

# Le programme scientifique du CERN

## *Tour d'horizon du Laboratoire*

Le CERN est le plus grand laboratoire de recherche en physique des particules du monde

Le CERN exploite l'accélérateur de la plus haute énergie du monde (le LHC)

Le CERN a un programme scientifique très vaste

Département de physique expérimentale (EP)

*Manfred Krammer*



# Le CERN a été fondé en 1954: 12 États européens

« La science au service de la paix »

Aujourd'hui: 23 États membres

- ~ 2600 membres du personnel titulaires
- ~ 1800 autres membres du personnel rémunérés
- ~ 12500 utilisateurs scientifiques

**États membres:** l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, Israël, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la Roumanie, la Serbie, la Slovaquie, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse

**États membres associés:** Chypre, l'Inde, la Lituanie, le Pakistan, la Slovaquie, la Turquie, l'Ukraine

**États ayant demandé à accéder au statut d'État membre ou d'État membre associé:** le Brésil, la Croatie

**Observateurs auprès du Conseil:** les États-Unis d'Amérique, la Fédération de Russie, le Japon, la Commission européenne, le JINR et l'UNESCO

# Le CERN attire des scientifiques du monde entier

## Distribution of All CERN Users by Nationality on 10 October 2019

~ 12 500 utilisateurs de 116 nationalité

### MEMBER STATES

**7265**

Austria	99
Belgium	113
Bulgaria	76
Czech Republic	224
Denmark	50
Finland	78
France	786
Germany	1206
Greece	214
Hungary	74
Israel	61
Italy	1874
Netherlands	168
Norway	61
Poland	324
Portugal	100
Romania	141
Serbia	50
Slovakia	127
Spain	417
Sweden	79
Switzerland	204
United Kingdom	739

### OBSERVERS

**2543**

Japan	266
Russia	1133
USA	1144

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

**51**

Cyprus	22
Slovenia	29

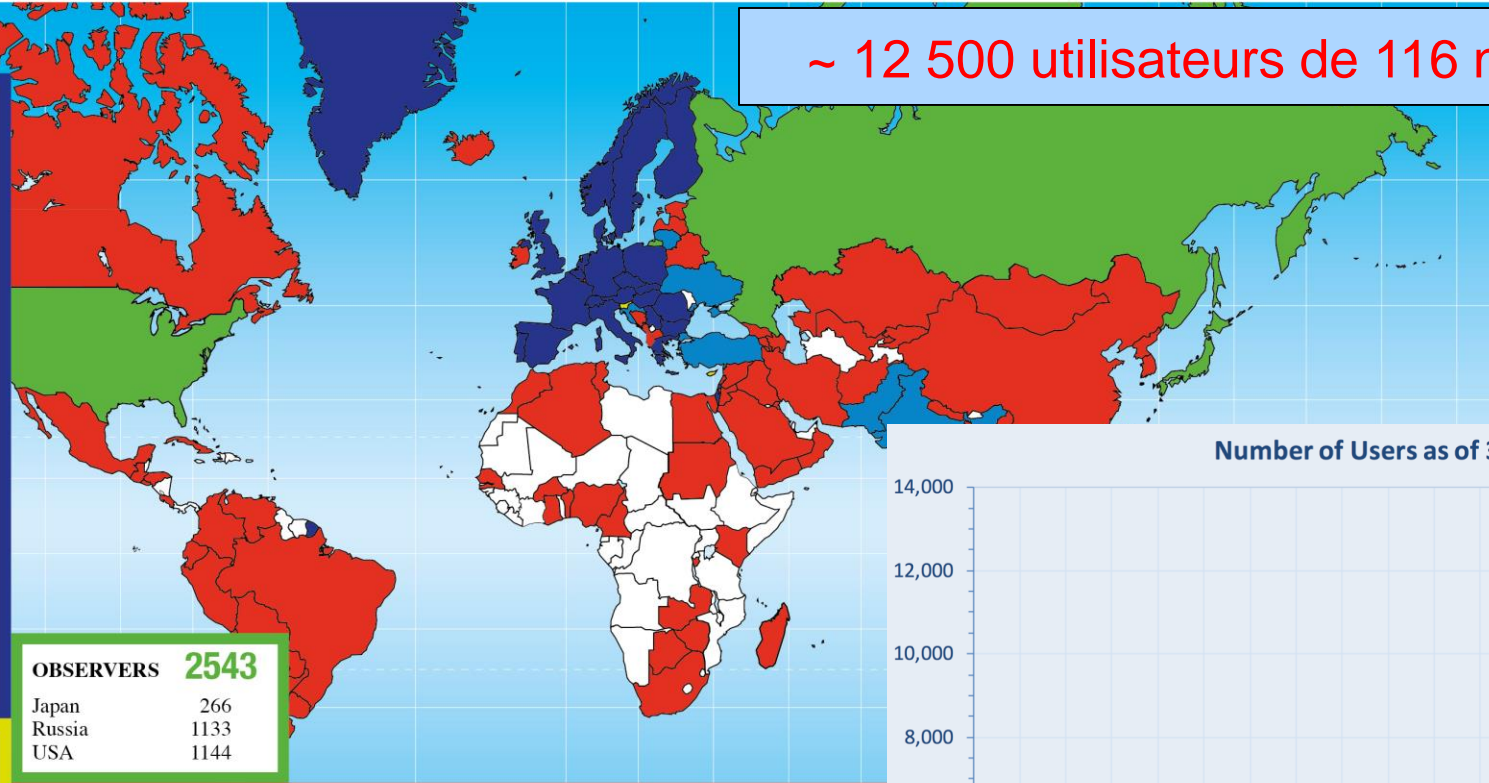
### ASSOCIATE MEMBERS

**785**

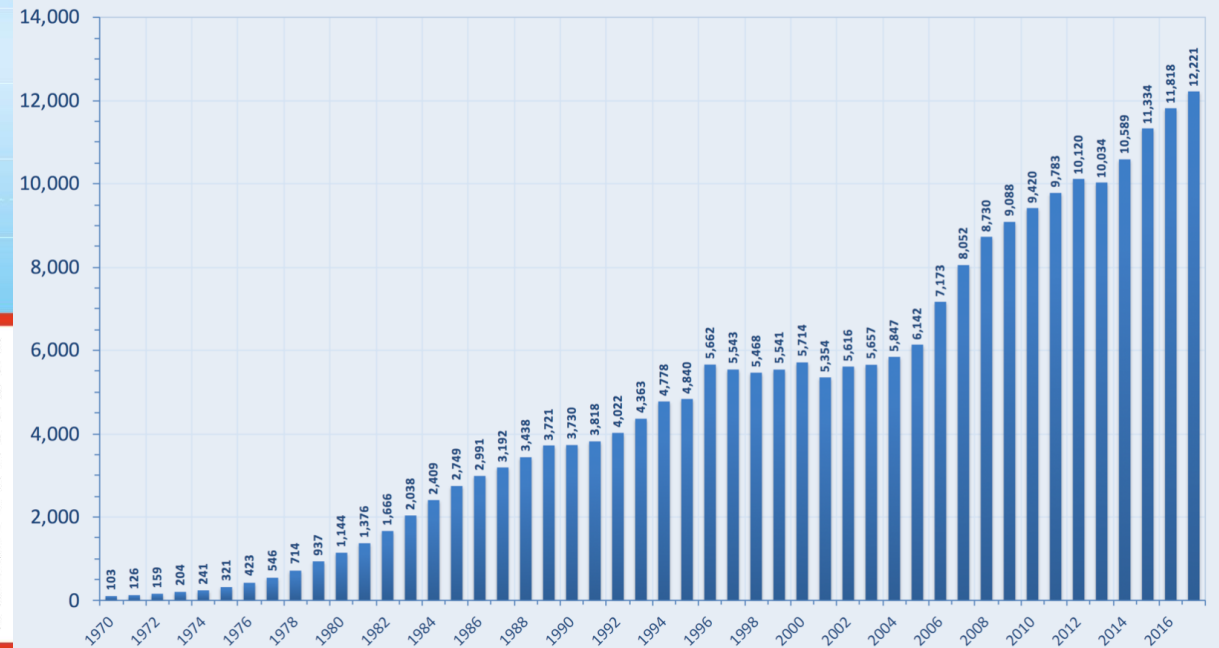
Croatia	44
India	374
Lithuania	33
Pakistan	65
Turkey	165
Ukraine	104

### OTHERS

Bolivia	2	Ecuador	11	Ireland	14
Bosnia & Herzegovina	3	Egypt	26	Jordan	1
Botswana	1	El Salvador	1	Kazakhstan	10
Brazil	123	Estonia	15	Kenya	1
Albania	4	Georgia	50	Korea	171
Algeria	11	Burkina Faso	1	Kyrgyzstan	1
Argentina	22	Burundi	1	Guatemala	1
Armenia	18	Cameroon	1	Latvia	4
Australia	29	Canada	163	Hong Kong	1
Azerbaijan	8	Chile	19	Honduras	1
Bahrain	3	China	575	Iceland	4
Bangladesh	7	Colombia	39	Iran	10
Belarus	49	Costa Rica	1	Indonesia	47
Benin	1	Cuba	16	Iraq	1
				Israel	23
				Italy	5



Number of Users as of 31 December each Year

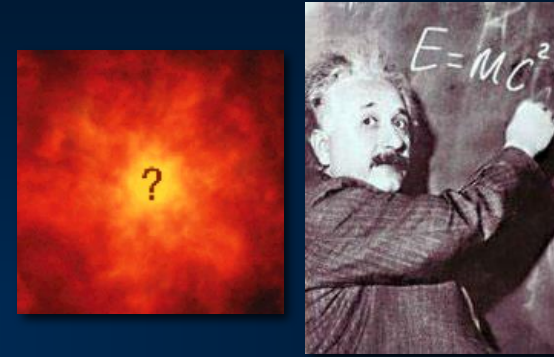




# Les missions du CERN

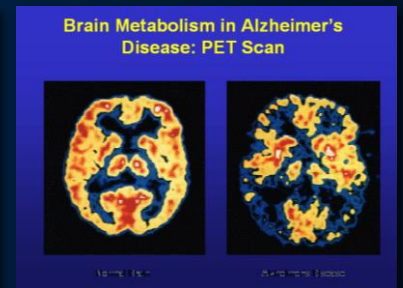
## □ Repousser les limites de la connaissance

Étudier la structure de la matière aux échelles les plus petites et aux énergies les plus élevées... À quoi ressemblait la matière pendant les premiers instants de l'Univers ?

