**



# Pour les jeunes



# Écoles Asie-Europe-Pacifique: Japon 2012, Inde 2014, Chine 2016



**du Sud 2010,  
Ghana 2012,  
Sénégal 2014,  
Rwanda 2016**

AFRICAN SCHOOL OF FUNDAMENTAL  
PHYSICS AND ITS APPLICATIONS



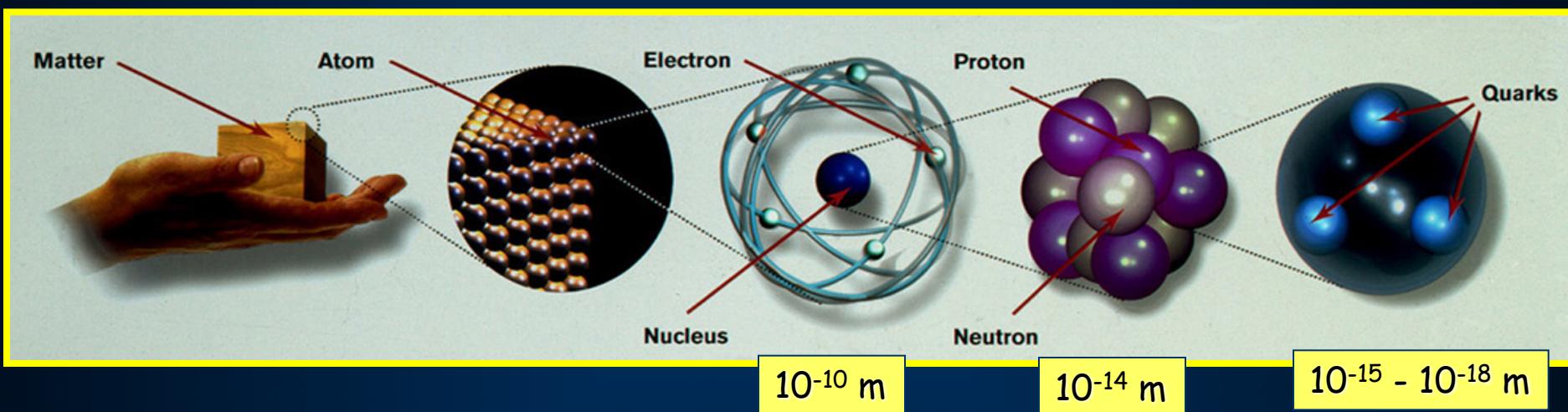
July 15-Aug 06, 2012  
KNUST, Kumasi, Ghana  
[africanschoolofphysics.web.cern.ch/AfricanSchoolOfPhysics/](http://africanschoolofphysics.web.cern.ch/AfricanSchoolOfPhysics/)  
In cooperation w/ ATLAS@CERN - dedicated Grid School will follow up. Summary & Materials available online.

In connection to AP-S2012, a dedicated Grid School will follow on August 6-8, 2012.



# La mission première du CERN est la science

Étudier les particules élémentaires (p. ex. les constituants de la matière: les électrons et les quarks) et les forces qui déterminent leur comportement au niveau le plus fondamental



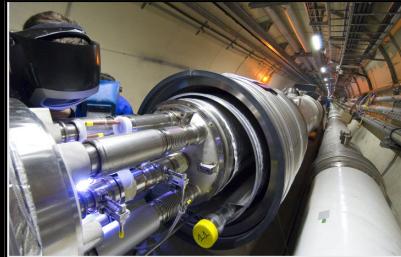
La physique des particules menée auprès des accélérateurs modernes nous permet d'étudier les lois fondamentales de la nature à des échelles inférieures à  $10^{-18} \text{ m}$

- Informations sur la structure et l'évolution de l'Univers
- de l'infiniment petit à l'infiniment grand...

