

Visite des personnels de la DR4  
au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire

# Présentation générale du LAL

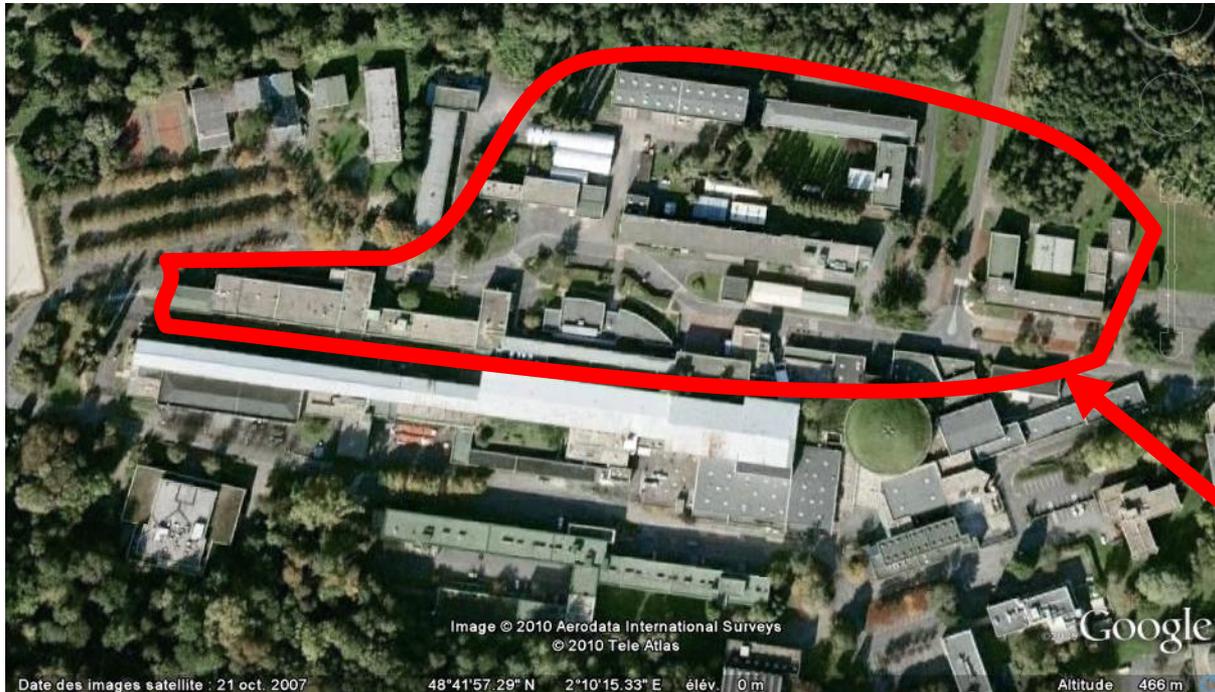
19 Juin 2018

Fabien Cavalier ([cavalier@lal.in2p3.fr](mailto:cavalier@lal.in2p3.fr))

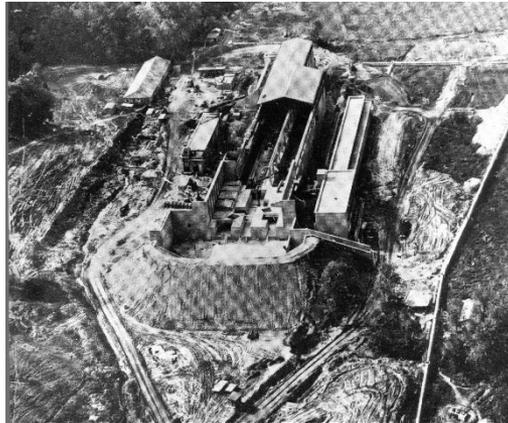


# Présentation générale

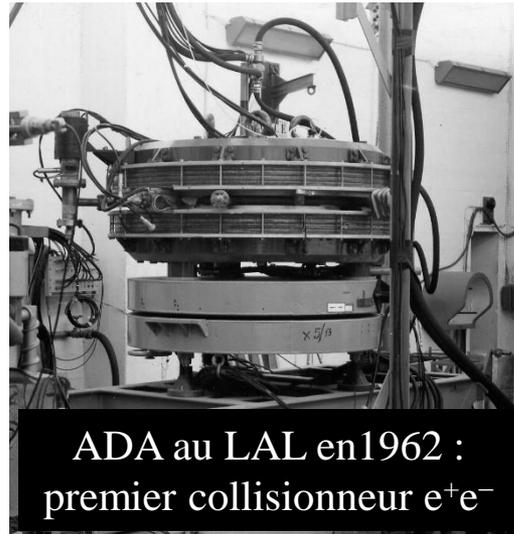
- Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL) : <http://www.lal.in2p3.fr>
  - Fondé en 1956
- Situé sur le campus de l'Université Paris-Sud entre Orsay et Bures sur Yvette
- **Nom historique** : le grand accélérateur linéaire du LAL a cessé ses activités fin 2003. Des accélérateurs plus petits sont en fonctionnement ou en construction : PHIL, ThomX
- Une surface totale de 16 000 m<sup>2</sup> dont 7000 m<sup>2</sup> de halls, ateliers et de salle blanches



