

Visite « Professeurs en Entreprise » au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire

24 Novembre 2017

Fabien Cavalier (cavalier@lal.in2p3.fr)



C.gENial

Fondation pour la culture
scientifique et technique



LABORATOIRE
DE L'ACCÉLÉRATEUR
LINÉAIRE



Présentation générale

- **L**aboratoire de l'**A**ccélérateur **L**inéaire (**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



[@LALOrsay](https://twitter.com/LALOrsay)



Présentation générale

- Le LAL est une **unité mixte de l'IN2P3/CNRS et de l'Université Paris Sud**
- **CNRS** : **C**entre **N**ational de la **R**echerche **S**cientifique
→ Un très grand organisme public de recherche :
~30 000 personnes, budget de 3,3 milliards d'€
- **IN2P3** : **I**nstitut **N**ational de **P**hysique **N**ucléaire et de **P**hysique des **P**articules
→ Dix instituts (structures regroupant plusieurs disciplines proches) au CNRS
→ L'**IN2P3**, créé en 1971, est l'un des trois instituts **nationaux** du CNRS
- **Unité mixte** : le **LAL** rassemble des **chercheurs CNRS** et des **enseignants-chercheurs** qui dépendent de l'Université Paris-Sud et enseignent sur le campus

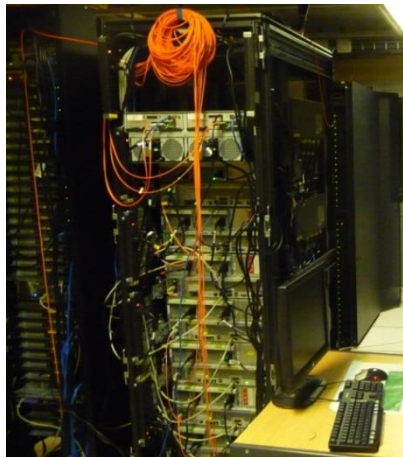
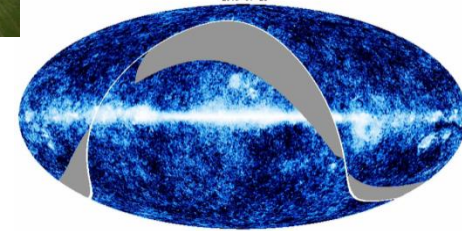


