

Avant propos

Présentation du laboratoire

Le laboratoire LPSC est une Unité Mixte de Recherche. Ses tutelles sont l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) du CNRS, l'université Grenoble Alpes (UGA) et Grenoble INP (regroupant 6 écoles d'ingénieurs). Si la place du LPSC au sein du réseau des laboratoires de l'IN2P3 est définie de longue date, au cours des deux dernières années, le laboratoire a accompagné une restructuration profonde de l'organisation de la recherche au sein du milieu universitaire grenoblois. Ces changements ont notamment abouti à la création d'un pôle de recherche de grande taille, centré principalement sur les thématiques de l'IN2P3 et de l'INSU, dont l'impact sur notre organisation et notre fonctionnement est avéré.

Le personnel du laboratoire, au cœur de notre activité de recherche, est composé d'environ 220 personnes. Le LPSC compte près de 40 chercheurs CNRS, 19 enseignants-chercheurs de l'UGA et 9 de Grenoble-INP. Le personnel IT (ingénieurs et techniciens) représente près de 90 personnes, dont 85 agents du CNRS. Enfin, le laboratoire accueille en ses murs environ 35 doctorants et 15 post-doctorants et CDD, auxquels s'ajoutent quelques 50 stagiaires de tous niveaux chaque année.

Si les ressources financières récurrentes du laboratoire proviennent principalement du CNRS et de l'université, ces dernières années une part croissante de nos moyens provient de trois Labex desquels le LPSC est partenaire (ENIGMASS, FOCUS et PRIMES) et d'un Equipex (BEDOFIH), dans le cadre des investissements d'avenir. Enfin, une part importante des financements provient des réponses aux appels à projets nationaux et internationaux (ANR, CNES, Plan cancer, Europe), ainsi que de contrats négociés avec des organismes de recherche ou des entreprises privées.

Politique scientifique

La mission du laboratoire concerne la recherche fondamentale dans les domaines au cœur de l'IN2P3 : la physique des particules, celle du noyau atomique, les astroparticules, la cosmologie, ainsi que leurs applications dans les domaines de l'énergie nucléaire et de la santé, les accélérateurs et les sources d'ions et les plasmas.

L'organisation du laboratoire se décline selon quatre axes scientifiques distincts auxquels contribuent des équipes de recherche : « des particules aux noyaux », « astroparticules, cosmologie et neutrinos », « physique pour l'énergie et la santé » et « accélérateurs, sources d'ions, plasmas ». Elle se repose sur une articulation concertée entre les équipes de recherche et des services techniques qui réunissent les compétences indispensables à la mise en œuvre des projets à tous les niveaux. Les activités de recherche se déclinent au sein d'une « politique projets » intégrée à une démarche qualité à chaque étape.

Un Conseil Scientifique évalue la pertinence des projets de recherche, et un Comité de Revue Technique de Projets s'assure de l'adéquation des moyens requis avec les plans de charge des services techniques. Ces deux instances consultatives aident à la définition et la mise en œuvre du programme scientifique.

Les axes de recherche

Les quatre axes de recherche ont connu une série de faits marquants lors des deux dernières années – ils sont décrits en détails dans les chapitres qui leur sont consacrés.

Axe 1 : Des particules aux noyaux

Physique des particules : Faisant suite à l'extraordinaire découverte du boson de Higgs en 2012, les objectifs de l'équipe ATLAS concernent la caractérisation de la nature de la brisure spontanée de la symétrie électrofaible et la recherche de signes d'une physique au-delà du Modèle Standard. Après une contribution historique sur le détecteur pied-de gerbe du calorimètre de l'expérience, l'équipe ATLAS s'est impliquée fortement dans les analyses des données du run 1 à 8 TeV ainsi que dans celle du run 2 débuté en 2015 à 13 TeV. L'équipe se consacre d'une part à la recherche de candidats à la matière noire, dans les événements monophotons, et à la détection de nouvelles résonances dans les états finaux diphotons ou contenant des quarks top. D'autre part elle couvre une série de mesures de précision

associées à la production du quark top. Préparant le futur de la physique des collisionneurs, ces activités d'analyse sont poursuivies en parallèle à un investissement croissant dans les R&D sur les détecteurs internes prévus pour l'expérience ATLAS lors de la période de haute luminosité du LHC entre 2023 et 2030, ainsi que des R&D sur la calorimétrie en lien avec les futurs collisionneurs e+e-.

