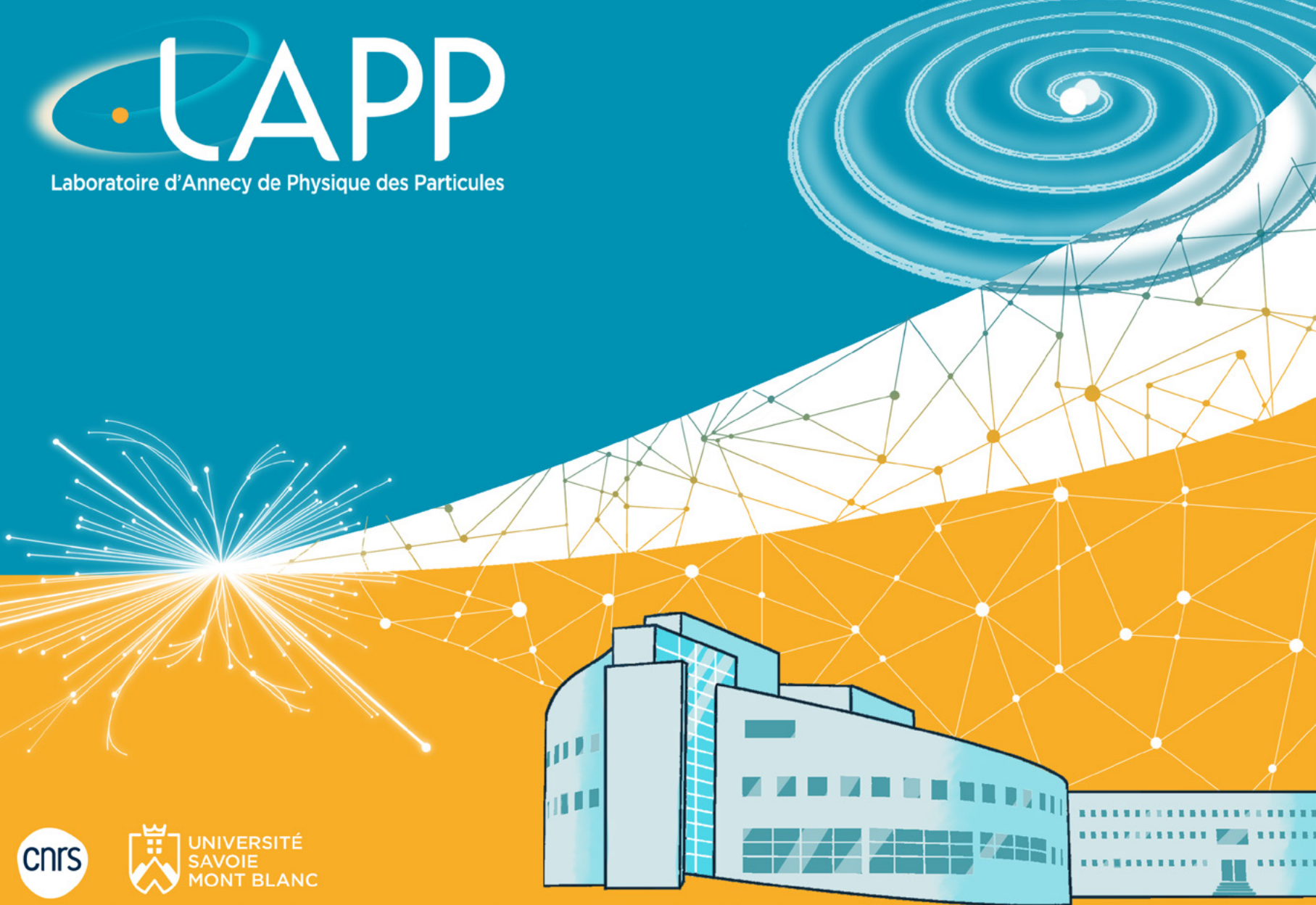


LAPP

Laboratoire d'Annecy de Physique des Particules



SOMMAIRE

Présentation du LAPP 2

Les expériences au LAPP

ATLAS	4
LHCb	6
Neutrinos	8
Virgo	10
Astronomie Gamma	12
LSST-Rubin	14
FCC	16

Les services support

Service électronique	18
Service mécanique	19
Service Informatique	20
Service administratif	21

Transmission des savoirs 22

Diffusion de la culture scientifique et technique 24

Le LAPP et la Science Ouverte 26

Glossaire 28

Histoire du LAPP - 45 ans de découvertes 30

LE LAPP

Créé en 1976, le Laboratoire d'Annecy de Physique des Particules (LAPP) est une Unité Mixte de Recherche (UMR5814) dépendant du CNRS et de l'Université Savoie Mont Blanc.

Le LAPP fait partie de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3), institut qui coordonne la recherche en physique nucléaire, en physique des particules et astroparticules et les développements associés.



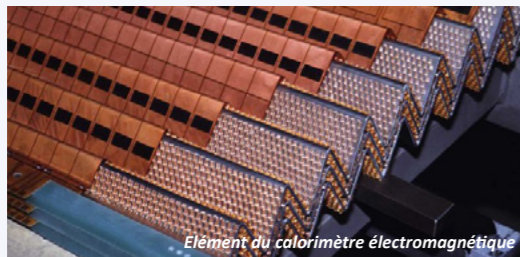
Au sein du LAPP, environ 150 personnes (chercheur·se·s, doctorant·e·s, ingénieur·e·s, technicien·ne·s, personnels administratifs) participent à des recherches ayant pour objet l'étude des constituants ultimes de la matière et de leurs interactions fondamentales, ainsi que de leurs liens avec les grandes structures de l'Univers.

C'est au sein de collaborations internationales, regroupant des centaines voire des milliers de scientifiques, que les équipes du LAPP poursuivent des programmes expérimentaux auprès des grands instruments dédiés à l'étude de la physique des particules élémentaires et à l'observation et la détection de signaux cosmiques et de particules. Ces expériences très complexes ont une durée de vie pouvant atteindre plusieurs décennies et font appel à des technologies de pointe dans les domaines de l'électronique, de l'informatique et de la mécanique. Elles génèrent aussi des flux importants de données que le LAPP, grâce à son expertise numérique et informatique, contribue à stocker et analyser.



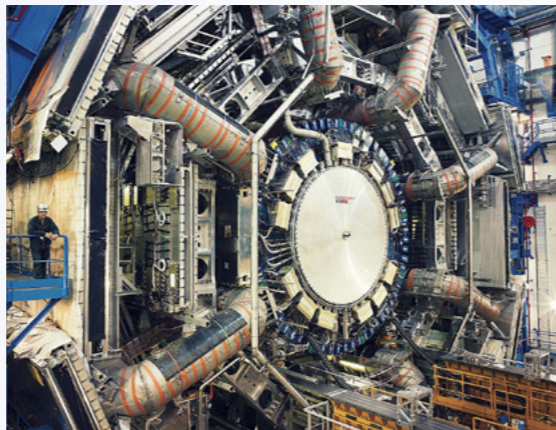
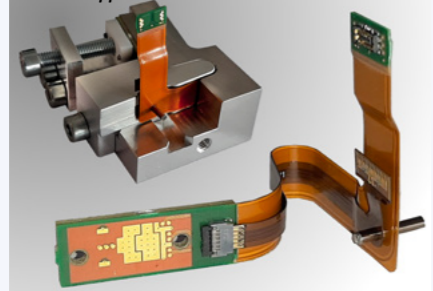
Situé sur le campus universitaire d'Annecy, le laboratoire bénéficie de la proximité stratégique du CERN, le plus grand laboratoire de physique des particules du monde, qui se trouve à Genève, en Suisse.

Le LAPP collabore avec le Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique Théorique (LAPTh) implanté dans les mêmes locaux, ainsi qu'avec d'autres laboratoires régionaux comme le Laboratoire Souterrain de Modane (LSM) ou le Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie (LPSC) de Grenoble. Issu de ces collaborations, le projet ENIGMASS a reçu le label « Laboratoire d'excellence » (Labex) en 2012 et a été prolongé jusqu'en 2024.



Elément du calorimètre électromagnétique

Développement d'un nouveau détecteur de traces



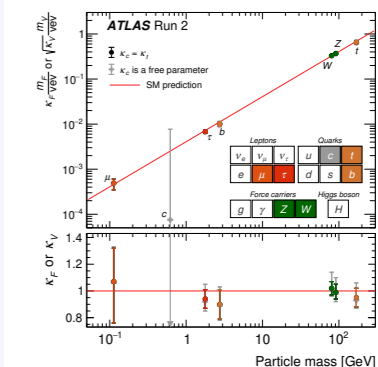
ATLAS

ATLAS est l'une des quatre expériences du grand collisionneur de hadrons (LHC, Large Hadron Collider) au CERN. Elle explore de nouveaux territoires de la matière, de l'énergie, de l'espace et du temps au LHC.