Présentation générale

- 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

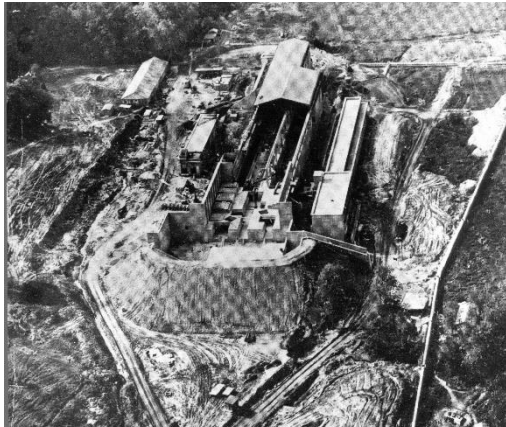


Mécanique

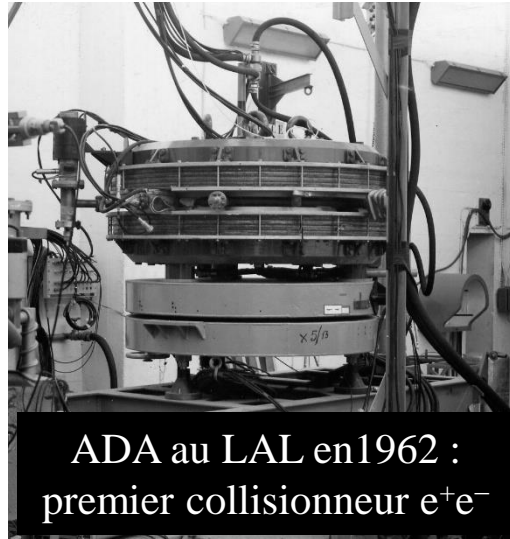


Accélérateur

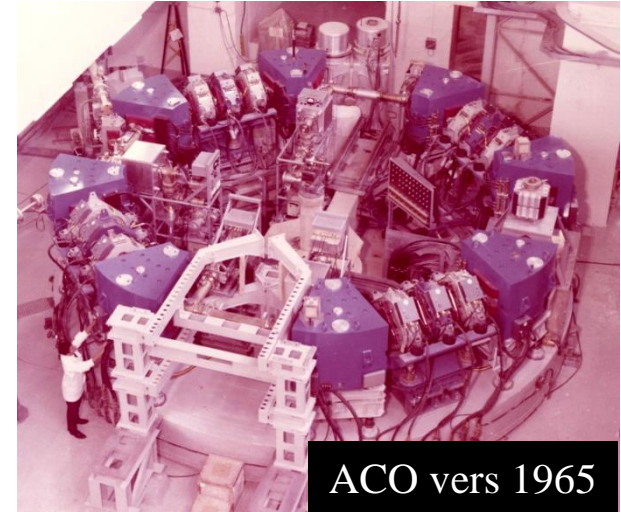
1956 – 2017 : survol de l'histoire du LAL



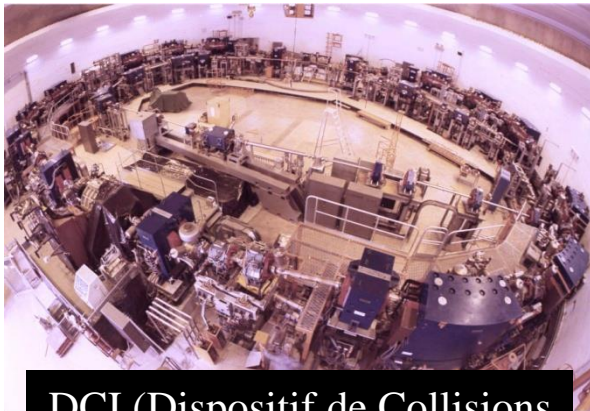
Chantier du LAL fin 1957



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

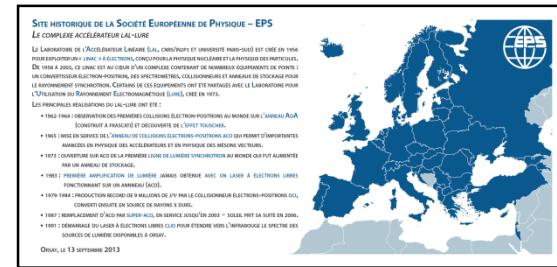
LE COMPLEXE ACCÉLÉRATEUR LAL-LURE

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/ψ 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 10⁷m
Soleil 10⁹m
Galaxie 10²¹m

Cellule 10⁻⁵m
Molécule 10⁻⁹m
Atome 10⁻¹⁰m
Noyau 10⁻¹⁴m
Neutron Proton 10⁻¹⁵m

	LEPTONS	QUARKS	BOSON DE HIGGS H
1 ^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électronique	e électron	u / up d bas / down
2 ^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charm / charm s étrange / strange
3 ^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top b bas / beauty / bottom

INTERACTIONS FONDAMENTALES

10⁻¹⁷ m

portée

- infinie : Interaction faible
- 10⁻¹³ m : Interaction électromagnétique
- 10⁻¹³ m : Interaction forte
- infinie : Gravitation

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

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.

Chaque une 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 faibles et fortes interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

Bosons Z, W^\pm

Photon γ

Gluons g

Graviton (?)

Distinction entre interactions fortes et faibles : cohésion des atomes et des molécules, chimie

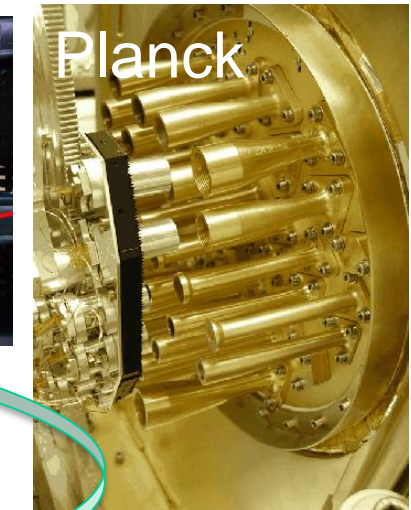
Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire

Gravité, pesantier, système solaire, galaxies

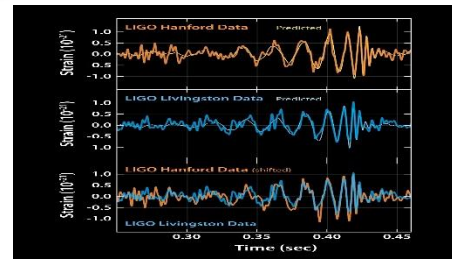
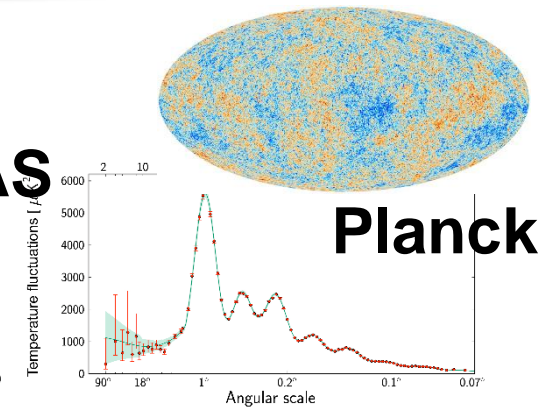
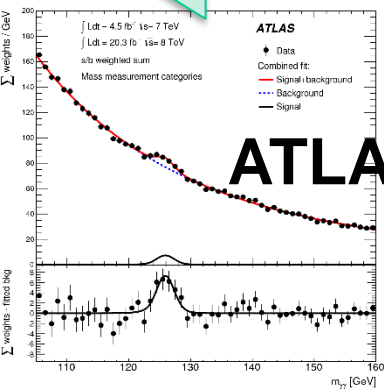
Antiproton

<http://www.particuleselementaires.fr>

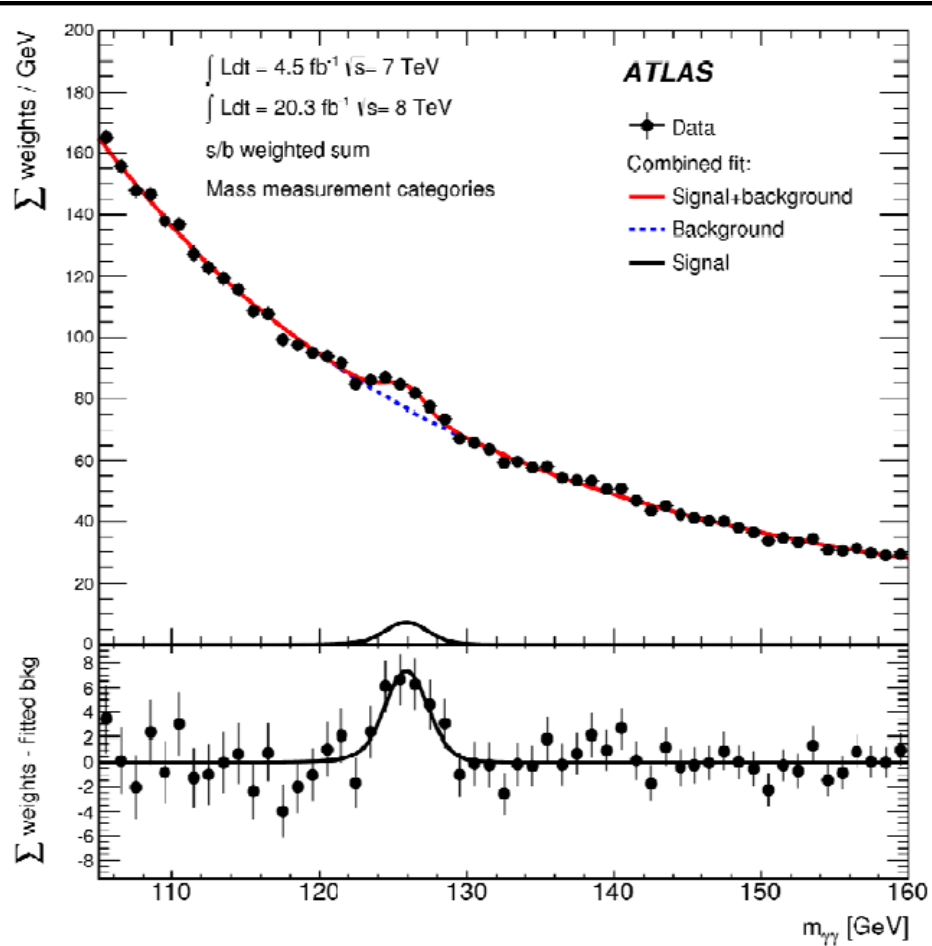
Plus grand laboratoire de l'IN2P3 consacré
à la **physique des particules (70%)** et
à la **cosmologie et les astroparticules (30%)**



