

Avant propos

Le rapport d'activité est un rendez-vous important pour un laboratoire puisque, tous les 2 ans, ses personnels se mobilisent pour y présenter leurs réalisations et achèvements scientifiques. Ces deux années 2012-2013 auront de nouveau été passionnantes et très riches en résultats pour le Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie (LPSC). Elles ont aussi permis de poser les jalons de ce que sera notre futur (prochaines expériences, upgrades de grands instruments, futures machines). Nos activités dans les domaines de la formation, de la valorisation et de la diffusion de la connaissance scientifique ont été elles aussi soutenues et plusieurs succès sont associés à ces missions. Le LPSC fera bientôt l'objet d'une évaluation quinquennale ; je suis confiant qu'il saura de nouveau convaincre de la qualité de son bilan scientifique ainsi que de celle de ses projets et de son potentiel pour les mener à bien.

Le LPSC est une Unité Mixte de Recherche (UMR) du CNRS et de l'Université Grenoble-Alpes. Les thèmes de recherche développés au sein de notre laboratoire sont ceux de l'IN2P3, et ils sont liés à certaines des plus grandes énigmes actuelles de la physique. Pour cela, nous étudions des processus prenant place à des échelles de grandeur situées aux deux extrêmes : l'infiniment petit et l'infiniment grand. Ses 220 agents contribuent, au sein de vastes collaborations internationales, à l'aboutissement de projets scientifiques ou techniques de grande ampleur qui se déroulent sur des échelles de temps qui excèdent la dizaine d'années. Notre laboratoire travaille aussi sur des programmes en synergie avec différents laboratoires ou grands instruments locaux, et au renforcement de la recherche grenobloise et de son pôle universitaire. Je peux mentionner notre action au sein de trois LABEx : ENIGMASS (énigme de la masse), FOCUS (matrices de détecteurs pour l'observation spatiale et au sol) et PRIMES (dans le domaine du médical) ; et d'un EQUIPEX (BEDOFIH (données financières à haute fréquence)).

Ces dernières années auront vu le couronnement de projets dans lesquels des équipes du LPSC ont des implications de longue date, et nous inaugurons dans ce rapport une section *Faits marquants* pour les mettre en exergue. Je noterai d'abord le jalon scientifique majeur qu'a été l'observation du boson de Higgs par les expériences auprès du LHC au CERN (le LPSC est partie prenante dans le détecteur ATLAS, et il mène une activité théorique en lien avec les expériences), couronnée par un prix Nobel en 2013. La publication des résultats du satellite PLANCK, aussi en 2013, a constitué un second point fort avec des avancées profondes sur notre connaissance de la cosmologie et de l'évolution de l'Univers (outre des réalisations technologiques importantes, le LPSC a été leader dans plusieurs des analyses et ceci en lien avec plusieurs laboratoires du site grenoblois). De son côté, la mise en service de l'accélérateur GENEPI-3C auprès du réacteur VENUS sur le site de Mol en Belgique couronne un travail de longue haleine au laboratoire dans le cadre des études innovantes en électro nucléaire ; le laboratoire s'implique maintenant dans le

projet de démonstrateur européen d'ADS MYRRHA. Le LPSC a joué un rôle important dans l'installation et la mise en oeuvre du multidétecteur EXOGAM à l'ILL, le programme de mesure qui en a découlé a attiré une large communauté de physiciens nucléaires à Grenoble. Il faut souligner la création d'une startup qui a été fondée début 2014 par des membres du laboratoire. Enfin, la qualité de la recherche au LPSC a été de nouveau reconnue par l'attribution de plusieurs distinctions scientifiques à ses personnels.

Plusieurs autres avancées scientifiques et technologiques seront détaillées dans ce rapport. Le futur de la cosmologie se prépare avec nos réalisations pour le projet LSST et des R&D innovantes sont menées pour la détection directionnelle de matière noire (MIMAC) ou la détection basée autour des technologies KIDS (projet NIKA dans le cadre d'une collaboration sur le site grenoblois avec l'Institut Néel, l'IPAG et l'IRAM). La collaboration avec l'Institut Laue Langevin à Grenoble se poursuit avec des expériences utilisant les neutrons ultra-froids, et plus récemment avec le projet STEREO de recherche de neutrinos stériles. L'étude du plasma de quarks et de gluons au LHC a fortement bénéficié de la mise en service d'un calorimètre électromagnétique dans ALICE dans laquelle le LPSC a joué un rôle clef. Un effort théorique important sur la physique des collisionneurs, la matière noire et les calculs de QCD sur réseau accompagne les équipes d'expérimentateurs dans ces domaines. Les actions de R&D en cours permettent de préparer les générations futures d'accélérateurs (ILC...) et de détecteurs (CALICE, upgrades de ATLAS et ALICE, AUGER). Elles sont essentielles du fait des échelles de temps nécessaires pour mettre en place ces projets. La physique des réacteurs met en œuvre de nombreuses compétences (combustibles, scénarios, concepts) et s'appuie aussi sur des plateformes en fonctionnement au sein du laboratoire (accélérateurs, boucle à sels fondus). Des avancées remarquables dans la caractérisation des faisceaux dans le domaine de la radiothérapie, en collaboration avec le CHU, sont à noter. Plusieurs réalisations technologiques ont été finalisées par le pôle accélérateur et sources d'ions du LPSC pour le projet international SPIRAL2, et une collaboration est en cours avec le Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses de Grenoble pour un projet de source d'ions de hautes performances. L'ouverture à l'interdisciplinaire se poursuit avec, outre les interfaces nucléaire-énergie et santé, les activités du groupe Plasma qui s'ouvre vers la thématique de l'énergie et les développements de détecteurs innovants. Tout ceci conduit à un volume important de productions scientifiques (articles, exposés invités en conférences) et permet d'attirer de nombreux stagiaires, doctorants et postdoctorants dans notre laboratoire.

Les personnels des services techniques et administratifs sont pleinement partie prenante dans les activités de recherche du laboratoire. Les réalisations technologiques sont intégrées dans les chapitres décrivant les activités de physique, et une section décrit les fonctions support et les compétences techniques du LPSC. Ces dernières années plusieurs infrastructures (halls de montage et d'assemblage équipements de mesures et de caractérisation, nœud Tier-2 de grille de calcul) ont été créées et d'autres sont en cours d'amélioration (accélérateur

GENEPI-2). L'importance des retombées de nos activités dans la création de filières d'enseignements de pointe et la participation de nos personnels dans leur fonctionnement est notable. Il faut souligner les succès dans les actions de valorisation avec des dépôts de brevets. Le LPSC organise et accueille un nombre important de conférences, et il a participé aux actions nationales autour de la publication des résultats de Planck et de la découverte du Higgs. Il s'investit aussi dans la popularisation de la science et de notre recherche (Oufs d'Astro et Nuit des Infinis) et de sa diffusion en direction du plus grand nombre (conférences dans les lycées, journées Sciences en fête, Master Classes).

Pour conclure, ce document est le résultat d'un effort collectif et, au nom de tout le laboratoire, je vous en souhaite une bonne lecture. Nous espérons qu'il suscitera votre curiosité et votre intérêt pour notre travail, et de manière plus large pour la recherche scientifique.

Serge Kox,

Directeur du LPSC.

Présentation générale du laboratoire

Serge Kox – Directeur du LPSC

This section of the LPSC biannual report describes the main features of the organization and functioning of the laboratory. It includes a flow chart and details how the work of the scientific and technical staffs is organized.

Introduction

Le LPSC est une UMR tripartite entre le CNRS (IN2P3 comme institut principal, INSIS et INSU comme secondaires) et deux universités scientifiques de Grenoble (UJF et Grenoble INP). L'effectif du laboratoire évolue ces dernières années autour de 225 agents (65 chercheurs (CNRS et universitaires), 95 ITA, une trentaine de doctorants et une trentaine de personnels en CDD (chercheurs et personnels techniques)). Le budget annuel pour le fonctionnement du laboratoire et ses projets scientifiques est en moyenne de 3 à 4 millions d'euros. Ces sommes nous sont allouées par nos autorités de tutelles, l'ANR ou les investissements d'avenir, des contrats de programmes cadre de l'Europe, ou encore des ressources générées par nos activités de valorisation. Outre leur mission de recherche fondamentale, nos personnels assument de nombreux enseignements à l'université et ils mènent une action importante de formation par la recherche avec l'accueil d'environ 50-60 stagiaires par an et de diffusion de la connaissance scientifique. Les opérations de valorisation, basées sur les compétences et les savoir-faire du laboratoire, font aussi partie de nos missions.

Depuis sa création en 1967, notre laboratoire a su mener les évolutions nécessaires de ses thématiques en direction des enjeux scientifiques du moment et se diversifier au point de couvrir maintenant l'essentiel des thématiques de l'IN2P3 en lien avec la physique des 2 infinis. Certaines missions nationales lui sont aussi confiées (CERN, projet SPIRAL2...). Le LPSC bénéficie des compétences de ses services techniques pour la réalisation des dispositifs expérimentaux et des codes de simulation ou d'analyse nécessaires pour ses programmes de recherche, ainsi que pour le fonctionnement de ses plateformes expérimentales et d'enseignement. Dans le cadre des investissements d'avenir, le laboratoire est partenaire et acteur de 3 LABEx (ENIGMASS, FOCUS et PRIMES) et d'un EQUIPEX (BEDOFIH), ce qui témoigne de notre attractivité scientifique. Les thématiques sont très diverses, allant de l'énigme de la masse aux bases de données financières en passant par les nouvelles technologies pour l'observation spatiale et les appareils innovants pour le médical.

Les projets auxquels nous participons ont des durées excédant souvent la dizaine d'années et ils peuvent mobiliser des budgets de plusieurs milliards d'euros provenant en grande partie de financements spécifiques type TGE-TGIR ou missions spatiales. Nos réalisations expérimentales sont installées sur plusieurs continents, voire envoyées dans l'atmosphère ou dans l'espace. Leur aboutissement est le fruit d'un travail collaboratif mené au sein d'équipes internationales pouvant regrouper plusieurs milliers de personnes. Pour s'adapter au mieux aux

spécificités de nos thématiques de recherche, le laboratoire s'appuie sur une organisation de type projet, avec des revues techniques qui évaluent les besoins des expériences et suivent leur déroulement.

Fort de ses compétences scientifiques et techniques, le LPSC peut aussi contribuer à plusieurs programmes interdisciplinaires qui répondent à une demande sociétale. Nous travaillons ainsi sur des sujets touchant à l'énergie (électronucléaire ou nouveaux matériaux), ou reliés à la recherche pour la lutte contre le cancer (imagerie, diagnostics et hadronthérapie) avec une collaboration avec le monde médical. Notre domaine de compétences s'est aussi ouvert au traitement des surfaces par dépôts plasma ou à l'implantation ionique.

Le LPSC a vécu un fort renouvellement de ses personnels et il s'est montré attractif comme en témoignent les nombreuses candidatures en thèses et en post-doctorat. De ce fait, nous observons ces dernières années un rajeunissement des personnels du laboratoire.

Formation et enseignement

Les personnels du LPSC (enseignants-chercheurs mais aussi plusieurs chercheurs et ingénieurs) participent à l'organisation et au fonctionnement de nombreux masters et de plateformes expérimentales d'enseignement (physique subatomique, plasma, informatique, techniques d'analyse). Dans le cadre de la formation par la recherche, nous accueillons de nombreux stagiaires de différents niveaux académiques. Il est à noter que le nombre de nos doctorants reste élevé ces dernières années. Nos personnels assument aussi des responsabilités administratives importantes à l'université.

Le LPSC participe à des actions de formation spécifiques comme l'électronucléaire civil (plateforme de TP, masters). À cela s'ajoutent des formations dans le domaine des accélérateurs et sources d'ions (JUAS) et, récemment, dans ceux de la micro-électronique et de la physique des plasmas.

Interdisciplinaire et valorisation

Les activités interdisciplinaires et de valorisation participent de la tradition de notre laboratoire.

Pour l'interdisciplinaire, nous appliquons des techniques d'autres domaines dans nos axes de recherche ou, inversement, mettons en œuvre nos compétences pour apporter des réponses à des problèmes sociétaux ou à ceux d'autres disciplines. C'est le cas des activités orientées vers les problématiques du traitement du cancer qui utilisent notre expertise dans les domaines des accélérateurs, d'acquisition et de traitement rapide des données, des détecteurs et de mesures de doses, etc. Nous travaillons aussi sur la problématique des sources d'énergie, avec une contribution forte sur des solutions innovantes pour le nucléaire civil du futur (cycle, déchets, combustibles et systèmes). Ces activités de recherche académiques sont soutenues en particulier par une action transversale du CNRS (NEEDS).

Les actions de valorisation prennent différentes formes : conseils pour des études ou des réalisations pour d'autres instituts, prestations autour de certains équipements du laboratoire (comme les mesures de basse activité), dépôts de brevet et de licences de savoir-faire. De plus, cette année a vu la création d'une startup.

Communication scientifique

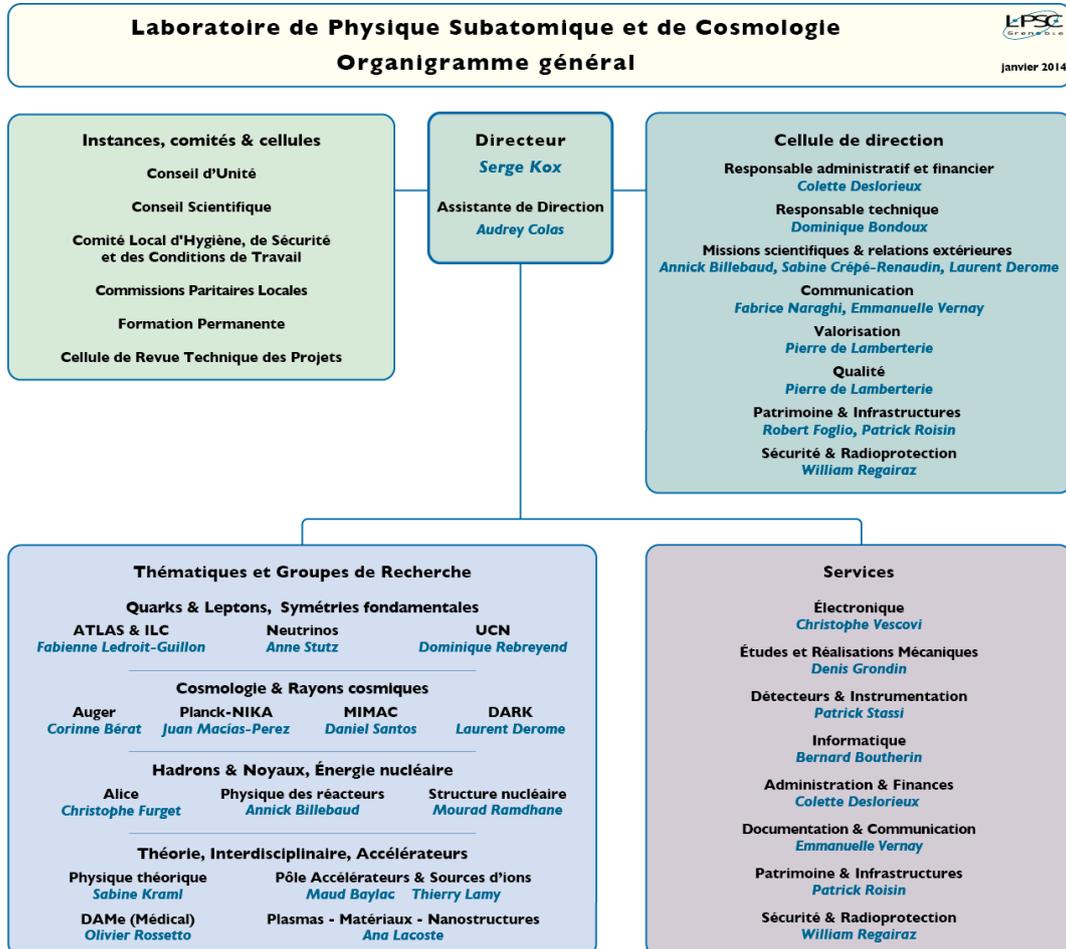
Les personnels du LPSC s'impliquent dans la communication et la diffusion de la connaissance scientifique. En direction du grand public, cela prend la forme de participations aux événements type Fête de la Science ou journées portes ouvertes, ainsi que la mise au point d'expositions et d'actions itinérantes scientifiques (LHC, Planck, Rayons cosmiques), de visites de classes au laboratoire (dont le programme de Master Class) et d'exposés faits dans les lycées.