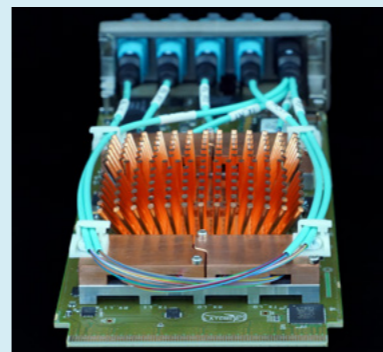
Le détecteur ATLAS a été conçu pour comprendre notre Univers et son évolution. La collaboration étudie de nouveaux processus fondamentaux ainsi que la matière à l'échelle la plus petite jamais atteinte. Elucider les mystères de la nature en étudiant les collisions de particules dans le détecteur ATLAS est un défi technique et scientifique sans précédent. Malgré sa grande taille et sa complexité, il permet de faire des mesures très précises. La collaboration ATLAS, composée de scientifiques provenant de 38 pays du monde entier, a construit et fait fonctionner le détecteur pour enregistrer les collisions du LHC. Ces dernières ont déjà donné lieu à des centaines de publications scientifiques, dont celle de la découverte du Boson de Higgs.

Découverte du boson de Higgs
Le premier objectif du projet LHC au CERN était de mettre en évidence le boson de Higgs. Cette particule avait été introduite en 1964 pour expliquer la masse des autres particules et était activement recherchée depuis. L'annonce de la découverte de ce boson en 2012, par les collaborations ATLAS et CMS, a couronné plus de 20 ans de travail.

Recherche de nouveaux phénomènes
Les performances exceptionnelles du LHC et d'ATLAS donnent accès à la recherche de nouvelles particules, attendues ou non. Les événements enregistrés permettent aussi de tester la cohérence du Modèle Standard de physique des particules dans des domaines encore inexplorés. Toute incohérence sera une indication de nouveaux phénomènes à plus haute énergie.



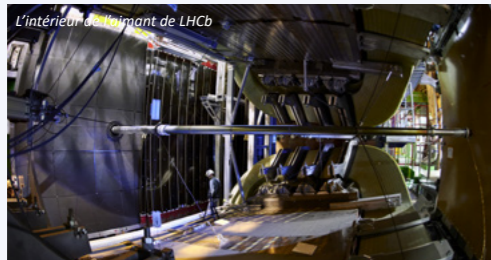
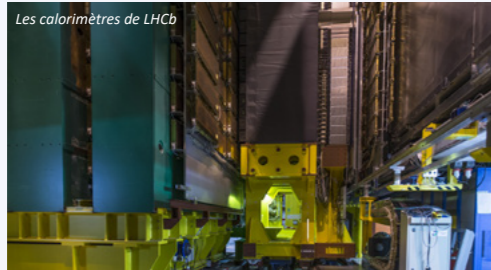
Tous les couplages du boson de Higgs avec les particules du Modèle Standard mesurés par ATLAS 10 ans après la découverte (Nature 2022).



Carte électronique LATOME

Le LAPP, acteur majeur depuis le début du projet
L'équipe ATLAS du LAPP a pris des responsabilités majeures à la fois dans les phases de construction et d'opération du Calorimètre Electromagnétique à Argon Liquide (partie du détecteur dédiée à la mesure de l'énergie des électrons et des photons). Le développement de la carte électronique LATOME (figure ci-contre) est un exemple de développement fait au LAPP. Le groupe est également impliqué dans la construction du nouveau détecteur de traces. Le groupe a aussi été au cœur de la découverte du boson de Higgs en analysant les paires de photons. Plus généralement, les chercheurs étudient les états finaux avec électrons et photons pour trouver de nouvelles particules et sonder les limites du Modèle Standard.

Fort des expertises acquises par la collaboration ATLAS dans les détecteurs et des résultats de physique obtenus, un programme d'amélioration du détecteur s'étale sur les 7 prochaines années, pour suivre la montée en puissance du LHC et toujours maximiser le potentiel de physique accessible.



LHCb

L'expérience LHCb est l'une des quatre expériences installées sur le grand collisionneur LHC du CERN. Elle est conçue pour explorer de façon précise les légères différences entre matière et antimatière ainsi que pour rechercher de nouvelles particules dans les désintégrations rares des hadrons b (particules contenant un quark b ou un antiquark b). Contrairement aux détecteurs ATLAS et CMS qui sont des détecteurs fermés autour du point de collision, LHCb observe principalement les particules émises à petits angles vers l'avant dans la direction d'un des faisceaux.

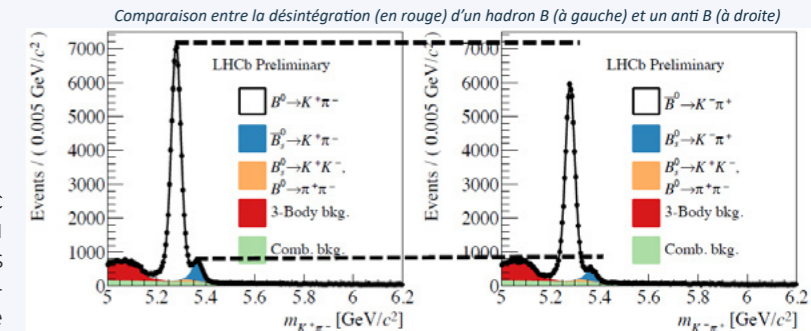
Le détecteur pèse 4500 tonnes, mesure 21 mètres de long, 10 mètres de large et 13 mètres de haut. La collaboration LHCb regroupe environ 900 scientifiques venant de 86 laboratoires de 18 pays dans le monde. Le groupe du LAPP participe à l'expérience LHCb depuis 2001.

Asymétrie entre matière et antimatière

L'un des problèmes non résolus par le Modèle Standard de la physique des particules est l'asymétrie entre matière et antimatière. Le Big Bang devrait avoir créé autant de matière que d'antimatière dans l'Univers primordial ; le fait que notre Univers soit presque uniquement composé de matière indique qu'un mécanisme a dû créer un excès de matière sur l'antimatière.

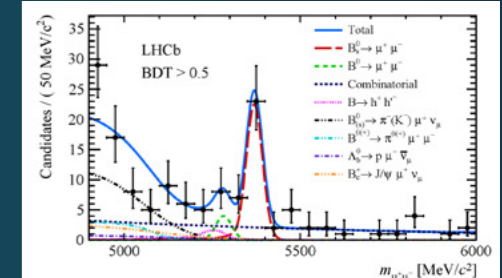
Recherche d'une « Nouvelle Physique »

La mesure précise de cette asymétrie au niveau des particules est donc l'une des pistes pour la recherche de « Nouvelle Physique » au-delà du Modèle Standard. Les désintégrations des hadrons B dans différents canaux fournissent un terrain idéal pour cette étude. La figure ci-contre donne un exemple de cette différence de comportement entre matière et antimatière.



Les désintégrations très rares des hadrons B fournissent une autre approche de recherche de « Nouvelle Physique ». La mécanique quantique prévoit en effet que lors de la désintégration d'un quark b, des boucles de « particules virtuelles » peuvent être créées pendant un très court instant ; ces particules sont dites « virtuelles » car elles sont trop lourdes pour être produites directement.

Elles peuvent cependant affecter le comportement des quarks b et entraîner des déviations notables par rapport aux prédictions du Modèle Standard, ce qui fournirait une signature de leur présence. La figure de droite donne un exemple de telles désintégrations.

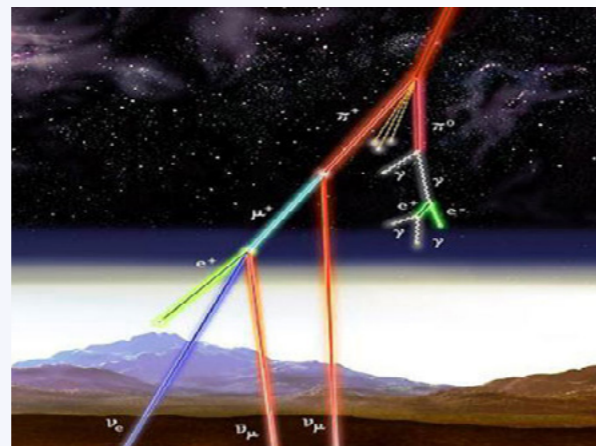
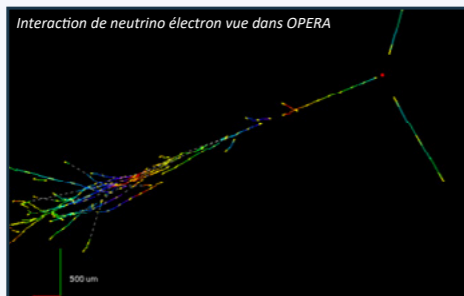


Observation des désintégrations très rares du hadron Bs en deux muons

La contribution du LAPP

Le LAPP a contribué activement à la construction, la mise en route, au suivi du fonctionnement pour la prise de données, à la maintenance et à l'exploitation des données de l'expérience LHCb. Dans ce cadre, l'équipe du LAPP a été très impliquée dans l'opération, la calibration et le développement d'outils d'analyse des calorimètres (permettant de mesurer l'énergie des particules). Elle a contribué à plusieurs analyses importantes, notamment la détermination précise des paramètres de l'asymétrie matière-antimatière et les désintégrations rares du méson B telles que les désintégrations radiatives ou l'étude de la violation de l'universalité des leptons.