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

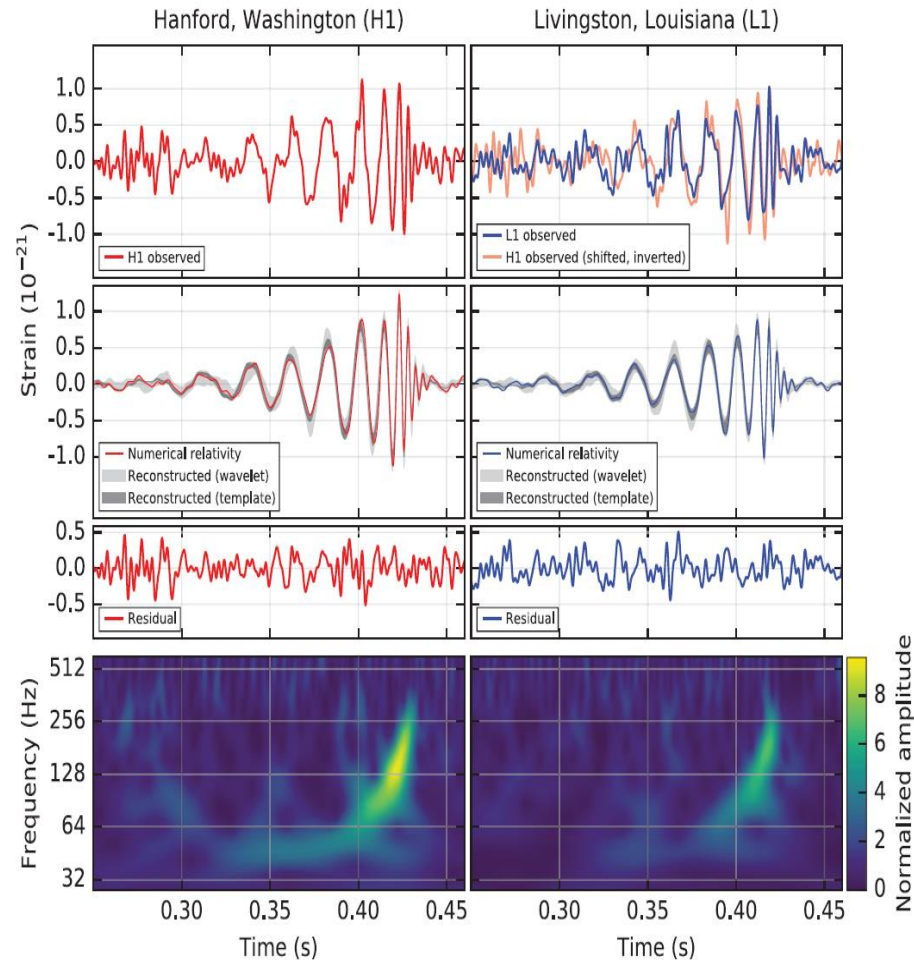


2 Résultats Scientifiques Majeurs de ces dernières années



Découverte du boson de Higgs

⇒ Prix Nobel 2013



**Première Observation
des Ondes Gravitationnelles**

⇒ Prix Nobel 2017

Le LAL en chiffres

Laboratoire fondé en 1956

47 Chercheurs CNRS

11 Enseignants-Chercheurs

118 Chercheurs

32 Thésards

15 Post-doctorants

13 Chercheurs émérites

Personnel

50 Ingénieurs de Recherche

300 Agents

26 Ingénieurs d'Études

66 Techniciens

182 ITA

200 Formations

29 Assistants Ingénieurs

suivies par an

11 CDD

16 000 m² de surface au total,
6 000 m² de halls, ateliers et salles blanches,
3 plateformes technologiques

Auditorium de 250 places

Photoinjecteur à 6 MeV

2 000 Commandes
et 3 100 Factures traitées par an

Moyens

Budget annuel 8,5 M€

Chiffre d'affaire magasins : 200 k€

Soutien de base du CNRS 1,4 M€

Marchés industriels 1,4 M€

4 000 processeurs informatiques, 1 PB de stockage

Une bibliothèque riche d'environ 12 000 titres : 8 200 ouvrages,
2 100 thèses et habilitations, 1 500 rapports

35 Séminaires organisés

150 Interventions en conférence

280 Publications

Une année de recherche au LAL

1 700 Missions en France et à l'étranger

1,1 M€ d'indemnités de déplacement par an

10 Thèses et 2 HDR

5 Conférences, écoles ou journées thématiques

1 Département Accélérateur

14 Groupes de physique

1 Pôle interlaboratoires
de microélectronique

Organisation

30 Projets scientifiques

1 Service administratif

4 Services techniques

1 salle informatique mutualisée "Virtual Data"

