

# 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 Kramer*



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

« La science au service de la paix »

## Aujourd'hui: 23 États membres

- ~ 2 600 membres du personnel titulaires
- ~ 1 800 autres membres du personnel rémunérés
- ~ 13 600 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 dans le stade de devenir états membres :**

Chypre, la Serbie, la Sloveie

**États membres associés:** l'Inde, la Lituanie, le Pakistan, 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 April 2019

> 13 000 utilisateurs de 110 nationalité

### MEMBER STATES

**8066**

Austria	119
Belgium	120
Bulgaria	86
Czech Republic	233
Denmark	62
Finland	96
France	864
Germany	1344
Greece	238
Hungary	79
Israel	65
Italy	2105
Netherlands	180
Norway	70
Poland	356
Portugal	121
Romania	137
Serbia	55
Slovakia	137
Spain	472
Sweden	99
Switzerland	229
United Kingdom	799

### OBSERVERS

**2726**

Japan	310
Russia	1205
USA	1211

### ASSOCIATE MEMBERS

India	387	<b>778</b>
Lithuania	39	
Pakistan	71	
Turkey	165	
Ukraine	116	

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

**59**

Cyprus	26
Slovenia	33

### OTHERS 1999

Albania	4	Bolivia	3	Ecuador	10	Iraq	1	Malta	9	Palestine	7	Sudan	1
Algeria	14	Brazil	127	Egypt	27	Ireland	13	Mexico	85	Paraguay	1	Syria	1
Argentina	26	Burkina Faso	1	El Salvador	1	Jordan	2	Mongolia	2	Peru	6	Taiwan	56
Armenia	22	Burundi	1	Estonia	15	Kazakhstan	10	Montenegro	11	Philippines	3	Thailand	26
Australia	36	Cameroon	1	Georgia	51	Kenya	1	Morocco	24	Saint Kitts and Nevis	1	Tunisia	4
Azerbaijan	10	Canada	170	Ghana	1	Korea	183	Myanmar	2	San Marino	1	Uruguay	1
Bahrain	1	Chile	21	Guatemala	1	Kyrgyzstan	1	Nepal	7	Saudi Arabia	4	Uzbekistan	3
Bangladesh	8	China	576	Hong Kong	1	Latvia	4	New Zealand	5	Senegal	1	Viet Nam	11
Belarus	45	Colombia	44	Honduras	1	Lebanon	27	Nigeria	4	Singapore	5	Zambia	1
Benin	1	Croatia	50	Iceland	4	Luxembourg	4	North Korea	4	South Africa	56	Zimbabwe	2
		Cuba	16	Iran	58	Madagascar	1	North Macedonia	3	Sri Lanka	10		
				Iran	58	Malaysia	22	Oman	3				

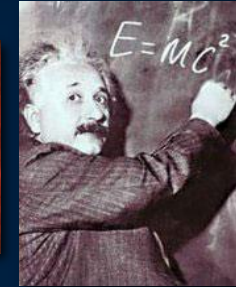


# Les missions du CERN



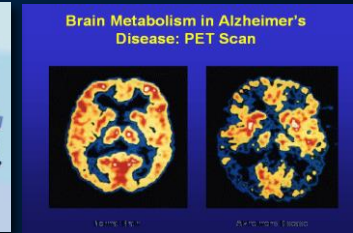
- **Repousser** les limites de la connaissance

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

Technologies de l'information - le web et la Grille  
Médecine - diagnostic et thérapie



- **Former** les scientifiques et ingénieurs de demain



- **Rassembler** des personnes de cultures et de pays différents



# Structure du CERN

Directeur général

Directrice générale  
F. Gianotti

Santé, sécurité et  
environnement

Service juridique

Audit interne

Appui au Conseil

4 directeurs

Accélérateurs et  
technologie  
F. Bordry

Finance et  
ressources humaines  
M. Steinacher

Relations  
internationales  
Ch. Warakaulle

Recherche et  
informatique  
E. Elsen

Faisceaux  
P. Collier

Finances et  
processus  
administratifs  
F. Sonnemann

Relations  
extérieures

Physique  
expérimentale  
M. Kramer

Technologie  
J. M. Jiménez

Industrie, achats et  
transfert de  
connaissances  
Th. Lagrange

Éducation,  
communication et  
activités grand  
public

Physique  
théorique  
G. F. Giudice

Ingénierie  
R. Losito

Ressources  
humaines  
J. Purvis

Technologies  
de l'information  
F. Hemmer

Gestion des sites  
et bâtiments  
LL. Miralles

10 départements

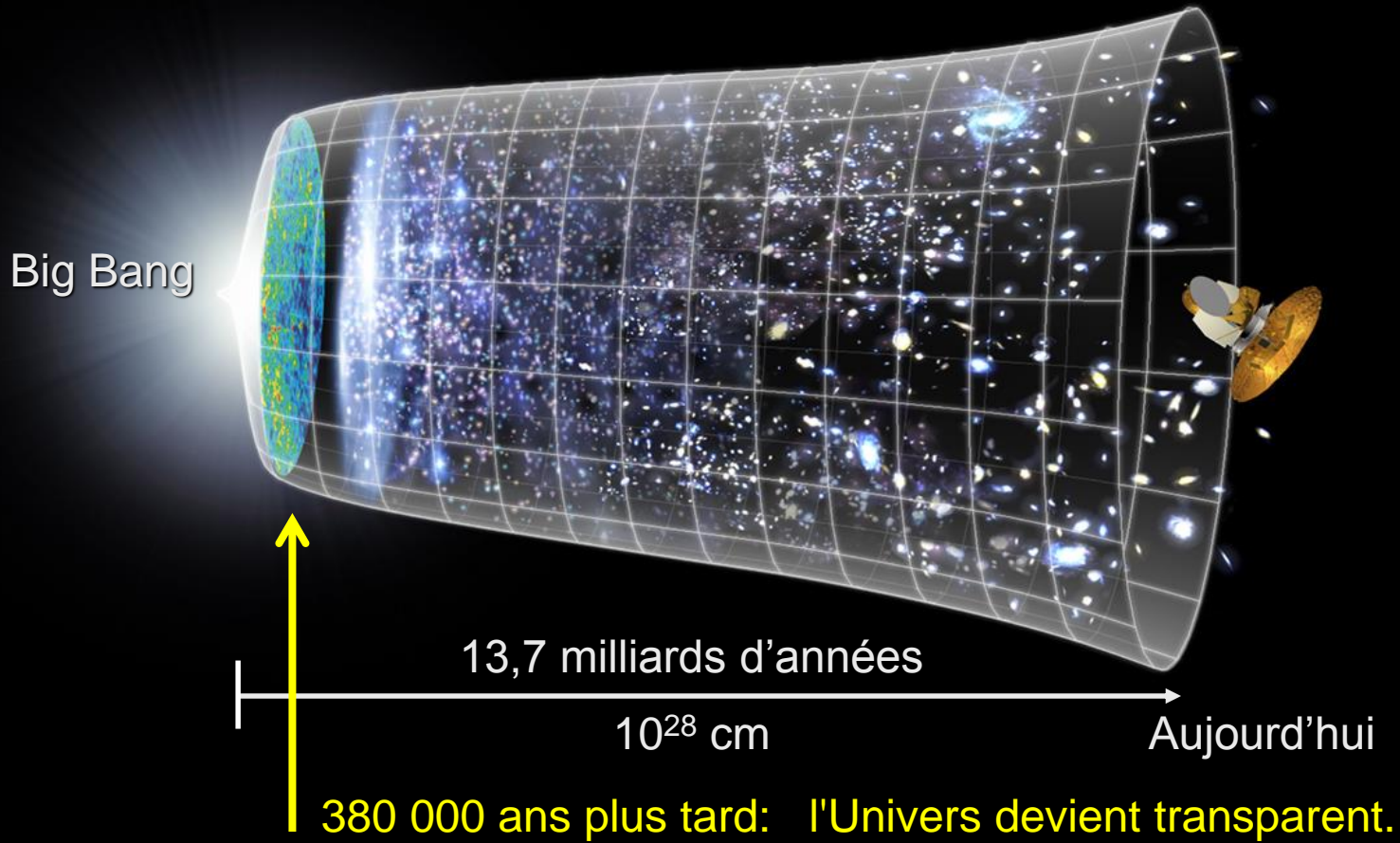
Département de physique expérimentale (EP) :