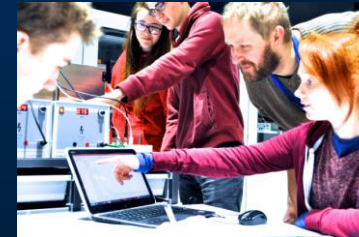


## □ Développer de nouvelles technologies pour les accélérateurs et les détecteurs

Avantages pour la société: p. ex. technologie d'accélérateur, détecteurs pour la médecine, technologies de l'information - le web et la Grille



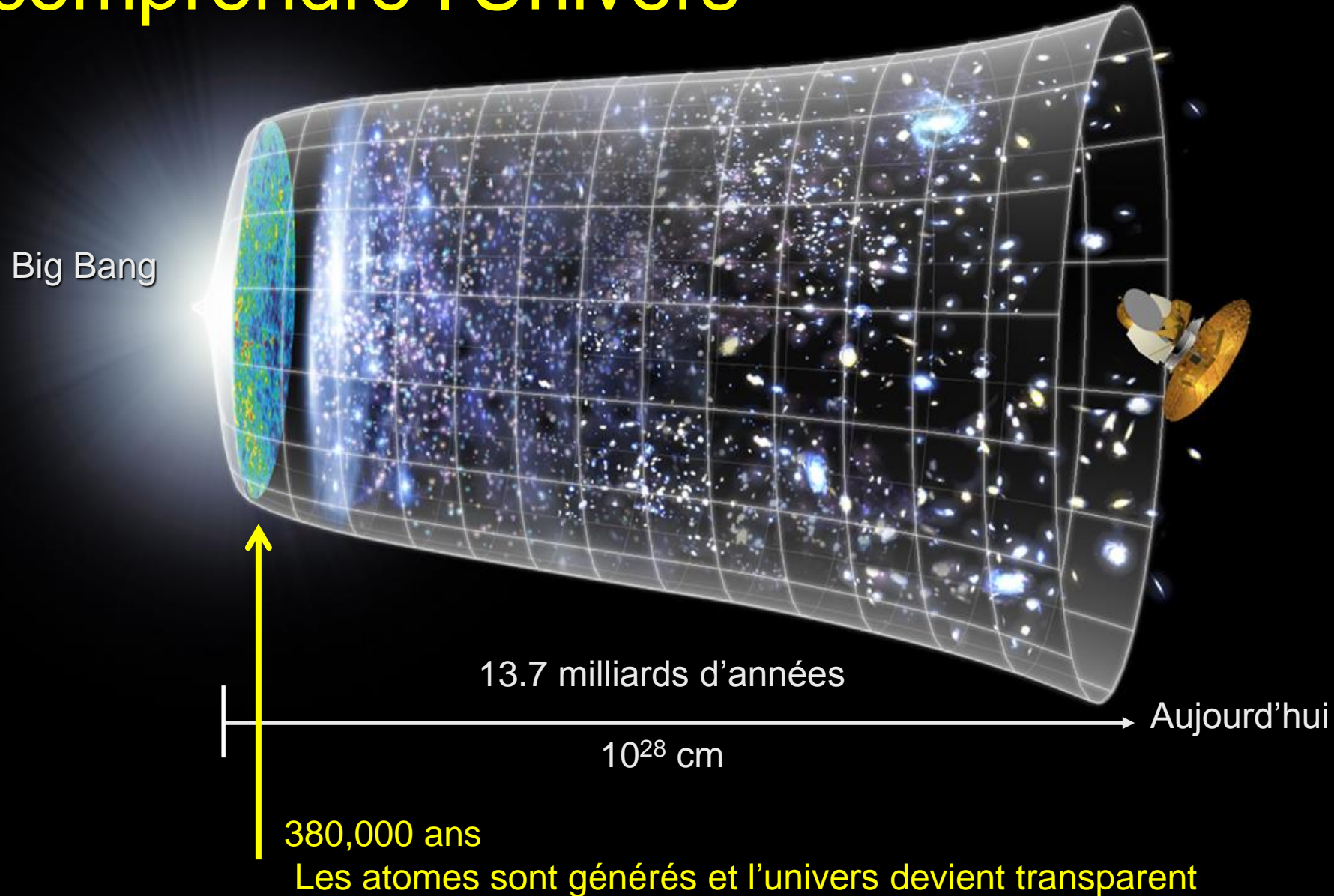
## □ Former les scientifiques et ingénieurs de demain



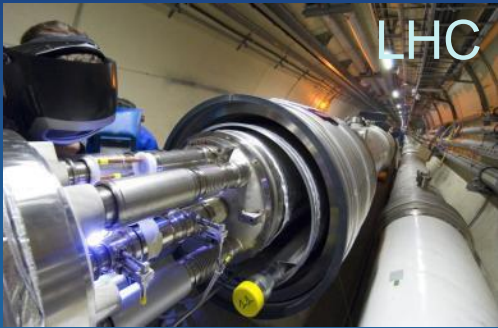
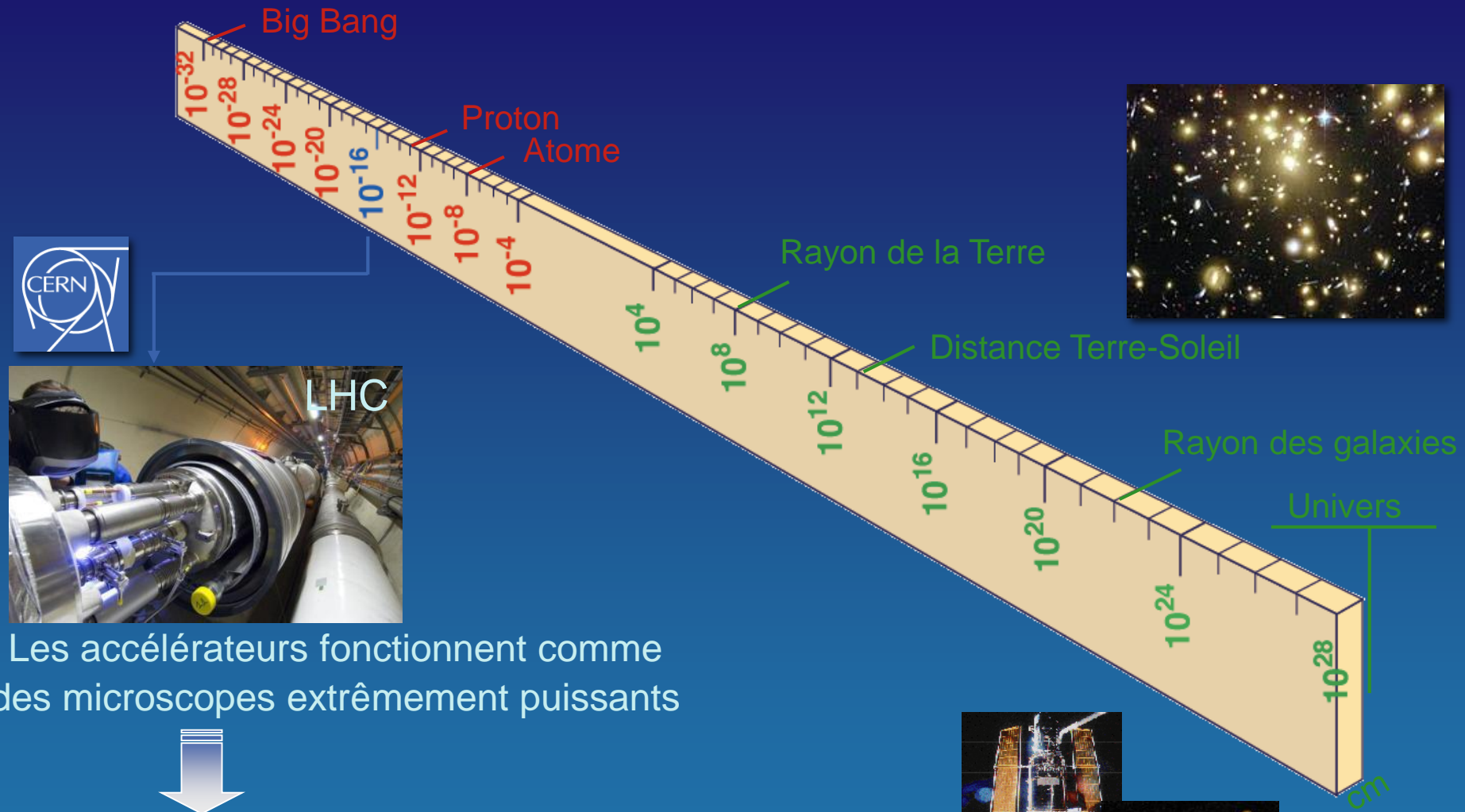
## □ Rassembler des personnes de cultures et de pays différents



# La physique au CERN: comprendre l'Univers



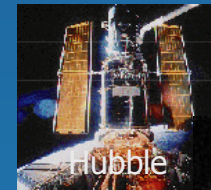
# Des plus petites aux plus grandes structures



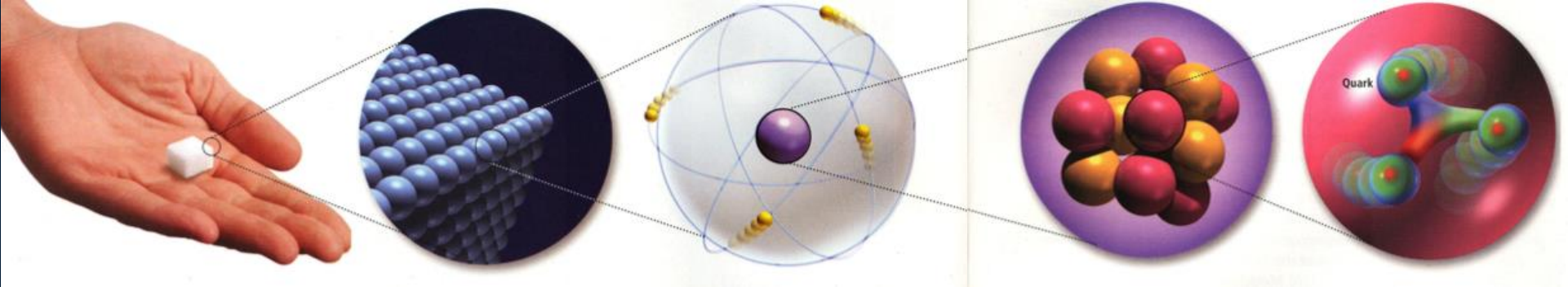
Les accélérateurs fonctionnent comme des microscopes extrêmement puissants



Ils étudient les lois de la physique dans des conditions semblables à celles qui prévalaient juste après le Big Bang  
Renforcement des synergies entre la physique des particules, l'astrophysique et la cosmologie