# 1956 – 2018 : survol de l'histoire du LAL



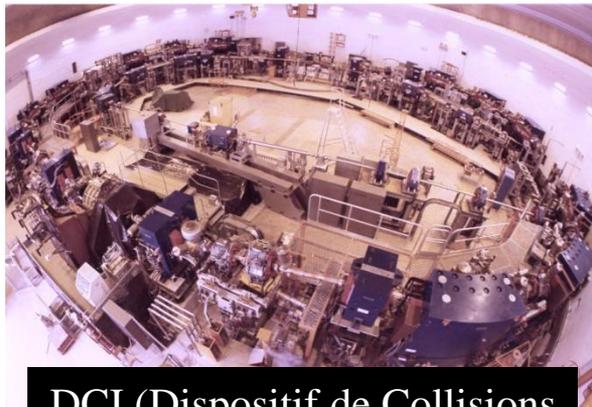
Chantier du LAL fin 1957



ADA au LAL en 1962 :  
premier collisionneur  $e^+e^-$



ACO vers 1965



DCI (Dispositif de Collisions  
dans l'Igloo), années 1970



Le site du LAL en 1981

ACO aujourd'hui : un musée  
& un monument historique



# L'histoire du LAL

## SITE HISTORIQUE DE LA SOCIÉTÉ EUROPÉENNE DE PHYSIQUE – EPS

### LE COMPLEXE ACCÉLÉRATEUR LAL-LURE

LE LABORATOIRE DE L'ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE (LAL, CNRS/IN2P3 ET UNIVERSITÉ PARIS-SUD) EST CRÉÉ EN 1956 POUR EXPLOITER UN « LINAC » À ÉLECTRONS, CONÇU POUR LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET LA PHYSIQUE DES PARTICULES. DE 1958 À 2003, CE LINAC EST AU CŒUR D'UN COMPLEXE CONTENANT DE NOMBREUX ÉQUIPEMENTS DE POINTE : UN CONVERTISSEUR ÉLECTRON-POSITRON, DES SPECTROMÈTRES, COLLISIONNEURS ET ANNEAUX DE STOCKAGE POUR LE RAYONNEMENT SYNCHROTRON. CERTAINS DE CES ÉQUIPEMENTS ONT ÉTÉ PARTAGÉS AVEC LE LABORATOIRE POUR L'UTILISATION DU RAYONNEMENT ELECTROMAGNÉTIQUE (LURE), CRÉÉ EN 1973.

LES PRINCIPALES RÉALISATIONS DU LAL-LURE ONT ÉTÉ :

- 1962-1964 : OBSERVATION DES PREMIÈRES COLLISIONS ÉLECTRON-POSITRONS AU MONDE SUR L'ANNEAU ADA (CONSTRUIT À FRASCATI) ET DÉCOUVERTE DE L'EFFET TOUSCHEK.
- 1965 : MISE EN SERVICE DE L'ANNEAU DE COLLISIONS ÉLECTRONS-POSITRONS ACO QUI PERMET D'IMPORTANTES AVANCÉES EN PHYSIQUE DES ACCÉLÉRATEURS ET EN PHYSIQUE DES MÉSONS VECTEURS.
- 1973 : OUVERTURE SUR ACO DE LA PREMIÈRE LIGNE DE LUMIÈRE SYNCHROTRON AU MONDE QUI FUT ALIMENTÉE PAR UN ANNEAU DE STOCKAGE.
- 1983 : PREMIÈRE AMPLIFICATION DE LUMIÈRE JAMAIS OBTENUE AVEC UN LASER À ÉLECTRONS LIBRES FONCTIONNANT SUR UN ANNEAU (ACO).
- 1979-1984 : PRODUCTION RECORD DE 9 MILLIONS DE  $J/\psi$  PAR LE COLLISIONNEUR ÉLECTRONS-POSITRONS DCI, CONVERTI ENSUITE EN SOURCE DE RAYONS X DURS.
- 1987 : REMPLACEMENT D'ACO PAR SUPER-ACO, EN SERVICE JUSQU'EN 2003 – SOLEIL PRIT SA SUITE EN 2006.
- 1991 : DÉMARRAGE DU LASER À ÉLECTRONS LIBRES CLIO POUR ÉTENDRE VERS L'INFRAROUGE LE SPECTRE DES SOURCES DE LUMIÈRE DISPONIBLES À ORSAY.