~ 500 titulaires (~ 20% des effectifs totaux du CERN),

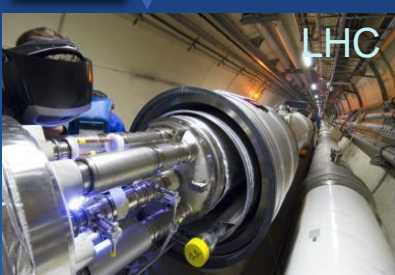
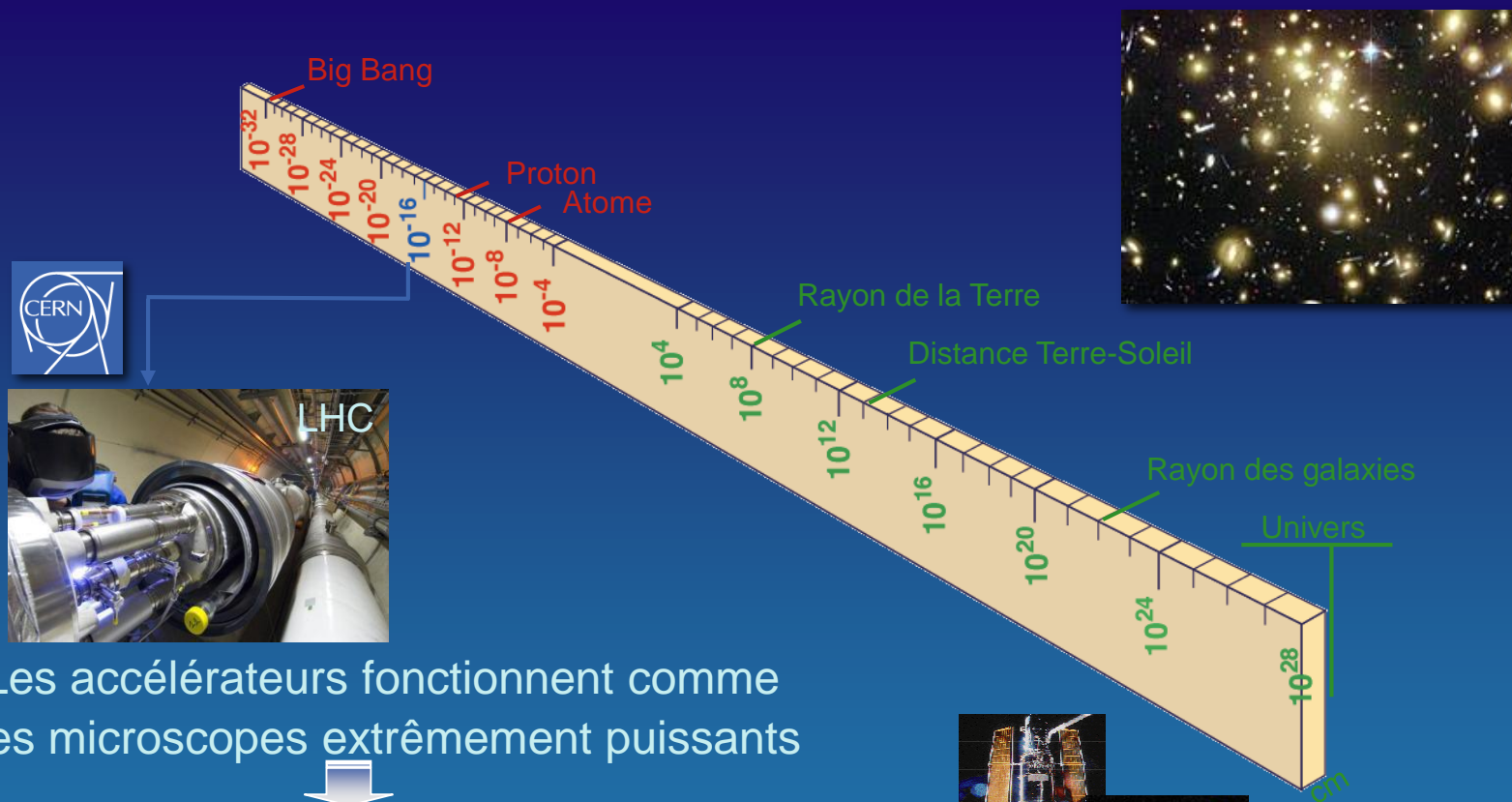
~ 500 étudiants/boursiers/associés/...

>13 000 utilisateurs affiliés à ce département!

# La physique au CERN : comprendre l'Univers



# Des plus petites aux plus grandes structures



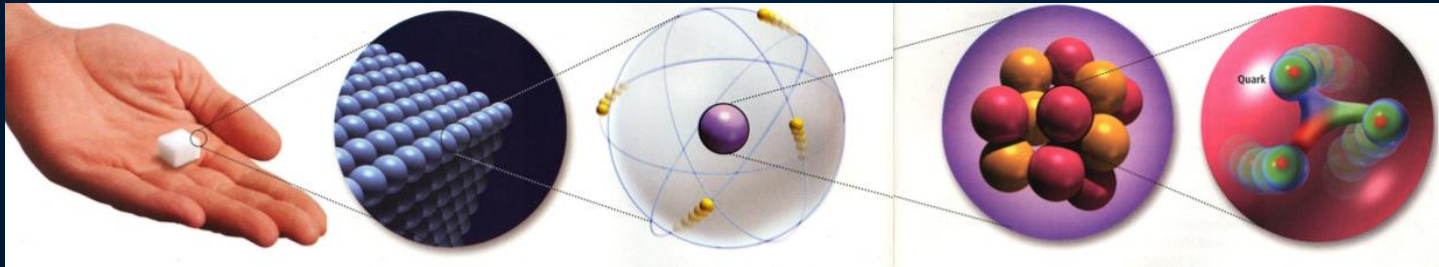
Les accélérateurs fonctionnent comme des microscopes extrêmement puissants



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

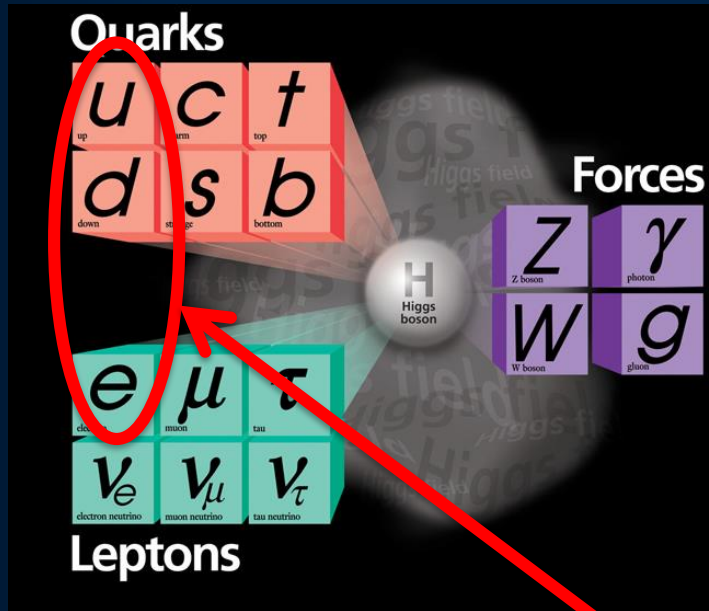


- Toute la matière est composée d'atomes
- Les atomes sont composés d'un noyau et d'**électrons**
- Le noyau est composé de neutrons et de protons
- Les neutrons et les protons sont formés de **quarks u** et de **quarks d** (et de gluons)

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** donne leur masse aux particules