On peut noter un nombre important d'interventions de nos personnels dans différents médias (interviews radio, journaux et magazines), structures (MJC, café des sciences) ou laboratoires extérieurs. Nos physiciens ont écrit plusieurs livres de cours et ouvrages de vulgarisation et supervisé l'édition de proceedings de conférences, dont plusieurs ont été organisées sous notre responsabilité dans nos murs ou dans la région grenobloise.

Une refonte et remise à niveau complète de notre site Web ainsi que de nos outils de communication (plaquettes, marque-pages, goodies...) ont été menées à bien ces dernières années.

Structuration et vie du laboratoire

L'organigramme du LPSC (au 1er janvier 2014) illustre le mode de fonctionnement du laboratoire et sa structuration. De nombreuses informations sont par ailleurs disponibles sur notre site Web : <http://lpscwww.in2p3.fr/>, lequel comporte maintenant une version anglaise et une section intranet.



Groupes et services

Les chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire travaillent au sein de groupes de physique ayant des objectifs communs, expérimentaux ou théoriques. Les activités de recherche du LPSC sont déclinées en sept thématiques de physique : quarks, leptons et symétries fondamentales, rayons cosmiques et cosmologie, physique hadronique et matière nucléaire, physique des réacteurs, théorie, interdisciplinaire et enfin une thématique autour des accélérateurs et des sources d'ions.

L'organisation du travail des personnels ITA du laboratoire s'articule en un ensemble de services dont on peut classer les activités en deux catégories, support et projet. La première recouvre le fonctionnement général du laboratoire (administration, informatique de réseau, bâtiment et infrastructures, sécurité, documentation et communication) mais aussi celui des plateformes expérimentales ou d'enseignement et du nœud de grille de calcul (Tier-2). Pour la seconde catégorie, il s'agit du support technique aux expériences (instrumentation, mécanique, électronique, informatique d'acquisition et d'analyse de données) indispensable pour le succès des projets scientifiques portés par le laboratoire et essentiel car les solutions standard ou industrielles sont souvent inexistantes. Il faut enfin noter que des services développent des compétences et une technicité qui leur permettent de mener des activités autonomes de R&D qui peuvent déboucher sur des actions de valorisation.

Fonctionnement du LPSC

Plusieurs modifications de l'organisation du LPSC ont été mises en œuvre au cours de ces dernières années. Pour la gestion des affaires du laboratoire et la définition de sa stratégie, le directeur s'appuie sur une Cellule opérationnelle de direction rassemblant tout un ensemble de compétences : correspondants (communication, valorisation...), responsable administrative et financière, responsable technique, chargés de missions (missions scientifiques, infrastructure, qualité). Pour le fonctionnement et la vie du laboratoire, la direction s'appuie statutairement sur les délibérations et l'avis d'un Conseil d'unité. Pour la définition de sa politique scientifique, le laboratoire s'est doté d'un Conseil scientifique qui est formé pour moitié de membres extérieurs et qui se réunit actuellement environ 2 fois par an.

Le laboratoire a une tradition de mobilité thématique. Pour faire émerger de nouveaux axes de recherche et mener à bien les missions ou projet dont il a la responsabilité, il s'appuie maintenant sur une organisation type projet. Les projets du laboratoire sont examinés à deux niveaux : intérêt scientifique et faisabilité technique (compétences et ressources). Pour ce qui est de l'évaluation scientifique, ce rôle est dévolu au Conseil scientifique du LPSC, avant un examen national par celui de l'IN2P3 du fait du lien fort entre les 20 laboratoires de cet institut. Il faut aussi tenir compte de l'avis des comités scientifiques des laboratoires internationaux auprès desquels se déroulent les expériences. Pour ce qui est de la faisabilité technique, des revues sont organisées au LPSC par la Cellule de revue technique de projet du laboratoire. Cette structure examine les besoins en compétences et/ou personnels techniques des projets, mais aussi les aspects organisationnels et financiers. Une fois le projet validé, les équipes mises en place font intervenir des physiciens et des personnes des services techniques

dont les activités sont coordonnées par un responsable scientifique et un coordinateur technique. Le responsable technique aide et conseille la direction, supervise la gestion projet du laboratoire et l'occupation et le planning des personnels administratifs et techniques.

Vie du laboratoire

Un ensemble de réunions avec les responsables de groupe de physique et les chefs de services techniques permet de suivre les affaires courantes (campagnes d'embauche, demandes de budgets, etc.) et de préparer les réponses et documents pour les évaluations (AERES...). Une attention particulière est aussi apportée à l'intégration et au suivi des personnels non permanents et des doctorants.

Le taux de nouveaux entrants (permanents et non permanents) est maintenant de l'ordre de 20-25 personnes chaque année. Une journée d'accueil et de visite du laboratoire, des présentations des services et l'écriture de livrets spécifiques (avec un effort fait pour offrir une version anglaise du fait de l'arrivée de nombreux personnels étrangers) favorisent dorénavant leur accueil et leur intégration.

Pour améliorer la communication en direction des personnels, des assemblées générales sont aussi organisées et elles sont suivies d'évènements festifs (barbecues, exposés grand public, etc.).

Formation permanente: cette action fait l'objet d'une attention particulière dans notre unité. Ceci est dû en particulier au nombre important d'ITA que nécessitent nos missions et dont le métier requiert des actions fortes pour conserver leurs compétences et en acquérir de nouvelles. Des actions sont aussi menées en direction des chercheurs et doctorants et il faut souligner les actions de formation données par nos personnels (Labview, CATIA...). Un plan de formation de l'unité est établi chaque année.

Hygiène et Sécurité : Notre domaine de recherche et les activités de notre laboratoire sont exigeants en terme de sécurité (sources et matériaux radioactifs, radiofréquence, chimie, plasmas, accélérateurs). Plusieurs de nos bâtiments hébergent de plus des expériences et des équipements potentiellement à risque. Un document unique annuel recense ces risques et établit les priorités des actions à mener. Outre une sensibilisation des agents vis-à-vis des risques, plusieurs points critiques de sécurité ont été récemment traités. Les missions du Comité hygiène et sécurité local ont été étendues en vue de l'amélioration des conditions de travail de nos personnels.

Patrimoine, infrastructures de recherche et plateformes

Le laboratoire, implanté sur un terrain de 5 hectares, est composé de 10 bâtiments (pour une surface de 20 000 m² de locaux) qui abritent des bureaux, des salles de cours, des plateformes et plusieurs aires expérimentales.

Ces dernières années, une amélioration notable des bâtiments et des infrastructures du laboratoire aura été accomplie. Le remplacement de l'ensemble de nos transformateurs au pyralène aura été un événement fort de l'année 2009. Des actions de réhabilitation ou de rénovation ont eu lieu : halls pour les montages expérimentaux avec de grandes capacités (volume, levage), bâtiment pour un projet de boucle à sels fondus, entrée du site et voirie pour l'arrivée du tramway

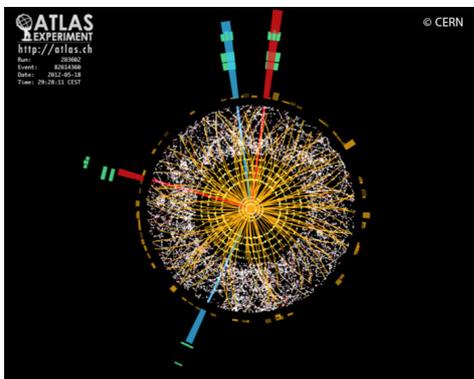
en 2014 sur le polygone scientifique. Un projet innovant (ECOCLIM) pour la climatisation de notre informatique a permis un accroissement notable des capacités CPU et des disques de stockage tout en réduisant la consommation électrique. Un travail de fond, spécifique à notre domaine d'activité est la gestion et, quand cela est possible, l'évacuation des matières nucléaires (déchets, sources).

Le LPSC développe et fait fonctionner dans ses locaux plusieurs équipements et plateformes :

- Des halls d'assemblage permettant l'accueil, la construction et les tests de grands dispositifs.
- Deux plateformes d'étude et de recherche sur l'énergie nucléaire (neutronique et chimie).
- Deux plateformes à vocation d'enseignement (physique subatomique et plasma).
- Un laboratoire de mesures de basses activités à vocation de prestations pour des entreprises ou laboratoires extérieurs.
- Des plateformes à vocation de recherche et valorisation autour des technologies plasma.
- Un nœud de grille de calcul (Tier-2 depuis 2011) pour le traitement des données et les simulations des expériences du LHC.

Faits marquants

La découverte du Boson de Higgs



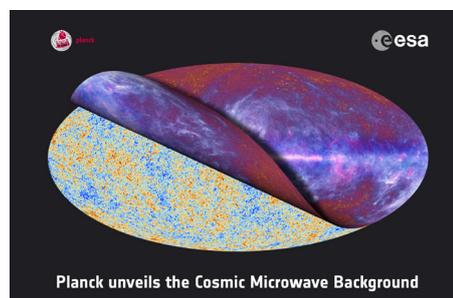
Le boson de Higgs, dernière pièce manquante du Modèle Standard de la physique des particules, a été découvert par les expériences ATLAS et CMS auprès du LHC au CERN en juillet 2012.

Cette découverte exceptionnelle a valu le prix Nobel de physique 2013 à François Englert et Peter W. Higgs pour avoir prédit dès 1964 l'existence de ce boson à l'origine de la masse des particules élémentaires.

Le LPSC a participé activement aux différentes étapes qui ont mené à cette découverte. Depuis les années 1990, le laboratoire a contribué à la conception, à la construction et au fonctionnement du calorimètre électromagnétique d'ATLAS. Ce détecteur identifie et mesure les électrons et les photons, particules qui permettent de mettre en évidence le boson de Higgs.

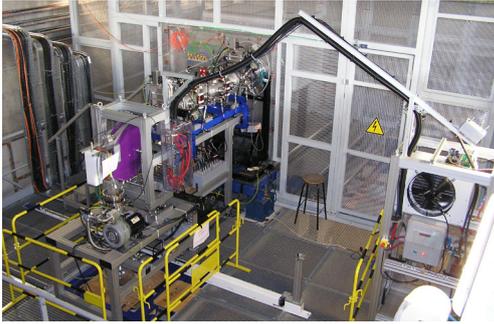
Opérations achevées pour l'instrument LFI de Planck

Le 21 mars 2013, la collaboration Planck a dévoilé la plus ancienne image de l'Univers avec une précision et une résolution impressionnantes. L'histoire de l'Univers racontée par cette carte en température des anisotropies du rayonnement fossile est remarquablement simple et commence avant la création de la matière.



Suite aux résultats de Planck, la part d'énergie sous forme de matière (noire et ordinaire) a été réévaluée à la hausse, alors que la vitesse actuelle d'expansion de l'espace a été revue à la baisse. Les modèles les plus simples d'inflation sortent particulièrement renforcés. Ainsi, un scénario avec seulement six paramètres, estimés à présent avec une précision de l'ordre de quelques pourcents, permet de rendre compte sur 13,8 milliards d'années de la géométrie et du contenu de l'Univers mais aussi de l'évolution des grandes structures depuis les fluctuations quantiques jusqu'aux amas de galaxies.

GUINEVERE



Les années 2012-2013 ont été de première importance pour le projet GUINEVERE. Durant cette période le réacteur belge VENUS-F a fonctionné de façon couplée avec l'accélérateur GENEPI-3C pour réaliser une grande partie du programme expérimental destiné à valider une méthodologie de suivi en ligne de la réactivité d'un ADS (réacteur nucléaire piloté par accélérateur), un des objectifs du projet européen FREYA. Les premiers résultats des équipes IN2P3 ont également fait l'objet de communications internationales.

EXILL

L'expérience EXILL, qui s'est déroulée à l'Institut Laue Langevin (ILL), a été un événement majeur pour la communauté de spectroscopie nucléaire. Vingt laboratoires ont joint leurs efforts pour permettre l'installation et l'exploitation du spectromètre EXOGAM sur la ligne de neutrons froids PF1B de l'ILL. Avec une moisson de résultats exceptionnelle : 60 To de données collectées et des années d'analyse en perspective. De par sa proximité géographique, le LPSC a pris une part importante à cette réussite.



Applications industrielles des sources d'ions: Polygon Physics, une startup issue du LPSC



MBS-20: Machine fonctionnant avec 20 sources d'ions indépendantes, opérationnelle pour des tests jusqu'à 300 mm de diamètre et pouvant pulvériser et doser jusqu'à 6 composants chimiques simultanément.

Pascal Sortais a développé, au sein du pôle Accélérateurs et Sources d'ions du LPSC, la miniaturisation ultime des sources d'ions à la résonance cyclotronique électronique (sources COMIC). Ceci a permis la simplification extrême de la technologie ainsi qu'une diminution drastique des coûts ouvrant la voie à de multiples applications industrielles dans des domaines comme la microélectronique, la biologie, le traitement sans chimie des matériaux pour modifier leurs caractéristiques physiques, la connectique, l'horlogerie ou l'optique. Pour satisfaire l'ampleur de la demande, la startup Polygon Physics vient d'être créée. Dans

un premier temps elle sera hébergée au LPSC et démarrera avec quatre personnes à plein temps et deux conseillers (un scientifique et un commercial).

Distinctions

Cristal du CNRS



Photo © C. Figueiredo (CNRS)

Maud Baylac est responsable de l'équipe Accélérateurs de particules du pôle Accélérateurs et Sources d'ions au LPSC. Cette ingénieure de recherche, après une thèse de doctorat sur la structure du proton au CEA de Saclay, part aux États-Unis, au Jefferson Laboratory. Pendant quatre ans, elle travaille comme physicienne de l'injecteur auprès de l'accélérateur CEBAF, effectuant ainsi un changement de thématique vers les études des outils technologiques mis en œuvre pour les expériences de physique subatomique. Elle se consacre alors principalement à l'optimisation de la polarisation du faisceau d'électrons, paramètre essentiel pour les expériences menées auprès de CEBAF. Fin 2004, Maud Baylac rejoint le

LPSC où elle contribue à la réussite du projet européen GUINEVERE qui étudie la faisabilité d'un réacteur nucléaire piloté par un accélérateur, système envisagé dans certaines stratégies d'incinération des déchets nucléaires.

