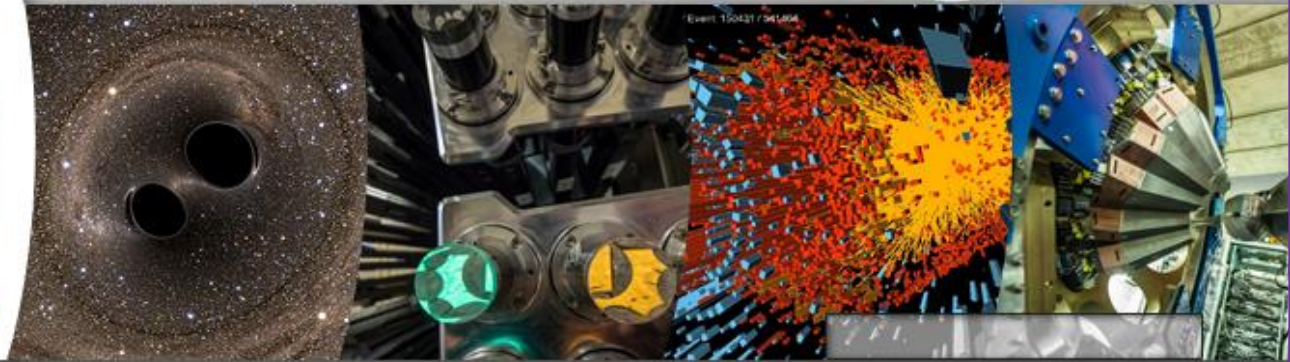


60 ans IPN Orsay/LAL



IN2P3



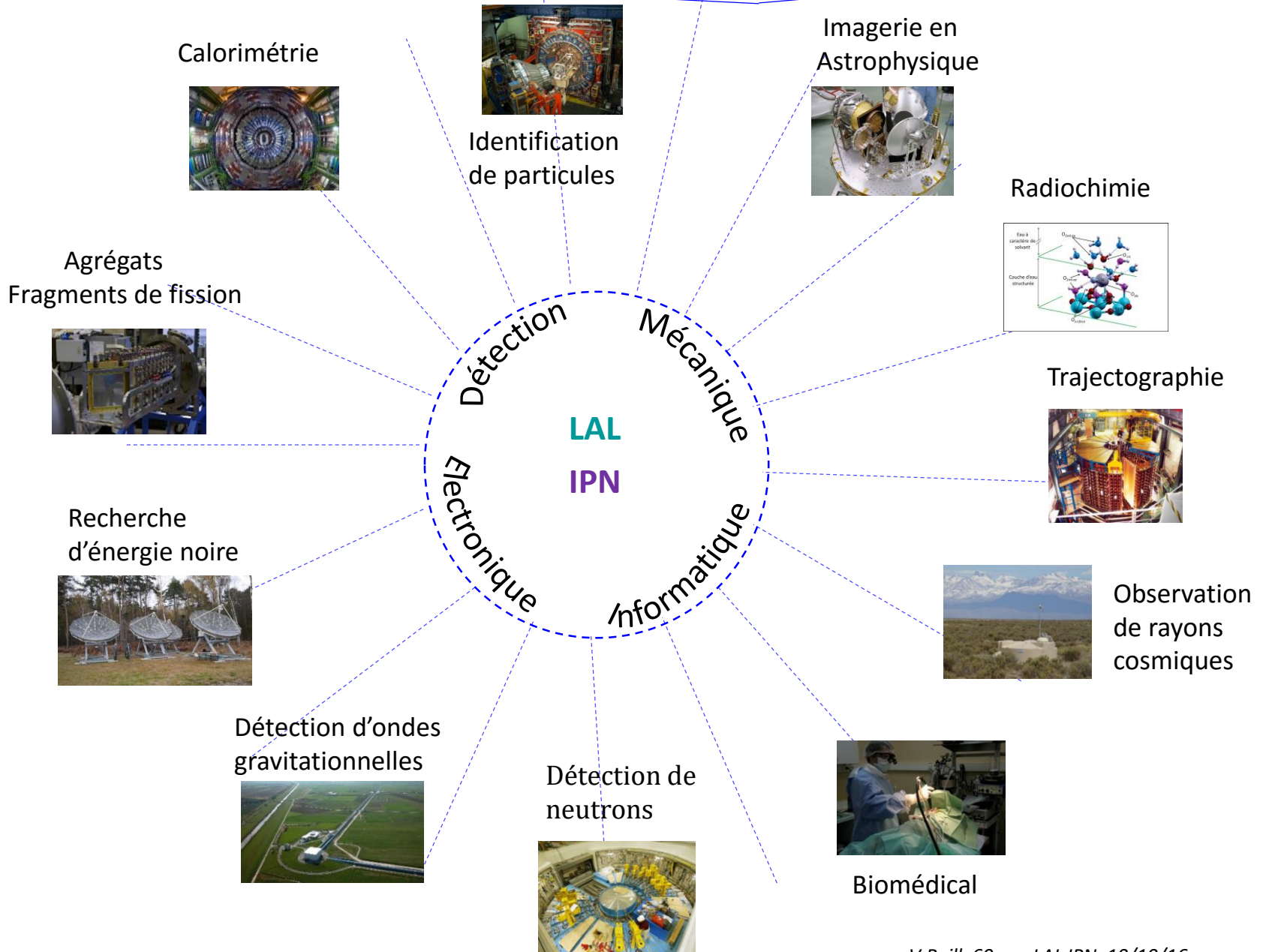
Développements instrumentaux au LAL et à l'IPN, Diversité, complémentarité et expertises