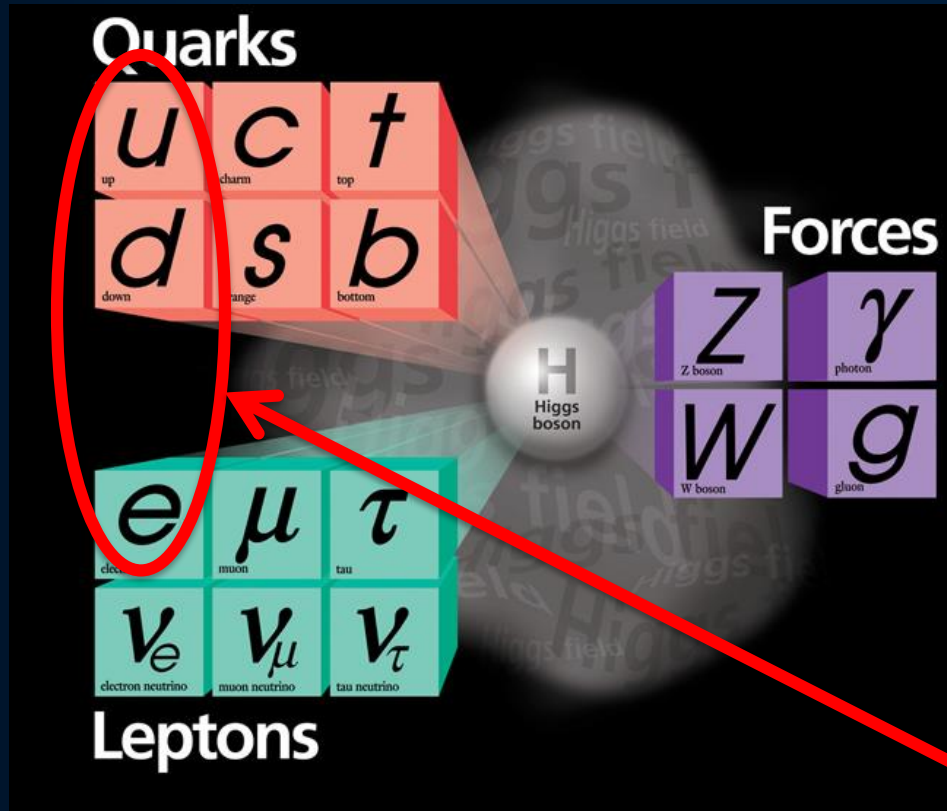
# Composition de la matière



- Toute la matière est composée d'atomes
- Les atomes sont composés d'un noyau et d'**électrons**
- Le noyau est composé de neutrons et de protons
- Les neutrons et les protons sont formés de **quarks u** et de **quarks d**

**Les particules fondamentales de la matière:**  
les électrons, les quarks u, les quarks d

# Le Modèle standard de la physique des particules



Les **fermions** (spin  $\frac{1}{2}$ ), qui comprennent les quarks et les leptons, sont les constituants de la matière

Les **bosons** (spin entier) sont les porteurs de force : force électromagnétique (photon), force faible (W, Z) et force forte (gluons)

Le **boson de Higgs** (spin 0) donne leur masse aux particules

**Cela suffit à expliquer la matière qui nous entoure**

Chaque particule possède également un partenaire d'antimatière

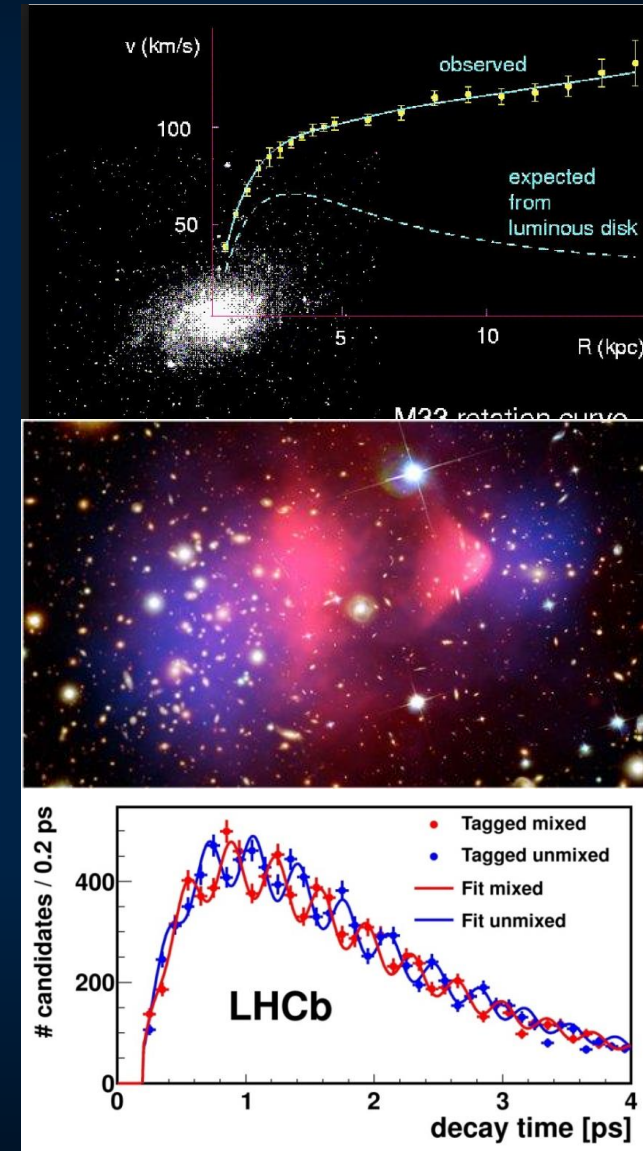


# Que reste-t-il à découvrir ?

Plusieurs observations et mystères indiquent que le Modèle standard n'est pas la théorie finale:

- La matière noire (telle qu'elle est « observée » en astrophysique) n'est pas expliquée: faut-il pour cela de nouvelles particules ? Il y a cinq fois plus de matière noire que de matière « normale ».
- L'asymétrie entre la matière et l'antimatière: pourquoi l'Univers est-il composé de matière, alors que matière et antimatière auraient été produites en quantités égales lors du Big Bang ?
- La masse des neutrinos n'est pas expliqués par le Modèle standard: il existe trois « saveurs » différentes de neutrinos - s'ils changent de saveur, ils doivent donc avoir une masse
- ...
- Et enfin, l'intégration de la gravité dans la théorie finale.

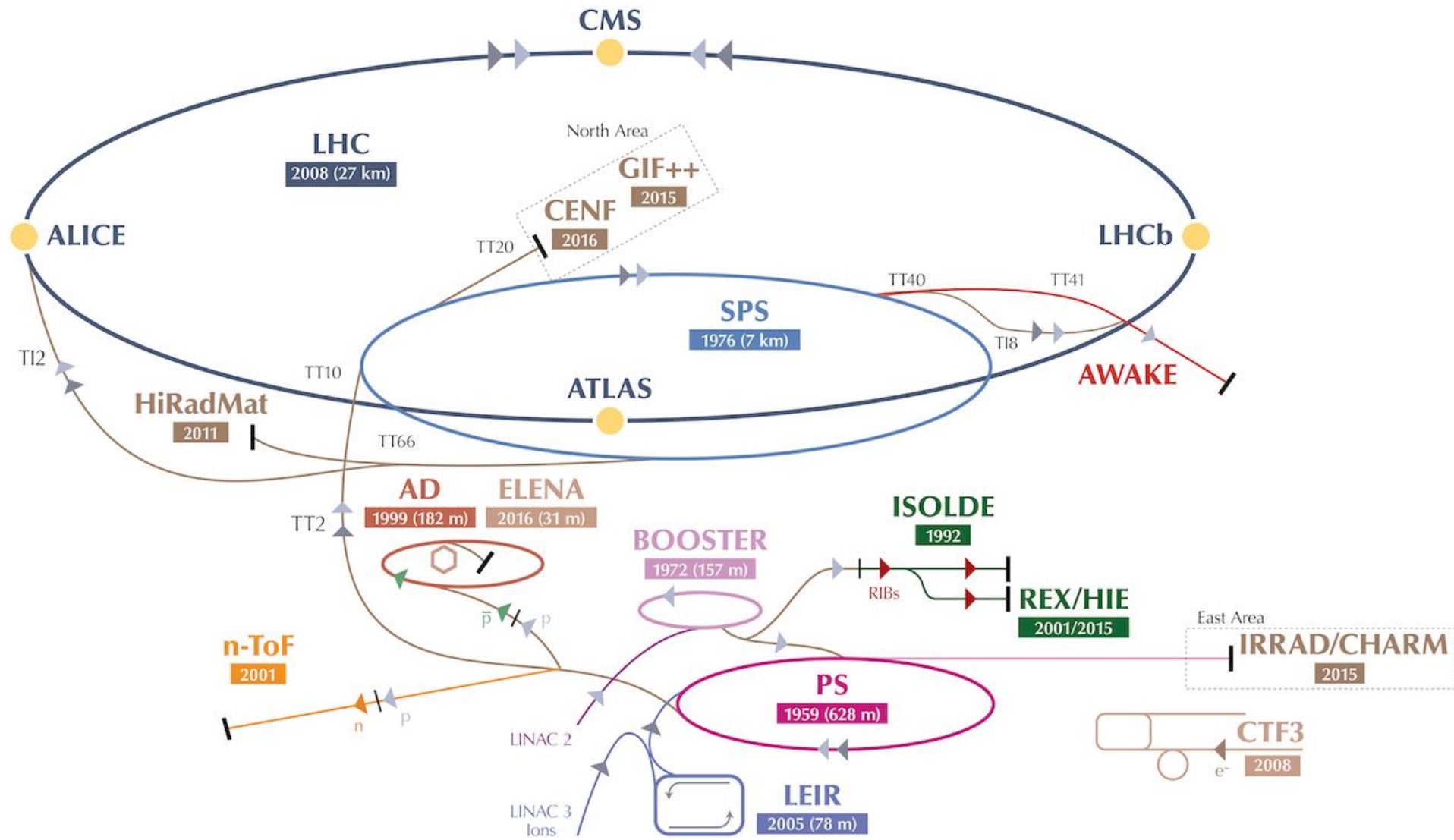
Il y a encore d'immenses territoires à explorer et de mesures à effectuer pour ramener un prix Nobel !