Chaque particule possède également un partenaire d'antimatière

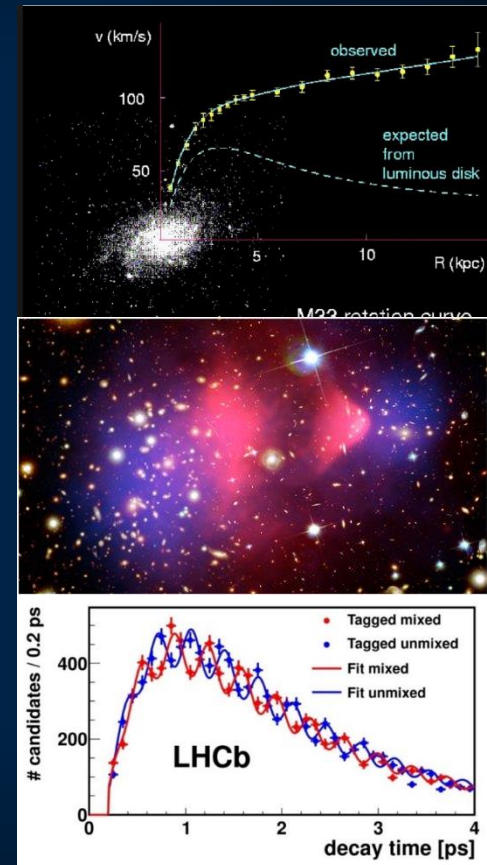
**Cela suffit à expliquer la matière qui nous entoure**

# 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.

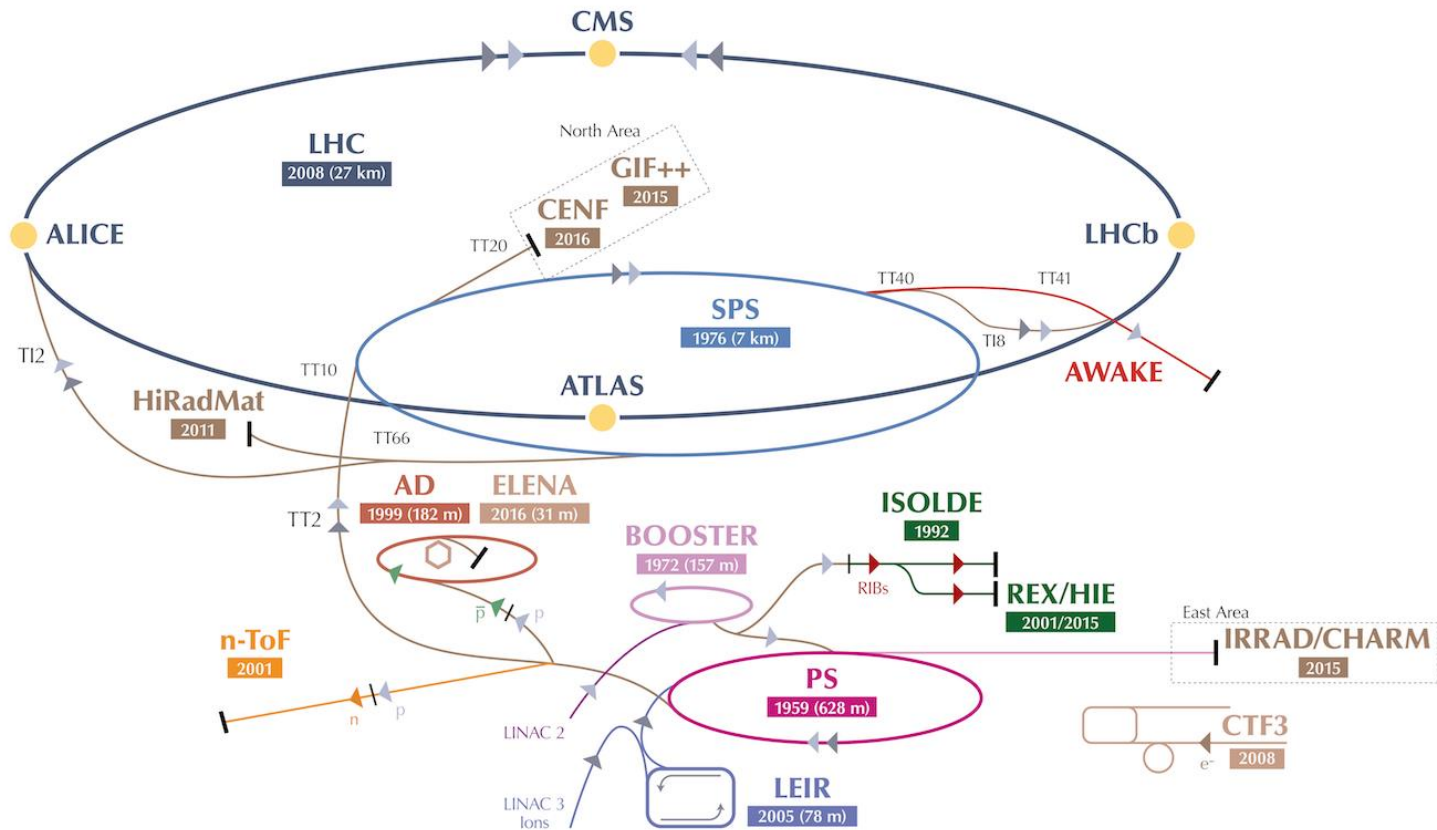
Il y a encore d'immenses territoires à explorer et de mesures à effectuer pour ramener un prix Nobel !



# La recherche en physique des particules a besoin:

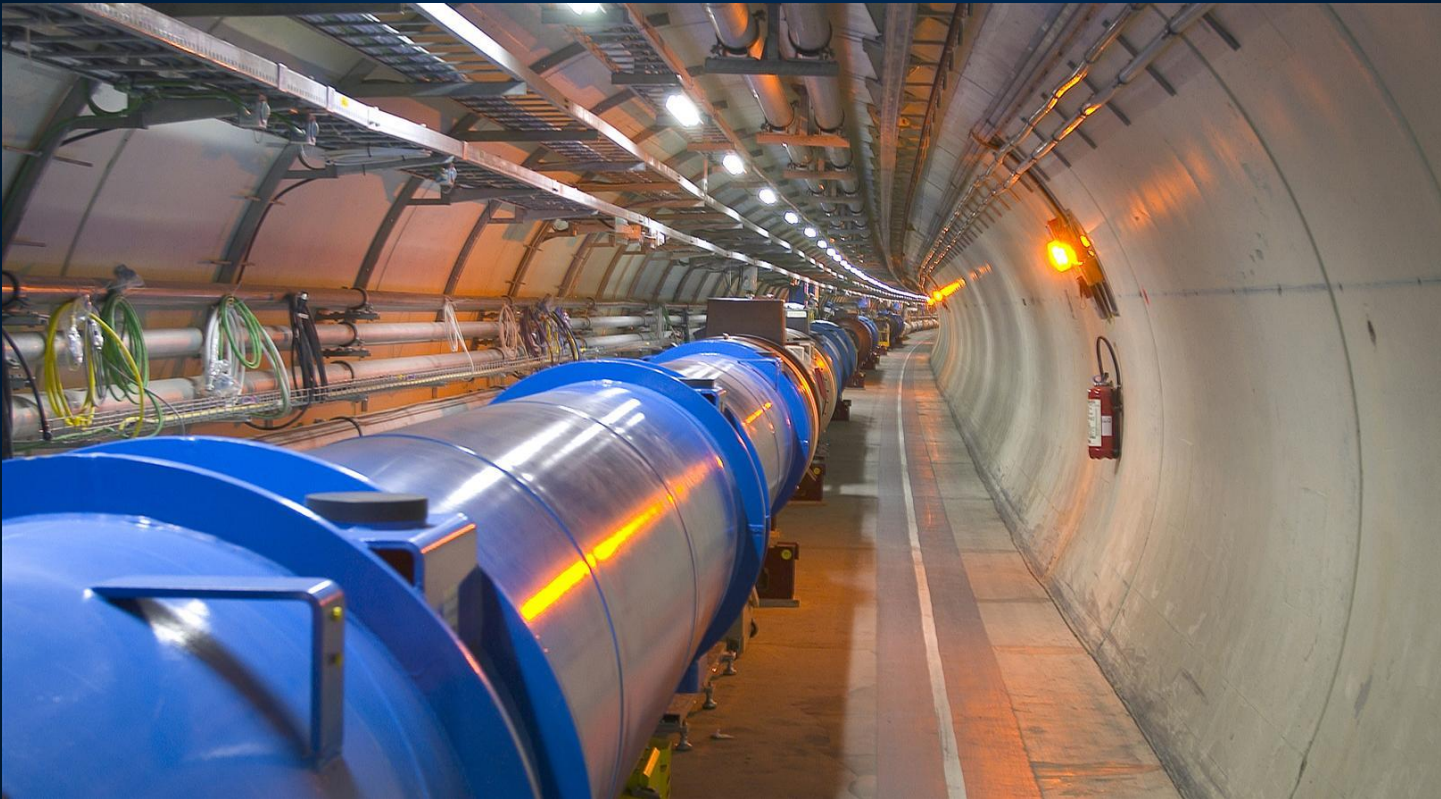
- **de théories**
- **d'accélérateurs et d'ingénierie**
- **d'expériences et d'informatique**
- **de personnes**
- **de personnes**
- **de personnes**
- **de personnes**