de 2006 à 2016

Véronique Puill

Journée du 60^{ème} Anniversaire du LAL et de l'IPN, 10 octobre 2016

Nos compétences techniques au service de nos axes de Recherche



Panorama des compétences techniques (≈ 180 IT) au LAL et à l'IPN

CAO

Electronique

35 % *

analogique



numérique

fabrication cartes

microélectronique

câblage



simulation

études

design

tests et mesures



technologie des détecteurs



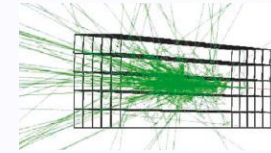
optique



Détection

8 % *

caractérisation



traitement et visualisation de données

montage, intégration

fabrication



calcul scientifique

contrôle-commande



25 % *

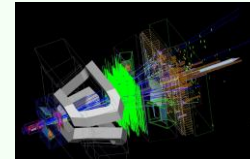
Informatique

Informatique embarquée

grille et cloud

exploitation

interface homme-machine

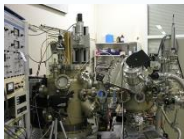


vide

Mécanique

32 % *

cryogénie



CAO3D

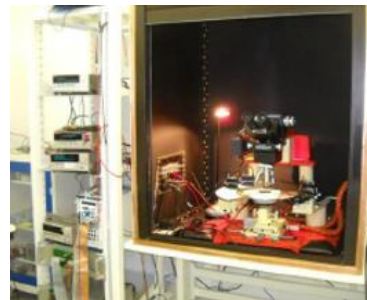
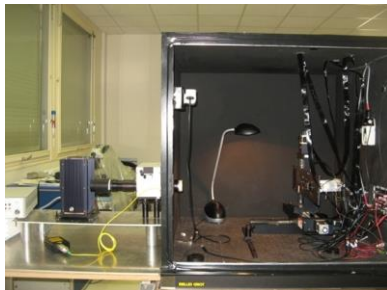


Des moyens à la hauteur de nos ambitions

- $\approx 6000 \text{ m}^2$ de halls d'assemblage et de montage
- 2 ateliers ($\approx 1500 \text{ m}^2$) : usinages conventionnels et numériques, chaudronnerie avec soudage et brasage sous vide, tôlerie, contrôle des pièces,

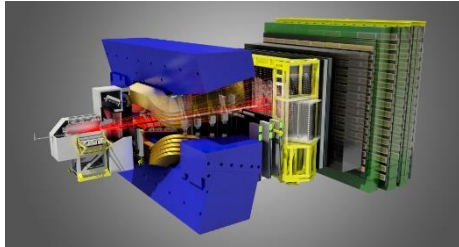


- 6 salles blanches ($\approx 260 \text{ m}^2$): caractérisation de détecteurs (Silicium, PMT basse radioactivité), plateforme de test pour les futurs détecteurs d'ondes gravitationnelles,...
- Salles spécifiques : salle de chimie pour la fabrication de détecteurs Silicium
- 9 salles de caractérisation d'ensembles de détection (détecteurs gazeux, Silicium, photodétecteurs, Germanium, ...)



Quelques exemples de réalisations techniques remarquables en :

- ✓ Physique des Hautes Energies
- ✓ Physique des Neutrinos
- ✓ Physique Hadronique
- ✓ Physique Nucléaire
- ✓ Astroparticules et Cosmologie
- ✓ R&D instrumentale

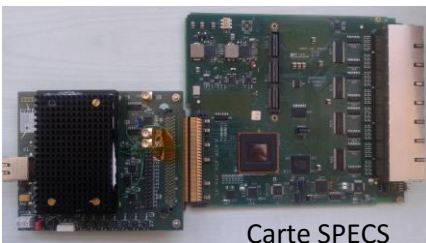


L'expérience LHCb a pour but **l'étude des différences entre matière et antimatière**, notamment par des mesures précises du phénomène de « violation de la symétrie CP »

Electronique : développement de la chaîne complète d'acquisition- des détecteurs jusqu'à l'évent display- des calorimètres hadronique et électromagnétique, ainsi que la partie slow control de l'expérience.