Médaille de bronze

Guillaume Pignol, enseignant-chercheur au LPSC est maître de conférences à l'UJF. Diplômé en 2006 de l'école polytechnique, il mène actuellement des recherches remarquées depuis sa thèse, soutenue en 2009. Impliqué sur l'expérience GRANIT (Transitions GRAvitationnelles Induites du Neutron), ses travaux s'étendent sur un large spectre allant de calculs théoriques originaux jusqu'à la réalisation d'expériences de grande précision. Grâce à des publications de premier plan et à un réseau de collaborations variées, son expertise est aujourd'hui reconnue bien au-delà du LPSC.



Prix Thibaud



Aurélien Barrau a reçu le prix Thibaud 2012 de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon. La séance de remise de ce prix, qui s'est déroulée à l'hôtel de ville de Lyon, était présidée par Cédric Villani, médaille Fields 2010. Le prix Thibaud distingue tous les deux ans, de jeunes chercheurs (entre 30 et 40 ans), expérimentateurs ou théoriciens, qui se sont particulièrement illustrés dans le domaine de la physique du noyau atomique, des particules ou des astroparticules.

Aurélien Barrau est professeur des universités à l'UJF, il travaille au LPSC dans le domaine des astroparticules et de la cosmologie. Il s'intéresse aux théories quantiques de la gravité comme les théories quantiques à boucle et à leurs conséquences concernant l'Univers primordial. De plus, Aurélien est impliqué dans l'expérience AMS qui mesure actuellement le rayonnement cosmique depuis la station spatiale ISS et dans la construction du futur télescope LSST qui devrait permettre de sonder l'accélération de l'expansion cosmologique.

Prix de thèse de l'Université de Grenoble

Julien Billard est l'un des sept lauréats du prix de thèse de l'Université de Grenoble. Cette distinction lui a été attribuée pour la qualité exceptionnelle de son travail. Sa thèse, intitulée « Détection directionnelle de matière sombre avec MIMAC » et préparée sous la direction de Frédéric Mayet au sein du LPSC et de l'École doctorale de Physique, porte sur une méthode innovante de recherche de matière noire qui constitue plus de 25% de notre Univers mais dont nous ignorons encore la composition.



Quarks, Leptons et Interactions fondamentales

Le Modèle Standard de la physique des particules est la théorie qui décrit les interactions électromagnétique, faible et forte entre fermions élémentaires (quarks et leptons) dans le contexte formel de la théorie quantique des champs. Chaque interaction résulte de l'invariance des propriétés physiques sous les transformations d'un groupe $SU(2) \times U(1) \times SU(3)$ qui se traduit par l'existence de bosons vecteurs véhiculant les interactions : les gluons pour l'interaction forte, les bosons W^+ , W^- et Z pour l'interaction faible et le photon pour l'électromagnétisme. Dans ce mécanisme d'invariance de jauge les bosons sont nécessairement sans masse. Le mécanisme de Brout-Englert-Higgs vise à faire apparaître les masses des bosons W et Z . Pour ce faire, un nouveau champ scalaire est introduit dans le modèle. La brisure spontanée de la symétrie électrofaible par ce nouveau champ résulte d'une part en des masses pour les bosons de jauge W et Z , d'autre part en une nouvelle particule le boson de Higgs.

Depuis les années 50, de nombreuses avancées théoriques et expérimentales ont contribué à l'élaboration de ce Modèle Standard. Son mérite tient d'une part à une description des interactions dans un cadre théorique unifié et d'autre part à un accord d'une grande précision entre ses prédictions et les observations expérimentales. Il a en particulier permis de prédire l'existence aujourd'hui avérée des bosons W et du quark top qui est la particule élémentaire la plus massive connue. Les mesures ont été effectuées dans les années 1990 par les collisionneurs électron-positron SLC (Stanford Linear Collider) aux États-Unis et LEP (Large Electron Positron collider) du CERN en Europe. La validation du Modèle Standard est actuellement poursuivie grâce aux expériences terminées ou en cours d'exploitation auprès de collisionneurs hadroniques proton-(anti)proton : le TeVatron du Fermilab aux États-Unis et le LHC (Large Hadron Collider) au CERN, ce dernier faisant collisionner des protons de très grande énergie avec une luminosité toujours plus importante. C'est au LHC qu'a été mise en évidence en 2012 la dernière brique manquante du Modèle Standard, le boson de Higgs. Cette découverte a permis aux théoriciens Peter Higgs et François Englert de recevoir le prix Nobel de Physique 2013, près de cinquante ans après leur travaux.

Le Modèle Standard est une théorie prédictive qui possède une vingtaine de paramètres libres, qui ont tous été mesurés aujourd'hui. Néanmoins, ce modèle ne saurait être la théorie ultime. D'abord la masse des neutrinos et

leur matrice de mélange ne trouvent que marginalement leur place dans le modèle. Ensuite, l'existence de trois familles et l'échelonnement des masses des particules en fonction de ces familles ne reçoivent aucune justification. Par ailleurs, la fraction de l'univers formée de particules standard semble n'être composée très majoritairement que de particules alors que les interactions du Modèle Standard impliquent toujours particules et antiparticules, soit autant de matière que d'antimatière. De fait, le Modèle Standard autorise une faible asymétrie entre matière et antimatière, mais insuffisante pour justifier le déséquilibre observé. De plus, à haute énergie, la théorie souffre d'instabilités et de divergences de calcul qui sont difficiles à contenir par un unique ajustement des paramètres libres du modèle. Un autre sujet d'interrogation est relié aux études et mesures récentes sur l'expansion accélérée de l'espace-temps et les anisotropies du rayonnement fossile électromagnétique, lesquelles ont révélé que les constituants élémentaires que nous connaissons ne contribuent au plus qu'à 5% de l'énergie volumique moyenne de l'Univers. Une autre insuffisance du modèle est son incapacité totale à inclure l'interaction gravitationnelle qui nécessiterait une modélisation de la gravité quantique.

Plusieurs extensions du Modèle Standard ont été proposées pour résoudre ces problèmes. Parmi celles-ci figurent la supersymétrie, les théories de grande unification, les théories avec des dimensions supplémentaires. Ces différentes extensions supposent l'existence de nouvelles particules ou de nouvelles interactions : partenaires supersymétriques des constituants élémentaires actuels, bosons de Higgs chargés, nouveaux bosons de jauge (Z' , W' , leptokuarks), etc.

Les groupes du LPSC contribuent à l'effort de recherche de cette nouvelle physique, soit en mesurant avec une grande précision les paramètres du Modèle Standard afin de découvrir des indices indirects de l'existence de nouvelles particules ou interactions, soit en tentant de les mettre en évidence de façon directe. Les équipes de physiciens et les services techniques du LPSC contribuent à des expériences qui vont aborder ces questions de manière différente et complémentaire : des hautes énergies, auprès des collisionneurs de particules du Fermilab et du CERN (plusieurs TeV), aux très basses énergies avec la physique des neutrons ultra-froids (de l'ordre du neV), en passant par la physique des neutrinos.

La première partie de ce rapport présente le dernier né de ces projets, l'expérience STEREO qui vise à observer l'oscillation des neutrinos issus du réacteur de l'ILL vers une quatrième saveur dite stérile, car elle n'interagit aucunement avec les particules du Modèle Standard. Cette expérience est motivée par un déficit observé dans le flux d'antineutrinos électroniques produit par les fissions dans le cœur d'un réacteur nucléaire.

La seconde partie présente le programme de recherche de nouvelle physique basé sur des expériences utilisant des neutrons de très basse énergie : modification de la gravité à courte portée et recherche de nouvelles interactions dans le domaine micrométrique avec l'expérience GRANIT à l'ILL, ainsi que la recherche de nouvelles sources de violation de CP via la mesure du moment dipolaire électrique du neutron avec l'expérience nEDM à l'Institut Paul Scherrer, près de Zürich.

La fin de ce chapitre est consacrée à la physique des collisionneurs. La troisième partie présente d'abord les contributions finales du LPSC à l'expérience DØ qui a enregistré le résultat des collisions de protons et d'antiprotons à une énergie de 1,96 TeV produites par le Tevatron jusqu'à son arrêt définitif en 2011. La masse du W a été mesurée avec précision, ce qui, combiné avec les mesures de masse du quark top et du boson de Higgs, permet de contraindre certaines extensions du Modèle Standard.

Par ailleurs, un groupe du LPSC est également fortement impliqué dans l'expérience ATLAS qui est l'une des quatre principales expériences installées auprès du LHC. Les différentes études effectuées par le groupe ATLAS s'organisent autour de trois thématiques principales : la physique du quark top dans le secteur électrofaible dans le Modèle Standard et au-delà, notamment via la recherche d'un boson de Higgs chargé, la recherche de nouvelles particules se manifestant comme une résonance dans les spectres de masse invariante di-lepton, di-photon et top-antitop et les recherches de particules supersymétriques. Les premiers résultats obtenus à partir des données de collisions proton-proton enregistrées par ATLAS aux énergies de 7 TeV (2010-2011) puis de 8 TeV (2012) de même que l'évolution du détecteur pour améliorer la prise de données dans les années à venir ainsi que les contributions du LPSC aux infrastructures de calcul nécessaires à l'analyse des données sont décrits dans la quatrième partie de ce rapport.

Enfin, le groupe de physique des particules et les services techniques du LPSC sont aussi fortement impliqués dans les activités de Recherche et Développement effectuées pour les expériences qui devraient prendre place auprès du futur collisionneur linéaire électron-positron ILC (International Linear Collider) actuellement en projet. Ces développements techniques, essentiellement axés sur la calorimétrie électromagnétique, la micro-électronique et la mécanique, sont décrits dans le cinquième et dernier chapitre de ce rapport.

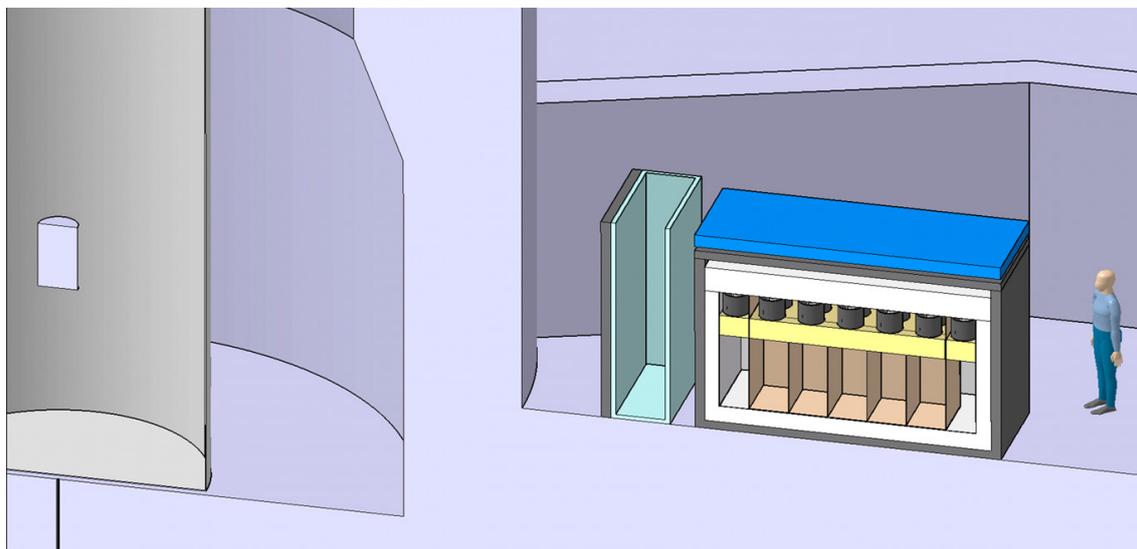
STEREO

A. Stutz, S. Kox, J. Lamblin, F. Montanet, J.-S. Réal
C. Bernard, M. Chala, M. Heusch, Service Détecteurs et Instrumentation
C. Vescovi, G. Bosson, O. Bourrion, D. Tourres, Service Électronique

The goal of the STEREO experiment is to answer the question of the existence of a sterile neutrino with a mass around 1 eV. The proposed measurement will take place at short distance from the research reactor of ILL in Grenoble. If a sterile neutrino exists then one should observe a distortion of the energy spectrum of the reactor electron antineutrinos induced by the mixing with the new sterile state. The LPSC team is in charge of the muon veto, the data acquisition and the slow control of the experiment.

L'activité de recherche du groupe porte sur la recherche de neutrino stérile par la mise en évidence d'une oscillation de neutrinos à très courte distance du réacteur de recherche de l'ILL. Le groupe fait partie d'une collaboration de 6 laboratoires, dont 2 laboratoires Grenoblois, l'ILL et le LPSC et 2 laboratoires du labex ENIGMASS le LAPP et le LPSC. Les autres partenaires sont le CEA/Irfu de Saclay, le MPIK d'Heidelberg et l'Université de Casablanca.

Le point de départ de l'hypothèse du neutrino stérile est une réévaluation des spectres d'émission des neutrinos émis par la fission des isotopes de l'uranium et du plutonium conduisant à une augmentation de quelques pour cent du flux de neutrinos émis par un réacteur. Une nouvelle analyse des 19 expériences publiées sur les neutrinos de réacteurs à courte distance (10-100 m) conduit à un déficit moyen de 7% par rapport à cette nouvelle prédiction. C'est ce qu'on appelle l'anomalie des neutrinos de réacteur, qui pourrait s'expliquer par l'existence d'un nouvel état du neutrino, dit stérile.



L'objectif de l'expérience STEREO est la recherche de ce neutrino stérile par l'observation d'une oscillation auprès du réacteur de recherche de l'ILL. Le principe de détection des antineutrinos est la décroissance bêta inverse. La cible du détecteur est un scintillateur dopé au gadolinium afin de signer la capture du neutron par la cascade de gammas associée (8 MeV). Le volume est segmenté en 6 cellules de 0,9 m x 0,9 m x 0,4 m alignées dans la direction du cœur du réacteur et entourées par une couronne externe remplie d'un scintillateur liquide

non dopé permettant de détecter les gammas qui s'échappent. La signature de l'oscillation est une diminution du nombre d'interactions d'antineutrinos variable selon l'énergie des neutrinos et la distance du cœur à laquelle ils sont détectés. Le détecteur sera protégé du flux résiduel de muons cosmiques ainsi que des neutrons et gammas en provenance du cœur par une succession de blindages actifs et passifs. Les moyens nécessaires à la réalisation des détecteurs et à l'aménagement du site ont été obtenus de l'ANR dans le cadre de l'appel à projet blanc 2013. Le LPSC a la responsabilité du détecteur de muons cosmiques, de l'électronique et de l'acquisition de données ainsi que du système d'injection de lumière nécessaire à la calibration du détecteur.