Physique du plasma de quarks et gluons : L'équipe ALICE a organisé sa participation à cette expérience autour de la construction des modules du calorimètre électromagnétique de l'expérience, EMcal, mis en place pour le run 1 du LHC, puis de son extension, le DCAL, pour le run 2 (2015-2018) avec la conception du déclenchement de premier niveau. L'équipe s'est investie dans l'étalonnage de ces détecteurs et a mis à profit son expertise technique dans les algorithmes de reconstruction et d'identification des photons et des jets dans le détecteur ALICE. Le groupe est impliqué dans la mesure de jet quenching et l'étude des corrélations photon-hadron et photon-jet, qui constituent des sondes permettant de caractériser le plasma quark-gluon.

Physique nucléaire : L'équipe de « structure nucléaire » est impliquée dans l'exploration des états extrêmes du noyau, notamment l'asymétrie neutrons/protons (noyaux exotiques), en charge (noyaux super-lourds), en vitesse de rotation (noyaux super-déformés) ou en énergie d'excitation (noyaux chauds). Les études se focalisent sur l'étude des noyaux exotiques riches en neutrons, proches des noyaux doublement magiques du ^{132}Sn et du ^{78}Ni , ainsi que dans la région de masse A entre 100 et 150, qui a déjà permis l'identification de nouveaux isomères, et leur interprétation dans le cadre du modèle en couches. Les expériences ont lieu auprès de l'installation de l'ILL, qui permet de produire ces noyaux par fissions induites par des neutrons thermiques issus du réacteur, ainsi qu'auprès des installations du RIKEN (Japon) et de Jyväskylä (Finlande).

Physique des neutrons ultra-froids : L'équipe UCN est impliquée dans deux expériences utilisant des neutrons ultra-froids et oriente également ses recherches vers la détection de signes d'une physique au-delà du Modèle Standard de la physique des particules. Ses membres sont impliqués dans l'expérience GRANIT, sise à l'Institut Laue-Langevin (Grenoble), qui mesure les niveaux des états quantiques du neutron dans le champ gravitationnel, et dans l'expérience nEDM dédiée à la mesure d'un moment dipolaire électrique du neutron sur le site du Paul Scherrer Institut en Suisse.

Physique théorique des Particules : L'équipe de physique théorique s'organise autour de deux thématiques principales, liées aux implications du LPSC en physique des particules. Elle comprend une activité sur la phénoménologie des modèles au-delà du Modèle Standard, notamment dans le domaine de la super-symétrie, qui conduit à l'élaboration d'outils théoriques et de cadres interprétatifs plus larges permettant l'intégration des observables des collisionneurs et du domaine astrophysique. Le second axe concerne les calculs de précision autour de la chromodynamique quantique (QCD) avec des travaux sur l'inclusion des corrections quantiques à certaines observables, et sur les fonctions de distributions partoniques nucléaires. Ces activités sont couplées aux activités expérimentales menées par les équipes ATLAS et ALICE du laboratoire.