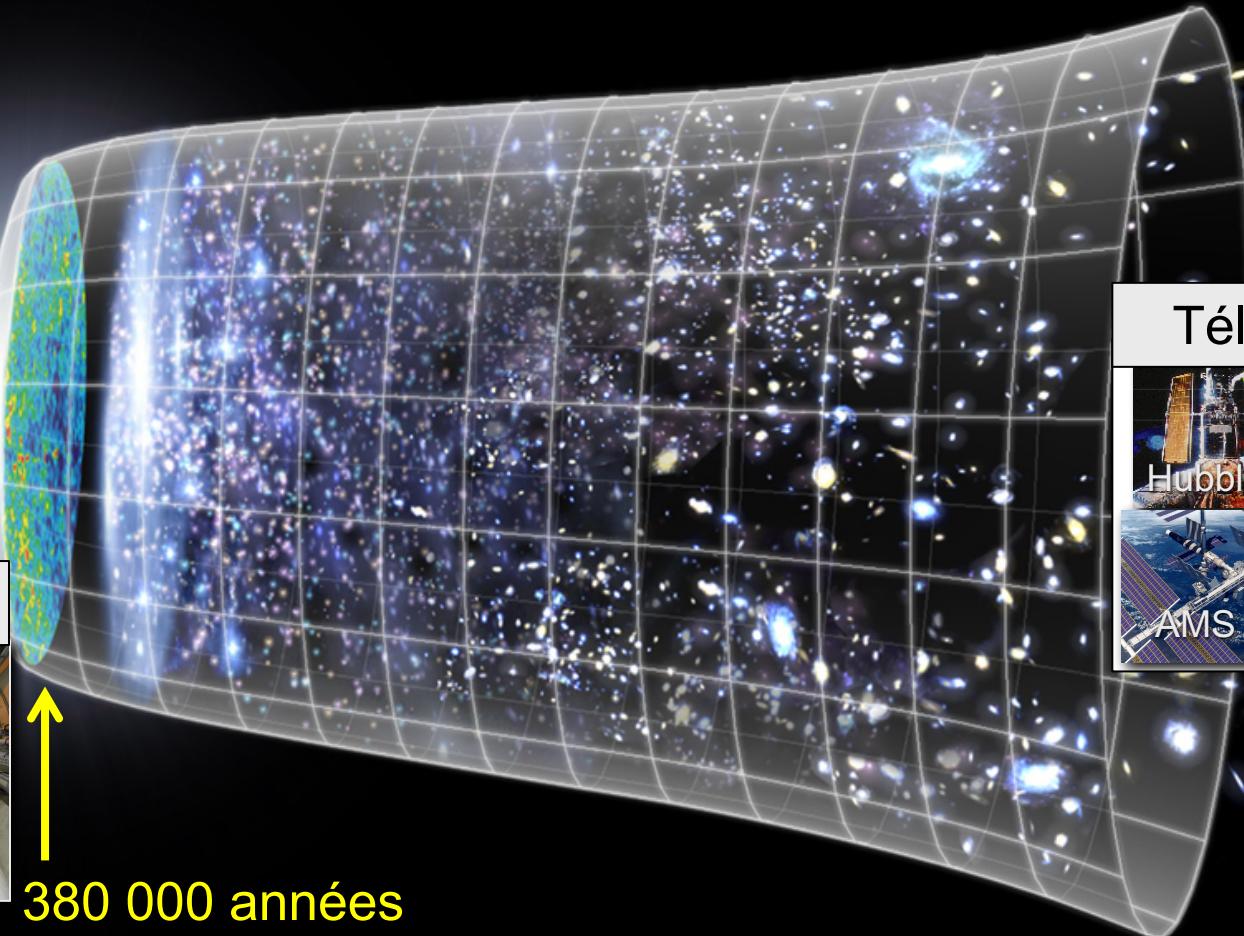
# Évolution de l'Univers

Big Bang

Accélérateurs



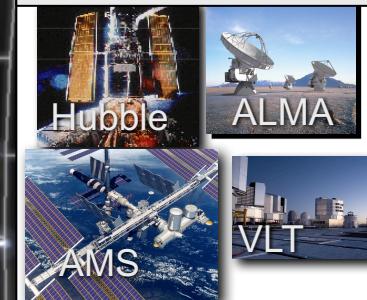
380 000 années



13,7 milliards d'années

$10^{28}$  cm

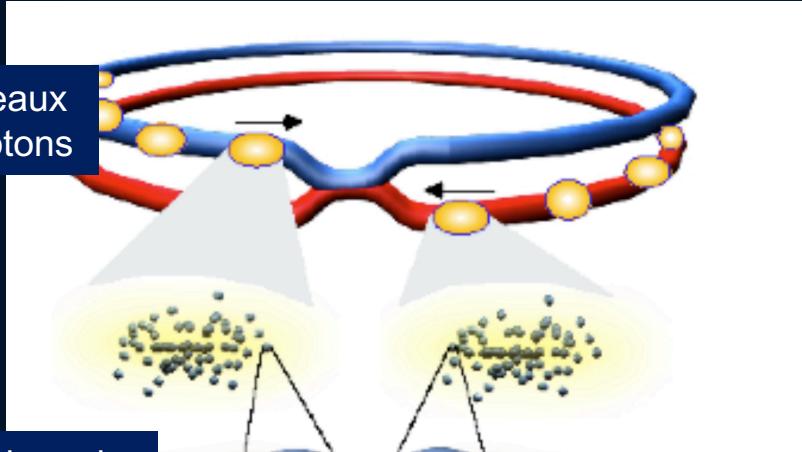
Télescopes



→ Aujourd'hui

# Étudier les particules élémentaires et leurs interactions

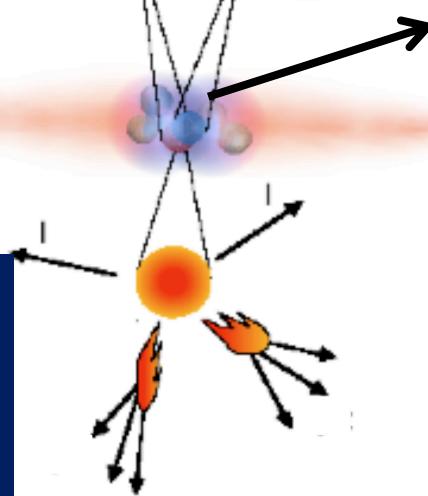
Faisceaux de protons