Calorimètre électromagnétique

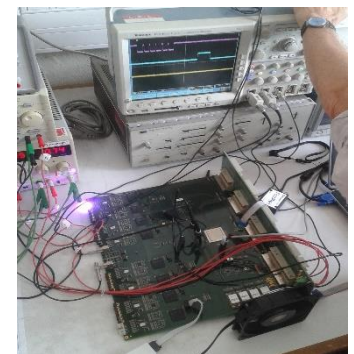


Carte SPECS

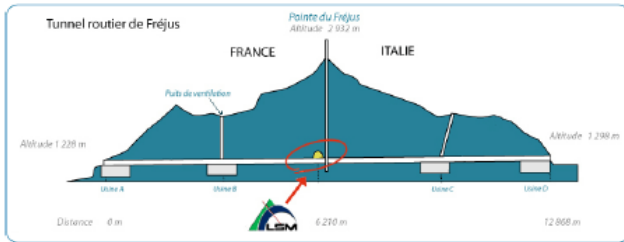
Run 2 LHC : lecture et transmission de l'information en augmentation considérable (x 6) → **upgrade de l'ensemble de l'électronique d'acquisition** : 278 cartes front-end (8896 voies) et 21 de readout (installation durant le LS2 de 2019)

Jouvence de la carte SPECS permettant de commander les différents modules électroniques répartis sur le détecteur

Informatique : participation au développement du framework utilisé par toutes les applications LHCb (GAUDI)

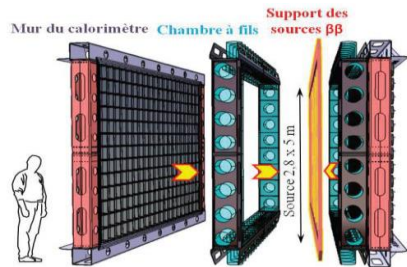


Carte Front-end du Calorimètre

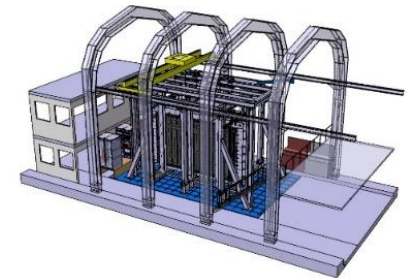


Expérience de physique des particules pour l'étude de la nature des neutrinos.

Démonstrateur situé dans le Laboratoire Souterrain de Modane (LSM) pour se protéger des rayonnements cosmiques.



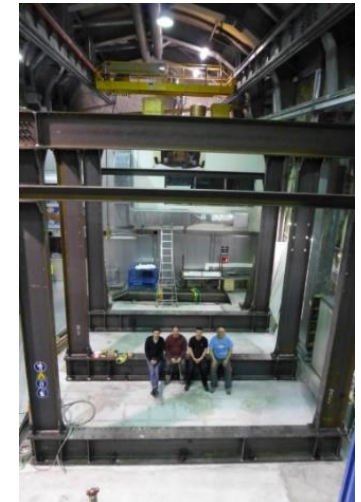
Mécanique : études, réalisations et installation de l'architecture globale des structures de support du démonstrateur ainsi que de l'ensemble du blindage.



Détecteur : mesure de la radiopureté des feuilles sources, au niveau du microBq/kg



Electronique : études et réalisations de l'électronique Front-End du calorimètre et du trajectographe (≈ 6800 voies), soit plus de 60 cartes électroniques.



Cartes de contrôle et de trigger



Carte Front-end du Calorimètre

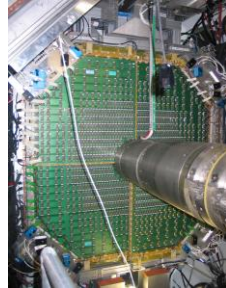


Chassis Front end

Etude des propriétés d'interaction forte de la matière dans les plasmas Quark Gluon