# Les accélérateurs du CERN

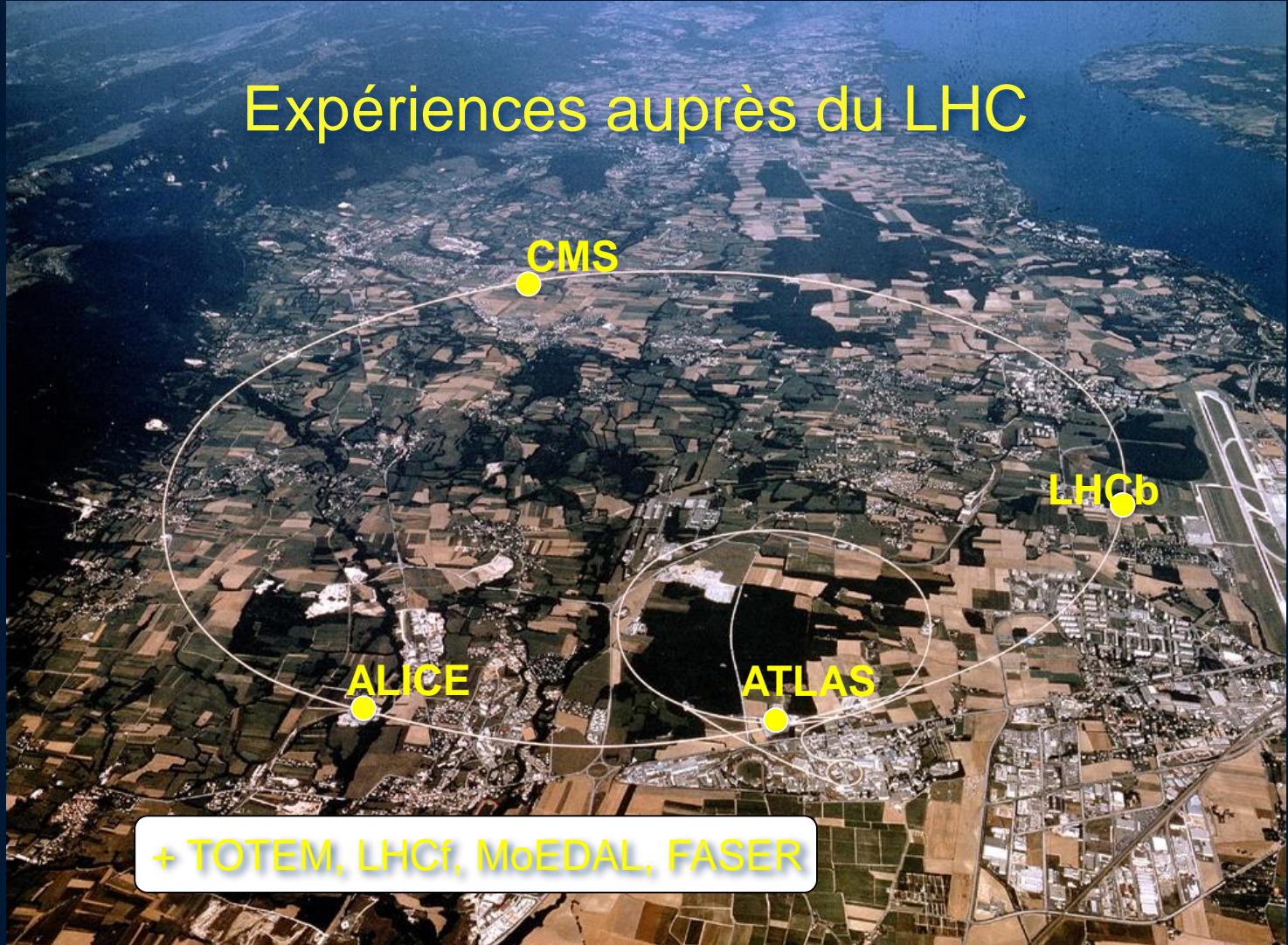


# Le Grand collisionneur de hadrons

Recherche du boson de Higgs et de la physique au-delà du Modèle standard  
Exploration d'une nouvelle frontière d'énergie pour les collisions p-p et Pb-Pb



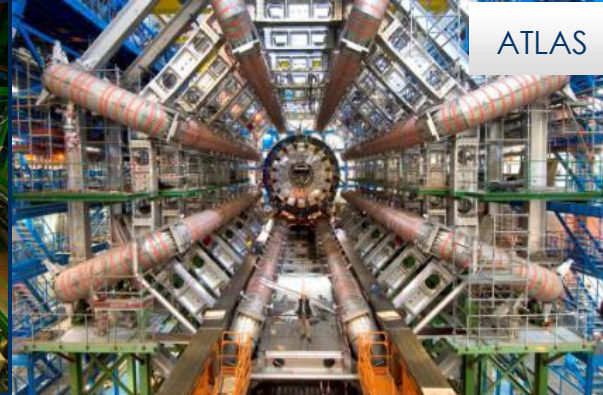
# Expériences auprès du LHC



+ TOTEM, LHCf, MoEDAL, FASER

# Expériences auprès du LHC

Quatre grandes expériences

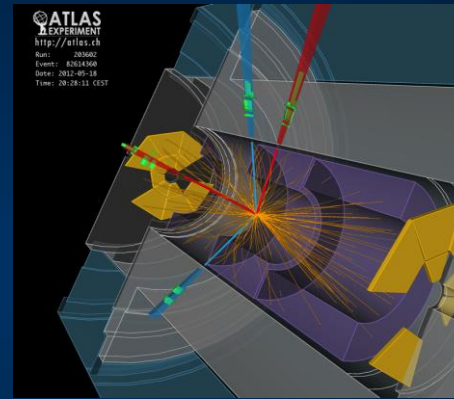
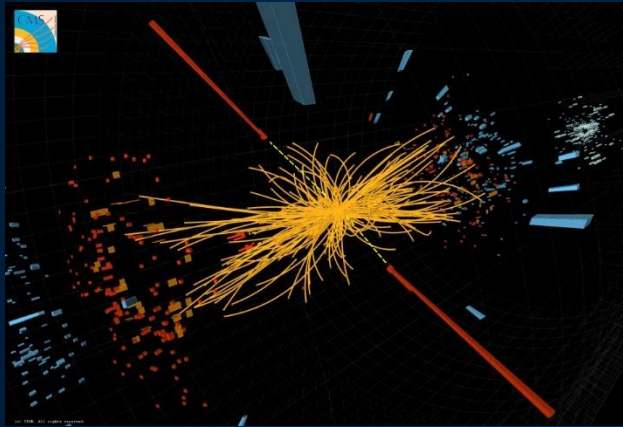


# Expériences auprès du LHC

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 :  $E_{\text{cm}} = 13 \text{ TeV}$