# La recherche en physique des particules a besoin:

- de théories
- d'accélérateurs et d'ingénierie
- d'expériences et d'informatique
- de personnes
- de personnes
- de personnes
- de personnes

# Les accélérateurs du CERN



# Le Grand collisionneur de hadrons

Recherche du boson de Higgs, étudier les particules du Modèle standard et  
rechercher une physique au-delà du Modèle standard

Exploration of a new energy frontier in p-p and Pb-Pb collisions



# Expériences auprès du LHC

CMS

LHCb

ALICE

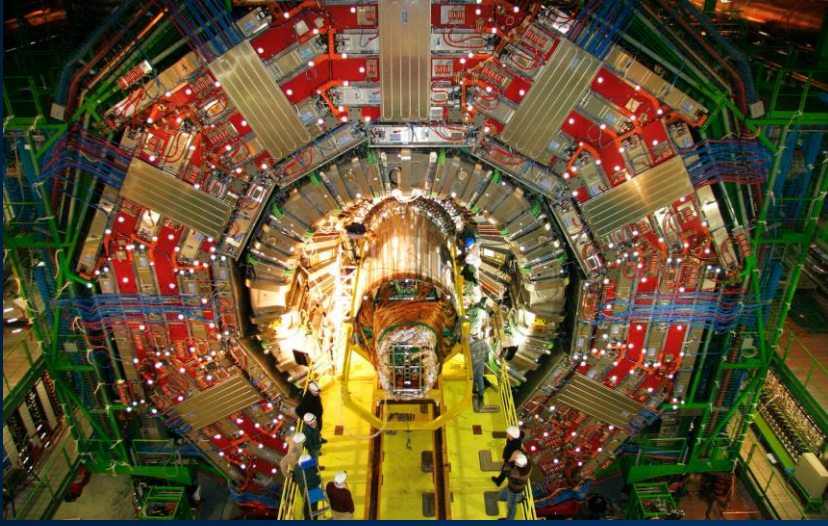
ATLAS

+ TOTEM, LHCf, MoEDAL, Faser

# Expériences auprès du LHC

Quatre grandes expériences

CMS



ATLAS



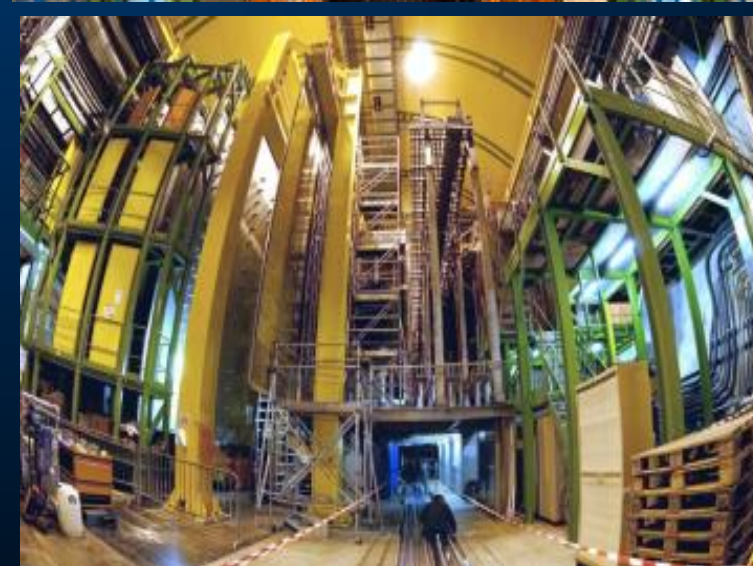
ALICE

Dédié à la physique  
des ions lourds  
~ 1 mois / an  
collisions Pb-Pb



LHCb

Dédié à la physique  
des saveurs  
(quarks b et c)



# Expériences auprès du LHC

Superbes performances du LHC, des expériences et de la Grille de calcul:

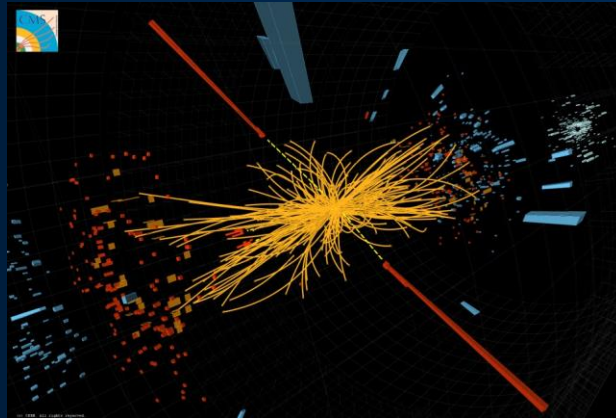
Exploitation 1, 2011-2012 :  $E_{\text{cm}} = 7-8 \text{ TeV}$

Exploitation 2, 2015-2018:  $E_{\text{cm}} = 13 \text{ TeV}$

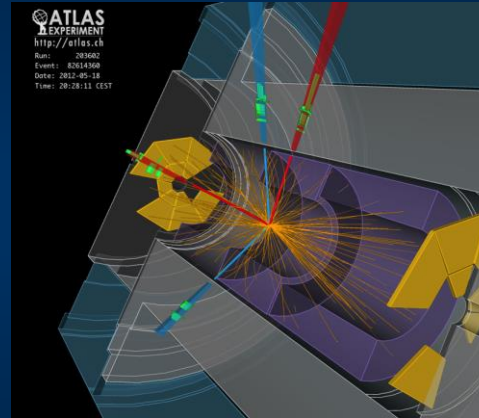
La préparation pour Exploitation 3, 2022-2024:  $E_{\text{cm}} = 13-14 \text{ TeV}$  (sera décidé)

Opération du LHC approuvé jusqu'en 2037

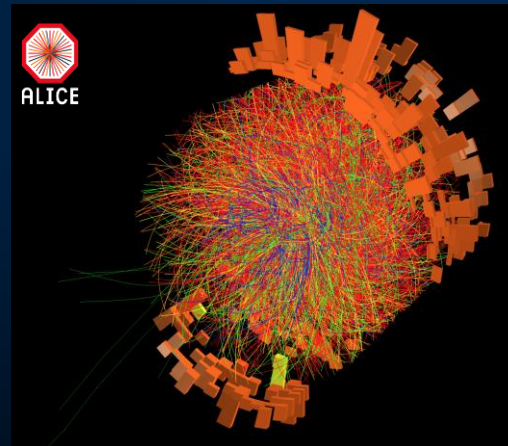
CMS



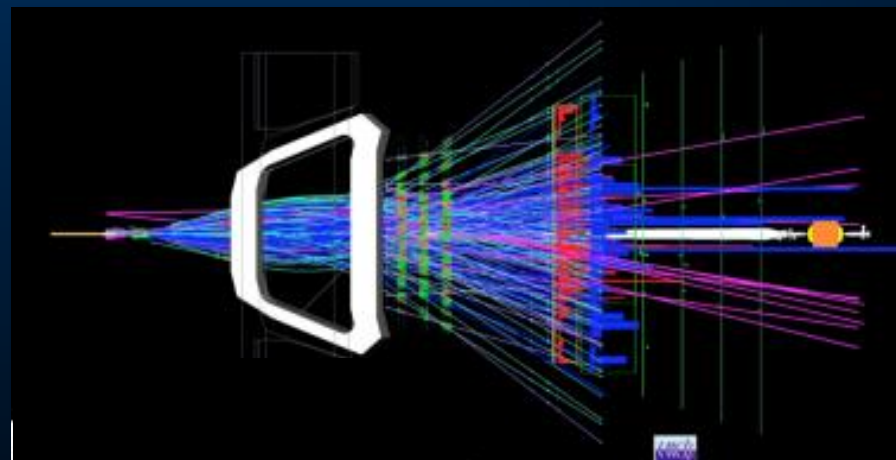
ATLAS

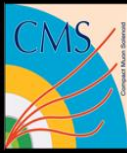


ALICE



LHCb



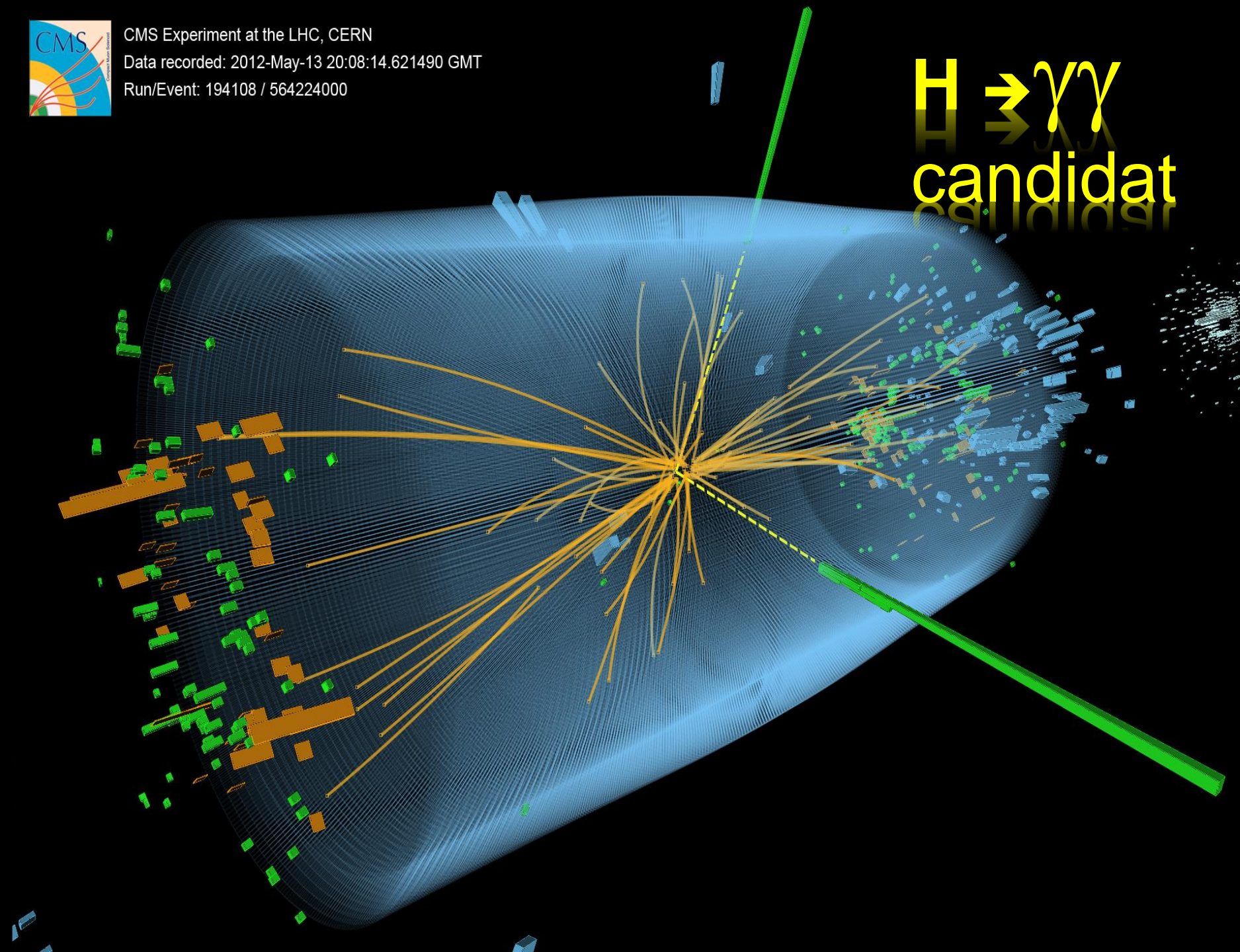


CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT

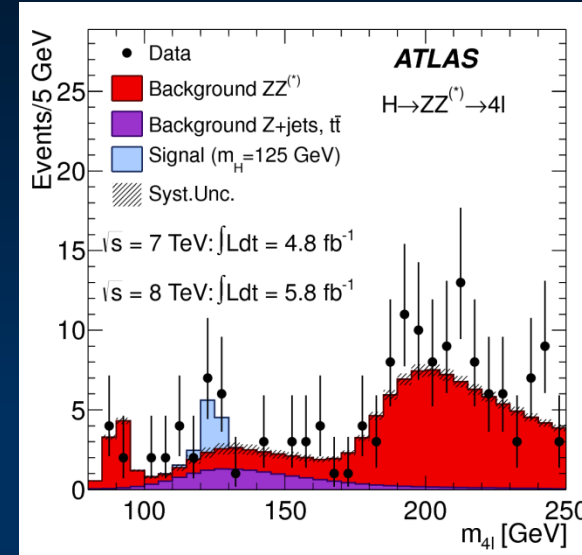
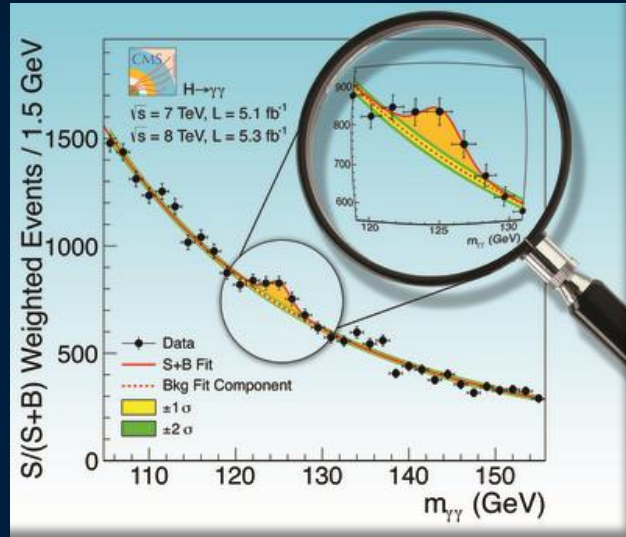
Run/Event: 194108 / 564224000