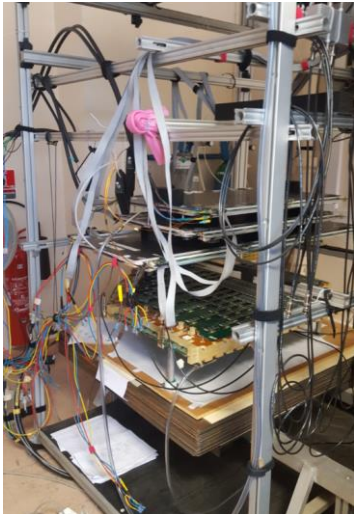
ALICE



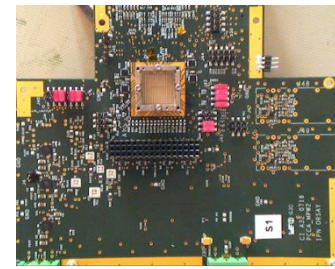
4500 cartes électroniques
équipant la 1^{ère} chambre

Electronique : conception et production de toute l'électronique de lecture des 10 plans de chambres à fils (1,1 millions de voies, 22 000 cartes électroniques, 100 cartes FRT, 30 cartes Crocus, 30 châssis) → commissioning en 2008

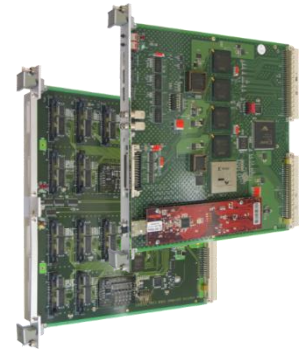
Développement des nouvelles cartes Front End pour l'upgrade majeur de l'électronique d'ALICE (luminosité LHC accrue, collisions @ 50 kHz)



Banc de test détecteur + contrôle-commande



Bancs de test ASIC SAMPA V2
bondé ou encapsulé

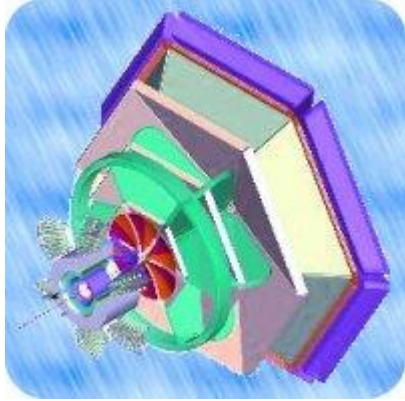


Informatique :

Refonte du contrôle-commande durant le long shutdown (2013-2014) → **accélération d'un ordre de grandeur** du démarrage de run pour gagner plus de 15 points d'efficacité de prise de données.

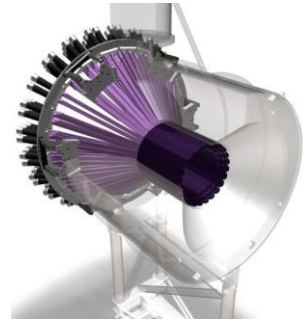
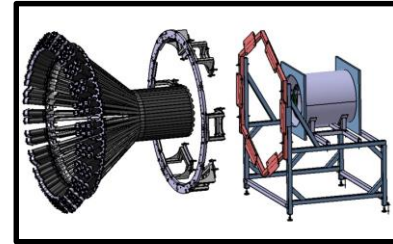
Etude de la **structure du nucléon** (GPD, distribution de partons généralisés du nucléon)

→ détection de neutrons, mesure de leur position

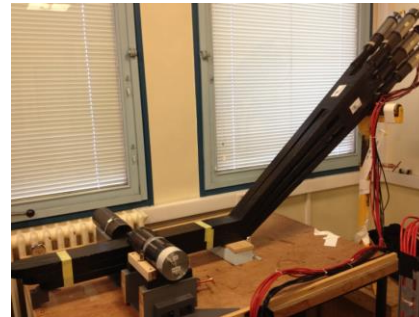
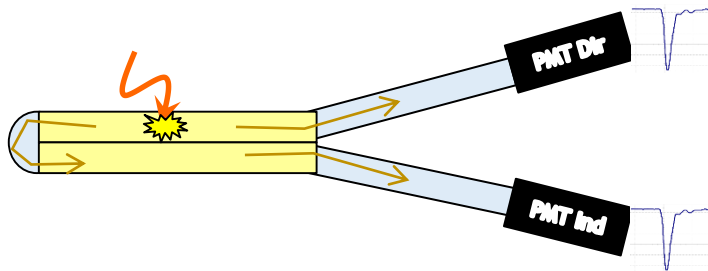


Mécanique : contraintes strictes : espace disponible limité (sortie d'un seul côté), + champ magnétique local élevé (5 T)

→ simulation, conception, fabrication



Détecteurs : R&D capteurs de photons, couplage optique, assemblage → résolution temporelle < 150 ps (temps de vol)