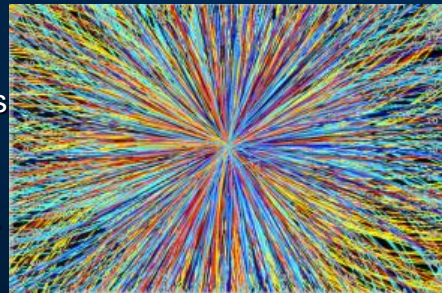


**ALICE**

Ions lourds  
environ un mois  
par année

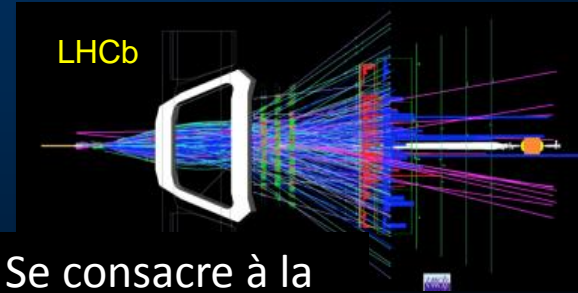
Collisions Pb-  
Pb

$E_{\text{cm}} = 5 \text{ TeV}/N$

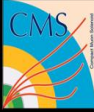


**LHCb**

Se consacre à la  
physique des  
saveurs (quarks b  
et c)

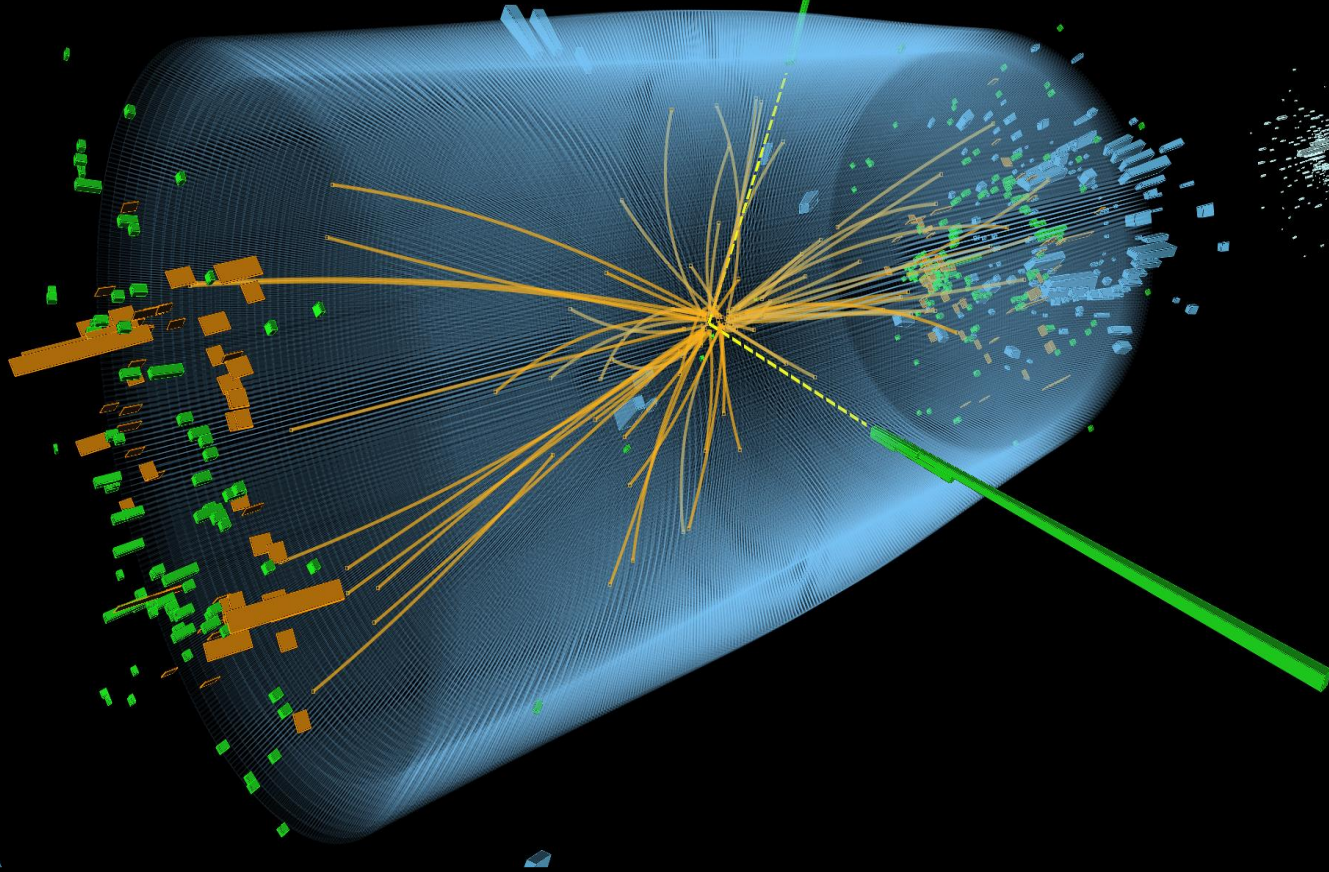




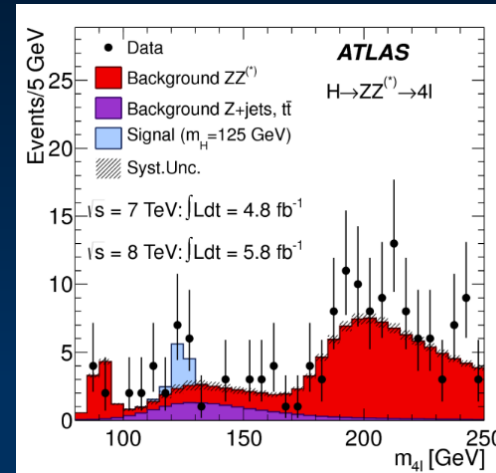
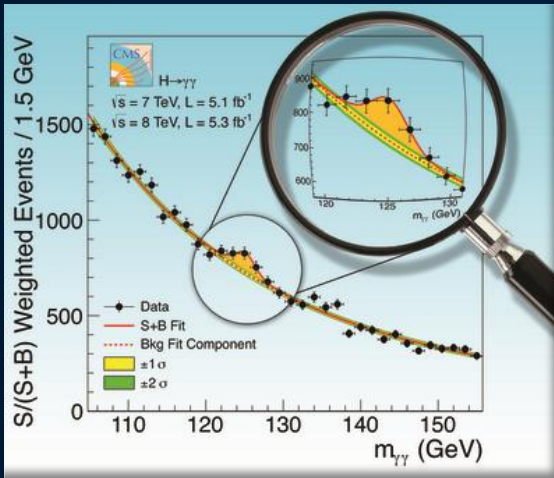


CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000

$H \rightarrow \gamma\gamma$   
événement  
candidat



# 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: Cor

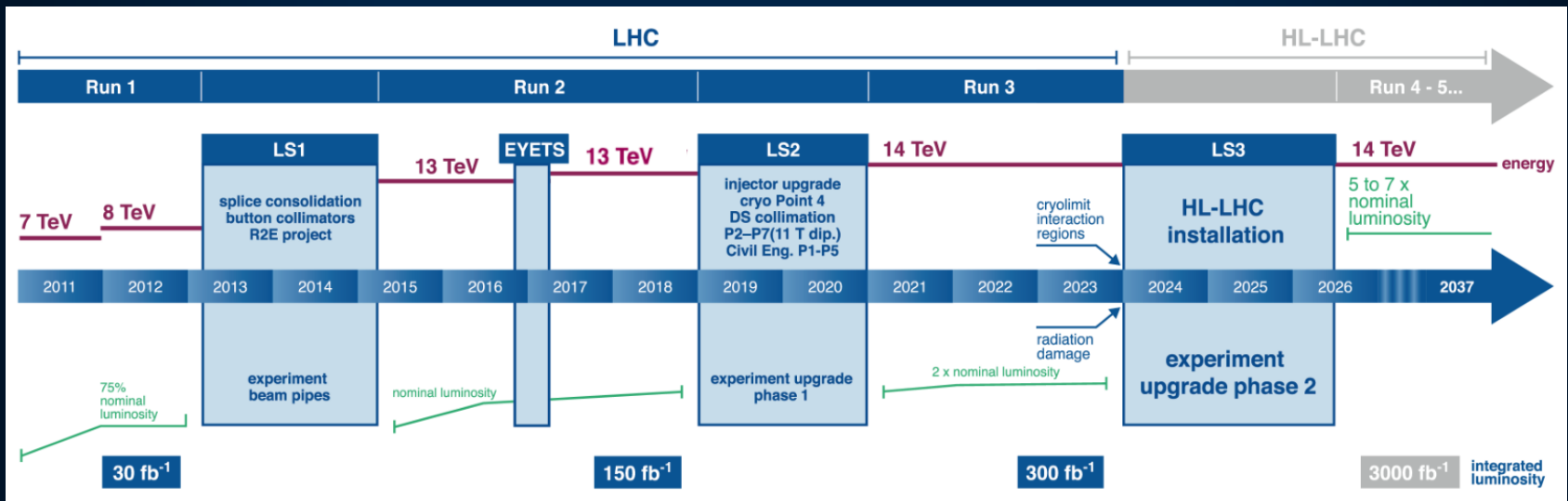
To cite this |

MLA style: "  
Web. 14 Feb



# Programme du LHC et du HL-LHC jusqu'en 2037

Programme actuel: énergie de 13 TeV pendant l'exploitation 2, qui sera portée à 14 TeV pour l'exploitation 3