Durant l'année 2013, des mesures de bruit de fond ont été réalisées sur le site de l'ILL avec un compteur Ge et un détecteur ^3He associé à un blindage neutron modulaire réalisé par le Service Détecteur et Instrumentation (SDI). Les résultats des mesures combinés aux simulations GEANT4 ont permis d'optimiser les blindages passifs et l'aménagement de la casemate. Une simulation GEANT4 a également permis de valider le principe du détecteur Cherenkov à eau pour le veto muon et un prototype a été réalisé par le SDI. La conception de l'électronique dédiée à STEREO est en cours de développement au Service Électronique. Elle est basée sur la lecture rapide des signaux des photomultiplicateurs par des convertisseurs analogique-numérique rapides et un FPGA moderne offrant un traitement en ligne rapide. Le premier démonstrateur a été réalisé à l'automne 2013.

Groupe UCN

*D. Rebreyend, B. Clément, M. Guigue, Y. Kermaïdic, G. Pignol, K. Protasov
D. Grondin, Y. Carcagno, E. Perbet, F. Vezzu, Service Études et Réalisations Mécaniques
C. Vescovi, O. Bourrion, E. Lagorio, J.-P. Scordilis, Service Électronique
R. Faure, O. Zimmermann, Service Détecteurs et Instrumentation
G. Dargaud, Service Informatique
C. Martin, Service Administratif et Financier
Collaborations GRANIT, nEDM*

Our group conducts a program at the interface of particle physics and cosmology, looking for new physics with low energy experiments using Ultra Cold Neutrons (UCN). Over the past two years, important steps have been achieved on our two principal activities: the GRANIT instrument at the Laue Langevin Institute (ILL, Grenoble, France) to study the transitions between quantum states of UCNs trapped in the earth's gravitational field; the nEDM (neutron Electric Dipole Moment) experiment at the Paul Scherrer Institute (PSI, Villigen, Switzerland) to search for new sources of CP violation. For GRANIT, the setup is completed and we are in the commissioning phase whereas data taking has started mid-2013 for the nEDM experiment. During this period, we have also launched a new activity based on the polarized ^3He TYREX facility at the ILL. Finally, original results on the phenomenology of cosmological models (chameleons) aiming at resolving the dark energy puzzle have been obtained by one of us.

Étude des niveaux quantiques d'UCN dans le champ de pesanteur de la Terre

GRANIT est un projet mené en étroite collaboration entre le LPSC et l'ILL depuis 2006, avec la contribution du Laboratoire des Matériaux Avancés (LMA) pour les traitements de surface et l'appui de laboratoires russes (JNIR et PNPI) et américains (VSU et URI). Il vise à induire des transitions entre les niveaux quantiques de neutrons piégés par le champ gravitationnel terrestre à la surface d'un miroir afin de mesurer leurs énergies. Il s'agit d'un des très rares dispositifs expérimentaux permettant l'étude de la gravité dans le contexte de la mécanique quantique.

Comme pour la période 2010-2011, la majeure partie de notre activité a été consacrée à des tests sur la source d'UCN basée sur le principe du ralentissement de neutrons froids (8,9 Å) dans un bain d'hélium superfluide. Grâce à l'ajout d'une nouvelle tête froide sur l'extraction fin 2011, la température requise du bain d'hélium ($T \leq 1$ K) a pu être de nouveau atteinte de façon routinière. Au cours de 2012, nous avons ainsi pu opérer la source dans les conditions nominales pendant plusieurs mois sans interruption. Ces périodes ont été mises à profit pour mesurer les performances du volume de conversion et les propriétés du faisceau de neutrons extraits (flux, spectre de vitesses) avant connexion de la source au spectromètre. Lors du dernier cycle du réacteur de l'ILL en 2013 (25/06-09/08 avant arrêt pour presque un an) nous avons pu tester pour la première fois le dispositif complet avec l'ensemble des miroirs et mesurer le flux de neutrons derrière une fente de 100 μm . Le flux mesuré (de l'ordre de 10^{-2} s^{-1}) s'est avéré malheureusement très inférieur à nos attentes, empêchant de commencer le programme de physique. Un diagnostic pour identifier l'origine des pertes et proposer des solutions est en cours. À cette fin, nous utilisons un nouvel outil de simulation développé dans notre groupe qui combine la puissance et la

facilité d'utilisation des outils graphiques du logiciel Root du CERN à des calculs analytiques et donc rapides des trajectoires d'UCN (Fig. 1).

Le Service Études et Réalisations Mécaniques (SERM) du LPSC a continué à jouer un rôle déterminant au cours de cette période. Il a assuré la coordination technique du projet et été le maître d'œuvre dans la conception, la réalisation et l'implémentation des modifications sur la source d'UCN. Le SERM a également participé aux premières étapes du « commissioning » et pris en charge l'essentiel des opérations de maintenance de l'instrument GRANIT. Le Service Électronique (SE) a poursuivi le délicat problème de la fabrication du système de fils (128 fils de section $1 \times 1 \text{ mm}^2$ séparés de 0,25 mm) destiné à induire les transitions. Après de nombreux essais infructueux, une technique permettant d'assurer le transfert des fils d'un support intermédiaire au définitif sans créer de court-circuit a été mis au point mi-2013. Le système complet et opérationnel a été livré fin 2013. Une partie des logiciels contrôle-commande et l'acquisition de données du détecteur UCN ont été réalisés par le Service Détecteurs et Instrumentation (SDI) et le SE.

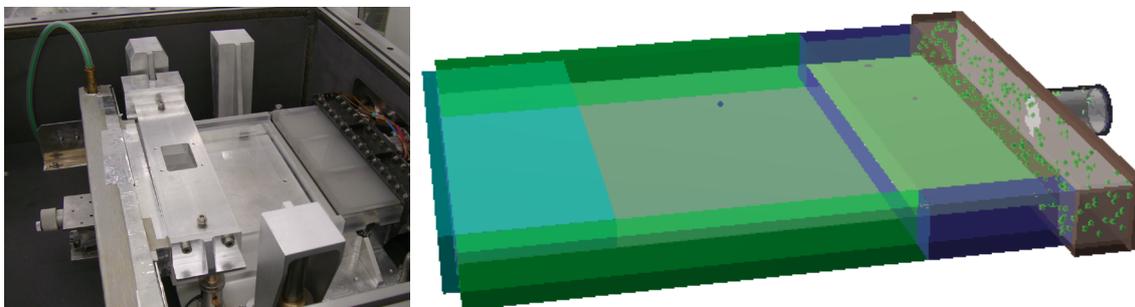


Fig. 1 : Vue de l'intérieur de la chambre à vide de l'expérience GRANIT (photo de gauche) et simulation (à droite). Sont visibles (de droite à gauche) le guide de neutrons, le volume intermédiaire de stockage, la fente d'extraction, le miroir de transport, l'absorbeur et le détecteur UCN.

La mesure du moment dipolaire électrique du neutron

La mesure du moment dipolaire électrique du neutron (nEDM) est une des expériences phare dans la recherche de nouvelle(s) source(s) de violation de CP. Elle permet d'obtenir des contraintes complémentaires des recherches concurrentes dans les décroissances des mésons B et K sur les extensions du Modèle Standard. Il est à noter que l'absence de nouvelle physique dans les résultats du LHC, et son corollaire qui est de repousser au-delà du TeV l'échelle de la nouvelle physique, lève les contraintes fortes apportées par la limite actuelle sur l'EDM du neutron ($d_n < 2,9 \times 10^{-26} \text{ e cm}$) sur les phases des extensions du Modèle Standard.

Après trois années de tests suite au déménagement du spectromètre nEDM de l'ILL au PSI en 2009, l'année 2012 a marqué le début des prises de données avec un dispositif complet et proche de la configuration définitive. Ces premiers résultats, correspondant à un mois de prise de données fin 2012, ont permis de valider l'ensemble des modifications apportées au dispositif expérimental mais aussi de mettre en évidence quelques difficultés, notamment au niveau du transport de la polarisation des UCN. Le long arrêt hivernal (janvier-mai 2013) a été mis à profit pour effectuer une campagne de cartographie (indispensable pour l'estimation précise de certaines erreurs systématiques) et pour corriger les problèmes identifiés en 2012. Depuis juillet 2013, la prise de données en mode continu a démarré avec une sensibilité par jour d'environ $2 \times 10^{-25} \text{ e cm}$. Cette valeur est en-deçà de celle attendue et vient des performances toujours médiocres de la nouvelle

source d'UCN. En effet, malgré les nombreux efforts et vérifications effectués par l'équipe de PSI, la densité fournie reste environ 30 fois inférieure à celle initialement prévue. Dans ce contexte, nous espérons atteindre une limite proche de 2×10^{-26} e cm après 3-4 ans de prises de données.

Dans la prolongation de nos engagements, notre groupe a contribué activement aux points suivants :

- Co-magnétomètre Hg : participation au fonctionnement et à l'amélioration des performances; étude sur les méthodes d'extraction de la fréquence de précession; contribution à la conception du co-magnétomètre Hg pour le futur spectromètre.
- Source de courant pour le champ magnétique principal: caractérisation in situ de la stabilité.
- Analyse de données et systématiques: analyse de mesures corrélant le rapport des fréquences neutron/mercure avec les gradients verticaux mesurés par des magnétomètres Cs. En plus d'un contrôle des erreurs systématiques, cette étude a permis d'aboutir à une mesure du moment magnétique du neutron d'une précision comparable à la meilleure mesure actuelle; poursuite du développement des théories décrivant la dynamique du spin en présence de gradients de champs magnétiques.

Nous avons naturellement pris part assidûment au démarrage et à la mise en route de l'installation, en participant régulièrement aux shifts à PSI. De plus, l'un d'entre nous a passé une année complète au PSI (09/2011-08/2012).

Au cours de ces deux années, la contribution des services techniques du laboratoire a été limitée et a consisté pour l'essentiel à la finalisation de tâches. Le SE a ainsi finalisé l'intégration de la nouvelle version du module central de contrôle de l'expérience qui se trouve maintenant en phase de test avant intégration. Le SE a également démarré une étude préliminaire sur un nouveau type de source de courant ultra-stable. Le software assurant l'interface entre le firmware du module de contrôle et l'interface utilisateur a été fourni par le Service Informatique, et le SDI a participé au développement du logiciel de contrôle-commande d'un polarimètre UV en encadrant un stage de DUT.

Recherche de nouvelles forces de courte portée

Dans un article publié récemment, Pethukov *et al* ont démontré la très grande sensibilité du taux de relaxation longitudinal de l' ^3He polarisé à des forces pseudo-magnétiques dans le domaine submillimétrique. À partir d'une expérience de démonstration réalisée début 2010 à l'ILL, ils ont pu extraire une limite compétitive sur le couplage scalaire-pseudoscalaire d'une interaction de type axion pour des portées comprises entre 10^{-6} et 10^{-2} m.

Étant partie prenante de cette première mesure, nous avons décidé de poursuivre notre implication en participant au développement d'un nouveau dispositif en collaboration avec A. Pethukov de l'ILL. Celui-ci sera bien sûr basé sur l'équipement TYREX de production d' ^3He polarisé (utilisant la technique MEOP: Metastable Exchange Optical Polarization) avec comme objectif d'atteindre la limite ultime avec cette technique. La principale amélioration par rapport au dispositif de 2010 consiste à obtenir une homogénéité très améliorée du champ magnétique. Pour ce faire, une partie du blindage magnétique de l'expérience n-nbar

qui s'est déroulée dans les années 90 à l'ILL a été récupérée, et un solénoïde interne de dimensions adaptées (5 m x 1 m) a été commandé à Sigmaphi. Notre groupe s'est impliqué dans la conception et le contrôle-commande de l'expérience.

Après réception du solénoïde en août 2013, l'ensemble du dispositif a pu être mis en place dès septembre à proximité de l'équipement TYREX. Les premières mesures de caractérisation dont la car-



Fig. 2: Installation du solénoïde dans le blindage.



Fig. 3: Vue du blindage de l'expérience de recherche de nouvelle force avec l' ^3He polarisé dans son emplacement définitif. L'extrémité du solénoïde générant le champ magnétique est aussi visible.

tographie du champ magnétique ont pu commencer en octobre et l'optimisation du « spin-flipper » par la technique FAP (Fast Adiabatic Passage) optimisée en fin d'année. Les toutes premières prises de données devraient débuter début 2014.

Il est à noter que cette expérience ponctuelle ne nécessite pas un gros investissement technique. La plupart des tâches ont été réalisées par Mathieu Guigue dans le cadre de sa thèse, seul le SDI ayant contribué par du consulting pour la réalisation du logiciel de contrôle-commande avec LabView.

Pour en savoir plus

Polarized ^3He as a probe for short-range spin-dependent interactions, A. Pethukov et al, Phys. Rev. Lett. 105, 170401 (2010).

Phénoménologie avec les modèles de caméléon

La compréhension de l'origine et de la nature de l'énergie noire est un des enjeux majeurs de la physique actuelle. Une solution crédible à cette énigme est fournie par les modèles dits de caméléons où l'énergie noire a pour source un champ scalaire couplé à la matière. En 2011, P. Brax et G. Pignol ont montré que de tels modèles pourraient créer une force à l'échelle micrométrique, mesurable dans des expériences comme GRANIT, et fourni une limite améliorée pour les forts couplages. Plus récemment, ils ont pu montrer que des expériences d'interférence avec des neutrons froids ont une sensibilité encore plus grande. Une expérience utilisant l'instrument S18 de l'ILL a été réalisée au printemps 2013 à l'ILL.

Pour en savoir plus

Strongly coupled chameleons and the neutronic quantum bouncer, P. Brax and G. Pignol, Phys. Rev. Lett. 107, 111301(2011).

Probing strongly coupled chameleons with slow neutrons. Phys. Rev. D. 88 083004 (2013) arXiv:1306.6536 [quant-ph].

Expérience DØ auprès du TeVatron

G. Sajot, H. Li, J. Stark
Collaboration DØ

DØ is one of the two experiments at the TeVatron collider at Fermilab (Chicago, USA). Data taking at DØ was completed in september 2011. One of the main goals of the DØ experiment is a precise measurement of the W boson mass. This measurement is a key ingredient for indirect constraints (from internal consistency of the standard model) on the mass of the Higgs boson. The Grenoble group is the leader of the W boson mass measurement in DØ. In 2012, DØ has published a new measurement of the W boson mass. This new result represents a major improvement in precision compared to previous measurements. And it has become available at just the right time: together with a comparable result published by the CDF experiment at the same time, it allows us to test if the new Higgs-like particle discovered at CERN in July 2012 does indeed have the mass that is expected for the Higgs boson of the standard model. The mass of the newly discovered boson is indeed found to be consistent with the standard model expectation for Higgs boson as derived from our measurement of the W boson mass.