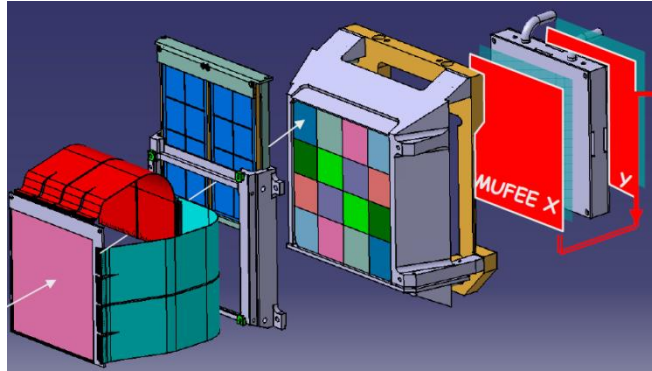


Assemblage, test, montage



envoi aux

Étude de la **structure nucléaire des noyaux exotiques** loin de la vallée de stabilité.



Si pistes / 2 faces
256 voies

SiLi
16 voies

CsI + photodiodes
16 voies

Électronique : développement de l'électronique frontale (carte de lecture MUFEE) des télescopes fonctionnant sous vide

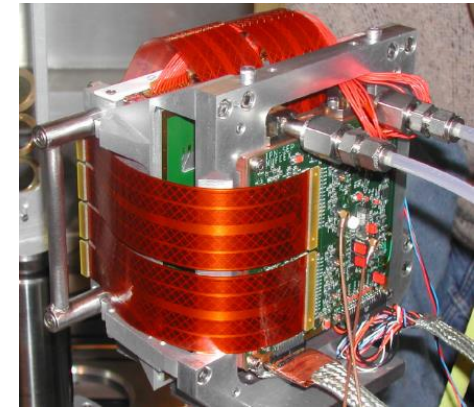
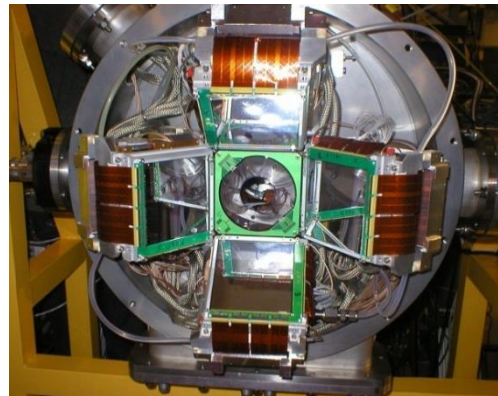
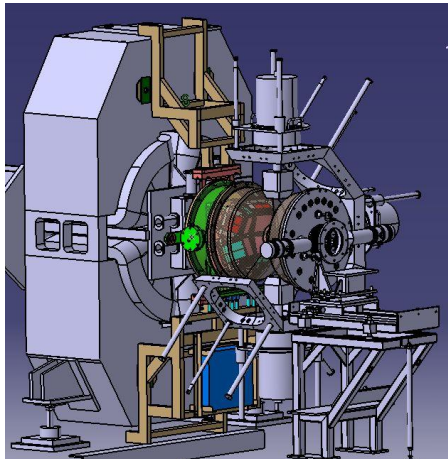
Collaboration au design et aux tests du circuit intégré de lecture MATE avec le CEA.



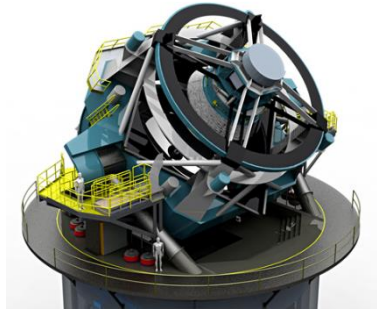
Mécanique : refroidissement des télescopes (étude et réalisation)

Intégration → portabilité, robustesse.