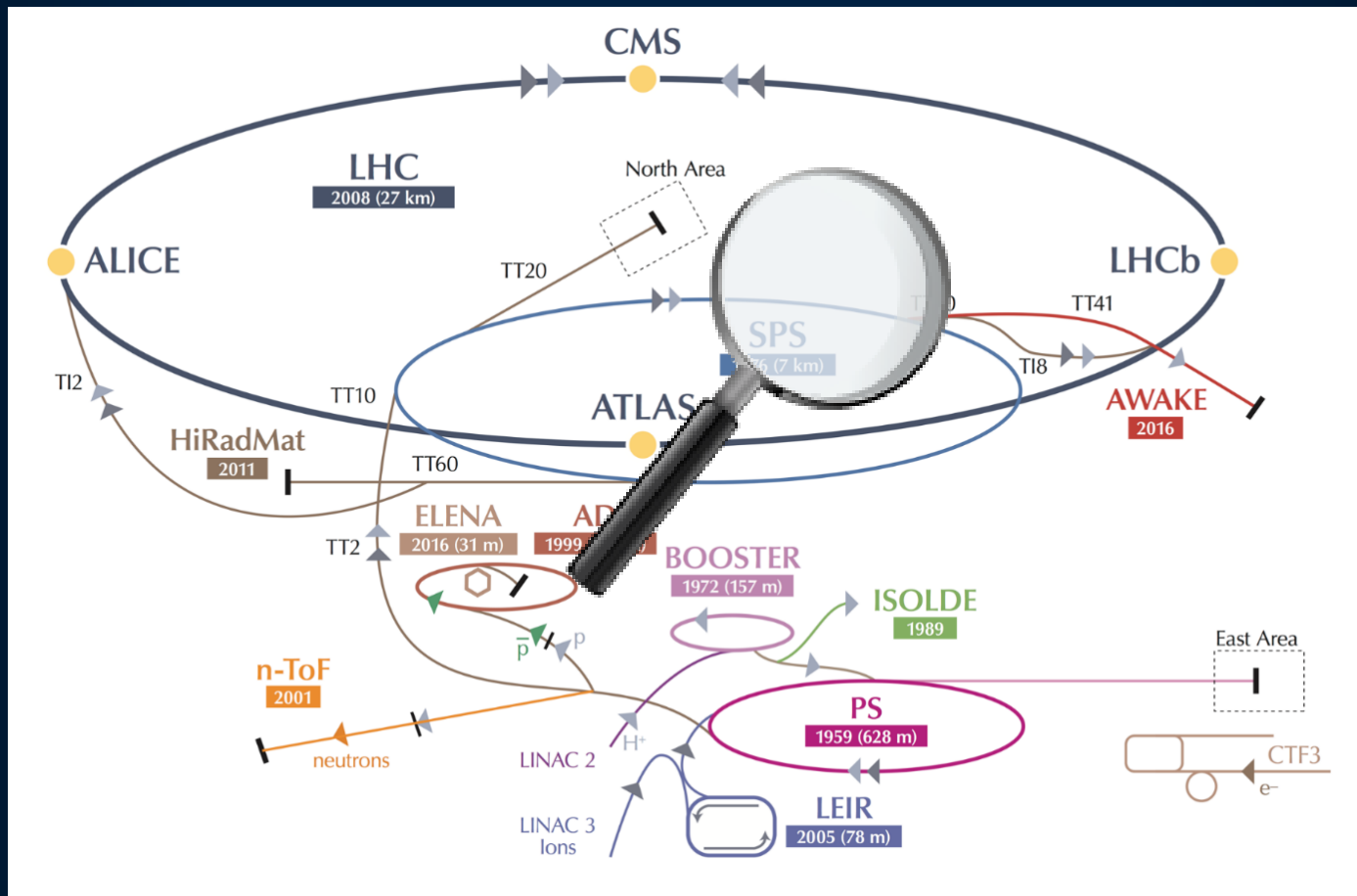


Le projet HL-LHC a été officiellement approuvé par le Conseil du CERN en juin 2016

L'exploitation du LHC est prévue jusqu'en 2037

Jusqu'ici, à peine ~ 5 % des données du LHC/HL-LHC ont été enregistrées – ce n'est que le début !

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



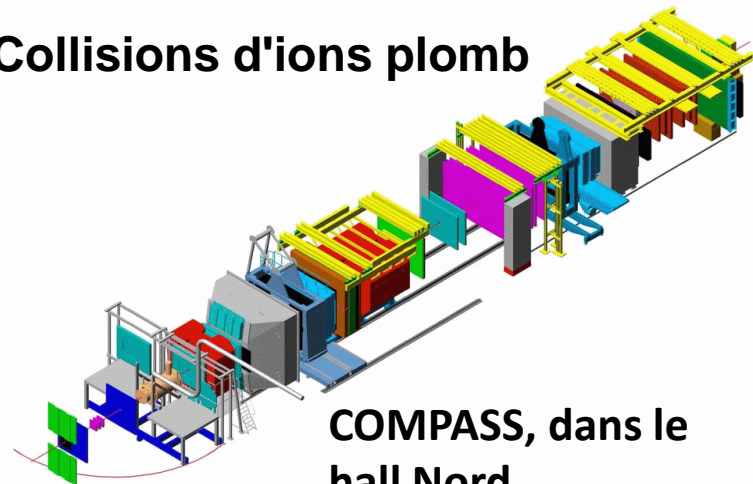
# Programme de physique avec cibles fixes

Les expériences à plus faible énergie auprès du PS ou du SPS (dans la gamme 1-100 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

- 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,  $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$
- NA63: processus électromagnétiques dans les champs cristallins élevés
- NA64: recherche de secteurs sombres dans les événements présentant de l'énergie manquante



## Collisions d'ions plomb



COMPASS, dans le  
hall Nord  
(60 m de long)

# Plateforme neutrino (nouvelle extension de la zone Nord)

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

et leur saveur varie

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

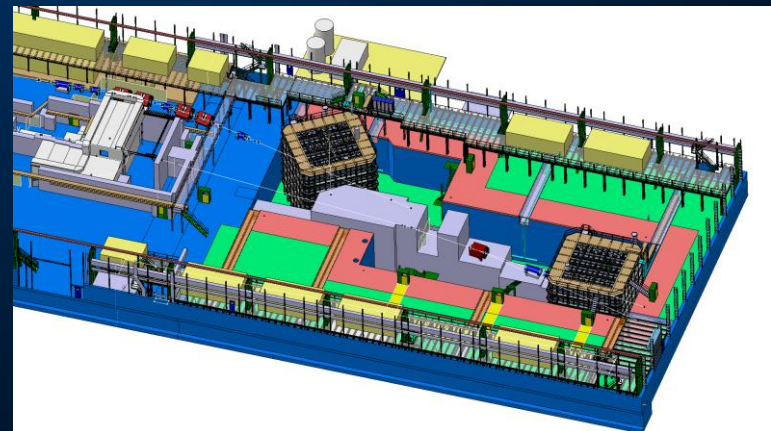
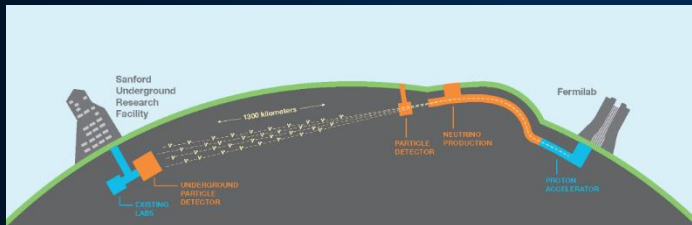
$$\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$$