$H \rightarrow \gamma\gamma$   
candidate





# Juillet 2012: « ATLAS et CMS observent une nouvelle particule aux caractéristiques compatibles avec celles du boson de Higgs »



**François Englert**

Photo: A. Mahmoud

**Peter W. Higgs**

The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs "for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"

Photos

To cite

MLA st  
Web. 1



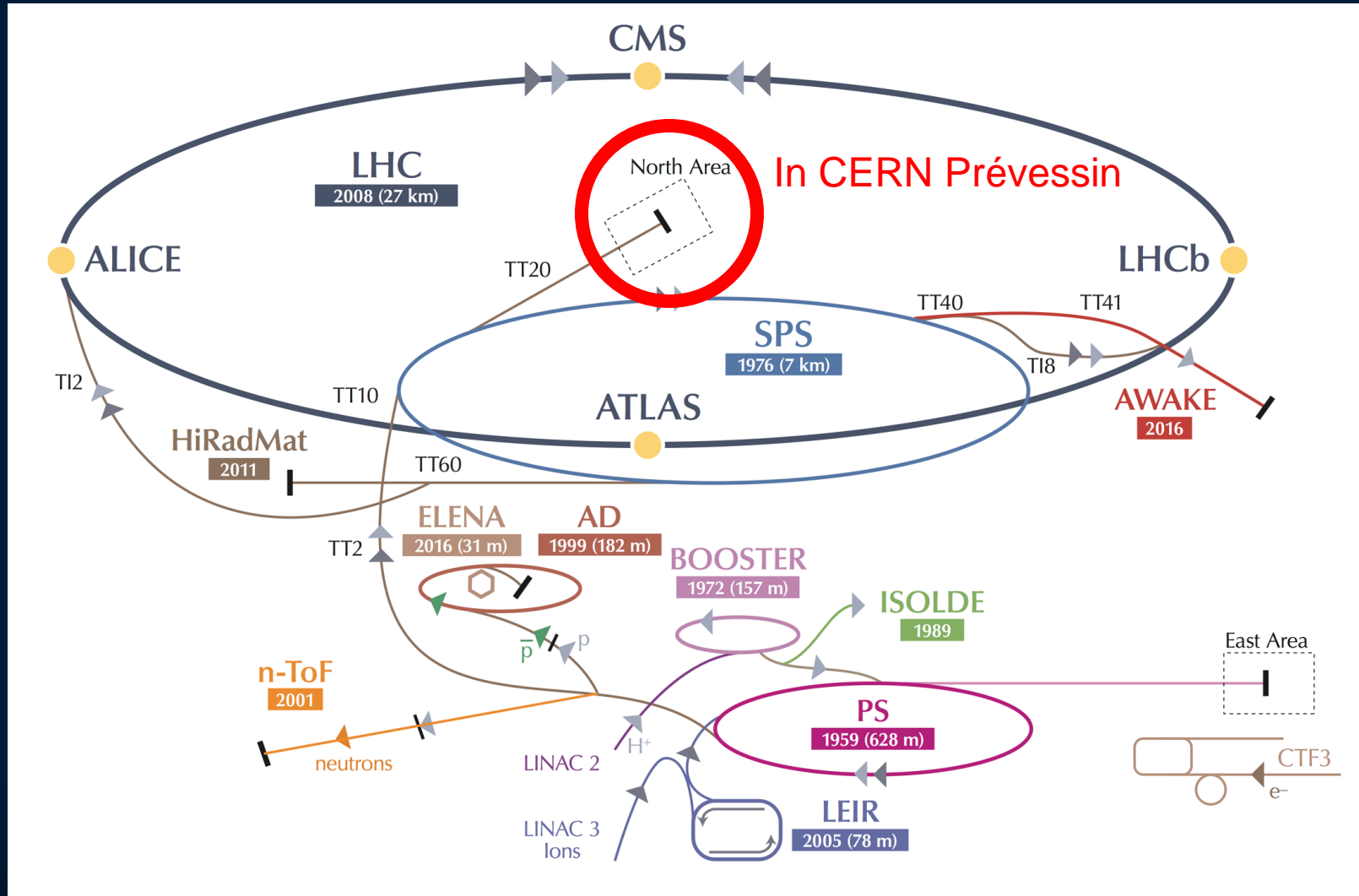
2013.  
2013/>



Le CERN n'est pas seulement le LHC !



# Le SPS: un injecteur pour le LHC et un accélérateur pour les expériences de la zone Nord



# Programme de physique avec cibles fixes

Les expériences à plus faible énergie auprès du PS ou du SPS (dans la gamme 1-400 GeV) permettent des mesures de précision et des comparaisons avec la théorie  
Les écarts peuvent être le signe d'une nouvelle physique à des énergies plus élevées

Super Proton Synchrotron  
(1976)  
Protons jusqu'à 400 GeV,  
max.  $9.5 \times 10^9$  p par bouquet



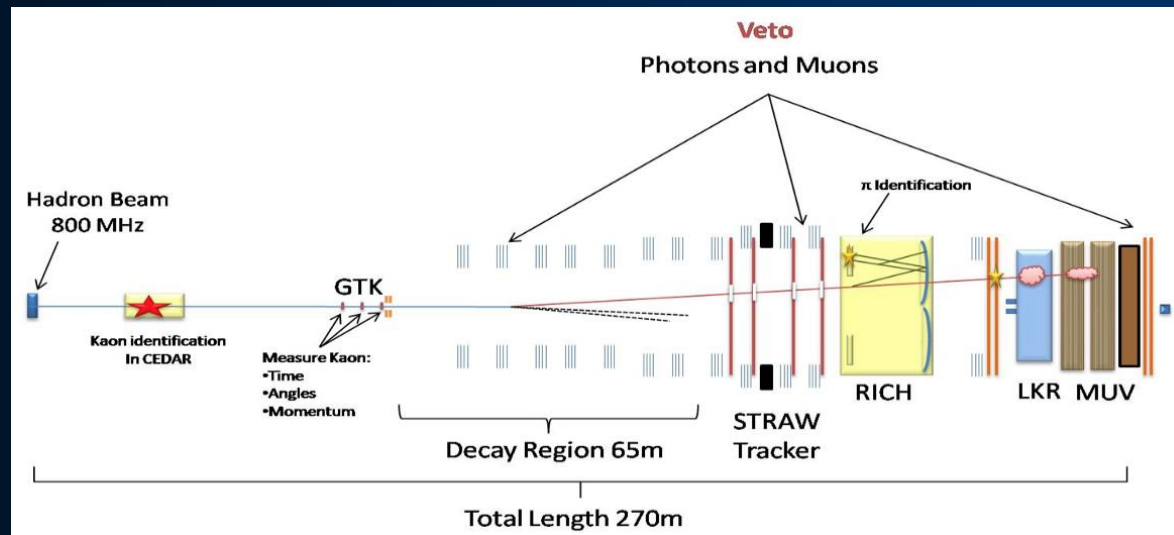
COMPASS in North Hall  
(60 m long)

# Programme de physique avec cibles fixes

6 expériences approuvées:

- NA58 (COMPASS): physique sur le spin des muons, spectroscopie hadronique
- NA61 (SHINE): interaction forte, plasma quarks-gluons, neutrinos et programme sur les rayons cosmiques
- NA62: désintégrations rares du K BR( $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ )
- NA63: processus électromagnétiques dans les champs cristallins élevés
- NA64: recherche de secteurs sombres dans les événements présentant de l'énergie manquante
- NA65 (DsTau): étude de la production de  $\nu_\tau$

Par exemple NA62:



# Plateforme neutrino (nouvelle extension de la zone Nord)

Tout comme les quarks ont des couleurs, les neutrinos ont différents saveurs  $\nu_e$   $\nu_\mu$   $\nu_\tau$

et leur saveur varie

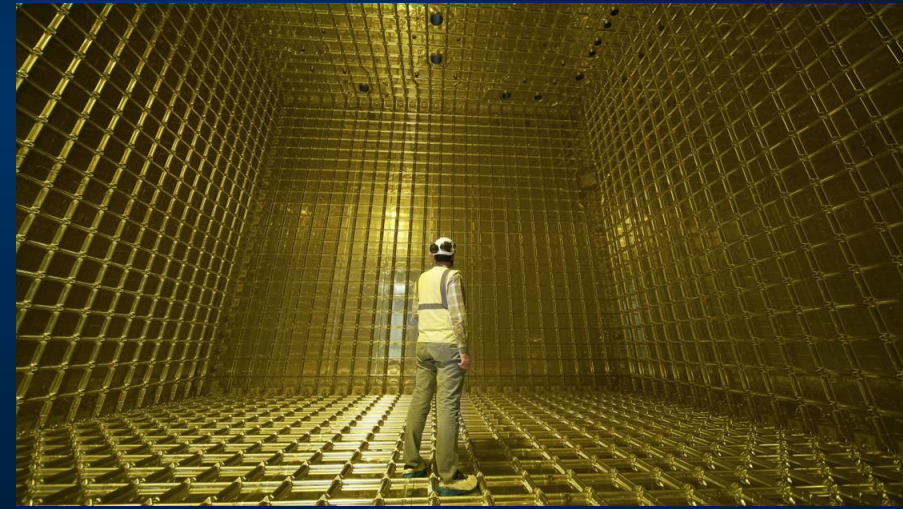
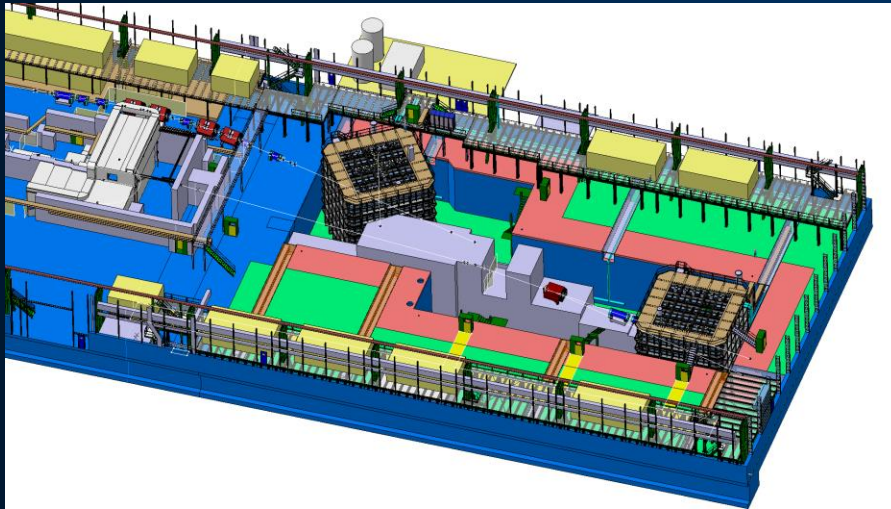
$$\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$$