600 Scolaires et visiteurs accueillis

Le musée Sciences ACO

80 Stages de Licence et Master par an

Transmission du savoir

1 Salle dédiée à l'enseignement informatique

Plus de 40 Agents impliqués dans l'enseignement

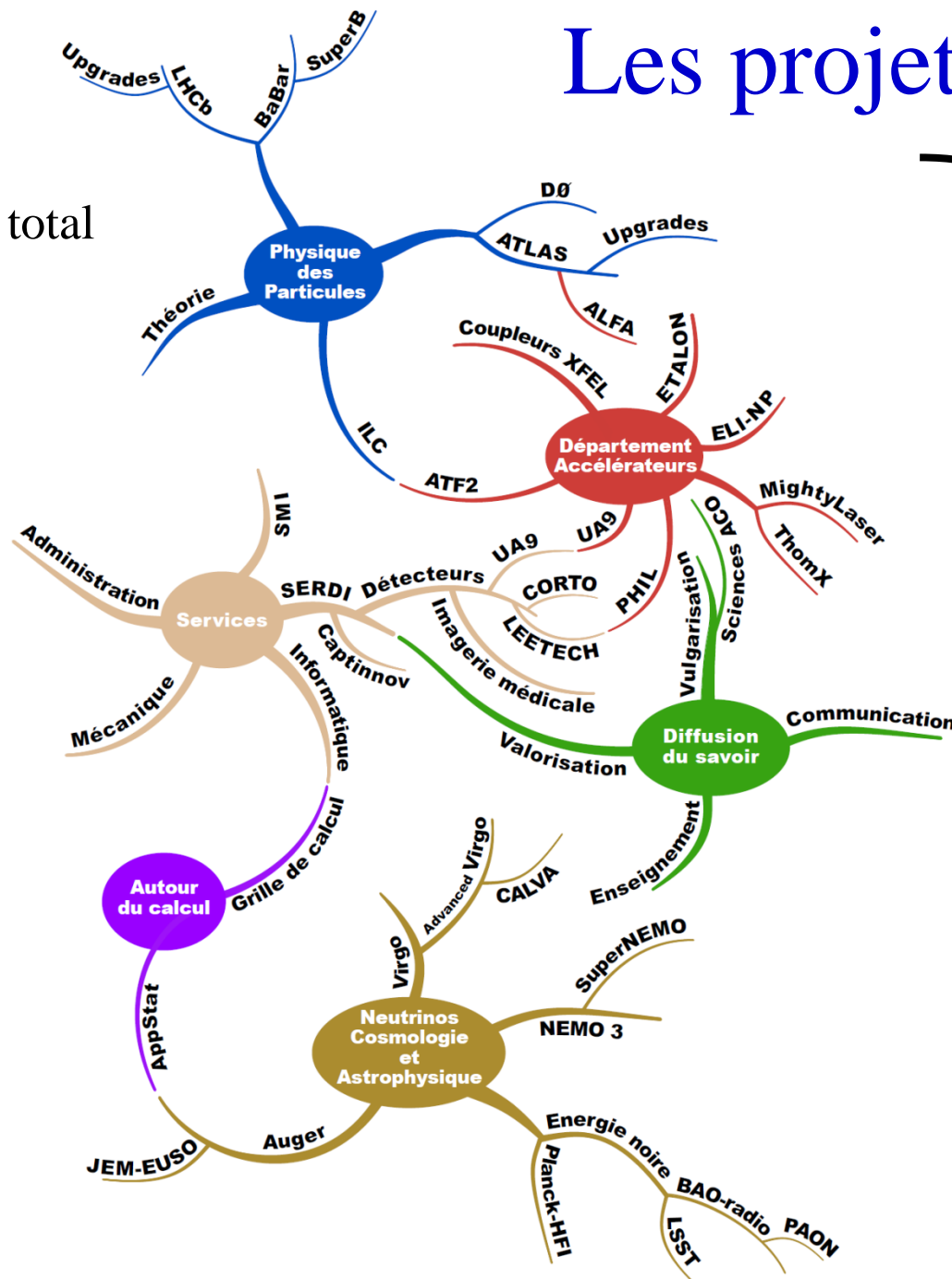
Revue Élémentaire

Salle de Musée

Passeport pour les deux infinis

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