Couplage avec d'autres expériences comme TIARA, EXOGAM, AGATA



Experiences depuis 2007 @ GANIL, RIKEN

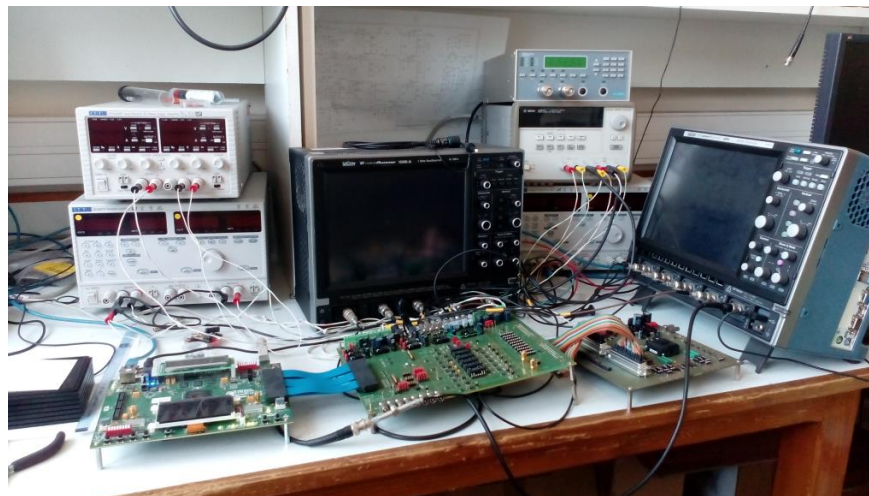
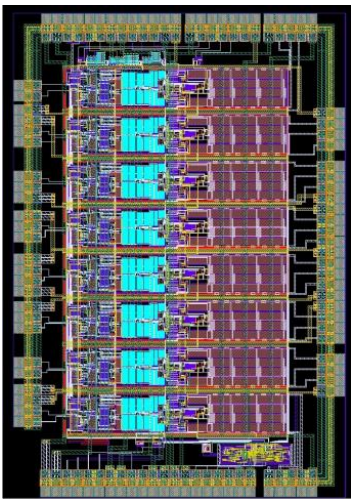
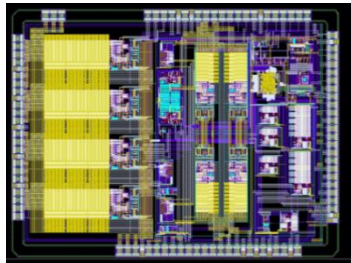
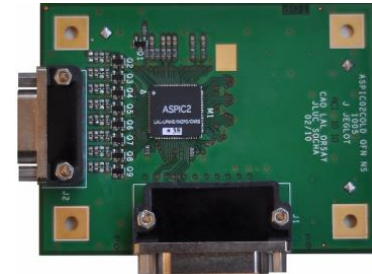
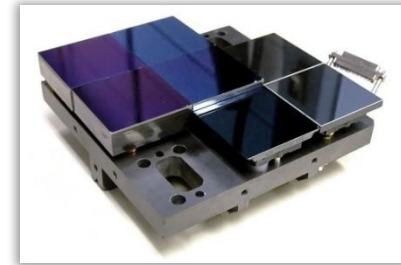


Projet de télescope au sol qui produira des **images très précises** (800 par nuit) **de l'ensemble du ciel visible** depuis le Chili grâce à une caméra CCD de 3,2 milliards de pixels

Electronique : pour contrôler ces CCDs et lire leurs signaux, **2 puces de microélectronique (ASPIC et CABAC) ont été conçues au LAL en collaboration avec le LPNHE.**

Leurs versions finales **testées intensivement** (350) **au LAL à basse température** (- 50 °C) ont atteint les spécifications requises

Informatique (gestion du flot de données): nouvelles approches d'analyses distribuées dans le cloud (Spark)



Alvéoles Carbone (IPN)

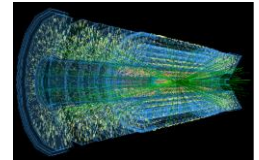


Développement d'alvéole en Carbone (feuille d'1 mm d'épaisseur) pour équiper un dispositif anti-Compton pour détecteurs Germanium

Calcul Parallèle Portable & Durable (IPN et LAL)

Etude du parallélisme sous toutes ses formes : vectorisation, multi-thread, GPU, mémoire distribuée... en privilégiant les approches portables et maintenables.

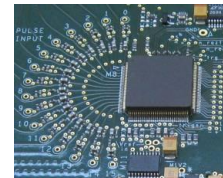
Application aux logiciels de simulation de collisions et de reconstruction de traces. Pour les futurs run du LHC, la multiplication des traces par un facteur 10 (ex : 50 millions/s dans ATLAS) impose une refonte en profondeur.