$$\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$$

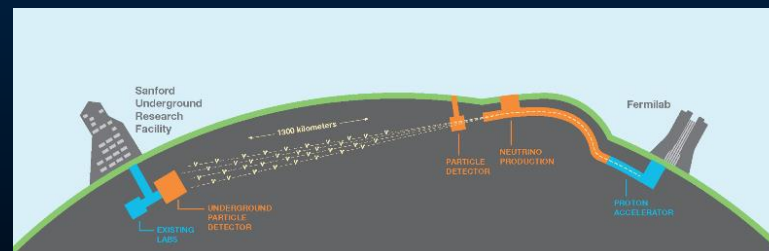
Elle a été étudiée avec des faisceaux de  $\nu_\mu$  envoyés depuis le CERN jusqu'au Gran Sasso, en Italie (CNGS).

La plateforme neutrino fonctionne comme une zone de test, avec des faisceaux chargés destinés à des détecteurs de neutrinos (par ex. pour la R&D sur de grands détecteurs à argon liquide).

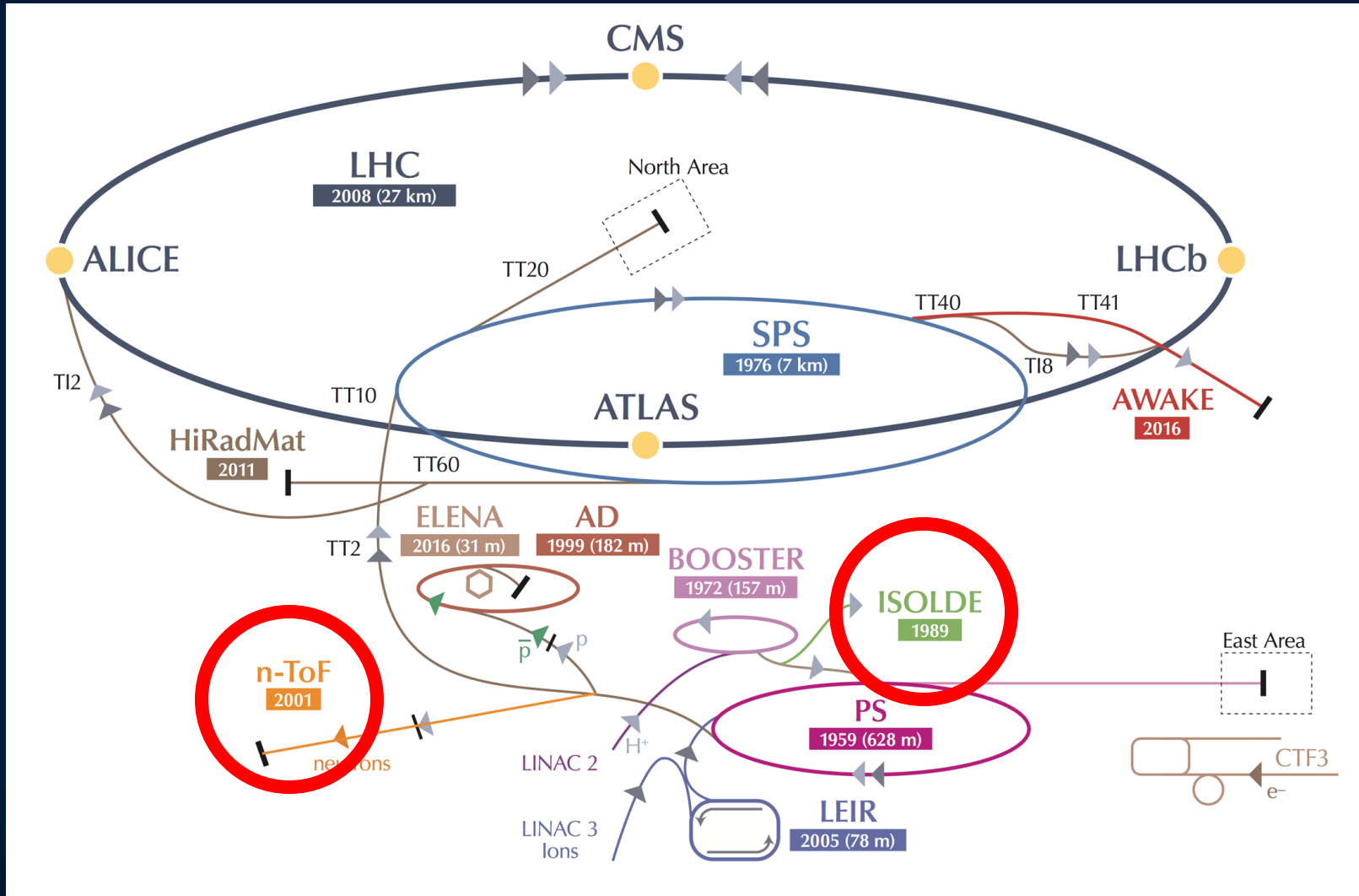
Les expériences auront lieu aux États-Unis et au Japon.



LBNF/DUNE aux États-Unis :



# ISOLDE et nTOF



# Physique nucléaire: ISOLDE et nTOF

## ISOLDE: faisceaux d'ions radioactifs

1000 nucléides de plus de 75 éléments produits, environ 50 expériences chaque année

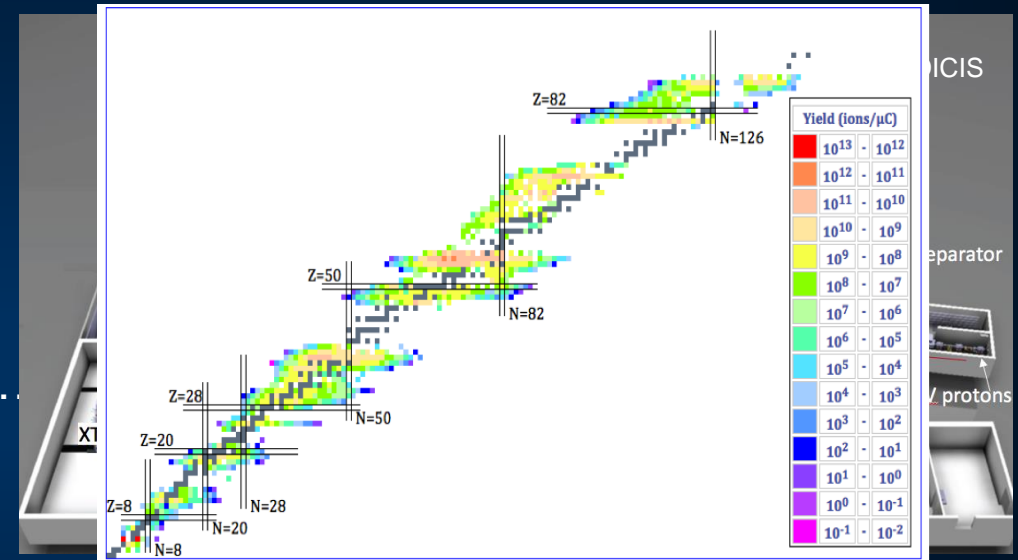
- *Physique nucléaire*
- *Interactions fondamentales*
- *Astrophysique nucléaire*
- *L'Application (médicales, physique du solide)*

Plus de 20 matériaux pour les cibles:

carbures, oxydes, métaux solides,  
métaux en fusion et sels en fusion (U, Ta, Zr, Y, Ti, Si, ...)

3 types de sources d'ions: surfaces, plasmas, lasers

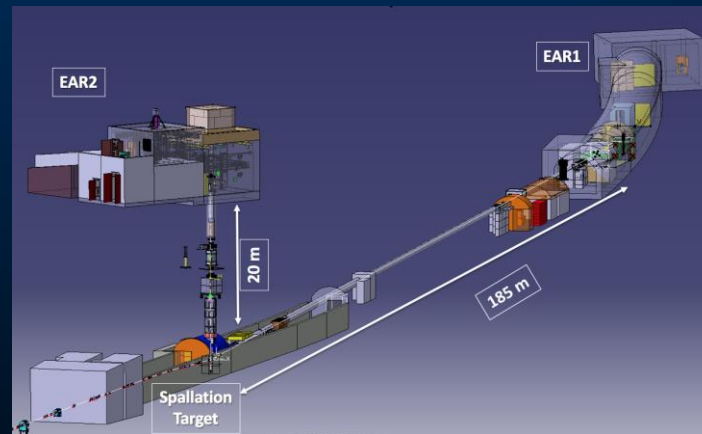
HIE-ISOLDE (post-accélération jusqu'à 10 MeV/nucleon)