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

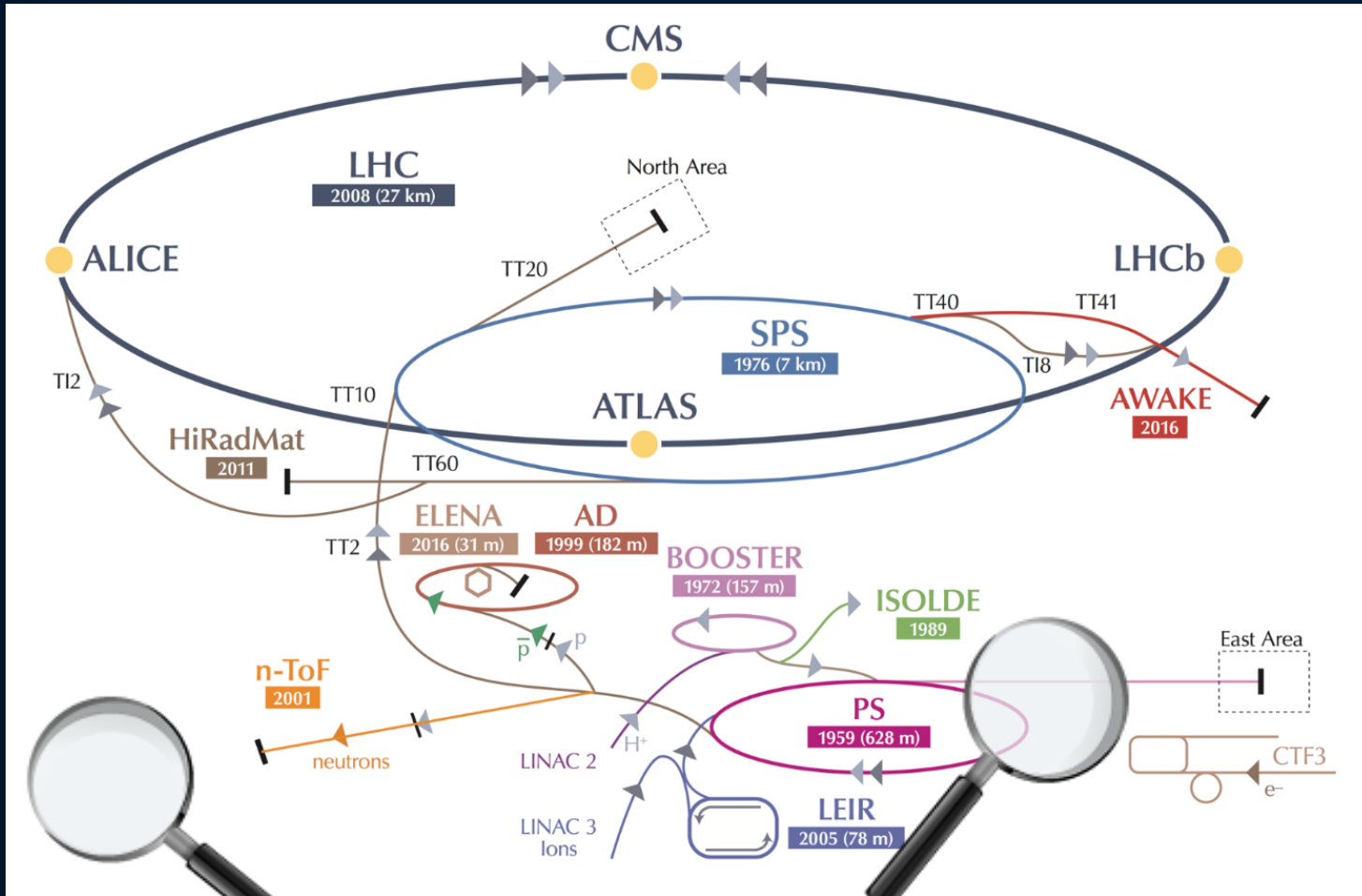
La plateforme neutrino fonctionne comme une zone de test, avec des faisceaux chargés destinés à des détecteurs de neutrinos (par ex. pour la R&D sur de grands détecteurs à argon liquide).

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

LBNF/DUNE aux États-Unis :



# ISOLDE et n\_TOF



# Physique nucléaire: ISOLDE et n\_TOF

## ISOLDE: faisceaux d'ions radioactifs

(1 000 nucléides de plus de 75 éléments produits, environ 50 expériences chaque année)

- *Physique nucléaire et atomique*
- *Astrophysique*
- *Physique du solide*
- *Sciences de la vie*

Plus de 20 matériaux pour les cibles:  
carbures, oxydes, métaux solides,  
métaux en fusion et sels en fusion

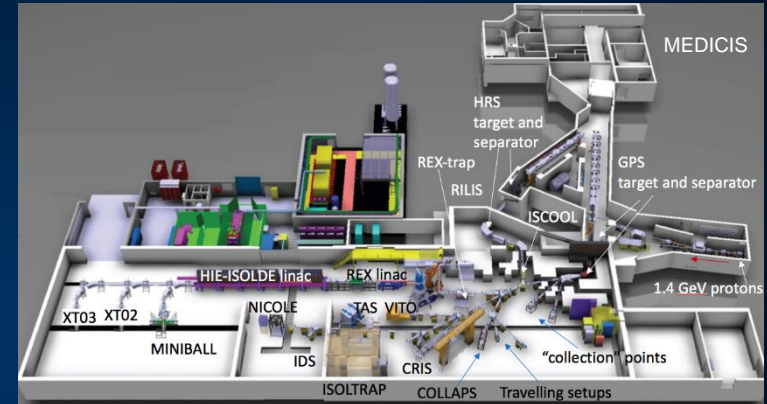
3 types de sources d'ions: surfaces, plasmas,  
lasers

HIE-ISOLDE (post-accélération jusqu'à  
10 MeV/nucléon), achèvement prévu en 2018