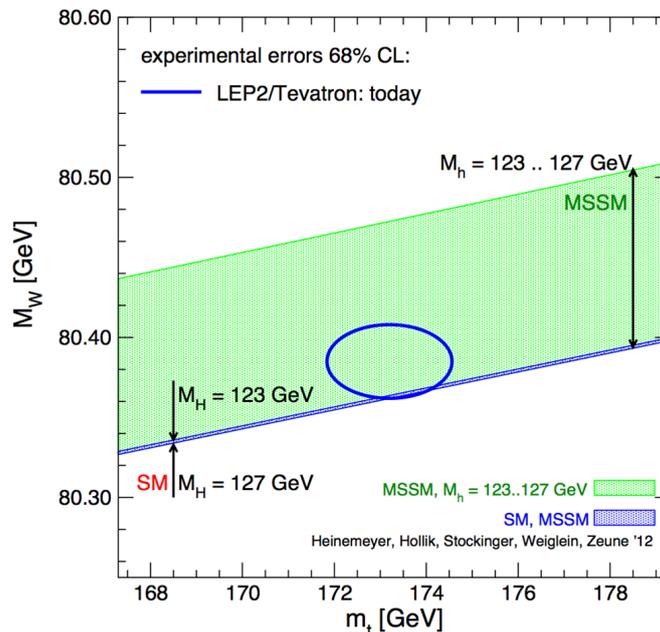
Les expériences CDF et DØ sont installées auprès du TeVatron, le collisionneur du Fermi National Accelerator Laboratory (FNAL) près de Chicago (États-Unis). Le TeVatron a été arrêté en septembre 2011. Le TeVatron produisait des collisions entre des faisceaux de protons et d'antiprotons à une énergie dans le centre de masse de 1,96 TeV. Jusqu'au démarrage du Large Hadron Collider (LHC) au CERN en 2010, le TeVatron a détenu le record mondial de la plus haute énergie dans le centre de masse. DØ est une collaboration d'environ 380 physiciens répartis dans 72 institutions et 18 nations. Le groupe du LPSC participe à DØ depuis mi-1998. Dans la période 2010-2013, avec la migration naturelle des physiciens du TeVatron vers le LHC, l'activité DØ du LPSC a été significativement réduite. L'ensemble de nos efforts est désormais centré sur une seule analyse des données de DØ : la mesure précise de la masse du boson W.

Mesure de la masse du boson W

Dans le cadre du Modèle Standard de la physique des particules, la masse du boson W reçoit des corrections radiatives via des diagrammes avec des quarks top ou des bosons de Higgs virtuels. De par ces corrections radiatives, les masses du boson W, du quark top et du boson de Higgs sont liées. Une mesure des masses du quark top et du boson W permet donc de prédire la masse du boson de Higgs du Modèle Standard. Cette prédiction peut ensuite être comparée à la mesure directe de la masse de la nouvelle particule qui a été découverte, en 2012, par les expériences ATLAS et CMS auprès du collisionneur LHC au CERN pour vérifier si cette nouvelle particule a bien la masse qui est attendue pour le boson de Higgs du Modèle Standard.

Les contraintes indirectes sur la masse du boson de Higgs discutées ci-dessus nécessitent une connaissance très précise de la masse du boson W. Pour arriver à une telle précision expérimentale, les performances du détecteur doivent être excellentes, et elles doivent être très précisément quantifiées. Pour la mesure de DØ, ceci concerne en particulier les performances du calorimètre, car la mesure de la masse du boson W repose sur les mesures calorimétriques des produits de désintégration des bosons W. Les membres du groupe DØ du LPSC travaillent

depuis 2003 sur l'amélioration et la quantification des performances du calorimètre, ainsi que sur la mesure de la masse du boson W. Une première mesure, basée sur 10% des données, a été publiée en 2009. Une nouvelle mesure publiée en 2012 a apporté une amélioration significative en termes de précision : DØ a en effet mesuré la masse du boson W avec une précision de 0,3 pour mille. Ce résultat est le fruit de dix ans de travail d'une équipe de dix personnes environ qui a été dirigée par les physiciens du LPSC. Avec une mesure publiée en même temps par l'expérience CDF, elle permet d'obtenir des contraintes indirectes fortes sur la masse du boson de Higgs. Ces nouvelles contraintes sont arrivées juste au bon moment, c'est-à-dire quelques mois avant la découverte au LHC de la nouvelle particule qui pourrait être le boson de Higgs. En effet, l'une des questions principales de la physique des particules est maintenant de savoir si cette nouvelle particule présente l'ensemble des propriétés qui sont attendues pour le boson de Higgs. La mesure de la masse du boson W de DØ permet d'apporter une pièce du puzzle, par la vérification de la valeur de la masse de la nouvelle particule : la comparaison des contraintes indirectes et directes sur la masse du boson de Higgs est discutée sur la figure 1 qui montre que la masse de la nouvelle particule est compatible avec la masse attendue pour le boson de Higgs du Modèle Standard. Pour cette raison, notre nouvelle mesure de la masse du boson W était très attendue par les physiciens des particules, et elle a reçu beaucoup d'attention depuis sa publication (les figures 2 et 3 en montrent deux exemples).



La figure 1 ci-dessus montre la comparaison entre les contraintes directes et indirectes sur la masse du boson de Higgs. Représentées dans le plan [masse du quark top, masse du boson W], les iso-masses du boson de Higgs (lignes bleues et verte en biais), ainsi que les mesures actuelles de la masse du quark top et celle du boson W (ellipse bleue). Dans le cadre du Modèle Standard, la nouvelle particule découverte par ATLAS et CMS se situe dans la zone bleue qui est définie par les deux lignes bleues en biais. La zone verte correspond à la zone permise dans le cadre du modèle supersymétrique minimal. Le recouvrement entre l'ellipse bleue et la zone bleue montre que la masse de la nouvelle particule est compatible avec la masse attendue pour le boson de Higgs du Modèle Standard.

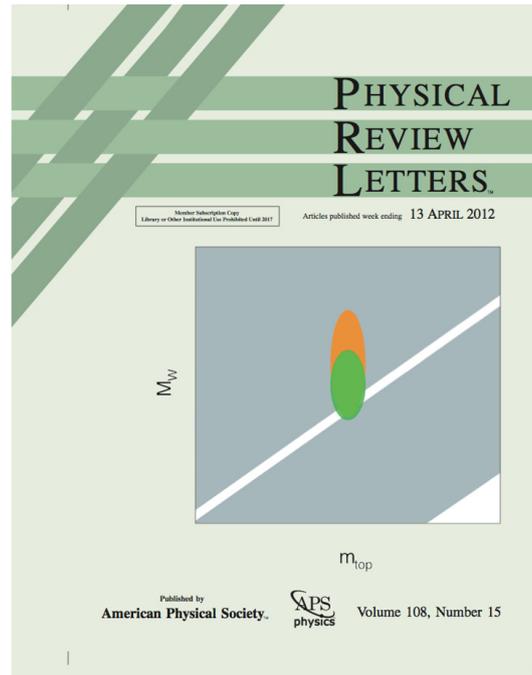


Fig. 2: Couverture de l'édition de la revue *Physical Review Letters* dans laquelle sont publiées les dernières mesures de la masse du boson W par les collaborations CDF et $D\emptyset$.



Fig. 3: Retransmission à la conférence ICHEP 2012 du séminaire au CERN lors duquel les collaborations ATLAS et CMS ont annoncé la découverte d'une nouvelle particule compatible avec le boson de Higgs. Les contraintes indirectes sur la masse du boson de Higgs obtenues via la mesure précise du boson W sont discutées sur le transparent qui est visible sur la partie gauche de la photo.

Pour en savoir plus

“Measurement of the W boson mass at the TeVatron”, A. Kotwal et J. Stark, *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science* 58 (2008).

“Measurement of the W boson mass with the $D\emptyset$ detector”, Collaboration $D\emptyset$ (V.M. Abazov et al.), *Physical Review Letters* 108, 151804 (2012).

“Measurement of the W boson mass with the $D\emptyset$ detector”, Collaboration $D\emptyset$ (V.M. Abazov et al.), envoyé pour publication à *Physical Review D*, <http://arxiv.org/abs/1310.8628> (2013).

Expérience ATLAS auprès du LHC

F. Ledroit-Guillon, J. Brown, Q. Buat, B. Clément, J. Collot, S. Crépe-Renaudin, B. Dechenaux, T. Delemontex, P.-A. Delsart, C. Gabaldon-Ruiz, M.-H. Genest, J.-Y. Hostachy, E. Laisné, B.-T. Le, A. Lleres, A. Lucotte, F. Malek, C. Monini, G. Sajot, J. Stark, X. Sun, B. Trocmé, M. Wu S. Albrand, C. Biscarat, C. Gondrand, J. Fulachier, F. Lambert, J. Odier, Service Informatique D. Grondin, Y. Carcagno, J.-C. Malacour, D. Marchand, J. Menu, Service Études et Réalisations Mécaniques J. Bouvier, D. Dzahini, L. Eraud, L. Gallin-Martel, F. Rarbi, Service Électronique Collaboration ATLAS

ATLAS is one of the four main experiments at the Large Hadron Collider (LHC) located at CERN. Its physics purpose is the study of the elementary constituents of matter and their interactions. After a long period of development, building and commissioning, data taking has started at the end of November 2009, and the first physics analyses have been carried out on the data registered in 2010-2011 at a centre of mass energy of 7 TeV. The energy was then increased to 8 TeV in 2012 while the integrated luminosity reached 20 fb^{-1} , to be compared to the 5 fb^{-1} recorded at 7 TeV. The LPSC physicists have analysed these data in two main directions: top quark physics and search for new particles beyond the standard model. The LHC being shutdown in 2013, they have started to prepare the future running at 13-14 TeV at very high luminosities.

L'expérience ATLAS est l'une des quatre principales expériences de physique des particules auprès du grand collisionneur de protons et d'ions du CERN : le LHC. Situé à la frontière franco-suisse, le LHC a été conçu pour produire à terme des collisions entre protons à une énergie dans le centre de masse jamais atteinte de 14 TeV. Les premières collisions pour les études de physique ont eu lieu à partir de mars 2010 à une énergie dans le centre de masse de 7 TeV. Les prises de données se sont ensuite poursuivies à cette énergie jusqu'en 2012, année pendant laquelle les données ont été enregistrées à une énergie de 8 TeV, avant un long arrêt du collisionneur en 2013-2014 afin de préparer la montée en énergie à l'énergie nominale de 14 TeV.

Les objectifs scientifiques de l'expérience sont la mise en évidence et l'étude des constituants élémentaires de la matière et de leurs interactions. Le Modèle Standard de la physique des particules décrit notre compréhension actuelle de ces éléments. Le premier objectif a été atteint dès juillet 2012 lorsque les collaborations ATLAS et CMS ont annoncé simultanément la découverte d'un boson de Higgs à une masse d'environ 125 GeV. Ce dernier, associé au processus qui permet aux particules d'acquérir une masse, était la dernière particule du Modèle Standard non encore observée. Le Modèle Standard est donc confirmé une fois de plus aux échelles d'énergie accessibles aux expériences passées et en cours. Il laisse cependant un grand nombre de questions encore ouvertes, de « Pourquoi le boson de Higgs est-il si léger ? » à « Qu'est-ce que la matière sombre qui constitue un quart de l'univers ? ». Il est donc nécessaire de rechercher de la nouvelle physique, au-delà du Modèle Standard, pour répondre à ces interrogations.

Le groupe ATLAS du LPSC appartient à la collaboration ATLAS depuis qu'elle s'est formée. Il a initialement participé à la conception et à la construction d'une partie du calorimètre électromagnétique. Cette implication se poursuit par la certification de la qualité des données du calorimètre et par une activité dans les logiciels de reconstruction des jets. Le LPSC contribue également aux améliorations présentes et futures du détecteur dans deux domaines. Premièrement

nous contribuons au projet IBL, une couche supplémentaire de détecteurs à pixels dans le trajectomètre, qui est installée pendant l'arrêt long de 2013-2014. Deuxièmement, nous sommes engagés dans l'amélioration de l'électronique du calorimètre destinée à lui permettre de conserver ses performances lorsque la luminosité instantanée augmentera d'un facteur quatre à cinq, c'est-à-dire vers 2018, lors de la « phase I de l'upgrade » du LHC. Ces activités sont décrites dans les deux premières parties de ce chapitre.

Les activités des équipes du LPSC se poursuivent également dans le développement d'applications dédiées à la gestion des logiciels et des données d'ATLAS, et dans la gestion de la grille de calcul tant au niveau local (Tier-2) qu'au niveau national (LCG-France). Elles sont décrites dans la partie suivante de ce chapitre.

Finalement, le groupe du LPSC s'investit dans les analyses de physique proprement dites. Deux thématiques principales sont étudiées : la physique du quark top et la recherche de nouvelles particules (boson de Higgs chargé, excitations de Kaluza-Klein du graviton, bosons de jauge lourds, particules supersymétriques). Ce travail d'analyse est décrit dans les dernières parties de ce chapitre.

Détecteurs

Calorimétrie électromagnétique

Depuis 1991, le groupe ATLAS du LPSC contribue à la calorimétrie électromagnétique à argon liquide à travers une large palette d'activités. Après plus de 15 ans dévolus à la conception et la construction du détecteur, le groupe s'est réorienté vers la compréhension du détecteur et le processus de certification des données, puis depuis deux ans, dans des développements en vue de l'amélioration du détecteur prévue à l'horizon 2018.

À partir de 2006, un effort important a été mené dans la conception d'algorithmes de contrôle en ligne de différents paramètres : intégrité des données, performances de la chaîne de lecture... Cette implication a trouvé un prolongement dans la certification des données pour l'ensemble de la calorimétrie à argon liquide, dont la coordination a été confiée à un membre du groupe entre 2008 et 2013. Cette responsabilité recouvre principalement deux domaines d'activité connexes :

- La compréhension et le traitement des phénomènes pouvant affecter les performances du détecteur. En l'occurrence, il s'agissait principalement d'instabilité d'alimentations haute tension, de bouffées de bruit cohérent affectant une grande partie du calorimètre et de bruit intermittent affectant une cellule isolée du pré-échantillonneur.
- La mise en place d'une infrastructure informatique de contrôle qualité des données, incluant des actions automatiques permettant de corriger des données potentiellement dégradées. En raison du modèle de traitement des données d'ATLAS, ces actions doivent être proposées dans un intervalle de temps de 48 heures suivant leur acquisition. Si une action requise vient à faire défaut, les données affectées seront indisponibles pour analyse pendant plusieurs mois.

Une implication continue d'un petit groupe de personnes dévouées à ces deux aspects a permis une amélioration constante du taux de données considérées comme de bonne qualité, et ce en dépit de la progression spectaculaire de la

luminosité instantanée à l'origine de nombreux problèmes observés. Ainsi, en 2010, 91% des données étaient certifiées comme bonnes; en 2011, ce taux était de 97% avant de finalement atteindre en 2012 une valeur supérieure à 99%.

En 2018, la luminosité instantanée du LHC devrait atteindre la valeur de $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, soit le double de la valeur nominale. À ce moment, les performances de la chaîne de déclenchement de premier niveau vont se trouver limitées, affectant sensiblement le potentiel de physique de l'expérience. Pour pallier cela, il est prévu de remplacer la chaîne de déclenchement calorimétrique actuellement analogique par un nouveau système totalement digital et de granularité affinée. Ces améliorations ont pour but de préserver les capacités d'identification des électrons tout en permettant un meilleur rejet du bruit de fond hadronique. Pour cela, il est prévu de produire une nouvelle carte électronique de déclenchement comportant notamment un convertisseur analogique-numérique de haute performance : fréquence de 40 millions d'échantillons par seconde, gamme dynamique de 12 bits, faible latence ($< 200 \text{ ns}$), consommation électronique inférieure à 145 mW par canal et haute tenue aux radiations.