Le groupe participe activement à la phase d'amélioration du détecteur LHCb, en vue de profiter de façon optimale de l'amélioration des performances du LHC, en particulier de l'augmentation du nombre de collisions par unité de temps prévue en 2022. Le groupe joue ainsi un rôle majeur de coordination pour les différents sous-détecteurs de l'expérience, au travers de l'acquisition des données.



Neutrinos

Les neutrinos, particules élémentaires de très faible masse qui traversent aisément la matière sans laisser de trace, présentent des propriétés tout à fait étonnantes et ne cessent d'intriguer les chercheurs.

Ils se déclinent en trois types appelés « saveurs » (électronique, muonique et tauique) et ils peuvent passer d'une saveur à l'autre par un phénomène appelé « oscillation ». Les physiciens du LAPP sont impliqués dans deux projets qui abordent une grande partie des questions fondamentales non résolues.

Existe-t-il une 4^{ème} saveur de neutrino ? L'expérience STEREO étudie très précisément les (anti) neutrinos issus d'un réacteur nucléaire pour y déceler des oscillations qui seraient la preuve de l'existence d'un quatrième type de neutrino (neutrino stérile).

Les anti-neutrinos se comportent-ils différemment des neutrinos ? Le futur détecteur géant DUNE étudiera les différences entre neutrinos et anti-neutrinos.

STEREO, recherche d'un 4^{ème} neutrino auprès d'un réacteur

Le détecteur STEREO est placé à 10 mètres du cœur du réacteur de recherche de l'Institut Laue Langevin (ILL) à Grenoble. Il est composé d'une cuve contenant 2000 litres d'un liquide scintillant où l'énergie, déposée par la capture des neutrinos de type électron, produit de la lumière qui est mesurée par des tubes photomultiplicateurs. Tout proche du cœur, le détecteur doit être protégé des radiations ambiantes. Le LAPP a été chargé de la conception du blindage (80 tonnes) et de la structure supportant le détecteur. L'ensemble peut être déplacé sur coussins d'air.

L'étalonnage de la mesure d'énergie est crucial pour cette expérience. Dans ce but, le LAPP a développé un système d'étalonnage automatisé utilisant des sources radioactives.

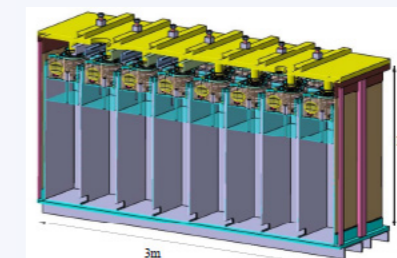
L'équipe du LAPP participe également à l'analyse des données et la recherche des oscillations dans celles-ci. La collaboration franco-allemande STEREO s'inscrit dans un programme international de recherche d'oscillations à très courte distance, à l'instar des projets PROSPECT (USA), DANSS (Russie) ou SoLid (France-UK).



Élément mobile du système de calibration, servant à déplacer les sources de rayons gamma autour du détecteur



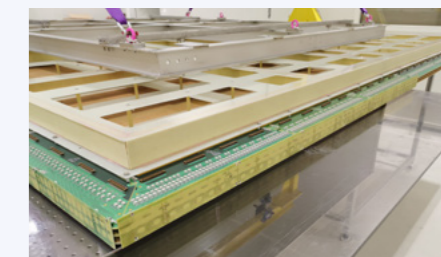
Insertion du système de calibration développé par le LAPP entre le détecteur STEREO et les blindages.



Les différents segments du détecteur STEREO, observés par des capteurs dans la partie supérieure

DUNE, quête de la violation CP

Le détecteur géant DUNE sera installé dans une mine du Dakota du Sud et détectera un faisceau de neutrinos produits à Fermilab (Chicago), à 1300 km de là. Des groupes français, dont le LAPP, élaborent au CERN des démonstrateurs (ProtoDUNE) d'un type de détecteur à argon liquide (200 000 litres à -185 °C), avec une technologie innovante de détection de particules chargées et basé sur une dérive verticale. Ils s'engagent à contribuer à la réalisation d'un des modules lointains du détecteur DUNE. La validation de cette technologie ouvrira la porte au développement d'un module de 17 kt d'argon liquide nécessaire pour le projet DUNE. Le groupe DUNE du LAPP a pris en charge la conception et la réalisation de la structure mécanique qui maintiendra les plans de lecture dans le cryostat. Il réalise également le système de positionnement de ce plan. Il développe aussi le volet analyse des données des prototypes et participe au programme de physique de l'expérience DUNE.



Détail du plan de détecteur du projet DUNE avec sa structure développée au LAPP

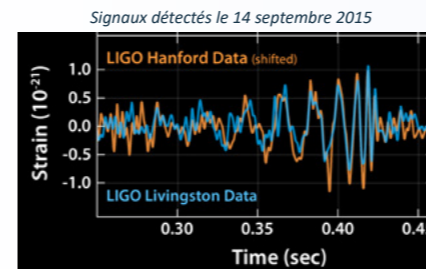


Virgo

Le détecteur Virgo est un interféromètre géant dédié à l'observation des ondes gravitationnelles.

Il est situé au sud de Pise, en Italie, et fait partie, avec les détecteurs américains LIGO et le détecteur japonais KAGRA, d'un réseau international d'observatoires d'ondes gravitationnelles. Virgo est une collaboration européenne constituée de plus de 650 chercheurs, ingénieurs et techniciens répartis dans plus de 110 laboratoires de 14 pays différents.

Les ondes gravitationnelles sont des déformations de l'espace-temps prédites en 1916 par la théorie de la Relativité Générale d'Albert Einstein. Elles sont générées lors de cataclysmes cosmiques comme la fusion de deux trous noirs et modifient les distances sur leur passage. La détection de ces ondes en 2015 a ouvert la voie à une nouvelle façon d'observer l'Univers et d'étudier la gravitation.



Détection des ondes gravitationnelles

Le 14 septembre 2015 à 9h51 UTC a eu lieu la première détection directe d'une onde gravitationnelle. Les signaux enregistrés par les deux détecteurs LIGO provenaient d'une collision de deux trous noirs situés à 1,3 milliards d'années-lumière de la Terre. Le 17 août 2017, un autre événement majeur eut lieu : la première détection par LIGO et Virgo d'une collision entre deux étoiles à neutrons. Elle fut suivie pendant plusieurs mois par plus de 60 télescopes et satellites dans le domaine électromagnétique. Depuis cette date, plusieurs dizaines d'autres détections ont été réalisées par LIGO et Virgo.

Propriétés du détecteur

Le détecteur Advanced Virgo est un interféromètre de type Michelson avec deux bras perpendiculaires de 3 km de long, un faisceau laser infra-rouge de plusieurs dizaines de watts, des miroirs polis à quelques couches atomiques près, des suspensions antisismiques et des asservissements afin que les miroirs restent stables. Dans une bande de fréquence de 10 Hz à 10 kHz, il est conçu pour détecter le passage d'une onde gravitationnelle qui provoquerait une variation différentielle de longueur des bras inférieure à 10^{-19} m, soit un milliardième de la taille d'un atome. De nombreuses sources de bruit de fond peuvent perturber la détection des ondes gravitationnelles. La réduction de ces bruits et l'amélioration de la sensibilité du détecteur constituent un des défis scientifiques et technologiques de l'expérience Virgo.

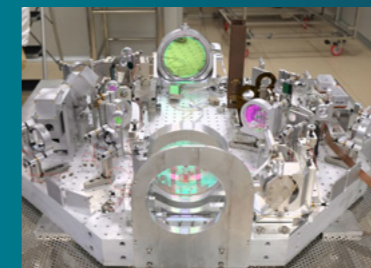
Contributions du LAPP

Le groupe Virgo du LAPP, fort d'une dizaine de physiciens, d'une dizaine de doctorants et post-doctorants et d'une dizaine d'ingénieurs et techniciens, participe à la construction, à l'installation, aux réglages et à la surveillance du détecteur. Il est notamment responsable de l'ensemble de détection du signal (bancs optiques suspendus sous vide, photodiodes de détection et électronique associée), de l'acquisition des données, de la synchronisation temporelle du contrôle du détecteur et de l'étalonnage du signal mesuré.

Le groupe est notamment très impliqué dans la construction et le commissioning du détecteur Advanced Virgo+ qui assure les prochaines détections à partir de 2023 et dans le projet ET (Einstein Telescope) qui prendra le relais au-delà de 2030.