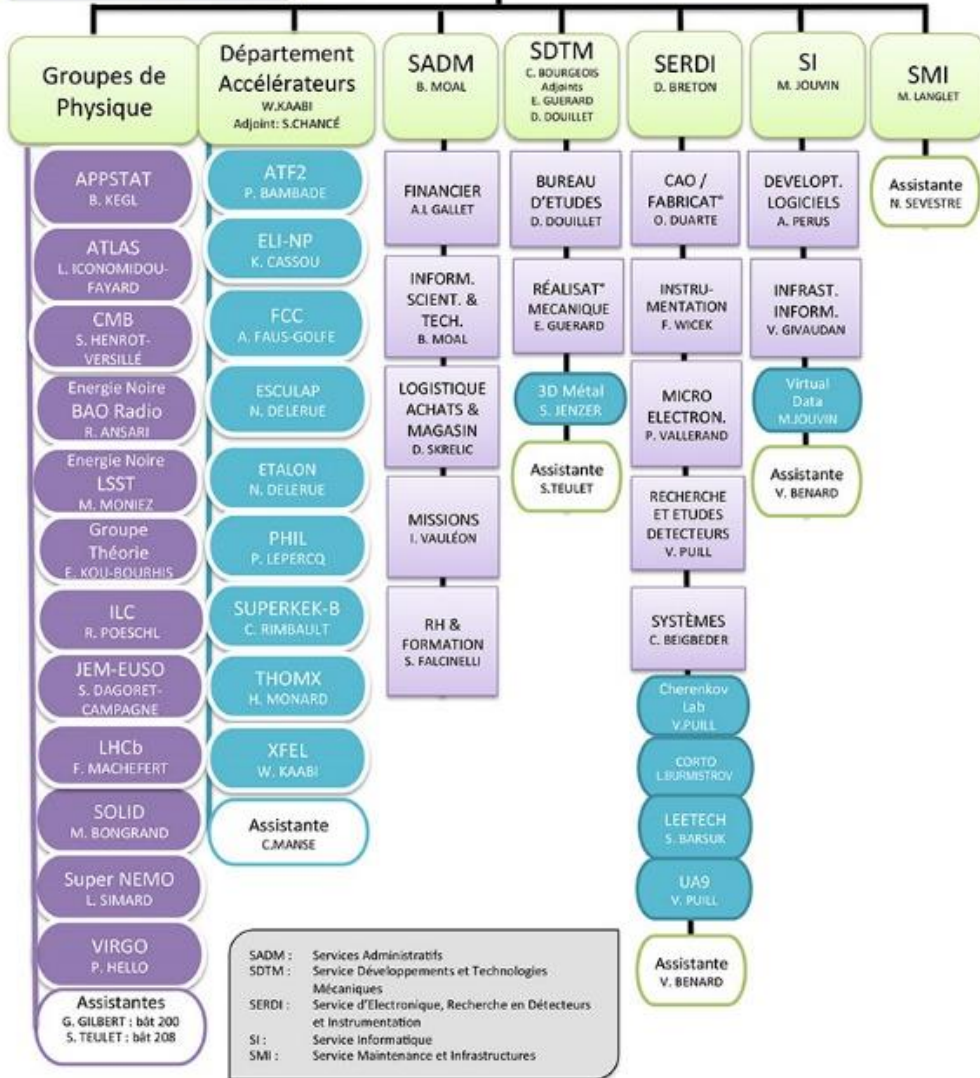
Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire

Organigramme au 5 septembre 2017



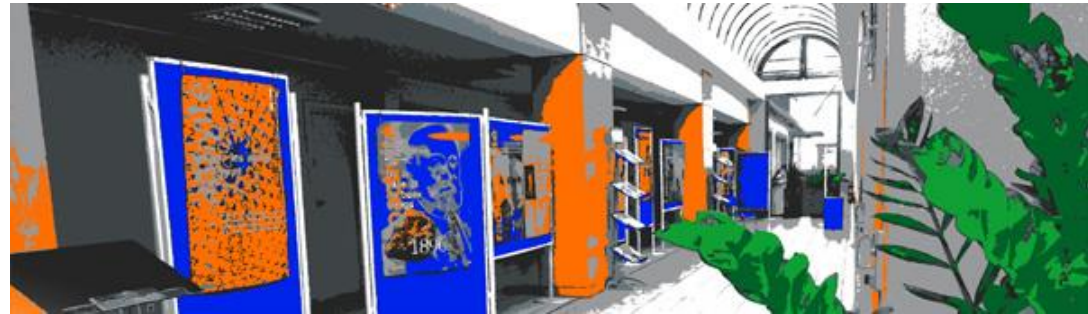
L'Organisation

- Les chercheurs sont regroupés en 12 groupes/projets de physique (Pas de groupe thématique)
- 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