ORSAY, LE 13 SEPTEMBRE 2013

SITE HISTORIQUE DE LA SOCIÉTÉ EUROPÉENNE DE PHYSIQUE – EPS  
LE COMPLEXE ACCÉLÉRATEUR LAL-LURE

LE LABORATOIRE DE L'ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE (LAL, CNRS/IN2P3 ET UNIVERSITÉ PARIS-SUD) EST CRÉÉ EN 1956 POUR EXPLOITER UN « LINAC » À ÉLECTRONS, CONÇU POUR LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET LA PHYSIQUE DES PARTICULES. DE 1958 À 2003, CE LINAC EST AU CŒUR D'UN COMPLEXE CONTENANT DE NOMBREUX ÉQUIPEMENTS DE POINTE : UN CONVERTISSEUR ÉLECTRON-POSITRON, DES SPECTROMÈTRES, COLLISIONNEURS ET ANNEAUX DE STOCKAGE POUR LE RAYONNEMENT SYNCHROTRON. CERTAINS DE CES ÉQUIPEMENTS ONT ÉTÉ PARTAGÉS AVEC LE LABORATOIRE POUR L'UTILISATION DU RAYONNEMENT ELECTROMAGNÉTIQUE (LURE), CRÉÉ EN 1973.

LES PRINCIPALES RÉALISATIONS DU LAL-LURE ONT ÉTÉ :

- 1962-1964 : OBSERVATION DES PREMIÈRES COLLISIONS ÉLECTRON-POSITRONS AU MONDE SUR L'ANNEAU ADA (CONSTRUIT À FRASCATI) ET DÉCOUVERTE DE L'EFFET TOUSCHEK.
- 1965 : MISE EN SERVICE DE L'ANNEAU DE COLLISIONS ÉLECTRONS-POSITRONS ACO QUI PERMET D'IMPORTANTES AVANCÉES EN PHYSIQUE DES ACCÉLÉRATEURS ET EN PHYSIQUE DES MÉSONS VECTEURS.
- 1973 : OUVERTURE SUR ACO DE LA PREMIÈRE LIGNE DE LUMIÈRE SYNCHROTRON AU MONDE QUI FUT ALIMENTÉE PAR UN ANNEAU DE STOCKAGE.
- 1983 : PREMIÈRE AMPLIFICATION DE LUMIÈRE JAMAIS OBTENUE AVEC UN LASER À ÉLECTRONS LIBRES FONCTIONNANT SUR UN ANNEAU (ACO).
- 1979-1984 : PRODUCTION RECORD DE 9 MILLIONS DE  $J/\psi$  PAR LE COLLISIONNEUR ÉLECTRONS-POSITRONS DCI, CONVERTI ENSUITE EN SOURCE DE RAYONS X DURS.
- 1987 : REMPLACEMENT D'ACO PAR SUPER-ACO, EN SERVICE JUSQU'EN 2003 – SOLEIL PRIT SA SUITE EN 2006.
- 1991 : DÉMARRAGE DU LASER À ÉLECTRONS LIBRES CLIO POUR ÉTENDRE VERS L'INFRAROUGE LE SPECTRE DES SOURCES DE LUMIÈRE DISPONIBLES À ORSAY.

ORSAY, LE 13 SEPTEMBRE 2013



# Le domaine de recherche du LAL

- Au LAL, on étudie les **constituants de la matière** : les **particules élémentaires**
  - Combien sont-elles ?
  - Quelles sont leurs propriétés ?
  - Quelles sont les forces qui les gouvernent ?

- Ce monde, « **l'infiniment petit** », a des liens étroits avec celui de « **l'infiniment grand** », c'est-à-dire l'étude de l'Univers.

- Au LAL des groupes s'intéressent également à la composition de l'Univers et à son histoire, du Big-bang jusqu'à nos jours.

- On observe aussi des particules en provenance de l'espace !

- Ces études demandent d'importantes ressources techniques & informatiques.