Le groupe est aussi fortement impliqué dans le suivi de la qualité des données, la performance du détecteur et la recherche en temps-réel

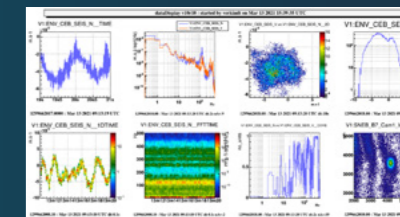
de signaux d'ondes gravitationnelles provenant de collisions de trous noirs ou d'étoiles à neutrons. Le groupe est également actif dans l'étude du fond stochastique d'ondes gravitationnelles et dans la recherche de coïncidences avec des détections de GRB (Gamma Ray Burst). Enfin, le groupe participe aux vérifications réalisées sur chaque détection après l'envoi automatique d'une alerte aux télescopes ou satellites qui assurent le suivi de ces événements.



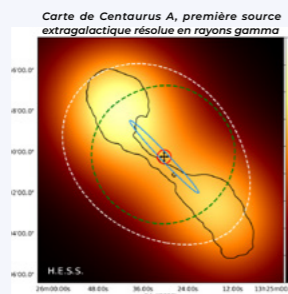
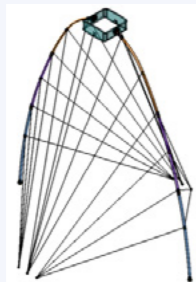
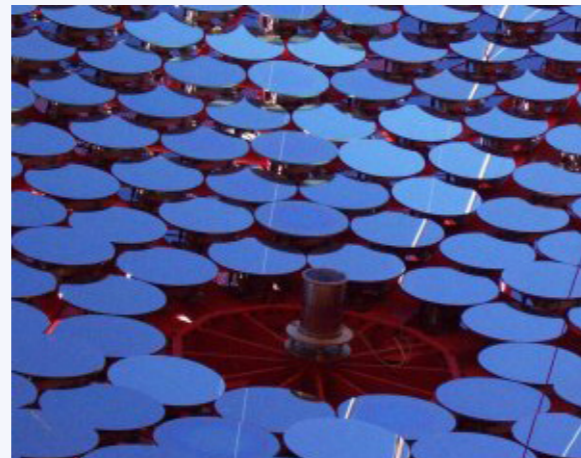
Banc de détection de Virgo



Électronique : acquisition de données



Logiciel de visualisation des données



Astronomie Gamma

L'astronomie gamma a pour but d'identifier les origines du rayonnement cosmique, de mieux comprendre les phénomènes astrophysiques violents, de sonder la matière noire de l'Univers et de tester certaines lois fondamentales de la physique. Issus d'interactions de particules chargées accélérées à très haute énergie, les rayons gamma ouvrent une fenêtre sur le cosmos et sur ces questions.

Le projet H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) situé en Namibie, est actuellement la plus grande expérience au monde dédiée à l'observation des rayons gamma. CTA (Cherenkov Telescope Array), est un observatoire de nouvelle génération actuellement en construction sur deux sites, au Chili et en Espagne. Il assurera une couverture spectrale complète du domaine des hautes énergies, cartographiera l'ensemble du ciel et explorera plus profondément l'espace extragalactique.

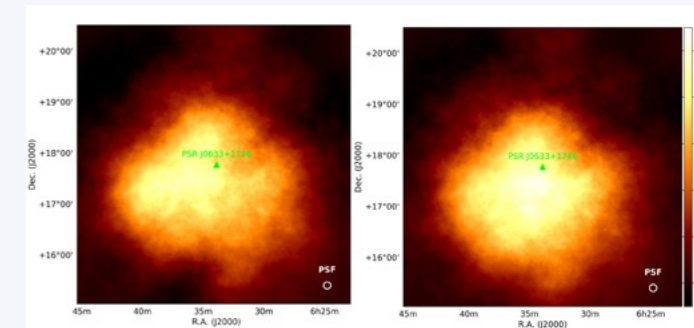
L'expérience H.E.S.S.

H.E.S.S. est composé de 5 télescopes : 4 télescopes possédant un miroir de 12 mètres de diamètre et un grand télescope de 28 mètres placé au centre. Avant la mise en service de l'expérience en 2003, le nombre de sources de rayons gamma répertoriées s'élevait à une petite dizaine. Aujourd'hui grâce à H.E.S.S., plus de 100 sources sont incluses dans ce catalogue.

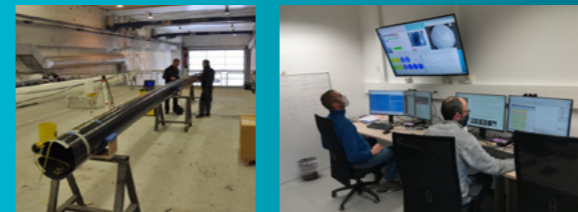
La contribution du LAPP

Le LAPP est très impliqué dans l'expérience, à la fois sur les aspects instrumentaux et les techniques d'analyse et d'exploitation des données. Il a conçu et réalisé le système automatisé de chargement et de déchargement de la caméra, ainsi que les composantes électroniques de son système de contrôle.

L'équipe du LAPP est investie dans l'étude des phénomènes les plus violents de l'Univers tels que les noyaux actifs de galaxie et les sursauts gamma. Elle étudie également les sites potentiels de concentration de matière noire afin de mieux comprendre cette composante importante de notre Univers.



Cartes de rayons gamma de la région autour du pulsar de Geminga telles que vues par HESS avec seulement 14 heures de données utilisant deux méthodes différentes d'estimation du bruit de fond.

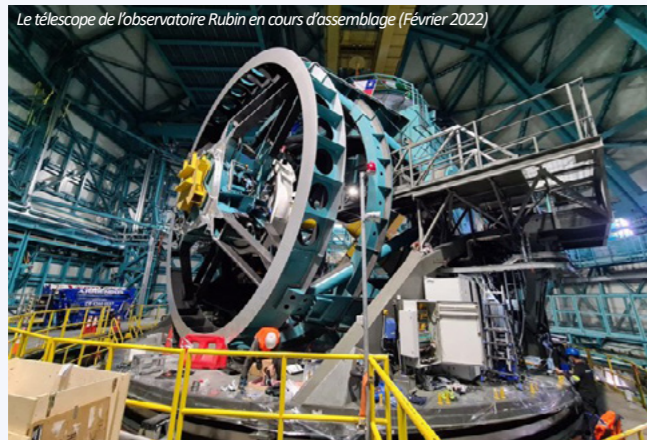


L'expérience CTA

CTA est l'observatoire de dernière génération dédié à l'astronomie gamma. Il sera constitué de deux sites dans chacun des hémisphères, situés à La Palma aux Îles Canaries et dans le désert d'Atacama au Chili. Il regroupera un réseau de plusieurs dizaines de télescopes de différentes tailles allant de 4 mètres de diamètres pour les plus nombreux à 23 mètres de diamètre pour les plus imposants.

La contribution du LAPP

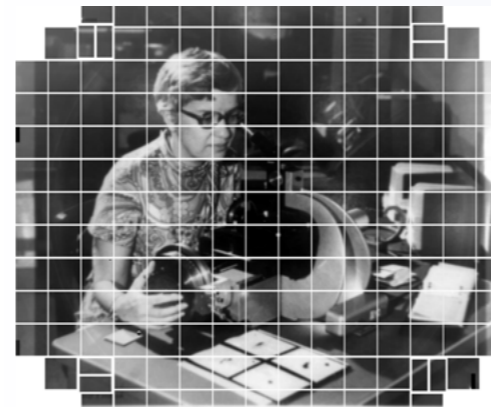
Le LAPP est fortement impliqué dans l'expérience CTA. Sa contribution couvre un vaste domaine allant de la conception des télescopes, leur contrôle, le soutien des opérations, jusqu'à l'analyse des données. Il a conçu l'arche haubanée de 30 mètres qui permet de supporter les 2 tonnes de la caméra des télescopes de grande taille. Ses équipes sont impliquées dans le traitement en temps réel des gigantesques masses de données produites. Le premier télescope de grande taille de CTA (LST-1) a été installé à La Palma en fin d'année 2018. Le LAPP participe activement à sa mise en service et à l'analyse des premières données, produisant ainsi les premières analyses scientifiques obtenues avec ce télescope de nouvelle génération.



LSST - Rubin

L'observatoire Vera C. Rubin, situé au Chili, est un télescope terrestre à très grand champ, conçu pour photographier de manière répétée le ciel de l'hémisphère sud dans six longueurs d'ondes optiques différentes. Le télescope reviendra tous les trois jours sur les mêmes zones et les images captées seront additionnées, permettant ainsi d'observer des galaxies très lointaines, jusqu'à près de 10 milliards d'années lumières. Ces photographies constitueront le relevé LSST (Legacy Survey of Space and Time).