## nTOF (expérience sur le temps de vol des neutrons)

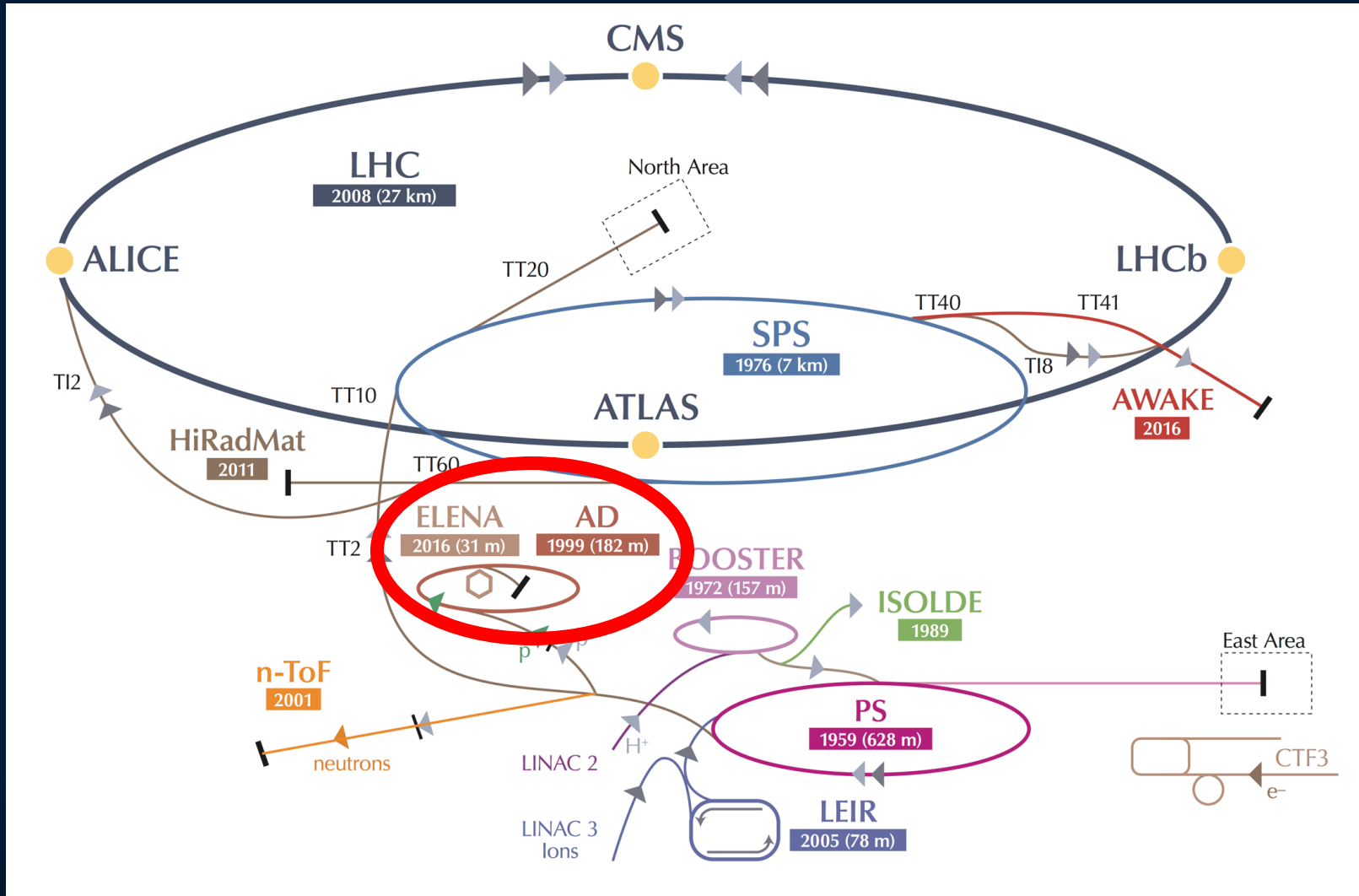
Mesure de la section efficace des neutrons

- *Astrophysique*
- *Physique nucléaire*
- *Applications médicales*
- *Transmutation des déchets nucléaires*





# Physique des antiprotons et des antihydrogènes

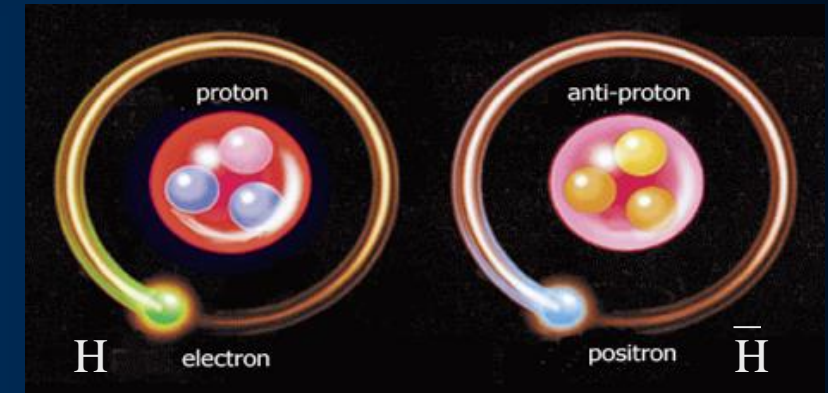
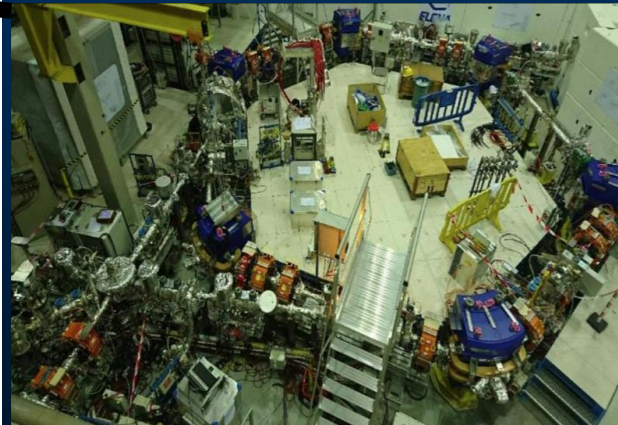
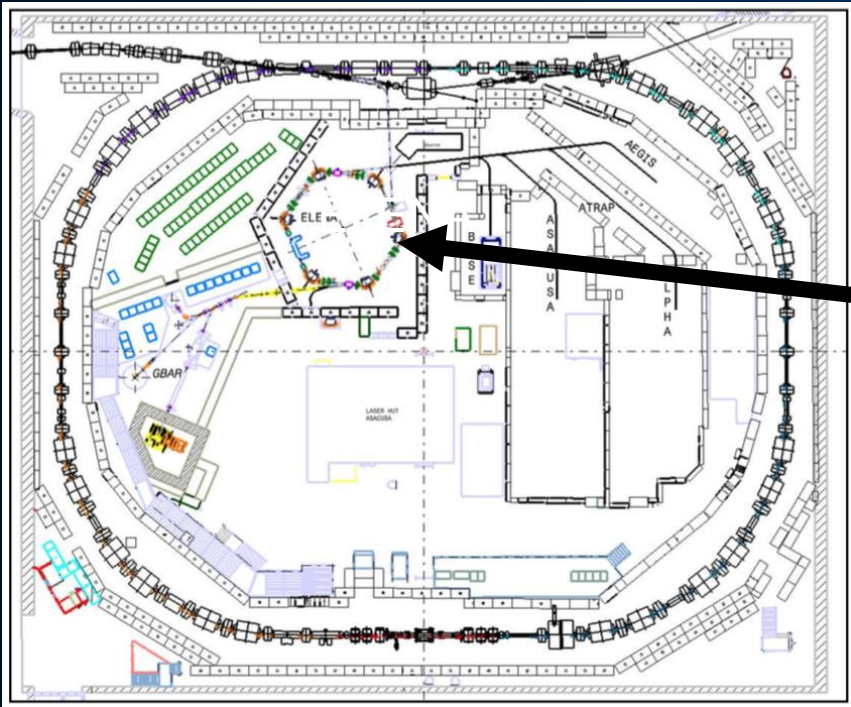


# Physique des antiprotons et des antihydrogènes

## Comparaison matière-antimatière

- Test l'invariance de CPT, la symétrie la plus fondamentale de la théorie relativiste des champs quantiques
- Test du principe d'équivalence faible en mesurant le comportement gravitationnel de l'antimatière
- Mesures de systèmes de type "antihydrogène": hélium antiprotonique helium, positronium, protonium

Le décélérateur d' antiprotons (AD): antiprotons à 5.3 MeV



En mettant en service ELENA  
Antiprotons à très basse énergie  
à 100 keV  
→ 10-100 x plus grande efficacité de piégeage  
→ Exécution parallèle d'expériences

# Antiproton & Antihydrogen Physics

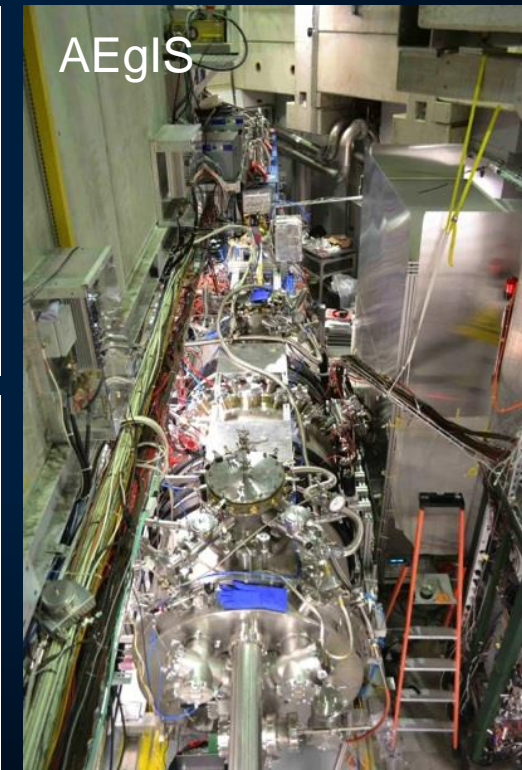
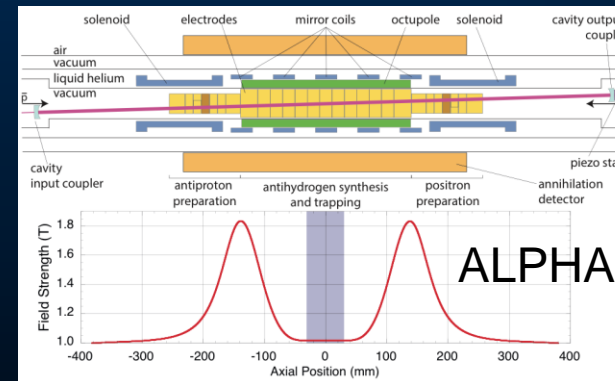
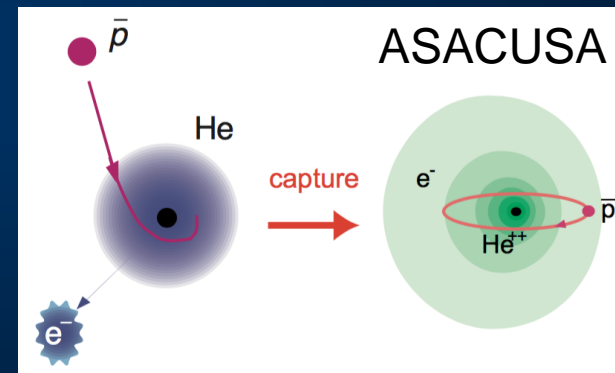
Comparaison matière-antimatière

Relation fondamentale dans la théorie actuelle de la physique:  $m = \bar{m}$ ,  $g = \bar{g}$