Axe 2 : Astroparticules, cosmologie et neutrinos

Physique des rayons cosmiques : Les études entreprises sur les rayons cosmiques galactiques s'inscrivent dans une longue tradition au LPSC. Elles sont organisées au laboratoire au sein de deux équipes de recherche : AMS-CREAM d'une part et Auger d'autre part. La première équipe étudie les rayons cosmiques de haute énergie, qui proviennent principalement de la Galaxie. Elles visent à la compréhension des processus de production et de propagation des rayons cosmiques, et à l'étude de certaines de ses composantes permettant par exemple de sonder la présence de matière noire dans la Galaxie via les particules produites dans leur annihilation. L'objectif d'AMS-02 (installé depuis mai 2011 sur la station spatiale internationale - ISS) est la mesure « définitive » de la composition du rayonnement cosmique d'énergie entre la centaine de MeV et le TeV. Le LPSC a été impliqué dans la conception et la construction de l'imageur Cherenkov de cet instrument. Le groupe a fourni une mesure indépendante (de l'analyse standard) de la fraction de positrons en utilisant le Ring Imaging Cherenkov detector (RICH), à basse énergie, et joue un rôle moteur pour les mesures des flux de protons et d'hélium dans l'Alpha Magnetic Spectrometer (AMS). Son objectif est la mesure entre 1 TeV et 1 PeV. L'analyse des mesures prises lors des vols a permis de reconstruire les flux des noyaux B, C, N, O et du rapport B/C dans le rayonnement cosmique. Les expériences AMS et CREAM permettent de couvrir des gammes complémentaires en énergie.

Auger est une expérience qui permet l'accès aux rayons cosmiques de ultra-haute énergie au-delà du PeV via l'étude des gerbes résultant de l'interaction des primaires avec les couches de l'atmosphère. L'équipe s'est investie plus particulièrement dans la mesure du flux de neutrinos de ultra-haute énergie, apportant des contraintes sur les mécanismes de production des rayons cosmiques (neutrinos cosmogoniques ou GZK...), ainsi que dans l'étude et la modélisation des interactions hadroniques. Enfin, le groupe a conduit des R&D sur la détection radio des gerbes atmosphériques du MHz au GHz (AERA, EASIER), comme alternative ou complément possible aux observations par les détecteurs au sol (cuves Cherenkov et détecteurs de fluorescence). Il s'oriente maintenant vers la détermination de la nature des primaires dans le cadre d'un upgrade des détecteurs au sein duquel le laboratoire prend une part active sur l'électronique.

En soutien à ces recherches expérimentales s'est développée une activité de phénoménologie sur les modèles de propagation des rayons cosmiques et l'interprétation des catalogues de sources X en termes de profil de matière noire, qui bénéficie à l'ensemble de ces projets.

Cosmologie observationnelle : Le projet « Large Synoptic Survey Telescope » (LSST) est un télescope qui permettra dès 2021 de dresser une carte 3D de l'Univers avec une profondeur et une précision inégalées. Le formidable catalogue de plusieurs milliards de galaxies lointaines observées par le télescope permettra une étude sans précédent de notre Univers et fournira des informations capitales en cosmologie. L'étude des oscillations baryoniques, par exemple, permettra de mieux comprendre l'énergie noire qui représente 70% de la densité d'énergie de notre Univers. L'équipe LSST du LPSC est impliquée dans la reconstruction des décalages photométriques des galaxies vers le rouge (redshifts), qui constituent un élément crucial de l'analyse du télescope. Elle endosse également la responsabilité instrumentale de la mise en place d'un banc d'étalonnage de la caméra (CCOB) et de la construction du chargeur de filtres de cette dernière (mécanique, électronique).

Les activités du groupe Planck/NIKA du LPSC tournent autour de l'étude du fond diffus cosmologique. Le groupe a été fortement impliqué dans la construction de l'instrument HFI de Planck et son électronique d'acquisition. Cela lui a permis de jouer un rôle majeur dans l'analyse et l'interprétation des données ayant conduit à la publication des cartes à différentes fréquences. Les activités d'analyse du groupe ont porté sur les études des effets de lentille gravitationnelle, l'étude des émissions d'avant-plans et des biais systématiques liées à la polarisation du CMB (Cosmic Microwave Background ou fond diffus cosmologique). Les publications de Planck feront date, elles ont jeté une lumière nouvelle sur l'univers primordial et permis de contraindre fortement les modèles cosmologiques. Le futur de l'étude du fond diffus cosmologique dans le domaine millimétrique passe par des matrices de détecteurs afin de pouvoir augmenter la sensibilité des instruments pour la mesure des modes B en polarisation, et atteindre une haute résolution angulaire pour une étude détaillée des amas de galaxies par effet SZ et de l'époque de ré-ionisation de l'univers. Dans ce cadre, les caméras à base de Kinetic Inductance Detectors (KIDs) peuvent jouer un rôle majeur et l'équipe s'investit depuis quelques années dans les R&D liés au développement de cette technologie et de sa spatialisation, en vue du futur satellite CMB qui pourrait faire l'objet, d'ici 2030, d'une mission de type M de l'ESA. Dans l'intervalle, l'équipe s'est consacrée à la construction de l'électronique complète d'une matrice de KIDs utilisée sur le télescope de l'IRAM. Ce projet qui a vu la construction et l'exploitation d'une caméra de matrices de KIDs permet des observations en intensité et en polarisation dans le domaine. L'équipe a pris le leadership dans la conduite du programme NIKA2 sur l'étude des grandes structures par effet SZ d'une campagne qui débutera en 2016 pour une période de 5 années.