Photographier de nombreuses fois les mêmes régions du ciel permettra également de repérer des phénomènes transitoires tels que les explosions d'étoiles (supernovae) ou les coalescences de systèmes binaires en interaction et d'étudier les étoiles variables comme les Céphéides ou de petits objets du système solaire.



Portrait de Vera C. Rubin réalisée avec la caméra Rubin.
L'image originale contient plus de 3 milliards de pixels

Des images de grande qualité pour mieux comprendre l'univers

Pour produire des images de grande qualité et couvrir un champ très large l'observatoire Rubin associe un télescope à trois miroirs et une caméra ultra-sensible comptant 3,2 milliards de pixels. Cette configuration permettra de photographier tout le ciel austral en 3 jours.

La mesure précise de la position, de la forme et de la couleur des galaxies sur les images collectées durant 10 années permettra de progresser dans la compréhension de l'énergie noire, fondamentale en cosmologie pour expliquer l'évolution de l'univers depuis le big-bang jusqu'à aujourd'hui.

L'observatoire Rubin permettra aussi de réaliser un inventaire des objets célestes de notre système solaire, de cartographier la voie lactée et d'étudier des phénomènes transitoires.

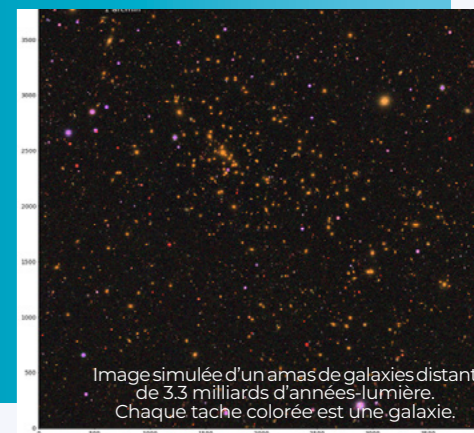
L'implication du LAPP

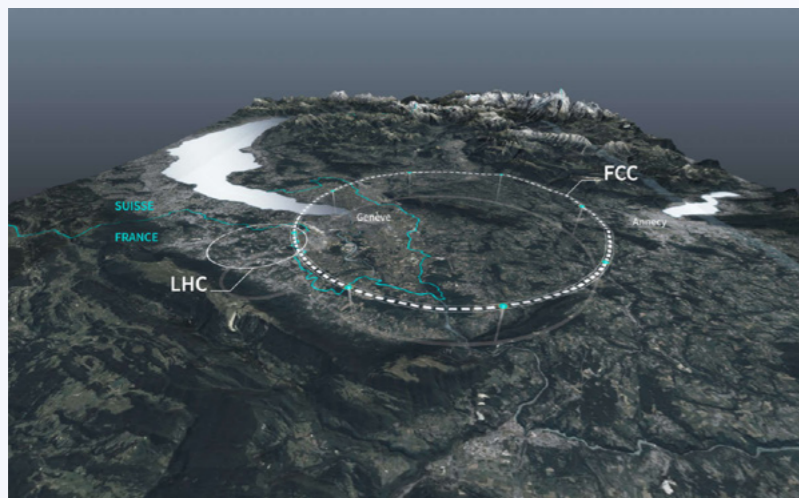
Le LAPP étudie particulièrement les amas de galaxies, qui sont les plus grandes structures de l'univers liées par la gravitation. En comptant le nombre d'amas en fonction de leur masse et de leur distance, il est possible d'étudier comment ces grandes structures de l'univers se sont formées. On peut en déduire des paramètres cosmologiques et aussi tester la relativité générale en la confrontant à des théories alternatives.

À raison d'une photographie comptant 3,2 milliards de pixels toutes les 40 secondes pendant 10 ans, l'observatoire Rubin produira de gigantesques masses de données qu'il faudra stocker et analyser. Ce travail nécessite des techniques informatiques de pointe sur lesquelles le LAPP est expert. Un intense travail de développement et de mise au point des algorithmes d'analyse et des procédures de stockage et d'accès aux données est en cours.



De même, le groupe Rubin du LAPP est très impliqué dans la compréhension fine et la validation scientifique du fonctionnement de la caméra.





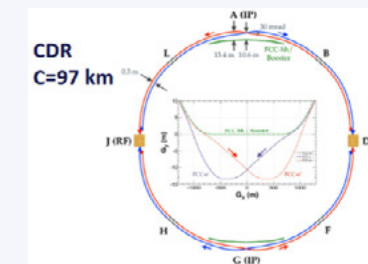
FUTURE CIRCULAR COLLIDER

FCC

Le futur collisionneur circulaire FCC

Le groupe R&D accélérateurs a pour but de relever certains challenges des futurs collisionneurs de particules, en particulier la stabilité des faisceaux au point d'interaction. Le projet principal à l'étude est le futur collisionneur circulaire au CERN, qui prendra la suite du LHC, une fois que la phase de haute luminosité (HL-LHC) de cette machine sera arrivée à son terme, vers 2040. Il disposera d'un tunnel d'une circonférence de 91 km et le but sera d'atteindre des énergies de collision de 100 TeV dans la perspective de la recherche d'une nouvelle physique. La collaboration FCC examine différents scénarii de collisions de particules avec principalement des collisions électron-positon (FCC-ee) comme autrefois dans le LEP, ou des collisions de hadrons (FCC-hh) comme dans le LHC.

Le collisionneur FCC-ee, qui mettra en jeu des faisceaux nanométriques, est au cœur des activités de contrôle vibratoire du groupe car il sera extrêmement sensible à toutes sortes de perturbations, en particulier les vibrations des aimants de focalisation dues au mouvement sismique et au bruit culturel (activité humaine). Ainsi l'équipe du LAPP est très impliquée sur les aspects suivants: la simulation optique des effets vibratoires et sismiques, l'évaluation et l'optimisation de structures mécaniques sensibles, l'instrumentation spécifique et le développement de systèmes dédiés tels que le contrôle ou le positionnement actif.



Pour mieux appréhender le projet FCC-ee, le groupe R&D accélérateurs est impliqué dans différents projets en cours qui permettent d'étudier les problématiques spécifiques. Les deux principaux sont SuperKEKB et ATF2, tous deux localisés sur le site de recherche des accélérateurs à haute énergie KEK au Japon (Tsukuba).

SuperKEKB :

Le collisionneur e+ e- SuperKEKB est un accélérateur situé au Japon avec un seul point d'interaction où se trouve le détecteur BELLE II. Sa circonférence est de 3 km. Il est en opération depuis 2018 et a d'ores et déjà atteint la luminosité la plus élevée au monde.

Pour étudier les effets des vibrations sur les performances d'un tel accélérateur, le LAPP étudie les corrélations entre les perturbations observées à l'aide de capteurs sismiques en opération sur site et les mesures faisceaux telles que les variations observées sur la luminosité de l'expérience. Ces études sont réalisées avec différents partenaires, en particulier IJLab Orsay et KEK au Japon.

Accélérateur ATF2 au Japon



ATF2 (Accelerator Test Facility 2) :

ATF2, situé au Japon, est un démonstrateur d'accélérateur linéaire avec un faisceau nanométrique. Le groupe R&D accélérateurs est responsable de la focalisation finale du faisceau et participe à différentes études comme celle du contrôle de faisceau spécifique.

Collisionneur SuperKEKB avec le détecteur BELLE II

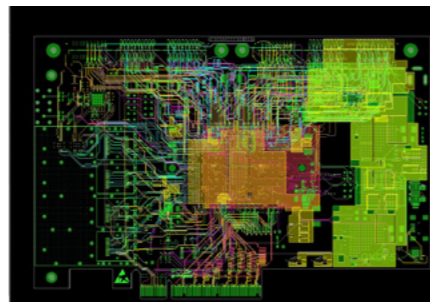


En soutien aux projets de recherche, les services techniques du laboratoire conçoivent et réalisent des instruments toujours plus performants, capables de fonctionner dans des environnements extrêmes.

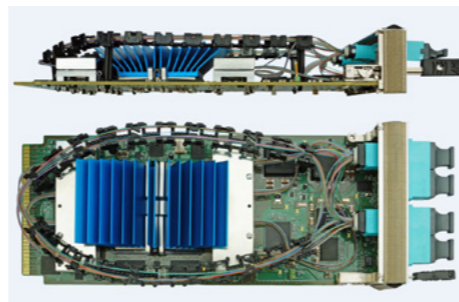
Service électronique

Le service électronique développe les chaînes de lecture des signaux issus des détecteurs ainsi que les systèmes de contrôle ou les services qui leur sont associés.

Le service du LAPP conçoit des architectures et des systèmes complexes permettant la lecture bas bruit et faible consommation des signaux des détecteurs, leur numérisation, leur traitement par des systèmes rapides et performants à base de composants programmables, et finalement la transmission des données vers les systèmes d'acquisition des expériences.