Avec une expertise éprouvée en matière de conception de convertisseur (notamment dans le cadre de la collaboration ILC), le service électronique du laboratoire a proposé de développer un circuit intégré de conception novatrice : il s'agit en l'occurrence d'un convertisseur de type SAR (Successive Approximation Register) présentant la particularité de générer localement l'horloge haute fréquence de 640 MHz nécessaire à la conversion. Cette innovation a notamment été rendue possible par l'utilisation de la technologie IBM CMOS8RF (130 nm). Un premier prototype a été produit au printemps 2013 validant le principe de cette génération interne d'horloge, les performances finales demeurant cependant limitées par la présence d'une source de bruit au sein de l'alimentation du circuit. Une nouvelle version de ce circuit a été conçue afin d'apporter une solution à ces problèmes, les dernières simulations laissant espérer des performances très prometteuses bien au-delà des spécifications. Cette nouvelle version de circuit devrait être testée début 2014 avant d'être passée en revue par la collaboration qui prendra sa décision quant au choix final du circuit dans le courant 2014. Enfin, il convient de souligner que ces efforts de conception nourrissent également la réflexion en vue de l'amélioration prévue en 2022, où l'intégralité des cartes de lecture du calorimètre devra être remplacée.

Projet IBL (Insertable B-Layer)

C'est en 2008 que la collaboration ATLAS a décidé d'ajouter à son détecteur de vertex à pixels actuel une quatrième couche active située à un rayon moyen de 34 mm à partir de l'axe du faisceau. Elle sera constituée d'environ 12 millions de pixels de silicium ($50 \times 250 \mu\text{m}^2$ par pixel) réalisés pour 2/3 de sa surface en technologie planaire et 1/3 en technologie 3D. Son extension axiale active est de 33 cm de part et d'autre du point de collision. Le coût global de ce projet est d'environ 10 M CHF si l'on inclut le nouveau tube à vide du faisceau.

Le détecteur à pixels est la clé de voûte de l'étiquetage des quarks b , que l'on retrouve dans tous les secteurs stratégiques de la physique du LHC : Higgs, supersymétrie, quark top, physique du B... Les raisons principales qui ont motivé l'ajout d'IBL sont diverses. En premier lieu, IBL renforcera la robustesse du détecteur à pixels, dont les performances pourraient être altérées si des dégradations ou des

pannes se produisaient en son sein durant les années à venir. IBL permettra également de faire face à la montée en luminosité du LHC durant sa phase 1. Dans sa version actuelle, le détecteur à pixels d'ATLAS est conçu pour fonctionner avec une luminosité de $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ alors que l'on pourrait dépasser le double de cette valeur après le long arrêt de 2018. Les études par simulation ont montré que l'ajout d'IBL permettra de gagner un facteur 2 à 2,5 sur le rejet des jets de quarks légers à efficacité d'étiquetage de quarks b constante. IBL permettra également de tester in situ la technologie de pixels 3D qui pourrait fonctionner jusqu'à une luminosité de $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ et ainsi être employée pour la construction d'un nouveau détecteur de pixels pour la phase à haute luminosité du LHC.

Le LPSC participe à ce projet depuis la fin de l'année 2009. Le service mécanique du laboratoire a conçu et réalisé les outillages qui seront utilisés pour insérer IBL directement dans le détecteur ATLAS (Fig. 1). Ces réalisations sont décrites plus longuement dans le chapitre consacré au service mécanique du laboratoire. Par ailleurs, le service électronique du LPSC coordonne la conception, la documentation et l'installation des services d'IBL ainsi que la production des câbles de type III et IV. Il intervient sur les différents points de connexion

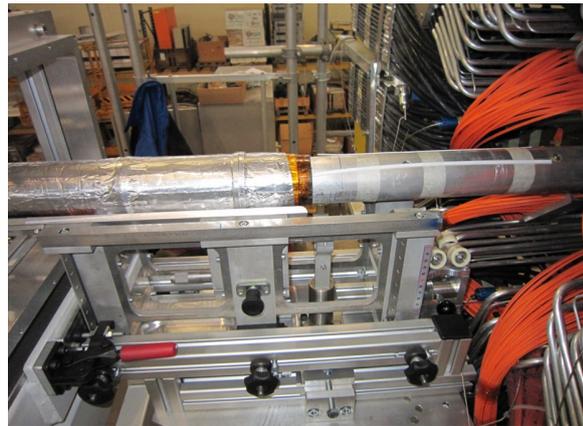


Fig. 1: Test des outillages d'insertion automatique d'IBL dans le détecteur ATLAS mené avec l'université de Genève dans le hall 180 du CERN.

d'IBL (Fig. 2). Le groupe de micro-électronique a conçu un comparateur à très faible consommation pour un convertisseur analogique-numérique SAR 10 bits

utilisé dans la partie de contrôle lent de l'ASIC de lecture FE-I4. Ce circuit est le plus gros ASIC jamais produit pour les besoins de la physique des particules dans le monde.



Fig. 2: Le point de connexion PP2 (Patch Panel 2).

IBL est actuellement en phase d'intégration et de test dans un local en surface au CERN (SR1). Son installation dans ATLAS est prévue à partir du printemps 2014. Le service mécanique pourrait participer à cette opération.

Calcul scientifique LHC et développements logiciels

Depuis le démarrage du LHC en 2010, les données accumulées par les expériences ont été stockées et traitées avec succès par la grille de calcul et de stockage du LHC, mise en œuvre par la collaboration W-LCG¹. La grille a su s'adapter à l'évolution des flux et des quantités de données à traiter mais aussi à l'évolution des technologies et des modèles de calcul des expériences. Ainsi, des centaines de péta-octets de données issus des détecteurs ou produits par

¹ WLCG (World wide LHC Computing Grid): <http://lcg.web.cern.ch/lcg/>.

simulation ont été stockés et traités et des milliers de chercheurs, quelle que soit leur situation géographique, ont eu accès à ces données pour les analyser. La réussite du traitement des données du Run 1, la première période de fonctionnement du LHC (2010-2013) qui a permis la publication de nombreux résultats parmi lesquels la découverte d'un boson de Higgs, démontre la solidité, la fiabilité et les très bonnes performances de la grille.

Le groupe ATLAS du LPSC est fortement impliqué à plusieurs niveaux dans cet aspect de nos recherches puisqu'il comprend le responsable scientifique W-LCG pour la France et une personne qui assure le suivi de la grille pour le nuage (Cloud) français² d'ATLAS et la responsabilité scientifique du nœud de grille du LPSC. De plus, plusieurs membres du groupe participent à l'élaboration des programmes de reconstruction d'ATLAS et des programmes d'analyse. Enfin d'autres ont contribué à la coordination ou à la gestion du traitement des données pour des groupes de physiques ou pour la collaboration dans son ensemble.

Le service informatique du LPSC contribue également activement à la collaboration ATLAS en développement et maintenant différents outils de base de données, AMI et TagCollector.

La grille de calcul LHC

La grille W-LCG est un ensemble de centres de calcul et de stockage appelés sites. Elle a été conçue selon un modèle hiérarchique en quatre niveaux: les « Tier » en anglais. Le Tier-0 ou T0 est le centre du CERN, les 11 Tier-1 (T1) sont de grands centres nationaux et les Tier-2 et 3 (T2 et T3) sont des sites d'importance très diverse. On compte plus de 200 sites répartis sur cinq continents. L'appartenance d'un site à un niveau donné fixe la nature et la qualité des services qu'il doit fournir. La quantité de ressources qu'un site propose aux expériences est à la discrétion des agences de financement.

Une composante essentielle de la grille est le réseau qui relie les sites entre eux. Ainsi, un réseau privé spécialement conçu pour le LHC et de haut débit (10 Gbit/s ou plus), LHCOPN (LHC Optical Private Network), connecte le T0 aux T1. Il assure le transit des données venant des expériences et des données de physique traitées à un taux de l'ordre de 2 Go/s. Les T2 sont connectés aux T1 par des réseaux de l'ordre du Gbit/s. Le modèle pyramidal et hiérarchique (T0, T1 et T2) des premières années a été remplacé par un modèle en maillage qui estompe peu à peu les différences entre les niveaux. Cette évolution s'appuie en particulier sur la fiabilité du réseau et l'amélioration des taux de transfert qui se poursuit actuellement par le développement d'un réseau privé entre les T2s à 10 Gbit/s appelé LHCONE.

Pour traiter l'ensemble des données enregistrées par les expériences du LHC, les besoins en capacité de calcul atteints en 2012 sont de plus de 1 million kHEP-SPEC06-heure/mois³ (plus de 2 millions de tâches par jour ou l'équivalent de 500 000 ordinateurs de bureau modernes) et plus de 200 Po de disque.

² Le nuage français pour ATLAS comprend l'ensemble des sites français, japonais, chinois et roumains qui proposent des ressources pour le traitement des données de l'expérience ATLAS.

³ Le HEP-SPEC06 est une unité de référence utilisée en physique des hautes énergies permettant d'évaluer la puissance de calcul d'un processeur indépendamment de ses caractéristiques techniques; pour donner une idée, une machine de 2010 avec 8 cœurs représente environ 100 HEP-SPEC06.

La France héberge au centre de calcul de l'IN2P3 (CC-IN2P3), situé à Villeurbanne dans la région lyonnaise, l'un des 11 T1 de W-LCG. Elle dispose également de T2s à Annecy, Clermont-Ferrand, Grenoble, Marseille, Nantes, Strasbourg et en Ile-de-France et d'un T3 à Lyon. La gestion de ces ressources, le fonctionnement, le financement et les relations avec W-LCG sont assurés par le projet LCG-France créé en 2004⁴ et dont la responsabilité scientifique est assurée par le LPSC.

La grille de calcul et l'expérience ATLAS

L'ensemble des données enregistrées par ATLAS pendant le Run 1 représente quelques 5 milliards de collisions réelles auxquelles il faut ajouter les collisions simulées (environ 4 milliards en 2012 à un rythme d'environ 50 millions par jour). Environ 800 utilisateurs différents ont utilisé la grille qui pour ATLAS correspond à 130 sites. L'ensemble a fonctionné avec un très bon niveau de performance et la grille a su s'adapter à des demandes et des conditions qui n'avaient pas toutes pu être anticipées : grands taux de déclenchement (le double de ce qui avait été initialement prévu) et d'événements d'empilement, une production Monte Carlo intense et une forte demande des utilisateurs pour l'analyse.

Depuis 2010, le nombre de tâches simultanées en exécution n'a cessé d'augmenter pour dépasser 140 000 tâches en 2012 (Fig. 3). La consommation en CPU en 2012 a été de 3000 milliards d'heures HEP-SPEC06 (ou 4 millions d'années de calcul sur une machine actuelle). L'analyse représente un peu plus de 50% des tâches et 22% du CPU total. Le tout a fonctionné avec un taux d'efficacité remarquable (90% de succès et d'efficacité CPU pour la production).

Fin 2012, les données toutes catégories confondues sur disque et sur bande représentent environ 130 Po (Fig. 4) et environ 400 millions de fichiers. Le taux d'accès aux fichiers est de l'ordre de 5 millions par jour et le taux de transfert du T0 vers les T1 est autour de 2 Go/s en moyenne sur une journée, le taux de transfert global entre tous les sites étant de 10 Go/s. Environ 20 Po de données transitaient par mois sur la grille fin 2012.

Un peu plus de 2% des tâches d'ATLAS ont été traitées sur le nuage français soit plus de 15000 tâches en continu. L'efficacité moyenne du nuage est similaire à celle de l'ensemble des sites. En ce qui concerne les données, le nuage français accueille environ 10% des données de l'expérience.

Ces très bonnes performances globales et au niveau du nuage français sont le fruit du travail de nombreuses personnes qui assurent le suivi de l'ensemble de la grille, son bon fonctionnement et son évolution. On notera en particulier l'importance du développement et de l'amélioration des outils de surveillance nécessaires à la compréhension du fonctionnement du système et à la mise en évidence et au diagnostic des problèmes et de leur fréquence. Ceci permet en effet d'améliorer la fiabilité de la grille en sortant au plus vite tout système défaillant de la production et en mettant en place des solutions efficaces (automatisées si possible).

Parmi les évolutions qui ont accompagné le fonctionnement de l'expérience, les plus importantes sont liées à la qualité du réseau qui a permis de faire tomber les frontières entre nuages. Ainsi les données peuvent transiter directement d'un T2 à un autre sans passer par deux T1 comme il était prévu à l'origine. Ceci permet

⁴ Le site Web du projet LCG-France : <http://lcg.in2p3.fr/>.

d'économiser du disque dans les T1, de diminuer les sources d'erreurs en éliminant les intermédiaires et de mieux répartir la charge des différents sites puisque des T2 peuvent dorénavant faire de la production pour les T1 en dehors de leur nuage. La distribution des logiciels d'ATLAS dans les sites a aussi été améliorée ainsi que l'accès aux bases de données qui a été élargi à l'ensemble des T2.

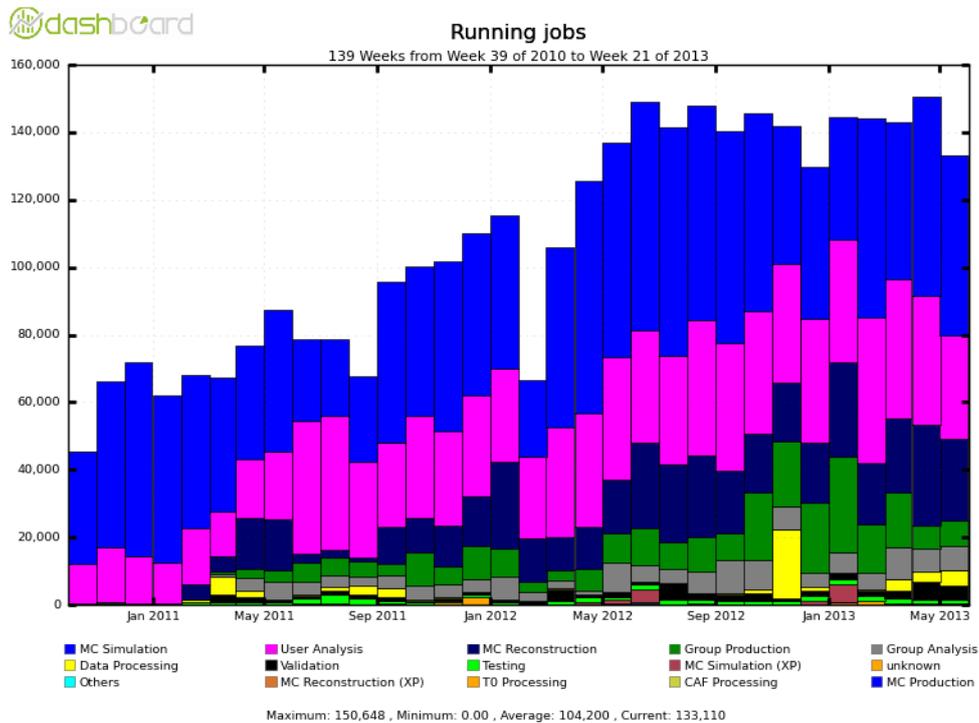


Fig. 3: Nombre de tâches simultanées exécutées sur l'ensemble des sites de la grille pour l'expérience ATLAS depuis octobre 2010.