Détection directe de matière noire : L'équipe MIMAC du laboratoire est impliquée depuis 10 ans dans le développement d'une méthode de détection innovante de matière noire, mettant à profit le mouvement du système solaire autour du centre galactique à travers le halo de matière noire. Il s'agit du développement d'une chambre à projection temporelle (TPC) très basse pression qui permet la reconstruction à la fois de l'énergie et de la direction des reculs nucléaires mis en jeu lors de l'interaction du candidat matière noire avec le milieu gazeux du détecteur. L'équipe a conçu et réalisé plusieurs prototypes de ce détecteur (mécanique, électronique) et a démontré avec un succès remarqué le principe de détection, la reconstruction de la trace et de l'énergie mise en jeu, ainsi que la portée des contraintes dans l'interprétation phénoménologique des résultats. Cette équipe est en passe actuellement de former une collaboration étendue à l'international et prépare un démonstrateur de 1m³.

Physique des neutrinos : En 2011, la révélation d'un biais dans les calculs de flux des anti-neutrinos de réacteur a déclenché la ré-analyse d'expériences à courte distance (10-100 m) de réacteurs. Le résultat est un déficit moyen significatif des neutrinos détectés par rapport aux nouvelles prédictions. Cette « anomalie des neutrinos de réacteur » pourrait s'expliquer par l'existence d'un nouvel état du neutrino, dit stérile. Si elle est avérée, l'existence de cette particule serait une découverte majeure, avec un impact fort dans la physique des particules et la cosmologie. L'équipe projet STEREO produira une mesure de précision à 10 m du cœur compact du réacteur de recherche de l'ILL qui sera installée en 2016. L'équipe du LPSC a la responsabilité de la simulation de l'expérience, de l'ensemble de l'électronique et de l'acquisition de données, du détecteur veto de muon cosmiques et du système de calibration par injection de lumière.

Axe 3 : Physique pour l'énergie et la santé

Physique des réacteurs : La thématique portant sur les réacteurs nucléaires est portée par le groupe le plus important, en termes d'effectifs, au LPSC. Les activités de ce groupe s'effectuent dans le cadre de la Mission Interdisciplinaire (MI) du CNRS et dans le cadre des programmes européens. Elles se distribuent autour de trois grands types de systèmes aux objectifs stratégiques distincts : les réacteurs pilotés par accélérateurs (ADS), envisagés pour la transmutation de certains déchets nucléaires actuels ; les réacteurs à combustibles solides destinés à assurer la transition vers une nouvelle génération de réacteurs en utilisant possiblement un nouveau cycle Thorium en alternative au cycle Uranium traditionnellement utilisé dans les réacteurs à eau actuels (REP, CANDU) ; enfin les réacteurs à combustible liquide (MSFR), de technologie innovante et représentant un des six candidats étudiés pour la 4e génération de réacteurs inscrits au forum international GEN IV. Ces derniers types de réacteurs prévoient l'utilisation d'un nouveau combustible basé sur le cycle Thorium-Uranium 233. Les activités du groupe s'appuient sur le développement d'outils de simulation, de modélisation des réacteurs, et sur des études de scénarios de déploiement des parcs correspondants. Les validations expérimentales reposent sur la mesure des données nucléaires et physico-chimiques associées à ces systèmes. Au laboratoire, ces activités s'effectuent sur la plateforme neutronique GENEPI2 et sur la plateforme de chimie nucléaire FFFER. La composition du groupe, formé au 2/3 par des enseignants chercheurs (Grenoble INP et UGA) permet d'assurer un lien très étroit et bénéfique avec le milieu académique.