Collisions de protons

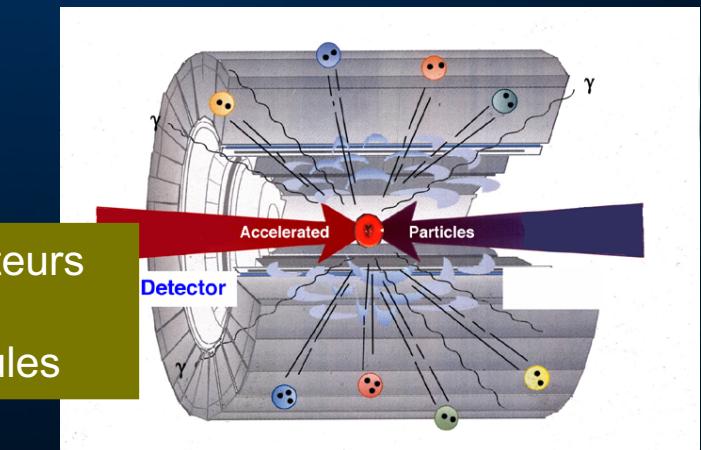
Interactions entre quarks

production et désintégration d'une nouvelle particule



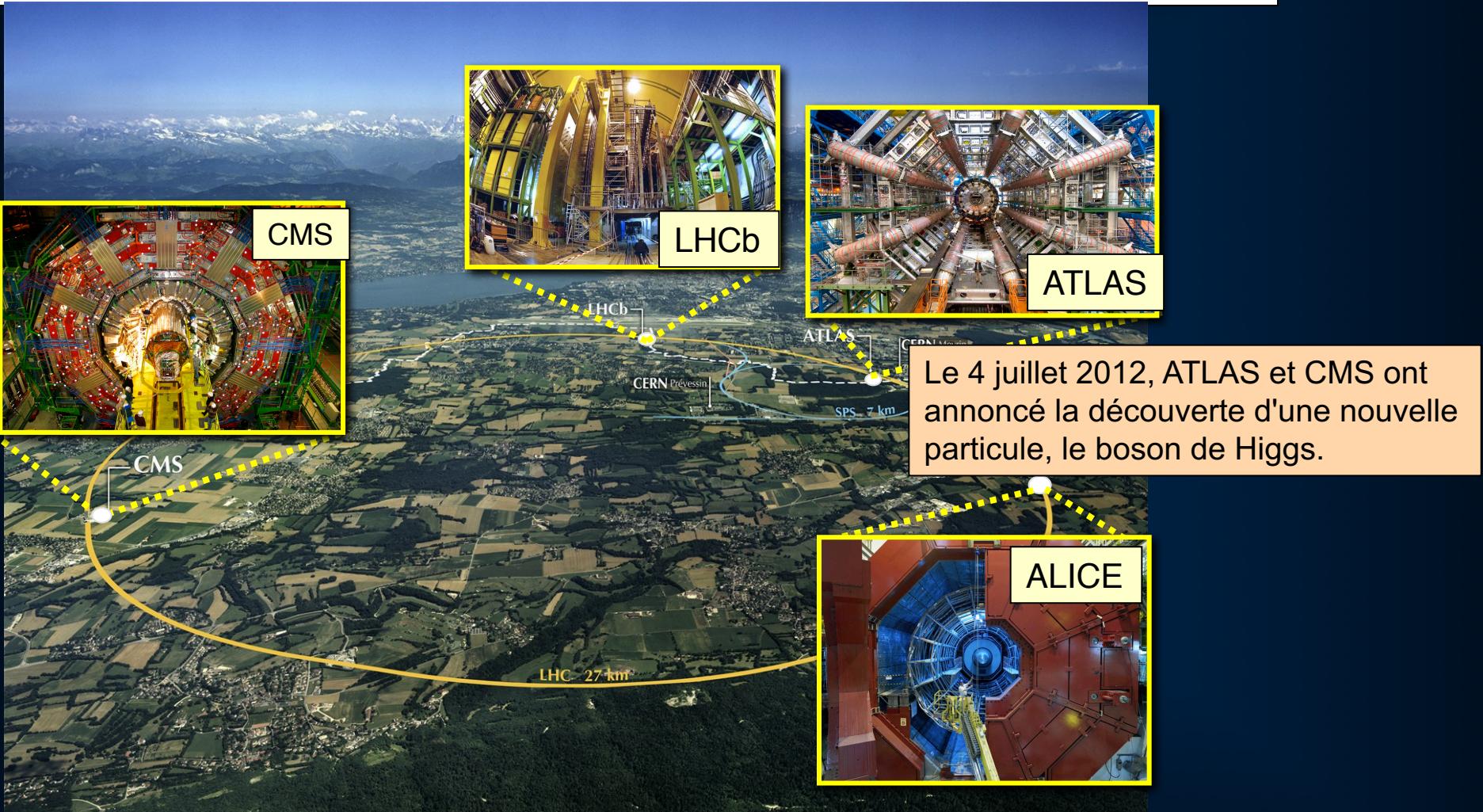
- Étudier les constituants fondamentaux de la matière
- Produire de (nouvelles) particules lourdes
- Énergie de collision = température de l'Univers  $10^{-12}$  s après le Big Bang