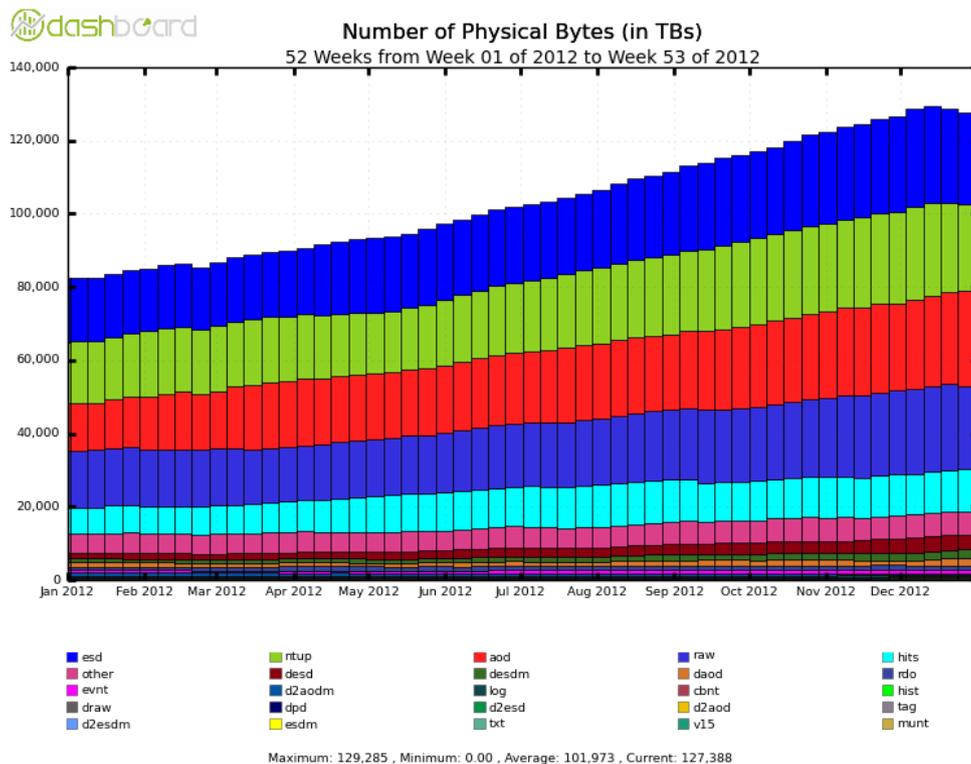


Fig. 4: Quantité de données enregistrées sur la grille pour l'expérience ATLAS en fonction du temps pour l'année 2012.

La participation du site de grille du LPSC

Le nœud de grille du LPSC est décrit dans la partie plateforme de ce document. Son activité a représenté en 2012 environ 1% de l'activité de l'ensemble des T2 et 10% de celle des T2 français hors CC-IN2P3 pour ATLAS. 600 tâches de cette expérience tournent en moyenne et en continu ce qui représente environ 1 500 000 tâches sur l'année soit 2 900 ans HEP-SPEC06. Environ 60% des tâches traitées sont des tâches d'analyse, les 40% restant se partagent pour moitié en tâches de production et de test. La répartition en terme de CPU utilisé est très différente: l'analyse représente 25% du CPU consommé, les tests 3% et la production 70%. Ces pourcentages sont similaires à ceux de la moyenne des T2 d'ATLAS sauf en ce qui concerne les tâches de reconstruction qui représentent 15% des tâches au LPSC et un peu moins en moyenne sur l'ensemble des sites car ces opérations exigeantes ne sont pas distribuées à tous les sites.

Côté stockage, environ 540 To sont disponibles et utilisés par l'expérience. Le LPSC, étant classé comme un site fiable, reçoit 2,6% des données d'ATLAS dont une grande fraction de données primaires (données dont on assure aux utilisateurs la présence sur la grille). Chaque mois 100 To (50 To) sont transférés vers (depuis) le LPSC.

Les performances du site sont très bonnes: sa disponibilité pour la production et l'analyse est de 95% sur l'année 2012 et le pourcentage des tâches de production correctement exécutées sur le site est supérieur à 90%. Les erreurs les plus fréquentes sont liées au système de gestion des tâches et à l'accès aux données.

AMI et TagCollector

Depuis plusieurs années une équipe du service informatique du LPSC développe deux applications essentielles pour ATLAS. Une partie conséquente du code est commune aux deux logiciels.

- AMI: ATLAS Metadata Interface est le point d'entrée pour les physiciens afin de consulter les données disponibles pour l'analyse. Cette application permet la recherche par métadonnées.
- Tag Collector: Gestion de packages et releases du logiciel hors-ligne d'ATLAS. L'enjeu principal est de gérer quelles versions de quels packages doivent être dans quelle release et d'imposer la politique de la coordination.

Ces deux dernières années ont vu l'addition de plusieurs nouvelles fonctions dans les deux applications. Signalons en particulier le « Dataset Browser », une recherche de données où le choix se fait progressivement par sélection des valeurs des paramètres disponibles. À tout moment le nombre de datasets, fichiers et événements dans la sélection est mis à jour.

Nous avons travaillé avec la coordination « Data Preparation » pour améliorer et étendre notre interface de définition des périodes de données, sur la base des « good run lists », et le regroupement de données dans des containers prêts pour l'analyse.

Une autre fonction, définie à l'origine pour vérification du « reprocessing », a été étendue pour permettre la coordination des groupes de physique de vérifier que le nombre d'événements dans leurs fichiers est correct.

Notre collaboration avec le groupe Monte Carlo a abouti à l'entrée dans AMI de nouveaux paramètres de métadonnées, enrichissant ainsi les possibilités de recherche des données simulées.

Quant à TagCollector, il a fallu suivre l'évolution de la gestion des « releases » dans ATLAS. Une métrique de « Software Quality » a été implémentée par le moyen d'un lien vers le traceur de bogues d'ATLAS. Plus récemment le code a été modifié pour pouvoir intégrer un nouveau type de release, dédié à l'analyse.

Il y a eu en outre une refonte de notre client python, pyAMI. Ce dernier est commun à nos deux applications. Nous avons bénéficié de la participation d'un utilisateur, qui a implémenté une couche très spécifiquement orientée vers la physique.

Plus de détails concernant les améliorations de technologie et d'infrastructure se trouvent dans le chapitre *Service Informatique* de ce rapport.

Pour en savoir plus

W-LCG Memorandum Of Understanding: protocole d'accord de collaboration WLCG, CERN-C-RRB-2005-01.

Le site Web du projet LCG-France : <http://lcg.in2p3.fr/>.

Sabine Crépe-Renaudin, *Habilitation à diriger des recherches, Université de Grenoble, 2013.*
<https://ami.in2p3.fr>.

Reconstruction, analyses et résultats de physique

Reconstruction des jets hadroniques

Un jet (ou gerbe) hadronique est le produit des phénomènes de fragmentation et d'hadronisation initiés par les émissions de partons. Ces gerbes sont abondamment produites dans les collisions de protons et concernent toutes les analyses dans ATLAS : comme caractéristiques d'un état final, bruits de fond ou objets d'étude en soi. Le groupe ATLAS du LPSC est fortement impliqué dans la reconstruction expérimentale de ces objets.

- Le groupe a contribué aux études portant sur la calibration des constituents des jets mesurés dans le calorimètre : les « clusters » topologiques. Il s'agit de pré-calibration visant à tenir compte des réponses différentes du calorimètre vis-à-vis des particules hadroniques ou électromagnétiques.
- Le LPSC a la responsabilité du sous-groupe en charge des logiciels dédiés à ces objets. Le travail technique a plusieurs volets : maintenance des logiciels, adaptation aux contraintes techniques (utilisation CPU, espace disque, environnement logiciel) et expérimentales (empilement) et validation. Un autre aspect de cette tâche consiste en l'implémentation de nouvelles techniques d'analyses en lien avec les jets hadroniques : celles-ci sont devenues cruciales pour étudier les objets de haute impulsion et réduire le bruit d'empilement. Il s'agit par exemple de calculs de sous-structure de jet ou d'utilisation combinée des traces du détecteur interne. La dernière part du travail est la coordination des efforts logiciels avec les nombreux autres analystes travaillant sur les jets.
- Enfin une activité plus récente consiste en la préparation de la prochaine phase du LHC : la collaboration va changer de modèle d'analyse. Ceci implique une réécriture et une réorganisation considérable des logiciels de jets qui s'étalera jusqu'à la reprise des collisions.

Physique du quark top

Depuis la découverte du quark top au TeVatron du Fermilab en 1995 par les collaborations DØ et CDF, un programme ambitieux a démarré au LHC visant à des mesures de précision des propriétés de production et de décroissance du quark top et

à la recherche de signes de nouvelle physique via l'observation de déviations par rapport aux prédictions du Modèle Standard. Dans les collisionneurs hadroniques, les quarks top sont principalement produits sous forme de paires par l'intermédiaire de l'interaction forte. Ils peuvent également, mais dans une proportion nettement moindre, être produits par interaction faible sous forme de quarks célibataires, cette production impliquant un vertex Wtb . Trois états finals se différenciant par la virtualité du boson W échangé contribuent à la production électrofaible de quark top : la voie t ($Q^2 < 0$), la voie s ($Q^2 > 0$) et la production associée du quark top avec un boson W (réel). Quel que soit son mode de production, le quark top décroît par interaction faible en un boson W et un quark de type down, lequel, d'après les valeurs prédites par le Modèle Standard pour les éléments de la matrice de mélange CKM, est de façon prédominante un quark- b . Le boson W peut quant à lui décroître par la suite soit leptoniquement soit hadroniquement. Les trois modes de production électrofaible, ainsi que la désintégration du quark top sont susceptibles d'être sensibles à des manifestations différentes de nouvelle physique : couplages Wtb anormaux, existence de nouveaux bosons vecteur (W') ou scalaire (H^+). En particulier, du fait de la masse élevée du quark top, un boson scalaire chargé pourrait se substituer au boson W dans les processus de production faible du quark top ainsi que dans sa désintégration, pour un boson scalaire léger.

C'est dans le cadre de l'étude de la production de quark top par interaction électrofaible que s'insèrent les activités du groupe du LPSC depuis presque dix ans avec, au cours des dernières années, la participation de trois chercheurs permanents, d'un post-doctorant et de quatre étudiants en thèse. Une cinquième thèse, en co-tutelle avec Uppsala se focalise sur la désintégration du top en Higgs chargé.

Recherche de production single top en voie t et polarisation du top

Pour la production électrofaible de quark top en voie t , une section efficace de $97,3 \pm 30,5$ pb, en accord avec la prédiction du Modèle Standard, a été obtenue avec l'analyse basée sur des arbres de décision et en utilisant $1,04$ fb⁻¹ de données enregistrées par le détecteur ATLAS à 7 TeV. La section efficace a été mesurée en utilisant une sélection sur la valeur d'un discriminant construit avec les arbres de décision stimulés afin de réduire significativement la contribution des événements de bruit de fond. La valeur de la force du couplage Wtb a ensuite été extraite de la section efficace et la valeur $|V_{tb}| = 1,23 \pm 0,20$ a été obtenue. Cette analyse effectuée par le groupe du LPSC a permis de valider les résultats obtenus en utilisant des réseaux de neurones. Ces résultats ont été publiés par la collaboration ATLAS, un des membres du groupe ayant été l'un des responsables de l'édition de cette publication.

Contrairement à la production par interaction forte, les quarks top produits par interaction électrofaible sont très fortement polarisés. La mesure des observables de polarisation W permettront en particulier d'avoir des contraintes supplémentaires pour la détermination des limites sur les couplages Wtb anormaux. Les différentes observables de polarisation sont extraites des distributions angulaires des produits de décroissance (lepton chargé ou jet étiqueté b -quark) reconstruites par rapport à des axes de spin choisis de façon appropriée pour le quark top et le boson W (Fig. 5). Un travail très important a été mené par le groupe pour le développement, la validation et la comparaison de différentes méthodes de dé-

convolution/convolution nécessaires afin de corriger les distributions angulaires mesurées à partir des objets détectés et reconstruits des effets de résolution et d'acceptance du détecteur et des sélections des événements. Des études ont également été effectuées en parallèle afin d'étudier à partir de simulations l'impact de couplages Wtb anormaux sur les différentes observables de polarisation. De premiers résultats expérimentaux ont également été obtenus, en particulier pour la mesure de la polarisation du quark top, à partir des données collectées par ATLAS à 7 TeV. Ces différentes études et mesures ont fait l'objet d'une thèse soutenue au laboratoire en octobre 2013. Une valeur de $0,90 \pm 0,24$ a été mesurée pour le degré de polarisation des quarks top produits en voie t . L'utilisation de deux analyseurs de spin, lepton chargé et b-jet, a également permis d'extraire le rapport de leurs pouvoirs d'analyse et la valeur $\alpha_b/\alpha_t = -0,31 \pm 0,24$ a été obtenue. Ces deux résultats sont en accord avec les prédictions du Modèle Standard.

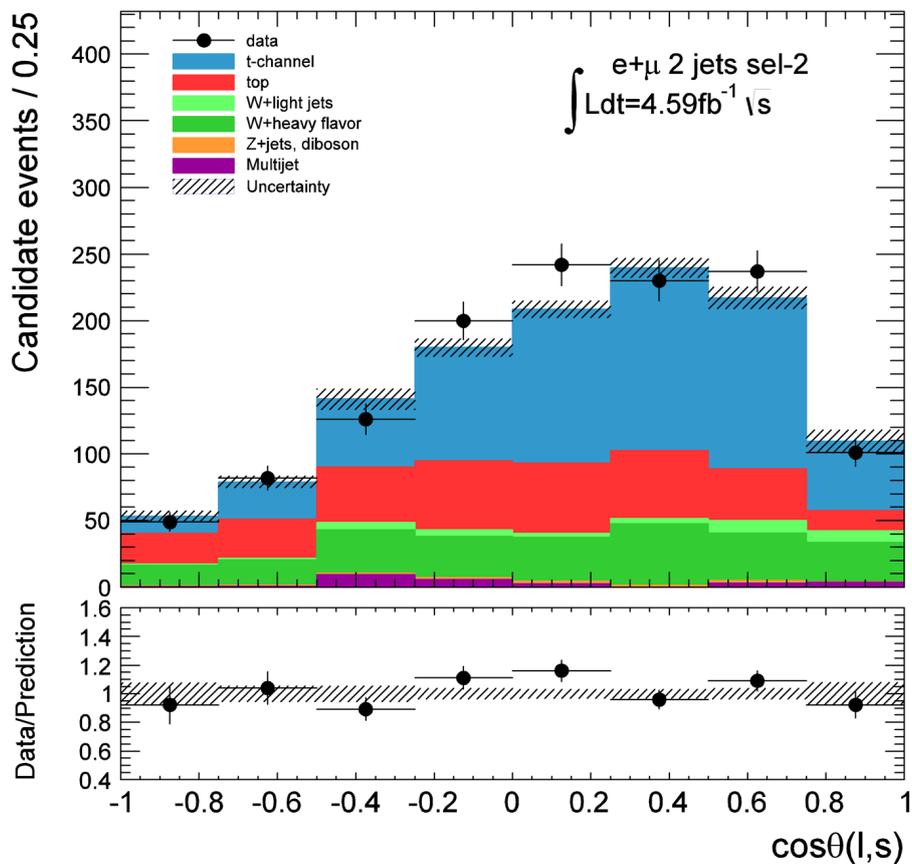


Fig. 5: Distribution angulaire du lepton chargé pour la mesure du degré de polarisation du quark top dans la production en voie t à 7 TeV.