Vue CAO d'une carte

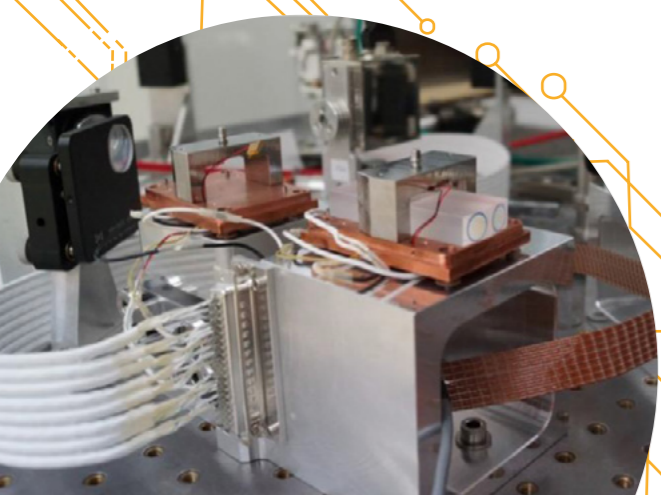


Carte multicouches et fibres optiques

Les membres du service maîtrisent les techniques et les composants de dernière génération ainsi que les outils de simulation et de conception des circuits imprimés.



Banc de test



Service mécanique

Le service mécanique prend en charge des développements techniques nécessaires à la construction des expériences de physique.

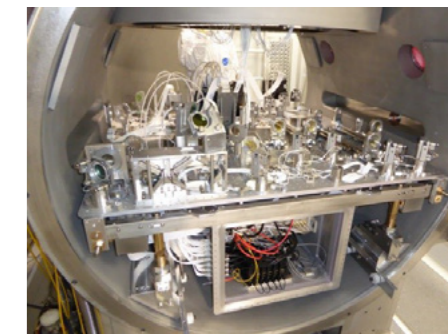
Outre la conception et la réalisation des systèmes mécaniques, son champ d'action dépasse généralement le cadre de la mécanique générale. Ses équipes mènent régulièrement des projets à caractère pluridisciplinaire avec entre autres de l'instrumentation, des simulations thermomécaniques et dynamiques avancées, du vide, de l'automatisme, du contrôle d'appareillages expérimentaux, du contrôle vibratoire, des systèmes de refroidissement ou encore la mise en œuvre des matériaux comme les matériaux composites.



Arche composite haubanée et automatisation du positionnement du Large Size Telescope de CTA (îles Canaries)



Chargeur automatisé du télescope HESS 2 (Namibie)



Enceinte à vide et banc optique de VIRGO (Italie)

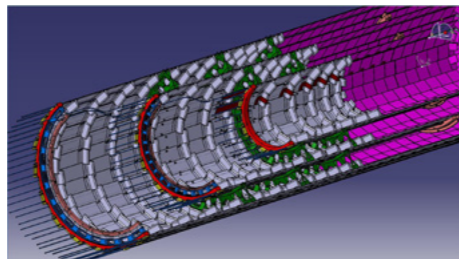
Les agents du service ont ainsi des compétences très diversifiées avec des outils de conception mécanique, de fabrication assistée par ordinateur, de modélisation, d'instrumentation, de calculs scientifiques, d'électrotechnique ou encore d'automatisme. Le service est également équipé de moyens de réalisations à commande numérique et d'une salle instrumentation.



Plans de détection asservis du cristal de ProtoDUNE-DP (CERN)

Les activités et compétences du service informatique couvrent tout le spectre des besoins informatiques propres à notre laboratoire et à notre domaine de recherche :

- **Infrastructures** : administration du parc informatique, de la ferme de calcul et du réseau du laboratoire, ainsi que mise en œuvre, promotion et support des services nécessaires au bon fonctionnement de nos équipes administratives, techniques et scientifiques.
- **Pilotage Instrumental** : création des logiciels de contrôle automatisé et des interfaces de supervision indispensables à l'exploitation des grands instruments de recherche (CTA, LHCb, SuperNEMO, VIRGO).
- **Acquisitions et Asservissements Temps Réel** : développement de systèmes informatiques de capture, de sélection et d'interprétation à très haute fréquence de très grands volumes de données instrumentales (ATLAS, VIRGO).
- **Analyse et Gestion de Données Massives et Intelligence Artificielle** : simulations numériques puis exploitation des données instrumentales recueillies (CTA, GEANT4, LSST).
- **Méso-centre MUST** : intégration au sein des grilles mondiales WLCG, CTACG et EGI, ainsi que dans les initiatives de recherche intensive sur les données ouvertes EOSC, de notre puissance de calcul et de stockage pour les multiples analyses scientifiques des données de nos expériences.



Modélisation du détecteur de trace d'ATLAS



Grilles de calculs mondiales

Ces savoir-faire reconnus offrent de plus aux membres du service la possibilité d'endosser des responsabilités techniques et manageriales au sein des grandes collaborations scientifiques internationales dédiées à la physique des particules et des astroparticules.

MUST

Le méso-centre MUST est mis en œuvre par le LAPP et l'Université Savoie Mont Blanc pour répondre aux besoins de calcul et de stockage des scientifiques quelle que soit leur discipline.

Hébergée dans une salle de 180m², cette plateforme répond à la fois aux exigences HPC (High Performance Computing) et HTC (High Throughput Computing) en permettant l'exécution simultanée de plusieurs milliers de tâches sur processeurs (CPU) et accélérateurs graphiques (GPU), mais aussi aux problématiques d'analyse et de gestion de données massives et aux besoins en Intelligence Artificielle.



Le service apporte son soutien aux activités de recherche menées dans l'unité, dans le respect des réglementations applicables à l'achat et la comptabilité publics, aux ressources humaines et aux bâtiments. Il assure le fonctionnement du campus regroupant 6 bâtiments sur 4 hectares de terrain et accueillant 3 unités CNRS. Il travaille en étroite relation avec la délégation Alpes du CNRS, l'Université Savoie Mont Blanc et l'IN2P3. Il est organisé en trois pôles dont les principales activités sont décrites ci-dessous.

Pôle Finance

- Gestion du budget du laboratoire.
- Traitement de toutes les missions du laboratoire.
- Achats et mises en concurrence.
- Saisie de l'ensemble des commandes du laboratoire.
- Support au pilotage de projets collaboratifs ANR et européens bénéficiant de financements ciblés et ponctuels : des travaux exigeants de reporting sont réalisés pour ceux dont le LAPP assure la coordination.
- Tenue de l'inventaire des matériels achetés et construits

Pôle Ressources Humaines

- Gestion des carrières du personnel titulaire.
- Soutien aux Chercheurs, Ingénieurs et Techniciens souhaitant recruter.
- Gestion administrative des personnels temporaires, des doctorants et des stagiaires. Du recrutement à l'accueil sur site et tout au long de leur contrat, l'équipe RH est leur interlocutrice privilégiée.
- Conseil et soutien à la Direction et aux Chefs de Services pour les campagnes annuelles RH.

Pôle Patrimoine et Logistique

- Gestion des moyens généraux : accueil, courrier, matériel de reprographie, parc de véhicules.
- Organisation logistique des colloques, écoles ou séminaires...
- Entretien courant et la maintenance des bâtiments et de ses installations techniques : électricité, plomberie, serrurerie...
- Suivi de la médecine de prévention et des aspects hygiène et sécurité en collaboration avec la filière santé sécurité au travail.
- Suivi des prestataires externes : nettoyage des locaux, entretien des espaces verts,...



Quiz grand public à l'occasion de la Fête de la Science (2021)



Entretien des locaux du laboratoire

Le LAPP est rattaché à l'UFR Sciences et Montagne de l'Université Savoie Mont Blanc. Le laboratoire est impliqué dans de nombreuses activités d'enseignement. Ces activités, assurées non seulement par les enseignant·e·s-chercheur·se·s, mais aussi par des chercheur·se·s, ingénieur·e·s et technicien·ne·s CNRS comportent, outre des enseignements « traditionnels » (cours, travaux dirigés, travaux pratiques) des encadrements de stages techniques, de stages de formation à la recherche ainsi que des thèses de doctorat. Le personnel du LAPP témoigne ainsi sa volonté de faire découvrir les différents métiers de la recherche et de partager son savoir-faire pour contribuer à la formation des jeunes.

Formation

Une douzaine de doctorant·e·s effectuent leurs premiers travaux de recherche dans les différentes équipes du LAPP, laboratoire d'accueil de l'école doctorale de physique de Grenoble.

Chaque année une vingtaine de stagiaires de tous niveaux (DUT, Licence, Master, Ecoles d'ingénieurs) sont accueilli·e·s au sein du laboratoire dans les équipes de recherche ou les services support.



Enseignement

En étroite collaboration avec leurs collègues du LAPTh, les enseignant·e·s-chercheur·se·s et plusieurs technicien·ne·s et ingénieur·e·s du LAPP assurent des enseignements dans les trois niveaux universitaires (Licence, Master, Doctorat), à l'IUT d'Annecy et dans plusieurs filières de l'École d'Ingénieurs Polytech' Annecy-Chambéry.