Détecteurs de particules



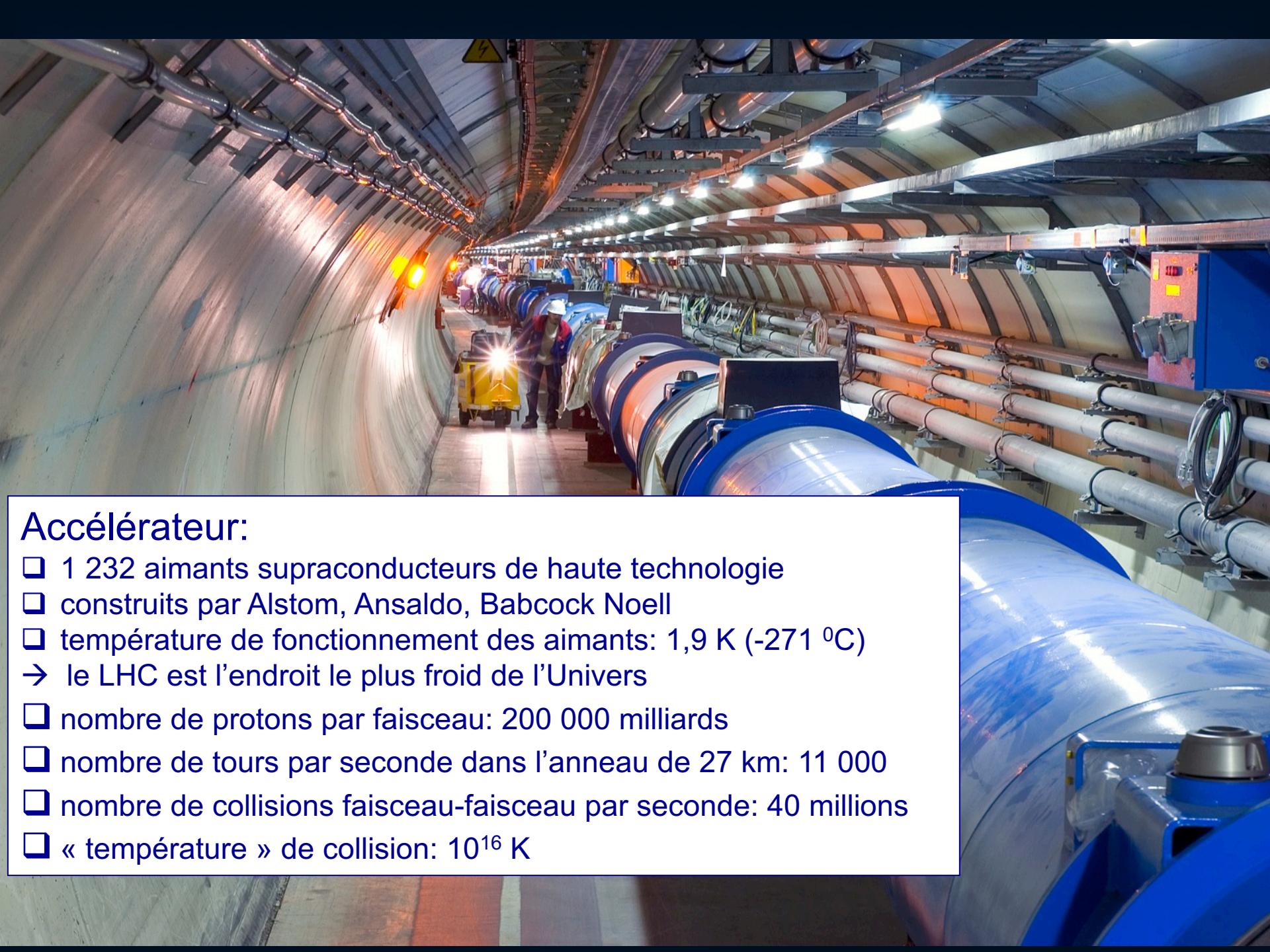
# Le Grand collisionneur de hadrons (LHC): le plus puissant accélérateur de particules jamais construit

- Anneau de 27 km, 100 m sous terre
- Démarrage en 2010 → exploration d'une nouvelle gamme d'énergies



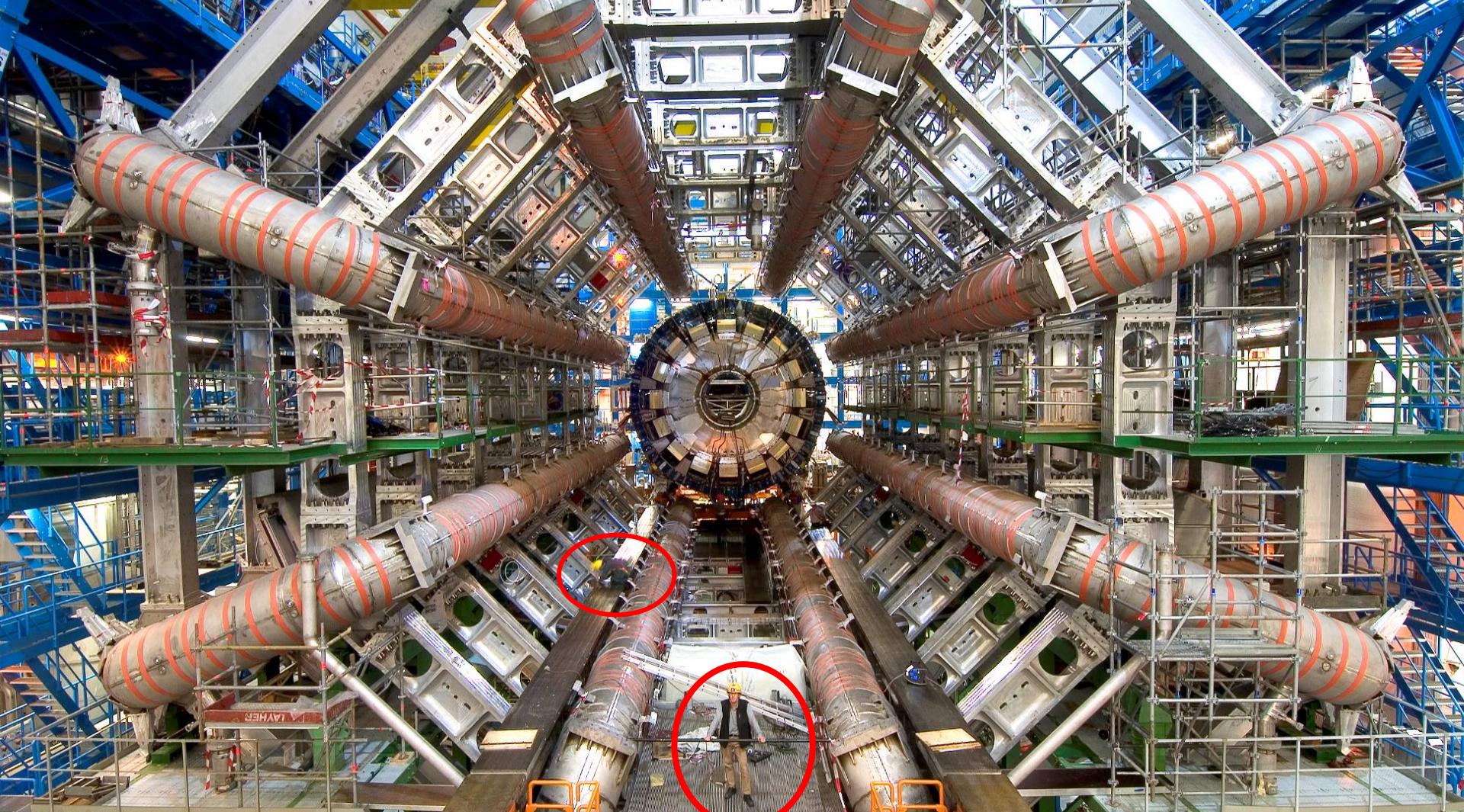
Le 4 juillet 2012, ATLAS et CMS ont annoncé la découverte d'une nouvelle particule, le boson de Higgs.