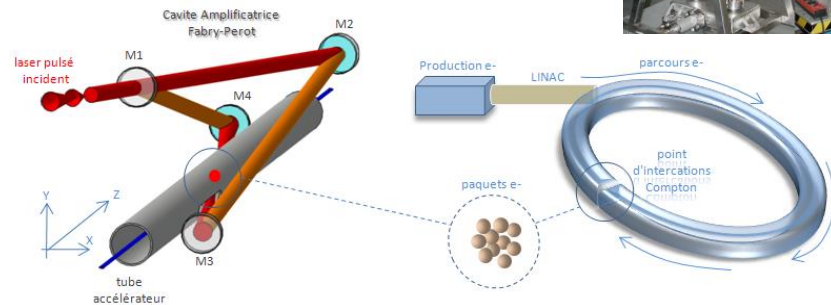
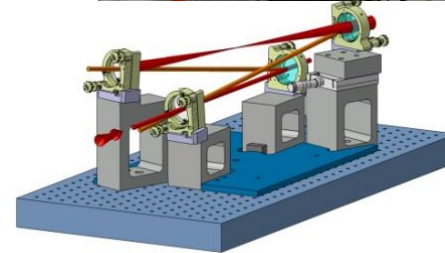
Les services techniques & administratifs du LAL

- **Département Accélérateur**
- **4 Services techniques**
 - Electronique, Recherche en Détecteurs et Instrumentation
 - Informatique
 - Maintenance et Infrastructures
 - Développements et Technologies en Mécanique
- **Des plateformes utilisées par d'autres laboratoires et pour la formation**
 - Projets CALVA, CORTO et PHIL
 - Grille de calcul VirtualData
 - Atelier de mécanique ; magasin
- **Service administratif**



Activités accélérateur au LAL

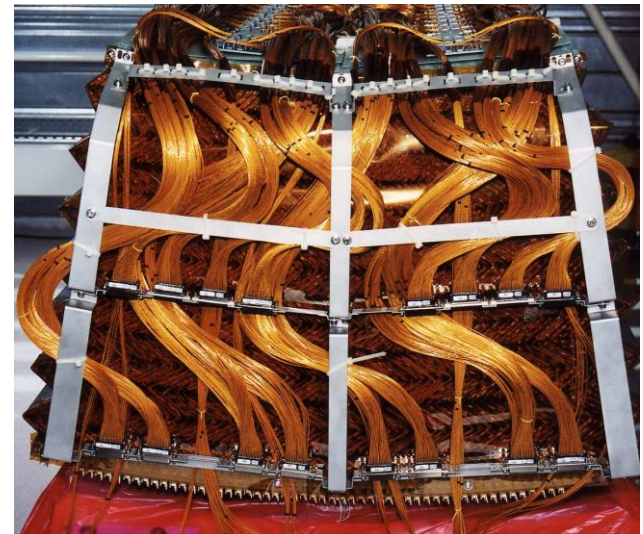
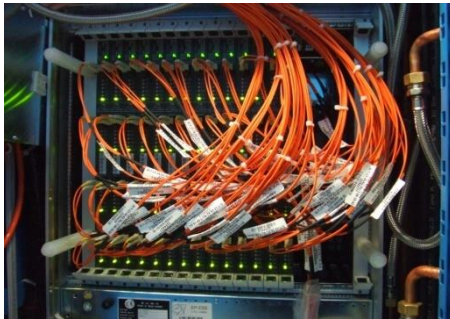
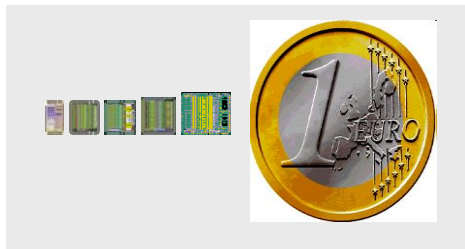
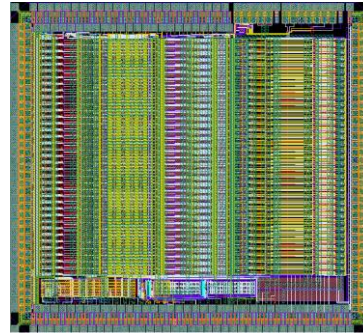
- **Développements technologiques novateurs**
- **Conception** d'instruments
→ PHIL, THOMX, PRAE
- **Participation au fonctionnement**
d'accélérateurs existants (coll. internationales)
- **Simulations informatiques**
→ évolution des faisceaux de particules,
bruits de fond parasites, etc.
- **Activités de recherche-développement**
- **Techniques du vide**
- **Contrats avec des industriels**
→ XFEL : <http://www.xfel.eu/>



- Grand éventail de projets allant de la **physique fondamentale** à la **physique appliquée**

L'électronique au LAL

- Conception de **circuits intégrés**
- Conception de **cartes d'électroniques**
- **Cablage**
- **Tests**
- Production en **grande série** réalisée par des industriels
- **Installation** sur les sites d'expérience
- **Validation, maintenance, réparations**