Tous les ans en juillet, le LAPP organise l'école GraSPA ayant pour but de donner à des étudiant·e·s de 3^{ème} année de licence ou de 1^{ère} année de Master une introduction à la physique des particules et des astroparticules.

Depuis 2017, dans le cadre de projets fédérateurs de l'UE (ASTERICS et ESCAPE) tous les ans le LAPP organise une école internationale dans les grandes thématiques du développement de logiciel scientifique et de la science des données.



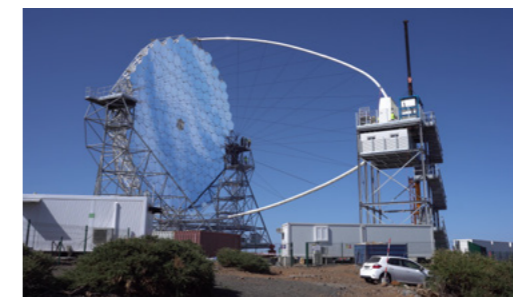
Les physicien·ne·s du LAPP contribuent également aux enseignements de l'école ESIPAP (European School of Instrumentation in Particle and Astroparticle Physics) qui a été créée en 2014 à l'initiative du laboratoire d'excellence ENIGMASS.

Le DU2I : Diplôme universitaire : techniques pour la physique des deux infinis

Le DU2I, diplôme universitaire d'instrumentation pour la physique des deux infinis, forme des étudiants et étudiantes sortant de BTS (mécanique, électronique, électrotechnique, instrumentation) ou d'IUT (MP, GEii, GMP) pour devenir des technicien·ne·s capables de concevoir, développer, construire et faire fonctionner des très grands instruments de recherche tels que les accélérateurs et détecteurs de particules ou des télescopes.

Le diplôme est le fruit d'un partenariat entre l'IUT d'Annecy et l'IN2P3.

DU2I



Un diplôme dans un environnement professionnel

La formation, ouverte chaque année à un groupe restreint d'étudiant·e·s, permet de rejoindre dès la rentrée l'un des 25 laboratoires et plateformes de l'Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules du CNRS (IN2P3) disséminés en France.

Le premier semestre est composé de cours théoriques et pratiques en distanciel au sein du laboratoire choisi. Le second semestre est consacré à un stage rémunéré de 6 mois dans ce même laboratoire. Les étudiant·e·s n'ont donc pas besoin de venir à Annecy pour suivre cette formation.

Un diplôme pour les futurs techniciens et techniciennes dans la recherche et l'innovation

L'objectif du DU2I est de former des assistant·e·s ingénieur·e·s dans les domaines de l'électronique, la mécanique, l'électrotechnique et la mécatronique, capables d'intégrer des laboratoires CNRS et universitaires ainsi que des entreprises impliquées dans la recherche et l'innovation.

La formation est ouverte aux étudiant·e·s ayant validé un BTS ou IUT (GEii, MP, GMP...) dans le domaine de la mécanique, l'électronique, la mécatronique et l'électrotechnique.

DIFFUSION DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Des actions grand public

Le LAPP ouvre ses portes au public lors de la Fête de la Science. A travers des stands, différents parcours et des conférences, chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens et doctorants partagent leur enthousiasme et leur passion en faisant découvrir à tous les âges les secrets et dernières avancées en physique des particules et en astrophysique.

D'autres événements grand public sont organisés régulièrement dans l'année pour découvrir les thèmes de recherche du LAPP : conférences, visites, rencontres...



Conférence au LAPP à l'occasion de la Fête de la science



La Fête de la Science est l'occasion de satisfaire la curiosité du public



Visite au sein de l'Espace découvertes Eutopia durant la Fête de la Science

Des rendez-vous pour les scolaires

Le LAPP accueille régulièrement des classes (de l'école primaire au lycée), notamment lors de la Fête de la Science pour un parcours de découverte sur les thèmes de recherche du laboratoire ou lors de manifestations dédiées telles que les « Master Class » en collaboration avec le CERN.

Les personnels du LAPP se rendent régulièrement dans les écoles à la rencontre des élèves, notamment à l'occasion de la Journée des Femmes et filles en sciences. Le LAPP accueille des élèves de collège pour leur stage d'observation de troisième. Des séminaires, des travaux pratiques et des introductions à tous les divers métiers de la recherche y sont proposés.

DIFFUSION DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Une plateforme dédiée à la diffusion des savoirs

Le laboratoire s'engage dans des actions de communication et d'éducation qui sont mises en place via Eutopia, lieu de partage incarné par un espace découverte situé au sein du LAPP et une plateforme de communication scientifique.

Ces actions sont variées et s'étalent au cours de l'année : interventions de femmes du laboratoire dans des classes pour déconstruire les biais de genre, Fête de la Science localement et en région mais aussi conférences grand public font partie des rendez-vous à ne pas manquer.



L'espace Eutopia permet aux publics de découvrir les deux infinis

L'Espace Découvertes EUTOPIA

L'espace muséographique Eutopia permet de recevoir des publics, de leur présenter les activités du laboratoire et d'accueillir des acteurs du territoire.

EUTOPIA a pour objectif d'ouvrir la science, les compétences analytiques et visionnaires des scientifiques ainsi que la technicité pointue du personnel de support à la recherche à la société. La recherche ne doit pas être un espace fermé, mais un engagement dans la société.

La communication scientifique comme démarche citoyenne

Eutopia s'efforce ainsi d'entretenir le dialogue entre le laboratoire et la société au sens large du terme, permettant aux citoyennes et citoyens de s'approcher des sciences. La communication scientifique n'a pas qu'un but esthétique de partage des connaissances : elle permet de poser ou développer chez les publics les bases d'une approche critique de l'information. Cette approche critique est aujourd'hui fondamentale pour lutter contre la désinformation et réside dans des savoir-faire comme l'interprétation de graphiques et une lecture éclairée de résultats statistiques dans lesquels les laboratoires de physique fondamentale sont experts. Le LAPP s'inscrit dans une démarche de dialogue avec la société.

Le LAPP valorise son savoir faire par des actions interdisciplinaires au sein de l'université, par des accords de collaboration avec le monde industriel et également dans des projets européens d'envergure.

Engagement dans l'Espace Européen de la Recherche

Le LAPP joue un rôle important dans la Science Ouverte en Europe, menant l'engagement du CNRS au niveau international dans la mise en œuvre de l'European Open Science Cloud - EOSC pour nos disciplines. En Europe, cinq projets H2020 de clusters scientifiques par domaine ont été créés pour aborder la science ouverte. Le directeur du LAPP coordonne le projet «ESCAPE - European Science Cluster of Astronomy & Particle physics ESFRI research infrastructures», un projet international de cluster fédérant les grandes infrastructures de recherche paneuropéennes d'astronomie et de physique des particules, telles que CTA, ELT et ESO, EST, FAIR-GSI, HL-LHC et CERN, KM3NeT, SKA, JIV-ERIC et EGO-Virgo.

L'engagement à long terme d'ESCAPE est de faire avancer l'état de l'art des technologies de l'informatique pour la gestion de volumes complexes et importants de données scientifiques, ainsi que le développement de logiciels scientifiques innovants pour l'analyse des données pour faire avancer la manière de planifier, produire et exploiter les données ouvertes. Il s'agit des principes de données «FAIR», où «FAIR» signifie «Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable». Ces principes sont appliqués à l'ensemble du processus de recherche, impliquant des règles d'engagement et des pratiques méthodologiques de la part des scientifiques.



Que ce soit à l'échelle internationale ou régionale, le LAPP adhère aux valeurs de l'Open Science et tient à les appliquer via des projets variés. Son principal domaine d'action est de partager certains des savoir-faire propres à la physique fondamentale : la gestion et le stockage des données, l'expertise numérique et informatique, ainsi que la conception de grands et très grands instruments de pointe ainsi que la réflexion et l'étude visant l'optimisation des impacts socio-économiques et environnementaux des infrastructures de recherche de la Big Science.

IDEFICS, l'expertise et les ressources de la recherche au service des entreprises de la région

Le projet IDEFICS (Informatique, Données et Entreprises pour la Formation et l'Innovation en Calcul scientifique et pour la Société) a pour vocation d'assister les entreprises dans leur transition numérique. Co-financé par la région Auvergne Rhône-Alpes et le Fonds européen FEDER, IDEFICS aide les entreprises de la région à répondre aux défis actuels tels que l'intelligence artificielle et le BigData.

Le projet fait bénéficier les entreprises des connaissances en gestion de données du laboratoire mais aussi d'assistance en R&D ou de conseils scientifiques, le tout dans une dynamique de soutien et d'accompagnement.

Pour cela, le LAPP met à disposition des entreprises et collectivités son expertise en traitement et stockage de données via le projet IDEFICS, adossé au centre de calcul MUST, lui-même mutualisé entre le CNRS et l'Université Savoie Mont Blanc.