Physique des Applications médicales : L'équipe de physique des applications médicales a connu une restructuration significative ces dernières années. Elle s'organise aujourd'hui selon trois projets scientifiques : le premier concerne le développement et la réalisation d'un profileur de faisceaux utilisé dans le cadre de séance de radiothérapie-X. Le prototype final est en cours de validation et cette activité donnera lieu à une valorisation dans les années à venir. Le deuxième axe concerne le développement d'une activité sur l'Accelerator Based Neutron Capture Thérapie (ABNCT), technique basée sur l'utilisation d'un faisceau de neutrons (épi-)thermiques intense irradiant des molécules borées ou des nanoparticules métalliques injectées au préalable dans le patient. Fixées sur les cellules tumorales, elles jouent le rôle d'amplification de doses délivrée au niveau local. Au laboratoire, le projet s'intéresse aux points clés de cette technique que sont la conception de cibles destinées à la production du faisceau de neutrons de haute intensité, et la mesure précise du flux de neutrons en sortie de l'appareillage cible et du modérateur. Le troisième axe concerne le développement d'un moniteur de faisceaux pour la hadron-thérapie, basé sur une la technologie diamant (polycristallin) dont les propriétés permettent la réalisation d'un détecteur rapide et résistant aux radiations. Ces trois axes s'inscrivent dans le cadre du GDR MI2B et plus généralement dans le cadre des activités soutenues par le labex PRIMES. Ils bénéficient du transfert d'expertises de personnes d'autres équipes qui travaillent en lien étroit sur ces projets avec l'équipe des applications en physique médicale.

Axe 4 : Accélérateurs, sources d'ions, plasmas

Accélérateurs et source d'ions : Le pôle accélérateurs et sources d'ions constitue un atout majeur du LPSC et bénéficie d'une très grande visibilité. Connecté étroitement aux grands projets de l'IN2P3, ses activités sont effectuées dans le cadre de collaborations locales (LNCMI, ILL), européennes, et internationales. Elles ont donné lieu à des aspects de valorisation déclinés en termes d'expertise ou de livraison de réalisations de haute technologie et de savoir-faire, jusqu'à la création d'une startup hébergée au laboratoire. L'équipe apporte une forte contribution au projet SPIRAL2. Pour la phase 1, le pôle a la responsabilité de la conception, la construction, et la qualification de sources d'ions lourds multi-chargés de haute intensité. Une des expertises du laboratoire concerne en effet le développement des

sources d'ions à Résonance Cyclotronique Électronique (ECR). Le développement des sources d'ions ECR bénéficie également d'un programme de R&D expérimentale unique au monde (60 GHz). Suite aux développements aboutis du booster de charge pour la phase 2 de SPIRAL2 qui a été suspendue, le pôle a assuré la conception, la construction et la qualification du booster de charge du projet SPES de l'INFN à Legnaro. En parallèle, le groupe s'est impliqué fortement dans la thématique des générateurs de neutrons pulsés intenses, dans le cadre des activités du groupe de physique des réacteurs. Il a été notamment un des acteurs majeurs du projet GUINEVERE pour la partie accélération et couplage de ce type de sources de neutrons à un réacteur (VENUS), dans le cadre de recherche sur les réacteurs pilotés par accélérateur, projet couronné d'un succès certain. Enfin, l'équipe développe ses compétences sur les futurs injecteurs de protons non pulsés de haute intensité dans le cadre du programme MYRRHA.