## Composants élémentaires de la matière

Étre humain 1m  
Terre 10<sup>7</sup>m  
Soleil 10<sup>9</sup>m  
Galaxie 10<sup>21</sup>m

Cellule 10<sup>-5</sup>m  
Molécule 10<sup>-9</sup>m  
Atome 10<sup>-10</sup>m  
Noyau 10<sup>-14</sup>m  
Neutron Proton 10<sup>-15</sup>m

	LEPTONS	QUARKS	BOSON DE HIGGS H
1 <sup>re</sup> famille Constituants de la matière usuelle	$\nu_e$ neutrino électron	e électron u / up d / down	
2 <sup>e</sup> famille Réplique plus massive de la 1 <sup>re</sup> famille	$\nu_\mu$ neutrino muon	$\mu$ muon c / charm s / strange	
3 <sup>e</sup> famille Réplique plus massive des 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> familles	$\nu_\tau$ neutrino tau	$\tau$ tau t / top b / beauty / bottom	

**INTERACTIONS FONDAMENTALES**

10<sup>-17</sup> m

Interaction faible

Interaction électromagnétique

Interaction forte

Gravitation

infinie

10<sup>-13</sup> m

infinie

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

**Bosons Z, W<sup>±</sup>**  
Distinction entre neutrons et protons, stabilité des noyaux

**Photon  $\gamma$**   
Électricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie

**Gluons g**  
Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire

**Graviton (?)**  
Gravité, pesantier, système solaire, galaxies

Chaque des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

**ANTIMATIÈRE**

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

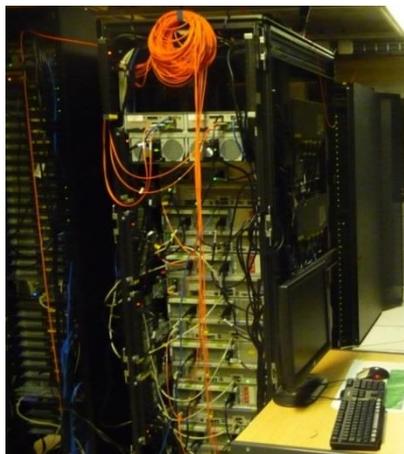
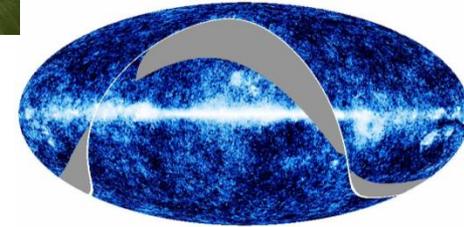
<http://www.particuleselementaires.fr>

# Présentation générale

- Le plus grand laboratoire de l'IN2P3/CNRS consacré à la **physique des particules** et à la **cosmologie** :
  - ~120 chercheurs (70% / 30%) répartis en une douzaine de groupes
  - ~180 ingénieurs et techniciens
  - Budget annuel hors salaires : 9 millions d'€
- Implication dans des **expériences sur plusieurs continents** : Europe, Etats-Unis, Argentine, Japon et même... dans l'espace
- **Des services techniques**, un **département accélérateur**



Planck scanning  
2010-01-28



Informatique



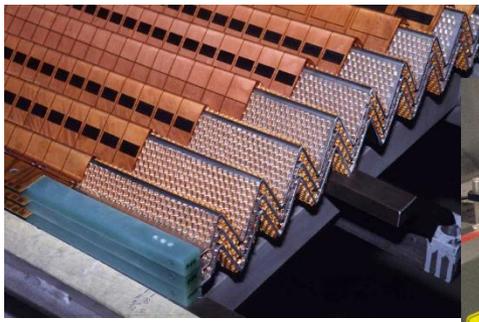
Electronique



Mécanique

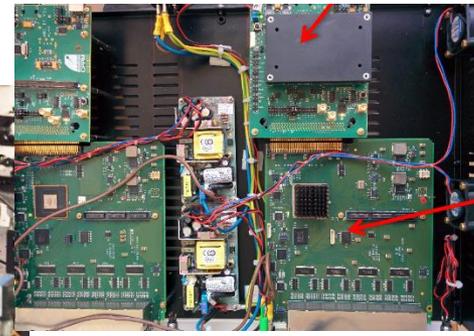
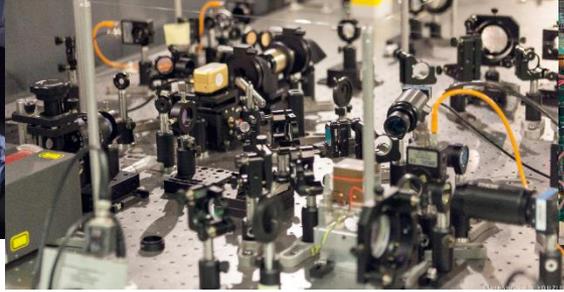