Des événements destinés aux entreprises sont organisés régulièrement pour les aider à monter en compétence.



L'expertise au plus proche des entreprises locales

Le projet IDEFICS et la plateforme MUST combinent : des ressources informatiques de haute technologie, les compétences techniques de l'équipe d'exploitation et de support aux utilisateurs, et les compétences scientifiques d'experts informatiques de deux laboratoires de l'USMB (le LAPP et le LISTIC).

Autour du territoire des Pays de Savoie, la Fondation USMB aide IDEFICS à entretenir nos relations avec les PME et l'écosystème industriel local, joue un rôle d'intermédiaire et diffuse les objectifs du projet aux entreprises.

La participation des pôles de compétitivité CIMES et MINALOGIC permet de renforcer ce lien.

Anti-matière, anti-particule : pour chaque particule il existe une anti-particule ayant des propriétés opposées (par exemple la charge électrique) et la même masse.

Boson : particule élémentaire de spin entier. Toutes les particules transmettant une force (graviton, photon, gluon, W^+ , W^- , Z^0) sont des bosons.

Bosons W^+ , W^- , Z^0 : particules transmettant la force faible, en particulier responsables de la radioactivité bêta.

Boson de Higgs : particule élémentaire responsable de la masse des autres particules élémentaires telles que l'électron, les quarks, les bosons W^+ , W^- , Z^0 .

Calorimètre : détecteur absorbant totalement la particule qui le traverse pour en mesurer l'énergie.

Calorimètre électromagnétique : calorimètre spécialisé dans la détection de particules électromagnétiques (électron, photon, positon,...).

Collisionneur : accélérateur de particules dans lequel des faisceaux de particules voyagent en sens inverse et collisionnent.

Désintégration : on dit qu'une particule se désintègre lorsqu'elle se transforme en deux (ou plus) autres particules. Par exemple, le boson de Higgs peut se désintégrer en deux photons.

Désintégration bêta : type de radioactivité dans laquelle le noyau émet un électron (appelé dans ce cas particule bêta) et un anti-neutrino.

Electron : particule élémentaire chargée négativement, c'est un des composants de l'atome avec les protons et les neutrons.

Energie noire : forme d'énergie hypothétique remplissant uniformément tout l'Univers et dotée d'une pression négative, elle se comporte comme une force gravitationnelle répulsive.

Gerbe hadronique : ensemble de particules créées par l'interaction d'un hadron avec la matière environnante.

Hadron : toute particule composée de quarks (ex : proton, neutron).

Matière noire : contrairement à la matière ordinaire, la matière "noire" n'émet pas, n'absorbe pas, ne réfléchit pas la lumière, elle est donc indétectable directement en astronomie. Cette matière semble composer plus de 85% de la masse de l'Univers.

Modèle Standard : théorie expliquant comment agissent les particules de matière, ainsi que les particules porteuses des forces.

Muon : particule élémentaire ayant les mêmes caractéristiques que l'électron, en plus lourd.

Neutrino : particule neutre et de masse très petite, sensible uniquement à l'interaction faible, très difficile à détecter.

Onde gravitationnelle : oscillation de la courbure de l'espace-temps qui se propage à grande distance de son point de formation.

Photon : particule de masse nulle transmettant la force électromagnétique. Les photons composent la lumière, les ondes radio, les faisceaux lasers...

Positon : anti-particule de l'électron.

Protons et neutrons : particules constituant le noyau de l'atome

Pulsar : étoile à neutrons tournant très rapidement sur elle-même et émettant un puissant rayonnement dans la direction de son champ magnétique.

Quark : constituant élémentaire des particules sensibles à l'interaction forte (protons, neutrons,...).

Rayon cosmique : particules et noyaux atomiques de très haute énergie produits lors de phénomènes astrophysiques violents telles les explosions d'étoiles.

Rayon gamma : photon de très haute énergie.

Saveur : nom générique désignant les différents quarks (u,d,c,s,b,t) et les leptons (électron, muon, tau).



Le LAPP en 1976

A la recherche du Boson de Higgs et d'une nouvelle physique...

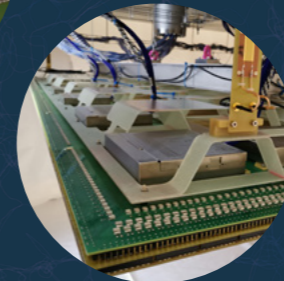


Détecteur ATLAS

Détecteur LHCb



OPERA



DUNE

Résoudre les énigmes des neutrinos et de la matière noire

Au croisement de l'infiniment grand et l'infiniment petit



Expérience Virgo



LST-1 de CTA



Mésocentre MUST



Espace Découvertes Eutopia

Science et données au service de la société



Le LAPP aujourd'hui

1976 : création du LAPP avec environ 80 salariés permanents.

1976 : 1^{ère} expérience dans laquelle le LAPP est impliqué : NA2 (puis NA9 et NA28) auprès du SPS (accélérateur de protons du CERN), pour l'étude de la structure du neutron et du proton.

1976 - 2000 : participation aux expériences SPS du CERN : étude de la matière nucléaire (NA38, NA50-52) et recherche de hadrons exotiques (NA12, GAMS puis WA12).

1981-1990 : à la recherche des bosons Z et W avec l'expérience UA1 sur le collisionneur de protons-antiprotons SPS du CERN.

1983 : découverte des particules Z^0 et $W^{+/-}$ par l'expérience UA1 (Prix Nobel de physique 1984).

1984-2000 : tests de précision du Modèle Standard et recherche du boson de Higgs et de « Nouvelle Physique » avec les expériences ALEPH et L3 auprès du collisionneur électrons-positons, le LEP, au CERN.

1989 : à la recherche des ondes gravitationnelles, le LAPP rejoint Virgo (Pise, Italie).

1980-1992 : recherche de l'oscillation de neutrinos avec l'expérience Bugey (réacteur nucléaire) puis avec NOMAD (CERN) et Chooz (réacteur nucléaire).

1991 : agrandissement du laboratoire, la surface est doublée.

1993 : le LAPP rejoint l'expérience BaBar auprès de PEP-II (Stanford, Californie) et l'expérience ATLAS auprès du futur collisionneur protons-protons, le LHC (CERN).

1995 : le LAPP devient une Unité Mixte de Recherche sous la tutelle du CNRS et de l'Université de Savoie.

1995 : le quark top est découvert, en accord avec la prédiction des expériences du LEP.

1996 : à la recherche de la matière noire et de l'antimatière dans l'Univers, le LAPP rejoint AMS.

1998 : création du LAPTh (Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique Théorique).

2000 : toujours à la recherche des oscillations de neutrinos, le LAPP rejoint OPERA (CERN).

2001 : BaBar observe la violation de CP dans les mésons B.
Le LAPP rejoint l'expérience LHCb (au LHC) qui prend le relais de BaBar.

2005 : R&D pour les futurs collisionneurs linéaires : le LAPP démarre, entre autres, les projets Micromegas (calorimètre), LAViSta (stabilisation des accélérateurs) et CTF3.

2005 : le LAPP rejoint la collaboration H.E.S.S., à la recherche de la matière noire et de la compréhension des phénomènes violents dans l'univers.

2007 : démarrage du méso-centre de calcul et de stockage MUST.

2008 : le LAPP contribue au lancement du projet CTA, successeur de H.E.S.S.

2011 : AMS est installé sur la station spatiale internationale.

2012 : le projet ENIGMASS est retenu pour faire partie des « Laboratoires d'excellence » (Labex).

2012 : découverte du boson de Higgs par ATLAS et CMS.

2012 : inauguration en Namibie du cinquième télescope de H.E.S.S.

2013 : inauguration de la maison de la mécatronique, et déménagement de MUST pour s'y installer.

2015 : observation de l'oscillation des neutrinos muoniques en neutrinos tauiques par OPERA.

2016 : annonce de la découverte des ondes gravitationnelles par la collaboration LIGO-Virgo.

2018 : le LAPP prend la coordination internationale du projet européen H2020 ESCAPE

2018 : inauguration du premier grand télescope de CTA à La Palma

2019 : inauguration de l'espace découvertes Eutopia

2020 : la plateforme numérique MUST s'ouvre à l'accompagnement des entreprises avec le projet IDEFICS

2021 : confirmation du rôle coordinateur du LAPP dans la préparation du 2nd Détecteur Lointain de DUNE, qui souligne la forte implication du laboratoire dans l'expérience DUNE depuis 2015

2021 : une salle de contrôle distante des expériences est inaugurée au LAPP. L'équipe CTA assure les premières opérations et des observations astronomiques du LST à la Palma depuis Annecy.

2022 : le Télescope Einstein (ET), le projet d'un observatoire européen d'ondes gravitationnelles de troisième génération, est inscrit dans la feuille de route ESFRI. Le LAPP s'engage dans sa phase préparatoire.