Plasmas et matériaux : Les thèmes de recherche se situent dans le domaine du plasma et des technologies associées, allant de l'étude fondamentale jusqu'au transfert industriel. Il s'agit essentiellement des plasmas haute fréquence (de 352 MHz à 2,45 GHz) couvrant un domaine en pression allant de la très basse pression (plasmas magnétisés) jusqu'à la dizaine de torr (plasmas non-magnétisés). Du point de vue fondamental, les travaux de recherche portent sur l'interaction et le couplage de l'onde électromagnétique avec le plasma, les mécanismes de production sélective d'espèces chargées ou chimiquement actives, l'interaction du plasma avec la surface. En ce qui concerne les aspects technologiques et applicatifs, il s'agit, d'une part, du développement des nouvelles générations de sources plasma pour des applications spécifiques et capables de répondre à des exigences industrielles (procédés qui requièrent une bonne uniformité sur de grandes surfaces et/ou grande vitesse) et, d'autre part, du développement des procédés de synthèse des matériaux fonctionnels innovants. Bien que fortement imbriquées, ces activités peuvent être groupées en trois axes de recherche : Physique et ingénierie des sources plasma ; Procédés pour l'énergie ; Procédés pour les détecteurs.

Les services techniques du laboratoire

Les services techniques constituent un atout majeur pour le laboratoire. Ils apportent notamment des expertises dans des domaines de pointe, lesquelles ont débouché dans des prises de responsabilité extrêmement importantes et visibles dans de nombreux projets nationaux et internationaux.

Le service électronique, le service études et réalisations mécaniques, le service détecteurs & instrumentation et le service informatique, permettent l'élaboration, la R&D, la construction, la mise en œuvre et la maintenance de détecteurs ou de systèmes complexes au cœur des projets scientifiques du laboratoire. Ils sont organisés en métiers, offrent les ressources en personnel ainsi que l'environnement technique nécessaires à l'accomplissement des projets. Au sein de chaque service, les personnels se répartissent sur plusieurs projets avec un degré d'investissement défini par les priorités scientifiques du laboratoire en lien avec le chef de service qui fixe le plan de charge du service. Ces services techniques permettent également de constituer de nouvelles expertises, dans le cadre de R&D génériques, qui trouvent leur application dans les futurs projets de l'institut (LHC phase 2, ILC, LSST, NIKA, Auger, Neutrinos).

Le service administratif et financier joue un rôle essentiel dans la gestion des liens avec les tutelles nationales de l'IN2P3 et de la Délégation du CNRS, ainsi que les tutelles universitaires. Réactif et efficace, celui-ci apporte un soutien essentiel aussi bien aux personnels, pour la gestion de leur carrière au quotidien, leur accueil au laboratoire, que dans le montage et le suivi administratif des dossiers dans le cadre protéiforme des guichets financiers : appels à projets universitaires, nationaux et internationaux (ANR), Labex et Equipex, ainsi que dans celui des projets européens.

Le laboratoire bénéficie également d'actions ciblées et récurrentes du service de communication et documentation, qui assure le suivi des productions scientifiques des agents du laboratoire, contribuant ainsi à la visibilité du laboratoire en direction de nos tutelles et des instances d'évaluation comme l'HCERES. Il conduit également des actions de communication auprès du grand public et apporte un soutien à l'organisation des conférences et ateliers au laboratoire.

Enfin, le laboratoire et son personnel bénéficient de l'action du service hygiène et sécurité, en lien avec le service infrastructures et patrimoine, éléments centraux dans la mise en place des infrastructures adaptées aux projets dans le cadre de conditions de sûreté optimale, et ce dans l'ensemble des bâtiments du laboratoire, incluant halls d'expérience et ateliers de construction.

Avant propos

Le bon fonctionnement de ces services, grâce à l'implication de ses agents, est à la base de la cohésion de la communauté et constitue un environnement propice au déroulement des programmes scientifiques et techniques du laboratoire.

Enfin, le laboratoire a connu ses premières perspectives. Réunissant l'ensemble du personnel, des réflexions ont été organisées sur deux jours et ont permis de jeter les bases d'une vision commune tant dans les domaines de recherche scientifique que dans celui de l'organisation de la vie et des instances du laboratoire.