Accélérateur



**ATLAS**

**Virgo**



**LHC-b**

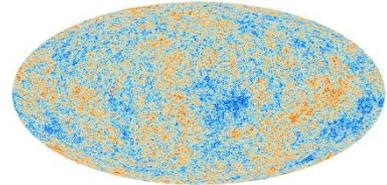
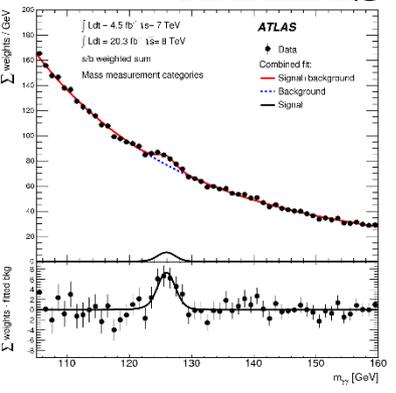
**Planck**



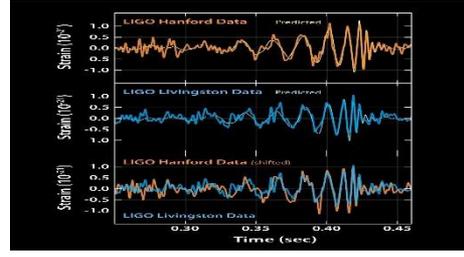
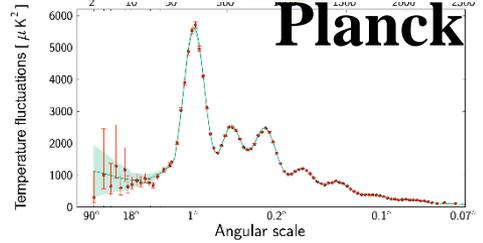
Nous sommes impliqués depuis la construction des détecteurs, l'électronique, la mécanique, le software jusqu'à l'analyse des données et l'interprétation physique