WaveCatcher et SAMPIC (LAL)

Famille de cartes et modules de numérisation ultrarapide à très haute précision (3,2 GS/s, 12 bits, précision ≤ 5 ps rms) une centaine de modules en fonctionnement dans le monde

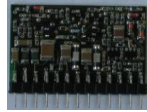
2 brevets
Commercialisation
par CAEN



du module USB 2 et 8 voies au crate 64 voies

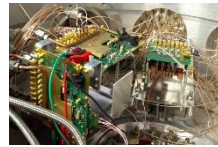
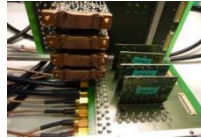
Développement d'un ASIC et de modules TDC de nouvelle génération (précision ≤ 3 ps rms)

Préampli PACI (IPN)



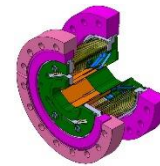
Famille de préamplificateurs charge et courant bas bruit (Pulse Shape Analysis signal courant)

- Versions discrètes diffusées largement : Compact Compton Telescope, CEA, SOFIA @ GSI, enseignement...
- Versions ASIC pour GASPARD @ SPIRAL2



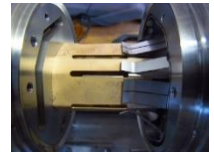
Soufflet « à Doigt RF » (LAL)

Ensemble mécanique qui permet de connecter les différentes sections d'un Anneau d'accélérateur avec une flexibilité entre les deux sections connectées selon 5 degrés de liberté



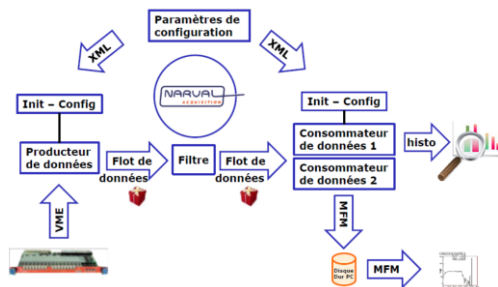
- ✓ continuité électrique
- ✓ continuité de la géométrie du tube faisceau
- ✓ continuité de l'Ultra-Vide

équippa ThomX



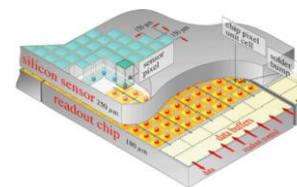
NARVAL (IPN)

Système d'acquisition de données distribué. Modulaire, il s'adapte aux banc d'essai et aux expériences multi-détecteurs (GANIL, AGATA, COCOTE, SEMIRAMIS, ANDROMEDE, CORTO, ...)



R&D Détecteur Pixel (LAL)

Pour ATLAS : développement d'une nouvelle génération de détecteurs de pixels Silicium hybrides minces ($< \sim 100 \mu\text{m}$) et d'une électronique frontale associée radio-tolérante pour la détection de particules chargées



détecteur de pixel (2013) dans ATLAS

Les développements communs IPN-LAL

- ✓ CAPTINNOV
- ✓ CORTO
- ✓ VIRTUAL DATA

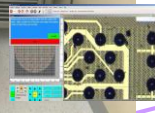
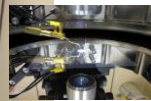
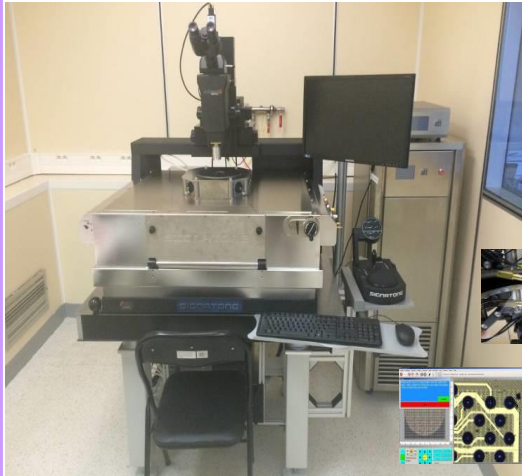
Collaboration LAL, IPNO, LLR, CEA Irfu
Financement LAL, P2IO, Région Ile de France

Plateforme de caractérisation et d'intégration de détecteurs semi-conducteurs, de détecteurs gazeux et de micro-circuits

Objectifs : prendre en charge la construction complète de détecteurs de vertex très segmentés, de calorimètres ultra granulaires, de plans focaux pour les futurs spectromètres en physique nucléaire, de trajectographes de très grandes dimensions.

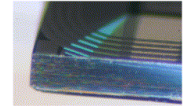
Station de test sous pointes

Caractérisation de détecteur pixels d'ATLAS, détecteurs diamants, d'ASICs , ...