## n\_TOF (expérience sur le temps de vol des neutrons)

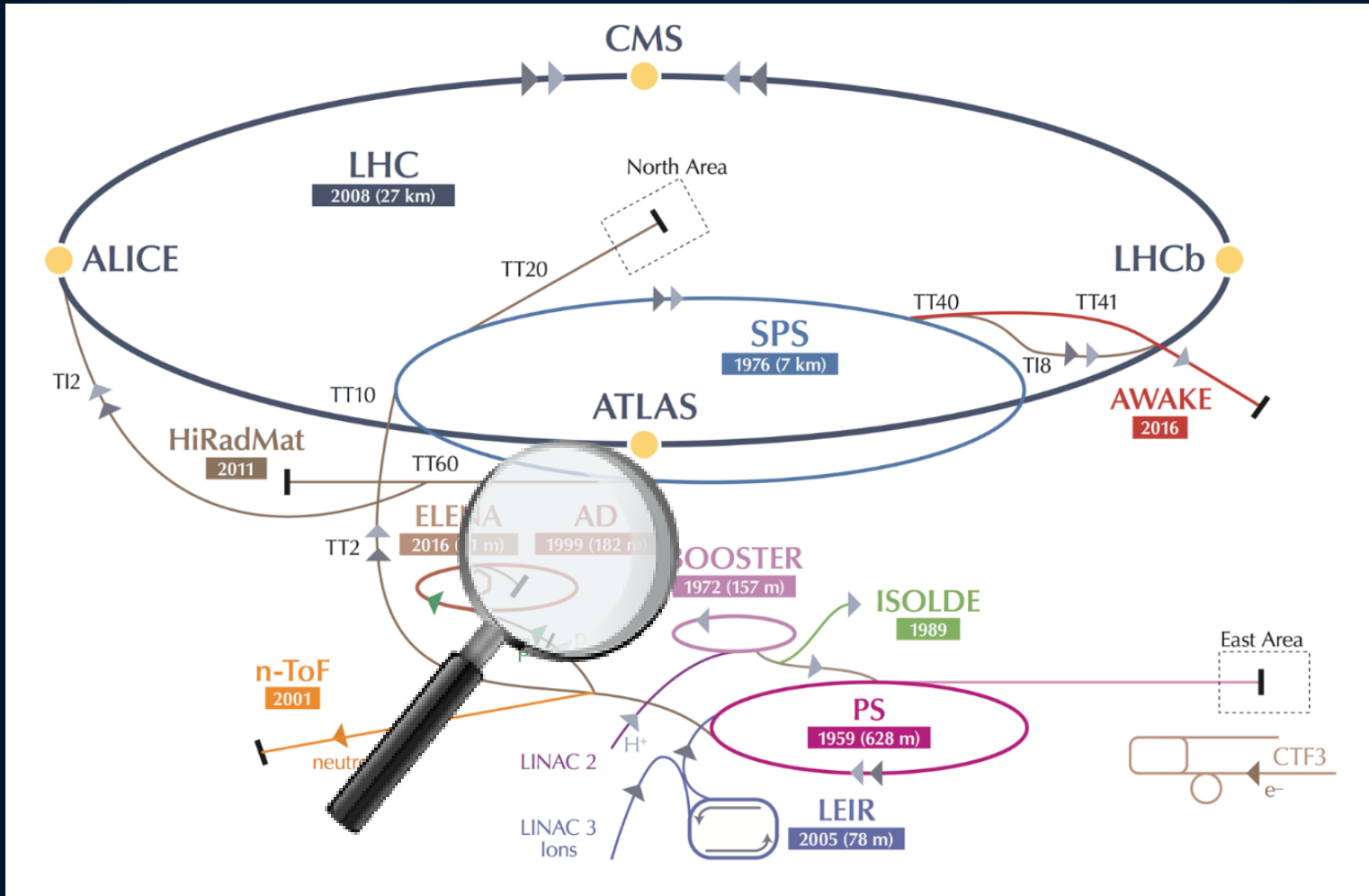
### Mesure de la section efficace des neutrons

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





# Décélérateur d'antiprotons



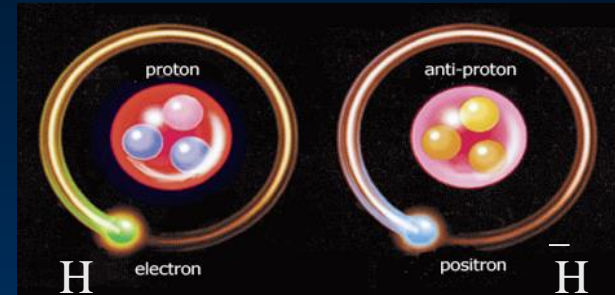
# Physique des antiprotons et de l'antihydrogène

## Comparaison matière-antimatière

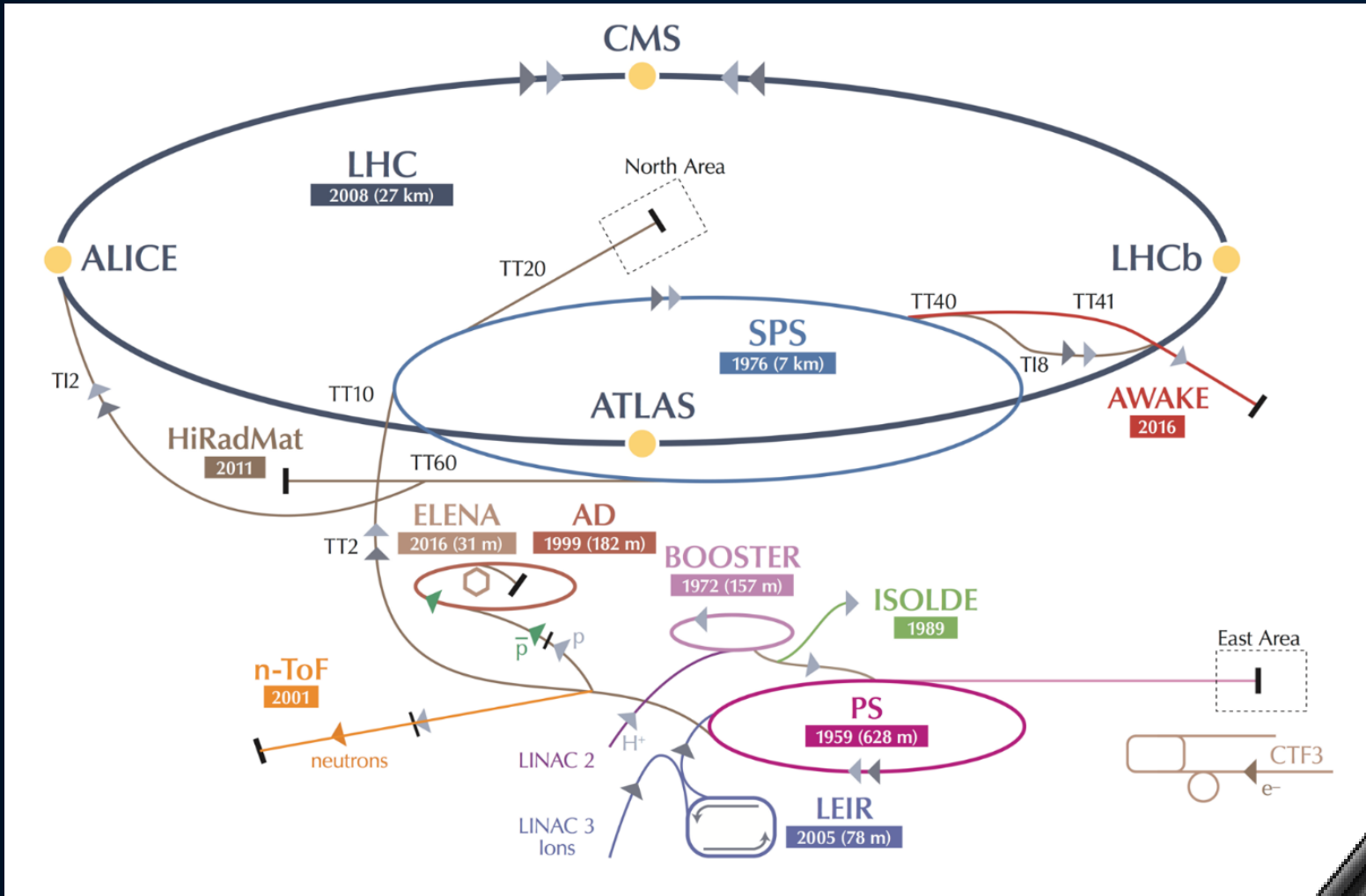
Relation fondamentale dans la théorie actuelle de la physique:  $m = m, g = g^-$

### 6 expériences:

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



# 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

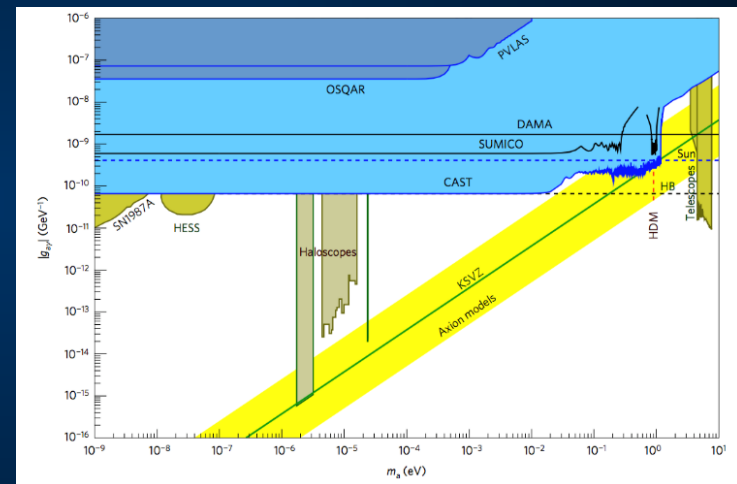
## CAST: Téléscope à axions solaire du CERN

- 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

Calendrier pour la prochaine mise à jour de la stratégie européenne: conclusions prévues pour mai 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!***