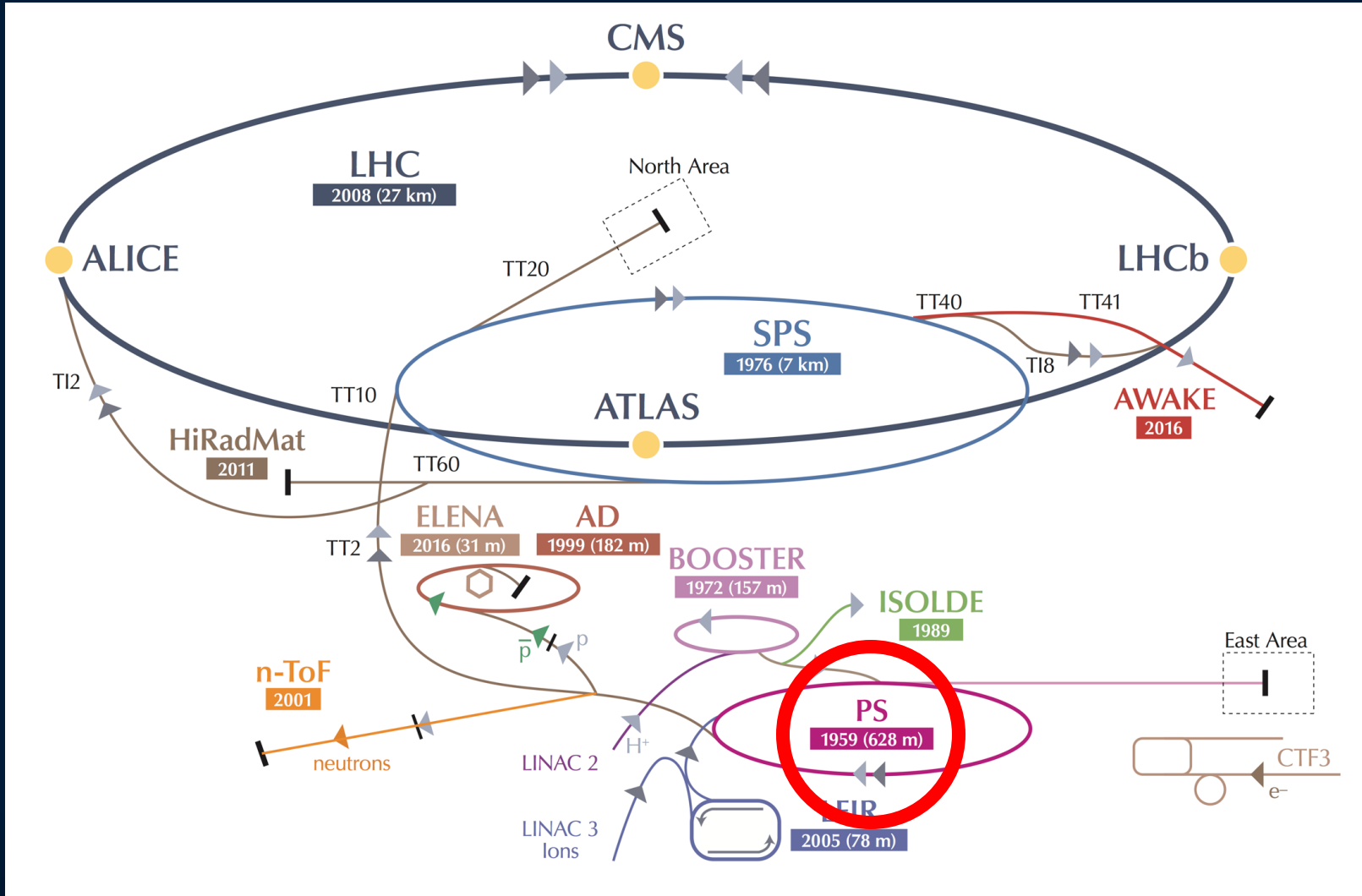
6 expériences:

- **ASACUSA** spectroscopie d'atomes exotiques (hélium antiprotonique) et section efficace de collisions de noyaux
- **BASE** moment magnétique de l'antiproton
- **ALPHA/ALPHA-g** spectroscopie et gravité
- **AEgIS** spectroscopie, expérience sur l'effet de la gravité sur l'antimatière
- **GBAR** expérience sur l'effet de la gravité sur l'antimatière

De nouvelles expériences en discussion



# PS Hall Est



# Physique de l'environnement

**CLOUD** - étudie les effets des rayons cosmiques sur la formation des nuages

Nuages créés dans une grande chambre climatique

Étude de l'influence des aérosols naturels et créés par l'homme sur le développement des nuages, au moyen de rayons cosmiques « simulés » par un faisceau du PS



Résultat notable de CLOUD:

La formation des nuages était plus importante que ce que l'on pensait pendant l'ère pré-industrielle, et elle est influencée par les rayons cosmiques.

Ce résultat est important pour réduire les incertitudes dans les modèles climatiques actuels.

# Expériences hors accélérateurs

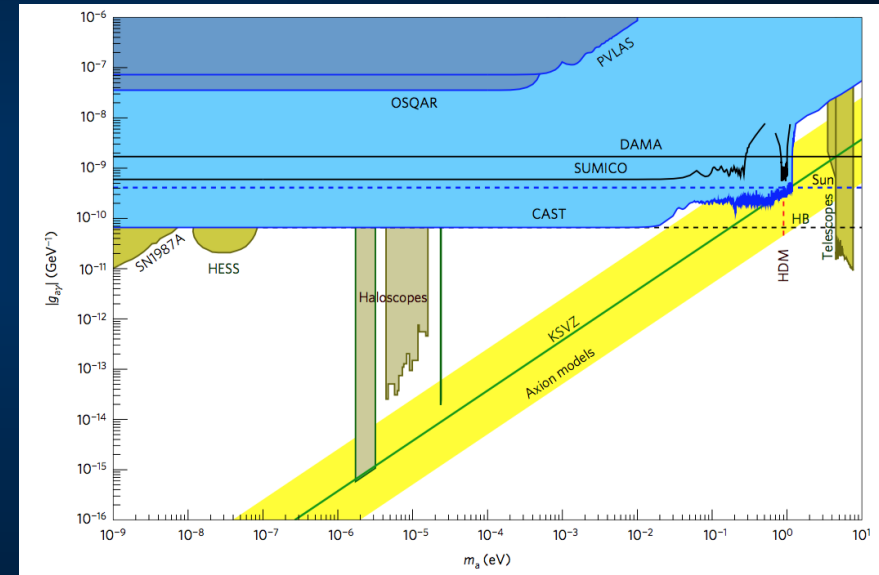
## CAST: Téléscope à axions solaire du CERN

- La recherche d'axions solaires s'est achevée en 2015
- Nouvelle recherche d'axions de matière noire
- Nouvelle recherche de caméléons solaires

## Utilisation d'un aimant de test du LHC



## Limites pour les couplages axion-photon



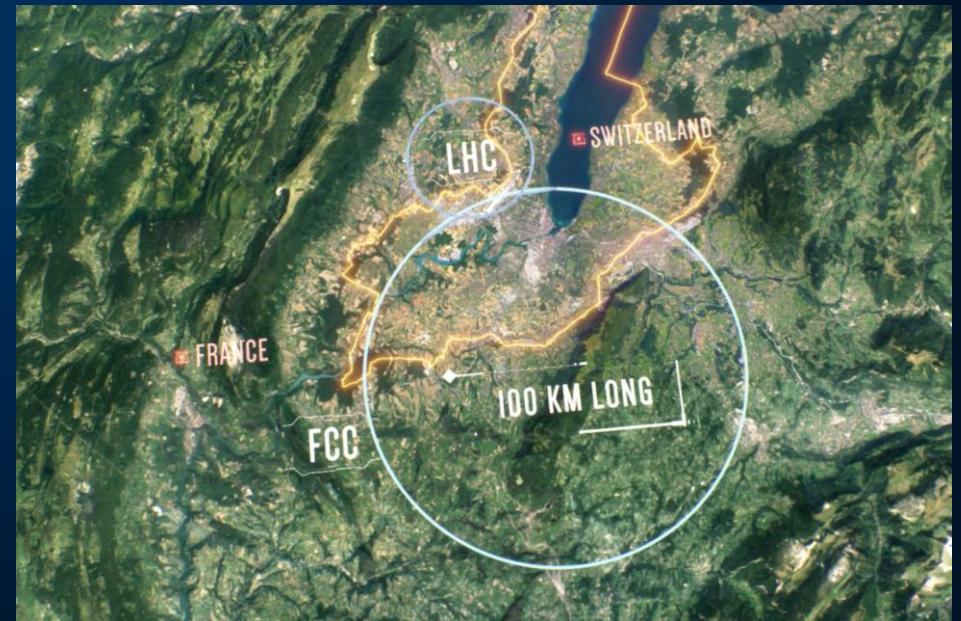
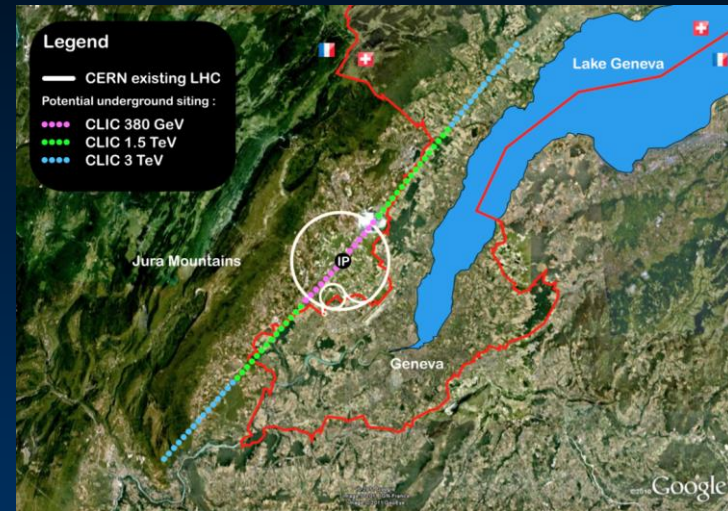
*Nature Physics 13, 584-590 (2017)*

**OSQAR:** Recherche d'axions en observant « la lumière qui brille à travers les parois de l'expérience » au moyen d'un prototype d'aimant dipolaire du LHC

# Les futurs accélérateurs

Le LHC et son amélioration en vue d'une plus haute luminosité sont des éléments centraux du programme du CERN pour la ou les prochaines décennies. Mais il faut préparer ce qui viendra après; de futurs accélérateurs font donc l'objet d'études:

- **CLIC – Collisionneur linéaire compact**  
Étude sur la conception d'un possible futur collisionneur linéaire  $e^+e^-$  allant jusqu'à 3 TeV
- **FCC - Futur accélérateur circulaire**  
Étude sur une machine de 100 km de circonférence pour des collisions p-p à 100 TeV, ainsi que des collisions  $e^+e^-$
- **La physique au-delà des collisionneurs**  
Étude qui explore les perspectives possibles en utilisant les parties hors collisionneurs du complexe d'accélérateurs du CERN



La direction sera donnée par la mise à jour de la stratégie européenne pour la physique des particules. Attendu par le Conseil du CERN lors de la session de juin 2020.

# En bref

Le programme scientifique du CERN:

- Est riche et varié
- Couvre une vaste gamme d'énergies, de la physique atomique à la frontière des plus hautes énergies
- S'engage activement pour le transfert de technologies et l'éducation, et est pertinent pour proposer des solutions à des problèmes de société (technologies de l'information, santé, climat, énergie, etc.)

Le succès du CERN s'est construit sur son personnel

**Bienvenue dans l'aventure ! *Welcome!***







Merci de votre attention!