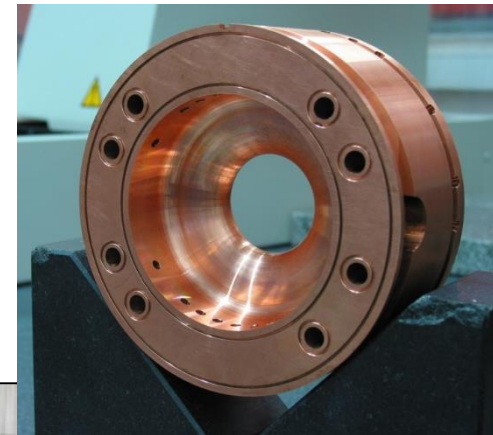
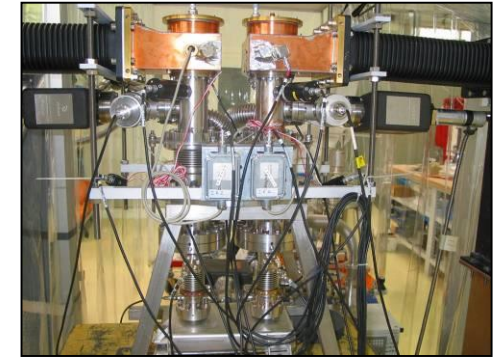
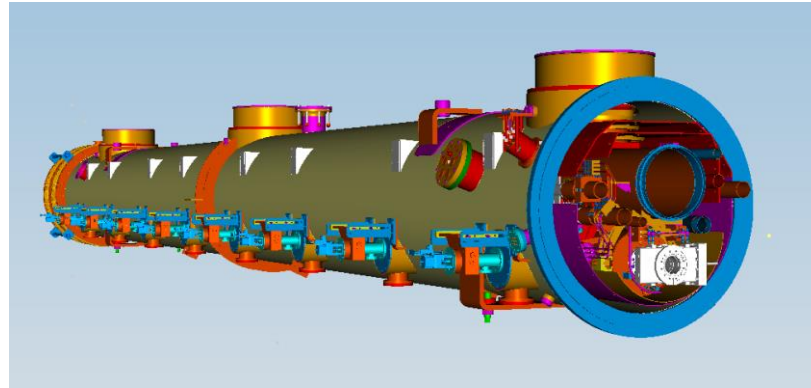
L'informatique au LAL

- **Fonctionnement, maintenance et évolutions des infrastructures**
 - Stations de travail, portables, imprimantes, etc.
 - Réseaux (ethernet, wi-fi), infrastructure de vidéo-conférence
 - Ferme de calcul → GRIF : un nœud de la grille EGEE
 - Salle Virtual Data
- **Développement de programmes et d'outils pour les expériences de physique**
 - Informatique temps réel
 - Acquisition de données, contrôle-commande, monitoring
 - Visualisation de données
 - vues 3D de collisions dans des détecteurs
 - Calcul
 - Bases de données
 - Conception de logiciels
 - Outils collaboratifs
 - Par exemple pour la grille de calcul
- **Transmission des connaissances**
 - Enseignement, formations, séminaires



La mécanique au LAL

- **Conception**
 - Études
 - Calculs
 - Ingénierie
- **Réalisation**
 - Assemblage
 - Montage
- **Evaluation**
 - Qualification
 - Tests, essais
 - Contrôles
- **Chaudronnerie**
 - Soudure
 - Brasage



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^{ème} et lycée
- Candidatures spontanées bienvenues : comm@lal.in2p3.fr
 - Envoyer CV + lettre de motivation :
- 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

Cursus pour les métiers de la recherche

Concours national Chercheurs
~ 300 postes/an pour le CNRS

Salaire mensuel brut
début - fin

Post-Doc > 1 an

Thèse
3 ans

Ecole
Ingénieur
3 ans

Magistère
3 ans

Master
2 ans

IUT / BTS
2 ans

Prépa
2 ans

License
3 ans

Bac

Lycée
3 ans

Thèse + Post-Doc
Chercheur CR / DR

2100-3800 €
3050-6110 €
Thèse : 1900 €



Concours nationaux par grade et BAP
~ 300 postes/an pour le CNRS

BAPs

Sciences
du vivant

Chimie
Matériaux

Sciences
ingénieur
Instruments

Sciences
humaines
sociales

Informatique
Calcul
scientifique

Documentation
Culture
Communication

Patrimoine
Logistique
Restauration

Gestion
Pilotage