Importantes contributions d'universités et d'instituts suisses: EPFL, ETHZ, PSI, Centre suisse de calcul scientifique (CSCS - Lugano), universités de Bâle, Bern, Genève et Zurich



## Accélérateur:

- 1 232 aimants supraconducteurs de haute technologie
- construits par Alstom, Ansaldo, Babcock Noell
- température de fonctionnement des aimants: 1,9 K (-271 °C)  
→ le LHC est l'endroit le plus froid de l'Univers
- nombre de protons par faisceau: 200 000 milliards
- nombre de tours par seconde dans l'anneau de 27 km: 11 000
- nombre de collisions faisceau-faisceau par seconde: 40 millions
- « température » de collision:  $10^{16}$  K



## DéTECTEURS:

- taille d'ATLAS: ~ la moitié de la cathédrale Notre Dame de Paris
- poids de l'expérience CMS: 13 000 tonnes (plus que la tour Eiffel)
- nombre d'éléments de détection: 100 millions
- 3000 km de câbles nécessaire pour amener les signaux du détecteur à la salle de contrôle
- données par an par expérience: ~10 PB (20 millions de DVD; plus que YouTube, Twitter)

# Pourquoi ???

Le LHC a été construit pour résoudre les énigmes de la physique fondamentale

D'où vient la masse des particules élémentaires  
(quarks, électrons, ... ) ? → liée au boson de Higgs



95% de l'Univers est inconnu (noir): soit 25% de matière noire

Pourquoi aussi peu d'antimatière dans l'Univers ?

Quelles sont les caractéristiques du plasma primordial qui prévalait dans l'Univers  $\sim 10 \mu s$  après le Big Bang ?

Existe-t-il d'autres forces que les quatre forces connues ?

Etc.

# Découverte 2012, prix Nobel de physique 2013



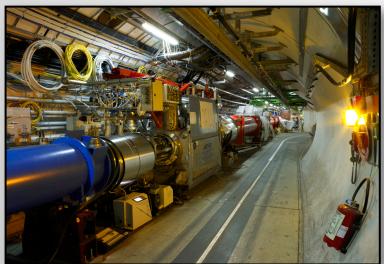
Le prix Nobel de physique 2013 a été attribué conjointement à François Englert et Peter W. Higgs « pour la découverte théorique d'un mécanisme contribuant à notre compréhension de l'origine de la masse des particules subatomiques, laquelle a été confirmée récemment grâce à la découverte de la particule fondamentale prédictie (le boson de Higgs) par les expériences ATLAS et CMS menées au Grand collisionneur de hadrons du CERN ».

Le boson de Higgs va-t-il changer notre vie?

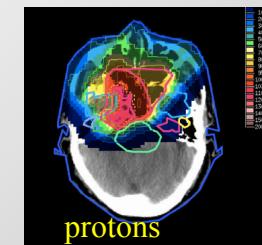
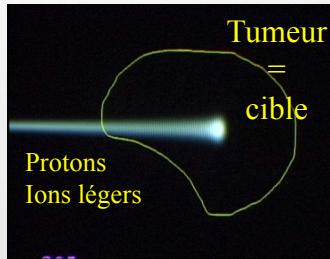
Il l'a déjà fait !

La physique des particules a besoin d'instruments scientifiques complexes de haute technologie → des technologies de pointe sont développées au CERN et dans les instituts partenaires → puis transférées vers la société

Exemples d'applications: imagerie médicale, thérapies contre le cancer, panneaux solaires, science des matériaux, scanners corporels pour aéroports, contrôle du fret aérien, stérilisation des aliments, transmutation des déchets nucléaires, analyse de vestiges historiques, etc. ... sans oublier le web ...