**ATLAS**



**Planck**

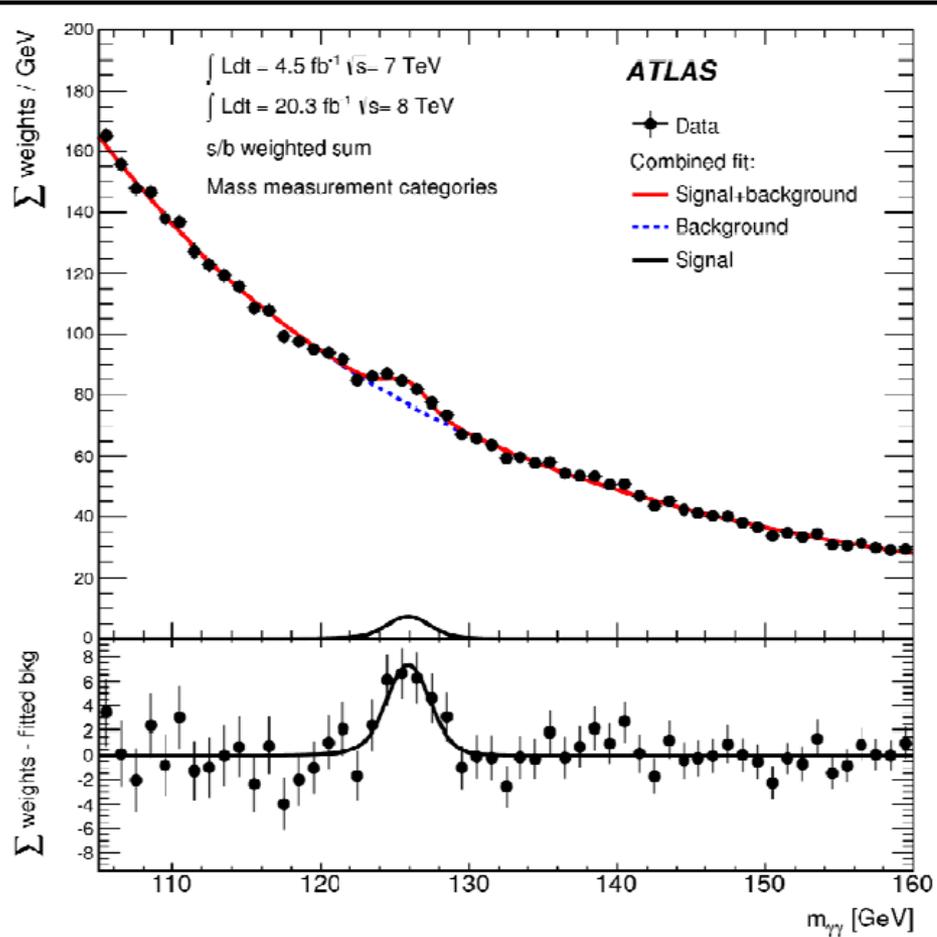


**Virgo**



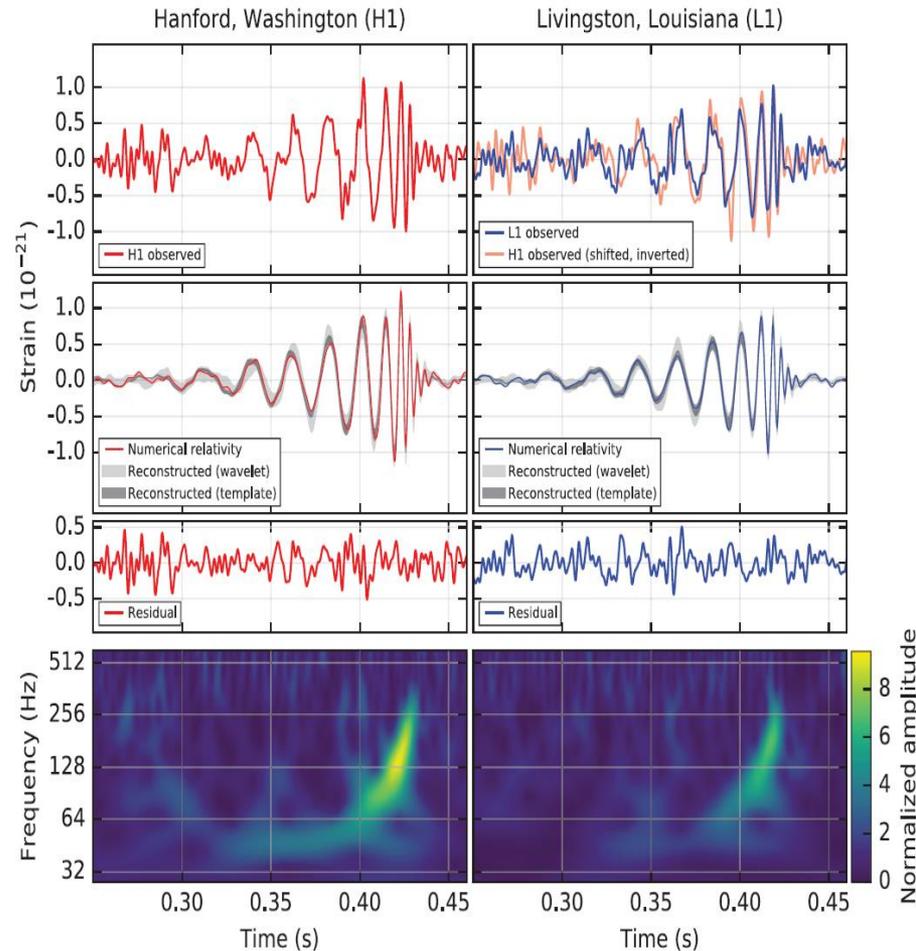
**Virtual Data**

## 2 Résultats Scientifiques Majeurs de ces dernières années



**Découverte du boson de Higgs**

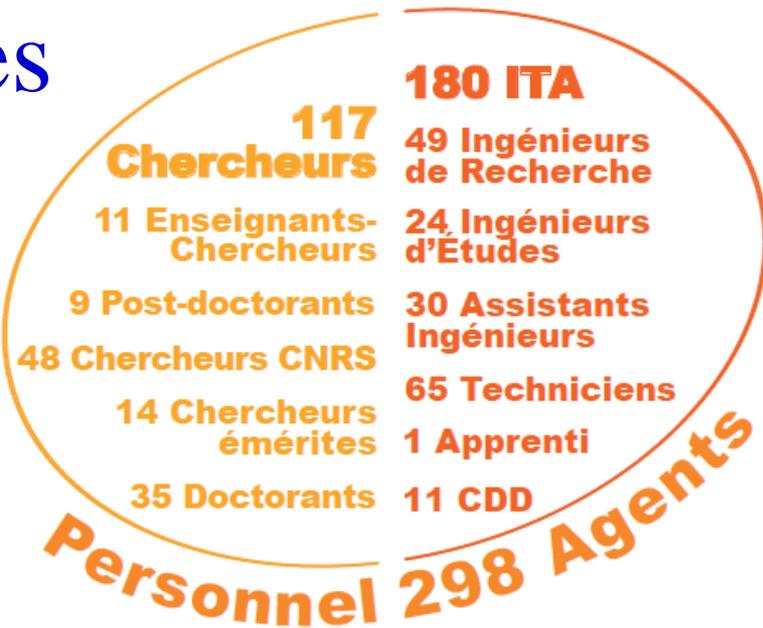
**⇒ Prix Nobel 2013**



**Première Observation  
des Ondes Gravitationnelles**

**⇒ Prix Nobel 2017**

# Le LAL en chiffres



## Moyens



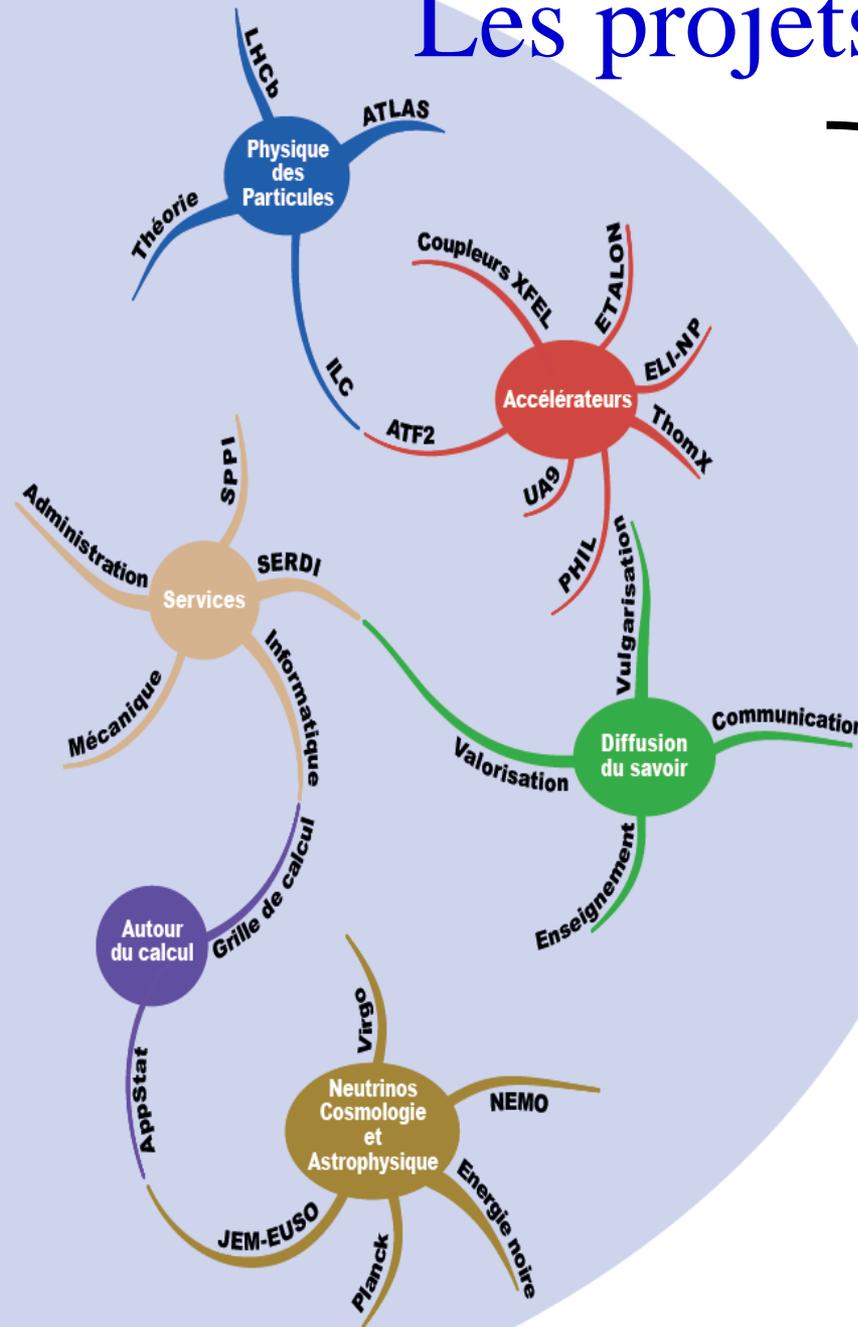
## Une année de recherche au LAL



## Transmission du savoir

# Les projets au LAL

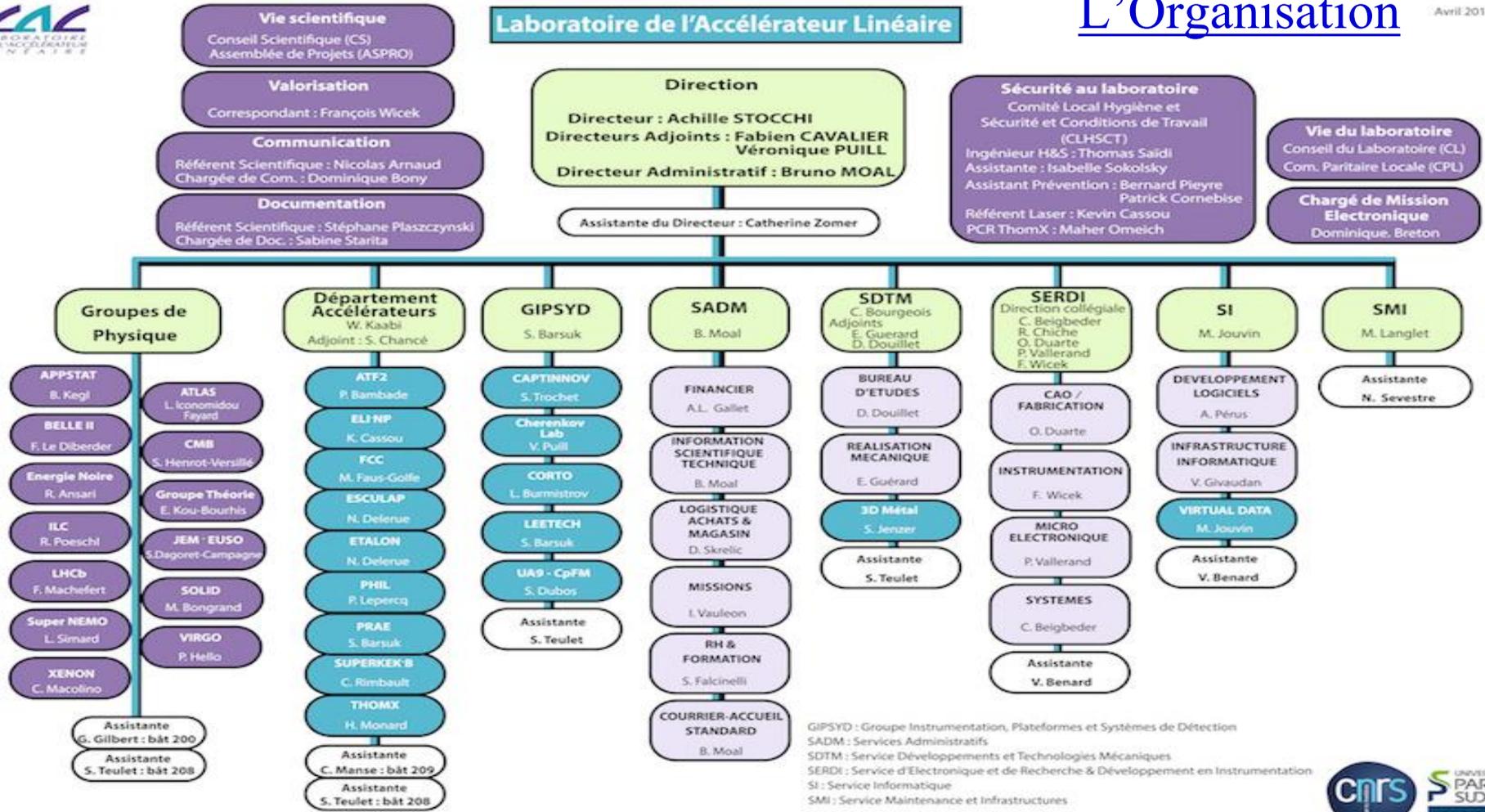
- Une trentaine au total