LAL, Bat 209a

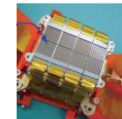
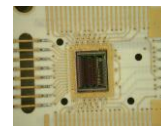
- précise : 10fA, 10fF
- flexible : du composant unique à des matrices (30 x 30 cm)
- automatique: scan, reconnaissance de forme



Installée au LAL en salle blanche

Machine à bonder

Câblages (micro-connectique) de circuits, de détecteurs, ... (configurations complexes)



Installée au CEA (Irfu) en salle blanche

Opérations entièrement automatisées



Collaboration LAL, IPNO, CSNSM, Université de Séoul et de Kiev
 Financement LAL, IPN, P2IO, Université Paris Sud



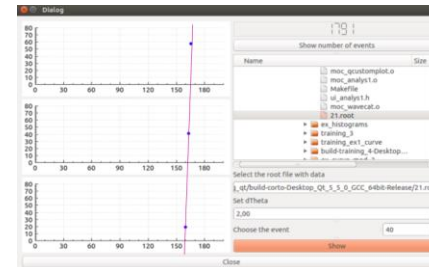
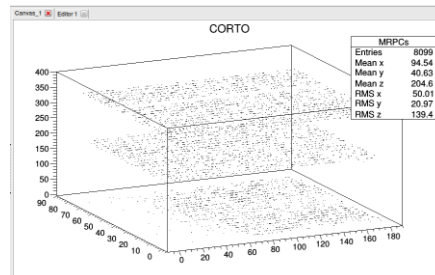
Plateforme de test de détecteurs de particules grâce au rayonnement cosmique

Objectif : tester des dispositifs de détection développés pour la calorimétrie, la trajectographie où l'identification de particules



Développement de la plateforme :

- simulation
- construction et montage du télescope
- développement de l'électronique de lecture
- développement de l'acquisition de données
- mise au point d'une interface graphique conviviale
- tests



CORTO est aussi un outil pédagogique permettant aux étudiants de participer à des projets complets où sont couverts tous les aspects du travail d'un expérimentateur, des problématiques de détection jusqu'à l'obtention de résultats, en passant par l'analyse de données.

Financement LAL, IPN, CSNSM, IAS, IMNC, LPT, P2IO

Plate-forme de simulation, de stockage et de traitement de données commune à 8 laboratoires (LAL, IPN, CSNSM, IAS, IMNC, LPT, LLR, Irfu)

Objectif : augmenter notre expertise et notre capacité d'intervention dans les expériences, optimiser les coûts d'infrastructure et de fonctionnement

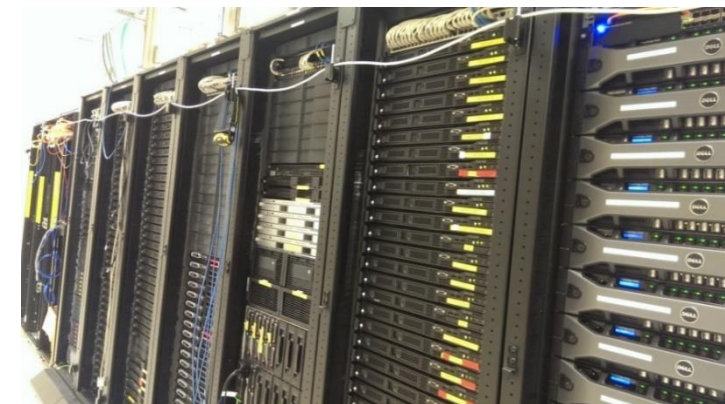


Situation initiale : 650 m² de salles informatiques sur 8 labos et fragmentées dans plus de 10 salles (de 25 à 100 m²) hébergeant 900 kW → très inefficace et coûteuse (1 M€/an)

phase 1 : 100 m² / 250 kW / 30 racks (1 M€)

- ✓ Salle modulaire et extensible
- ✓ Système de refroidissement redondant
- ✓ Plateforme gérée par les labos P2IO, opérationnelle depuis 3 ans

Extension en cours : 51 racks, 900 kW jusqu'à 84 racks et 1,5 MV



Merci à :

Pierre Barrillon

Julien Bettane

Christophe Beigbeder

Valérie Chambert

Olivier Duarte

Bernard Genolini

Michel Jouvin

Vincent Lafage

Damien Le Guidec

Abdenour Lounis

Stéphane Trochet

Eric Wanlin

Hadrien Grasland

David Chamont

pour leur contribution à cette présentation



Les services techniques de l'IPN et du LAL, en étroite collaboration avec les chercheurs instrumentalistes font preuve d'une grande créativité et d'originalité pour construire des détecteurs toujours plus complexes à travers le monde (et même dans l'espace).

La grande complémentarités de nos compétences, l'implication forte de nos personnels techniques complètent parfaitement l'excellence scientifique de nos chercheurs dont les projets nécessitent de rester à la pointe de la technologie.



Nos développements sont souvent valorisés, soit à travers de collaborations avec l'industrie, de transfert de compétences et de savoir-faire où de dépôt de brevets. Ils sont souvent utilisés dans les domaines du médical, que ce soit en imagerie ou en thérapie.