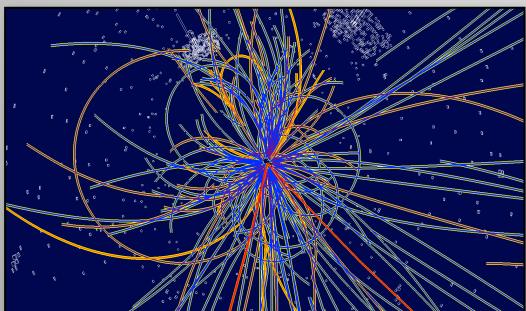


## Hadronthérapie



~30 000 accélérateurs dans le monde, dont ~17 000 utilisés pour la médecine

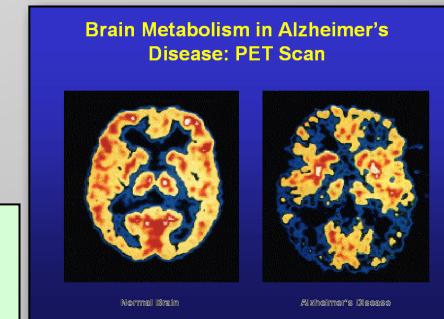
Par ex.: hadronthérapie: > 50000 patients traités en Europe (14 installations)



## Imagerie médicale



p. ex. le scanner TEP (basé sur une technologie développée au CERN) est le principal instrument de diagnostic du cancer depuis l'an 2000

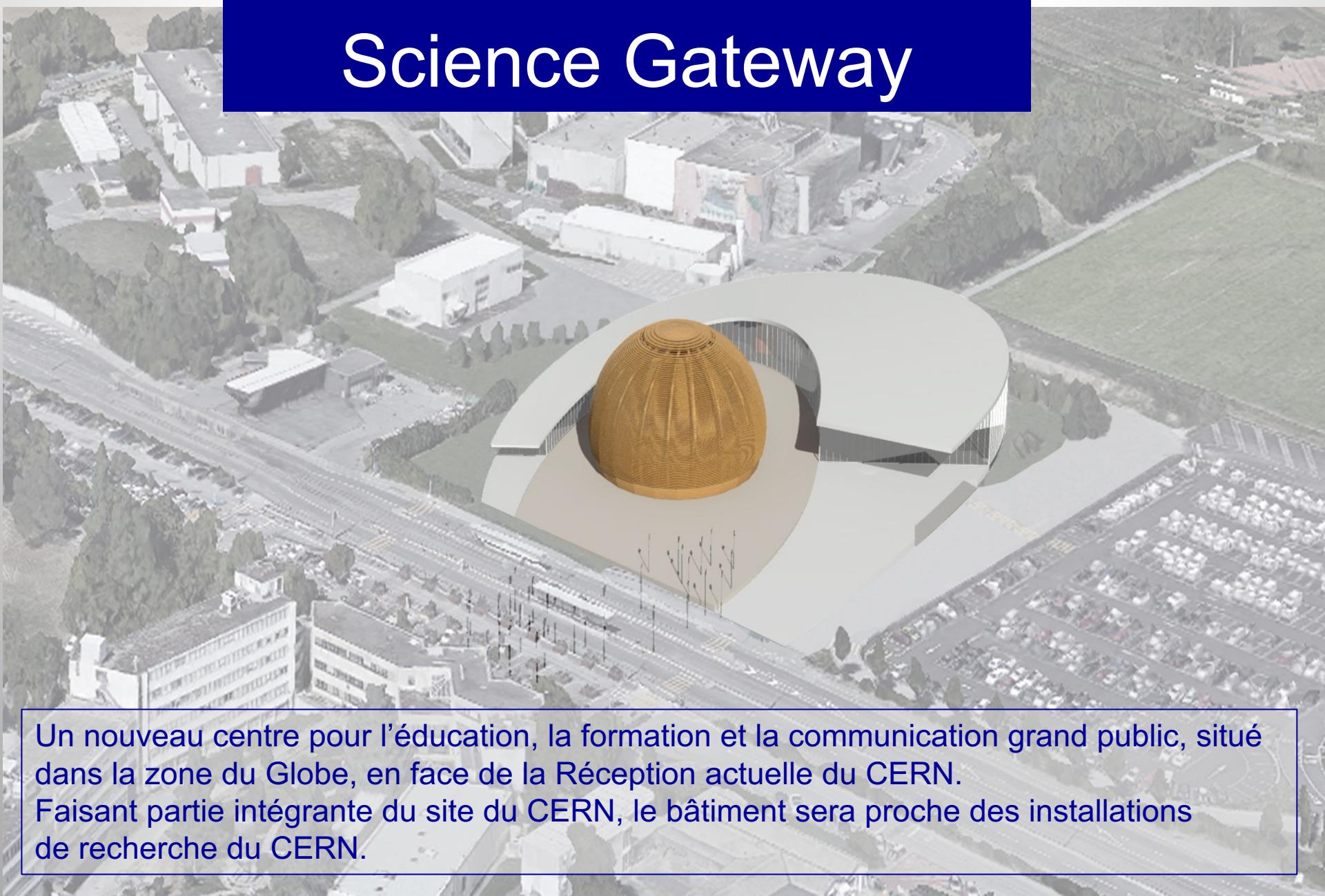


Le « modèle de gouvernance » du CERN est un sujet d'étude pour les sociologues, les écoles de commerce, les chefs d'entreprise, les responsables d'administrations.

Comment tant de gens du monde entier peuvent-ils travailler si bien ensemble ?