- Collaborations internationales
- Projets locaux
- Développements technologiques, activités R&D
- Contrats industriels, valorisation
- Diffusion du savoir



Synergies

Transmission,  
acquisition de  
connaissances

Vision sur le  
long terme



- Les chercheurs sont regroupés en 13 groupes/projets de physique
- Les IT sont partagés entre les Services Administratifs et les Services Techniques & Ingénierie

- Administration : ~30 agents
- Electronique : ~40
- Informatique : ~30
- Mécanique : ~40
- Accélérateurs : ~45 (1/2 Chercheurs +1/2 IT)
- Infrastructures : ~10

# Enseignement & étudiants

- Démarrage de ~10 thèses en moyenne chaque année  
→ ~30 étudiants de thèse au laboratoire
- ~190 mois de stage / an
  - Majoritairement (mais pas seulement) à partir du niveau L3  
→ L3, M1, M2, grandes écoles
  - De plus en plus de stagiaires étrangers (UE et hors UE)
- Stages d'une semaine « en entreprise » : 3<sup>ème</sup> et lycée
- Enseignement à tous les niveaux universitaires (L, M, D) et dans les grandes écoles
  - Plus de 40 agents du laboratoire impliqués
- Responsabilités d'administration et de filières
- Installations technologiques ↔ plateformes pédagogiques
- Liens structurants avec plusieurs pays : Grèce, Europe de l'Est et Palestine