- Les expériences ATLAS et CMS rassemblent chacune 3 000 scientifiques venant de 40 pays environ.
  - Les éléments des détecteurs sont conçus par des centaines de physiciens et d'ingénieurs issus de centaines d'instituts, et construits par des centaines d'entreprises des cinq continents.
  - Les contributions des instituts concernés reposent sur des mémorandums d'accord n'imposant pas de contraintes juridiques (simple engagement moral de la part des organismes de financement)
- 
- Ce qui fait autorité ce sont les contributions intellectuelles, indépendamment de la hiérarchie  
→ les étudiants les plus jeunes peuvent contribuer à la prise de décisions stratégiques
  - Structure organisationnelle et structure de direction légères, bureaucratie minimale  
→ pilotage et exploitation efficaces d'instruments très complexes tout en encourageant les idées et initiatives individuelles (le moteur de la recherche)
  - Décisions prises « par consensus » à la suite de discussions auxquelles tout le monde peut participer
  - Passion commune pour la connaissance → partage de valeurs « nobles », universelles, allant au-delà de la nationalité, de la culture, de la langue ou de l'ethnicité.

# Le Portail de la science Science Gateway



Un nouveau centre pour l'éducation, la formation et la communication grand public, situé dans la zone du Globe, en face de la Réception actuelle du CERN.  
Faisant partie intégrante du site du CERN, le bâtiment sera proche des installations de recherche du CERN.

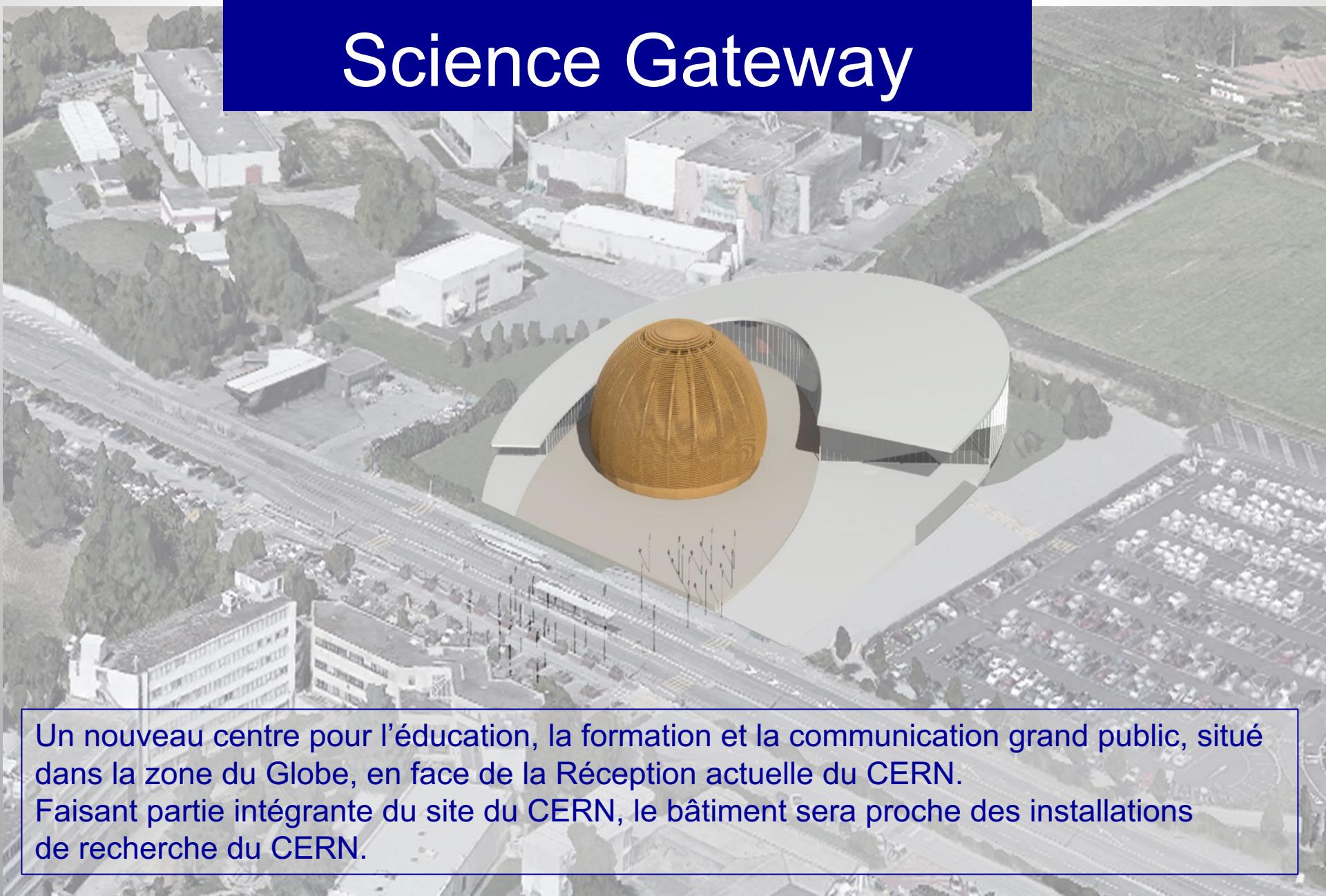


Merci de votre attention!

*Accélérateur de science et d'innovation*



# Le Portail de la science Science Gateway



Un nouveau centre pour l'éducation, la formation et la communication grand public, situé dans la zone du Globe, en face de la Réception actuelle du CERN.  
Faisant partie intégrante du site du CERN, le bâtiment sera proche des installations de recherche du CERN.

# Vision et buts

Le CERN, laboratoire de recherche de premier plan dans le monde, est idéalement situé pour accueillir un centre de formation, d'éducation et de communication scientifique pour le grand public, qui viendrait compléter des installations de recherche uniques au monde, qui attirent chaque année des milliers de visiteurs du monde entier. 120 000 visiteurs par an, et plus de 300 000 demandes.

→ Ce succès montre un grand intérêt pour la science et la technologie et le rôle essentiel que le CERN peut jouer en particulier auprès des jeunes générations.

Ce que permettra le Portail de la science:

- Élargir et diversifier l'offre du CERN en matière de formation, d'éducation et de communication scientifique pour le grand public.
- Donner suite chaque année aux demandes des 300 000 et ++ visiteurs
- Couvrir tous les âges (de 5 à 105 ans!) avec des initiatives ciblées.  
(Aujourd'hui, 16 ans minimum)
- Interagir d'avantage avec la population locale (grand public, écoles, autorités, etc.)

Le Portail de la science montrera le rôle fondamental de la science:

- ❑ pour le progrès intellectuel de l'humanité
- ❑ comme moteur de la technologie et de l'innovation → bénéfices pour la société et impact sur notre vie quotidienne
- ❑ pour favoriser la collaboration pacifique entre pays du monde entier

Il sera une source d'inspiration pour le public et contribuera à faire naître la passion du savoir scientifique, et à encourager les jeunes à entreprendre des carrières dans les secteurs de la science et de la technologie (STEM).

Il constituera un pôle scientifique faisant partie intégrante de l'écosystème unique de la Genève internationale, renforçant ainsi les liens avec les autres organisations autour de thèmes d'intérêt commun, par exemple dans le contexte des objectifs de développement durable.

Il sera conçu et mis en place en étroite collaboration avec les institutions de recherche et d'enseignement de la région, en particulier l'Université de Genève et l'EPFL, et établira des liens au niveau mondial avec d'autres institutions, centres éducatifs et musées des sciences, en particulier dans les États membres du CERN.

# Contenus (en cours de développement. Voici quelques exemples ...)

Le centre proposera différentes activités visant différentes classes d'âge, enfants de l'école primaire, élèves du secondaire, mais aussi publics plus âgés (familles, etc.).

- ateliers et petits laboratoires pour travaux pratiques et expériences «la main à la pâte» (à partir de 4-5 ans)
- écrans interactifs pour explorer la matière jusqu'à ses constituants les plus petits, comprendre les forces et l'espace-temps
- visites du CERN en réalité virtuelle
- expositions temporaires ou permanentes, fixes ou interactives, par ex.:
  - les géants de la science et les figures exemplaires de la physique, notamment des femmes
  - quand la science rencontre l'art (programme *Arts@CERN*)
  - l'impact des découvertes scientifiques et de l'innovation technologique du CERN sur la société et le lien avec les défis mondiaux, en particulier les Objectifs de développement durable
- possibilité de se connecter en direct avec d'autres centres scientifiques ou partenaires internationaux (universités, musées, etc.) à l'occasion d'événements marquants
- auditorium > 1 000 places pour conférences grand public en particulier à destination des communautés locales et pour les réunions de scientifiques organisées dans la région de Genève.

# Financement

Il est envisagé de construire le projet au moyen d'appels de fonds publics et/ou privés. Le centre (bâtiment, contenu) sera conçu et développé en étroite collaboration avec les donateurs afin de refléter une vision partagée et des valeurs communes. Idéalement un donateur principal pour le bâtiment, et d'autres pour les autres composantes.

Éléments à financer: concours d'architecte, bâtiment, auditorium, contenu (expositions, ateliers, etc.), actions spécifiques et événements, inauguration.

Coût du projet: approx. 50-70 MCHF

Une fois le centre établi, sa maintenance et son exploitation seront couverts par le budget du CERN.

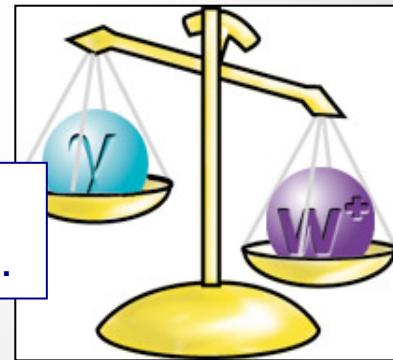
Conformément à la mission de « science ouverte » du CERN, l'accès au centre et les activités menées seront **gratuits** pour les visiteurs.

Ouverture au public: idéalement dans 4 ans

# **EXTRAS**

# Le rôle fondamental du boson de Higgs

Avant la découverte du boson de Higgs au LHC en 2012  
nous ne savions pas comment les particules acquièrent leur masse.



Mécanisme proposé (Brout, Englert, Higgs et al., 1964): origine des masses  $\sim 10^{-11}$  s après le Big Bang, lorsque le «champ de Higgs» remplit l'Univers → les particules acquièrent une masse proportionnellement à leur interaction avec le champ de Higgs



Conséquence de la théorie BEH: existence du boson de Higgs  
Particule recherchée pendant plus de 30 ans dans les accélérateurs du monde entier → enfin découverte au LHC en 2012  
→ Prix Nobel de physique 2013 attribué à F. Englert et P. Higgs

NB: un monde sans boson de Higgs serait très étrange.  
Si les électrons et les quarks n'avaient pas de masse, les atomes n'existeraient pas → l'Univers serait très différent