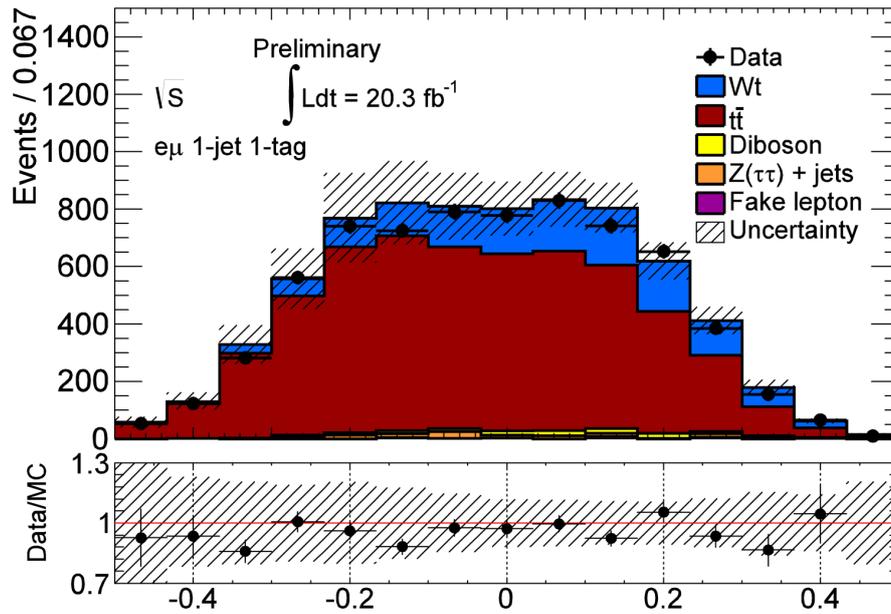


Fig. 6 : Distribution du classificateur des arbres de décision pour la mesure de la section efficace de production associée Wt à 8 TeV.

Pour en savoir plus

« Mesure de la section efficace de production de single top en voie- t en utilisant des arbres de décision avec ATLAS à $\sqrt{s}=7$ TeV », Jin Wang, Université de Grenoble, juin 2012.

The ATLAS collaboration, *Phys. Lett. B* 717 (2012) 330.

“Top polarization measurement in single top quark production with the ATLAS detector”, Xiaohu Sun, Université de Grenoble, octobre 2013.

Production associée d'un top et d'un boson W

Concernant la production associée de quark top (Wt), le travail d'analyse du groupe du LPSC a conduit à la publication de la première preuve de l'existence de ce mode de production, publication dont un des membres du groupe a été le responsable d'édition. Cette analyse est basée sur la sélection des états finals à deux leptons chargés couplée à un ajustement des distributions du classificateur des arbres de décision afin d'extraire la section efficace. En utilisant $2,05 \text{ fb}^{-1}$ de données collectées à 7 TeV, une significativité de 3,3 fois la déviation standard a été observée et la section efficace de production correspondante est de $16,8 \pm 5,7 \text{ pb}$, valeur en bon accord avec la prédiction du Modèle Standard. À partir de ce résultat, l'élément de matrice CKM $|V_{tb}| = 1,03 \pm 0,19$ a été dérivé en supposant que la production Wt via les couplages $|V_{ts}|$ et $|V_{td}|$ est petite. Le groupe du LPSC a également contribué à la mesure de la section efficace de production associée à 8 TeV en analysant de façon similaire l'ensemble des données disponibles à cette énergie ($20,3 \text{ fb}^{-1}$ de luminosité intégrée), cette première analyse étant cependant restreinte au seul état final constitué d'un électron et d'un muon. Une section efficace de $27,2 \pm 5,8 \text{ pb}$ a été mesurée à partir de l'ajustement de la distribution du classificateur des arbres de décision (Fig. 6). Cette valeur correspond à une significativité de 4,2 fois la déviation standard et une limite inférieure de 0,72 à un niveau de confiance de 95% a été dérivée pour l'élément de matrice $|V_{tb}|$. Ces résultats sont en bon accord avec ceux obtenus à 7 TeV et avec les prédictions du Modèle Standard.

Pour en savoir plus

« Mesure de la section efficace de production électrofaible de quark top dans le mode associé $W+t$ dans le canal di-lepton auprès de l'expérience ATLAS au LHC », Thomas Délémontex, Université de Grenoble, octobre 2012.

The ATLAS collaboration, *Phys. Lett. B* 717 (2012) 330.

The ATLAS collaboration, ATLAS-CONF-2013-100.

Recherche de production single top en voie s

Des résultats préliminaires sur la recherche de la production de quark top célibataire en voie s ont également été fournis par le groupe. Une limite supérieure à un niveau de confiance de 95% de 20,7 pb a été obtenue pour la section efficace de production à 7 TeV ; cette limite est en accord avec la section efficace calculée dans le cadre du Modèle Standard ($4,63 \pm 0,20$ pb). Cette première mesure est basée sur l'analyse des événements contenant un lepton chargé, de l'énergie transverse manquante et deux jets étiquetés comme venant d'un quark-b. Pour cette mesure, deux types de classificateurs d'arbres de décision ont été utilisés afin d'optimiser la discrimination du signal par rapport aux bruits de fond principaux et de minimiser l'impact des incertitudes systématiques dominantes.

Recherche d'un boson de Higgs chargé léger

Après la découverte d'un boson de Higgs neutre et léger, la question de l'existence d'autres particules scalaires fondamentales mais de masse plus élevée pouvant être neutres ou chargées se pose. Nombre d'extensions du Modèle Standard, telle la supersymétrie, font apparaître un nouveau doublet de champs de Higgs, qui se manifestent par l'ajout de 4 nouveaux bosons de Higgs dont deux sont neutres et deux autres chargés.

S'il possède une masse inférieure à celle du quark top, un boson de Higgs chargé peut être produit dans la décroissance d'une paire top-antitop selon le canal : $t \rightarrow bH^+$. La décroissance leptonique la plus probable du boson de Higgs chargé est alors en une paire constituée d'un lepton tau et de son neutrino associé. Ceci conduit aux états finals observés suivants : $t \rightarrow bH^+ \rightarrow b\tau^+ \nu_\tau \rightarrow b l^+ \nu_l \nu_\tau \nu_\tau$. Puisque le rapport de branchement leptonique d'un Higgs chargé ($H^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau \rightarrow l^+ \nu_l \nu_\tau \nu_\tau$, 35%) est légèrement supérieur à celui d'un boson W ($W^+ \rightarrow l^+ \nu_l (\nu_\tau \nu_\tau)$, 25%), la présence d'un boson de Higgs chargé léger devrait produire un petit excès d'événements à un ou deux leptons dans les désintégrations de paires de quark top, comparativement aux prédictions du Modèle Standard.

Une analyse en variables discriminantes a été réalisée pour distinguer, dans ce type d'événements, les leptons provenant de la décroissance de taus de ceux, cinématiquement plus durs, produits directement par la désintégration de bosons W. La production d'un boson de Higgs chargé conduirait à l'observation d'une petite baisse d'événements leptoniques du fait que les leptons provenant de la décroissance de taus sont plus mous.

En raison de sa sensibilité limitée, l'analyse précédente a été abandonnée au profit d'une méthode mettant en jeu la violation de l'universalité leptonique dans la décroissance de paires top-antitop en présence de bosons de Higgs chargés. En effet si des bosons de Higgs chargés sont produits dans la désintégration de quarks top, et sachant que ceux-ci décroissent de façon prédominante en paires tau-neutrino, violant ainsi l'universalité leptonique (équiprobabilité de

décroissance dans les trois types de leptons), les rapports de nombres d'événements $N(e+\tau)/N(e+\mu)$ et $N(\mu+\tau)/N(e+\mu)$ devraient être supérieurs aux prédictions du Modèle Standard. Dans tous ces événements les taux sont identifiés par leur décroissance hadronique. Cette technique qui fait appel à un rapport de mesures permet de réduire notablement les erreurs systématiques communes, mais elle repose sur une puissante identification des décroissances hadroniques des leptons taus. Nous nous sommes concentrés sur la mesure des décroissances hadroniques de taus et plus particulièrement sur leur reconnaissance dans un environnement de jets produits dans la désintégration de quarks top. Cette analyse a été conduite sur les $4,6 \text{ fb}^{-1}$ de donnée à 7 TeV. Cette activité a donné lieu à deux articles. En supposant que le rapport de branchement $H^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ est de 100%, une limite supérieure de 3,2%-4,4% peut être placée sur le rapport de branchement $t \rightarrow bH^+$ dans un domaine de masse du boson de Higgs chargé allant de 90 à 140 GeV. Cette étude se poursuit avec l'analyse des données de collision accumulées en 2012.

Dans la seconde moitié de 2012, nous nous sommes également attelés à la préparation de la recherche d'un boson de Higgs lourd dont la production est analogue au processus Wt , avec un état final composé d'une paire de quarks t et b . Cette analyse sera un objectif important du LHC à partir de 2015. Ce canal est difficile à mesurer, du fait de la présence d'un bruit important dû aux paires top-antitop qui sont très difficiles à discerner du signal. Nous nous sommes concentrés sur des méthodes de reconstruction d'événements qui font appel à des arbres de décision stimulés ou des fonctions de vraisemblance. Cette étude est toujours en cours.

Pour en savoir plus

*The ATLAS collaboration, ATLAS-CONF-2011-151.
JHEP 1206 (2012) 039 et JHEP 03 (2013) 076.*

Recherche de production résonante de nouvelles particules

Le Modèle Standard semble désormais complet avec la découverte en 2012 d'une particule compatible avec le boson de Higgs. Pourtant, les motivations restent fortes pour chercher d'autres phénomènes non décrits dans cette théorie. En particulier, de nombreuses extensions du Modèle Standard prédisent l'existence de nouvelles particules pouvant être produites de manière résonante au LHC. Notre groupe participe à leur recherche à travers trois analyses correspondant à différents états finals: di-lepton, di-photon et top-antitop. Cette diversité nous permet d'une part d'exploiter l'expertise technique du groupe sur le calorimètre électromagnétique et les jets hadroniques. D'autre part, en cas de découverte, seule la combinaison de plusieurs canaux d'analyse permettrait de discriminer les modèles physiques sous-jacents et le groupe serait ainsi en bonne position pour comprendre les implications de ces découvertes.

Recherche de résonances lourdes dans le canal di-lepton

Dans le précédent rapport d'activité, nous avons décrit les résultats obtenus avec les données enregistrées en 2010, à savoir l'exclusion d'un Z' du Modèle Standard Séquentiel plus léger que 1,64 TeV. L'analyse des données enregistrées en 2011 a été effectuée durant l'année 2012. L'augmentation d'un facteur 5 de la luminosité intégrée (de 1 fb^{-1} à 5 fb^{-1}) permettant seulement une amélioration

quantitative des résultats, nous avons amélioré la qualité scientifique de la publication (dont nous avons eu la responsabilité de l'édition) en élargissant considérablement le nombre de modèles de nouvelle physique testés. En complément du Z' (exclu pour une masse inférieure à 2,22 TeV), qui a fait l'objet d'une thèse soutenue dans le groupe en octobre 2012, une excitation de Kaluza-Klein du graviton plus légère que 2,16 TeV a été exclue pour un couplage $k/M_{\text{Pl}} = 0,1$. Ont également été exclus un Z^* de moins de 2,20 TeV et un boson de torsion en dessous de 2,29 TeV. Nous avons aussi donné une interprétation de nos résultats dans deux modèles de technicouleur différents : le LSTC (Low Scale Technicolor) et le MWT (Minimal Walking Technicolor). Par ailleurs, nous avons effectué deux analyses dans lesquelles l'interférence entre la production de la résonance et la production de Z standard (le Drell-Yan) est prise en compte. Tout d'abord nous avons interprété les données en termes d'excitation de Kaluza-Klein du Z/γ dans un modèle à une dimension supplémentaire de taille environ 1 TeV^{-1} ; nous avons également utilisé un paramétrage assez général des modèles de Z' pour mettre des limites sur le couplage du Z' aux fermions en fonction de sa masse et d'un angle de mélange θ .

Pour en savoir plus

Search for high-mass resonances decaying to di-lepton final states in pp collisions at $\sqrt{s}=7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector, ATLAS Collaboration, JHEP 1211 (2012) 138.

Étude des événements di-photon de haute masse invariante

Le canal di-photon représente une signature expérimentale relativement claire dans laquelle la recherche de nouvelles particules est prometteuse. La comparaison des données aux prédictions du Modèle Standard permet de tester des extensions de ce modèle prévoyant la présence de résonances étroites mais aussi de déviation non résonante à très haute masse. L'étude du canal di-photon permet de chercher le graviton dans le cadre de modèles prévoyant l'existence de dimensions supplémentaires tels que les modèles Randall, Sundrum (RS) et Arkani-Hamed, Dimopoulos, Dvali (ADD).

L'étude du lot complet des données enregistrées en 2011 a permis d'imposer des contraintes importantes sur les paramètres de ces deux modèles. À titre d'exemple, il a été montré que le premier graviton de Kaluza-Klein du modèle RS doit être plus massif que 2,23 TeV, améliorant d'environ 1 TeV la contrainte des expériences du TeVatron, l'accélérateur le plus puissant au monde avant le démarrage du LHC. Les résultats obtenus ont fait l'objet de plusieurs publications de la part de la collaboration ATLAS et ont également été mis en valeur dans le numéro d'octobre 2012 du *Courrier du CERN*. Le dernier résultat publié par la collaboration ATLAS est illustré sur la figure 10. Le LPSC a joué un rôle majeur dans l'obtention de ce résultat. En particulier, des membres du laboratoire ont effectué les tâches de coordination du groupe d'analyse et de documentation de l'analyse. Cette recherche a également fait l'objet d'une thèse de doctorat au laboratoire soutenue en juillet 2013.

Un des aspects les plus importants de l'analyse est l'estimation de la production d'événements di-photon par interaction forte. Une bonne connaissance de cette production est cruciale pour interpréter la possible présence dans les données de nouveaux phénomènes apportant une contribution supplémentaire. L'estimation de cette production nécessite l'utilisation d'outils de simulation tels que le généra-

teur DIPHOX. Ces outils fournissent une prédiction au second ordre de la théorie des perturbations de la production des événements di-photon. Cependant leur utilisation requiert une puissance de calcul importante. Un effort conséquent a été effectué au laboratoire pour utiliser les ressources du mésocentre grenoblois CIMENT afin d'effectuer ces calculs.

Les résultats obtenus par la collaboration ATLAS reposent sur l'étude des données récoltées en 2011. L'augmentation de l'énergie des collisions proton-proton en 2012 permet d'atteindre des valeurs de masse invariante encore plus élevées. Le LPSC poursuit donc son effort sur l'analyse des données récoltées en 2012.

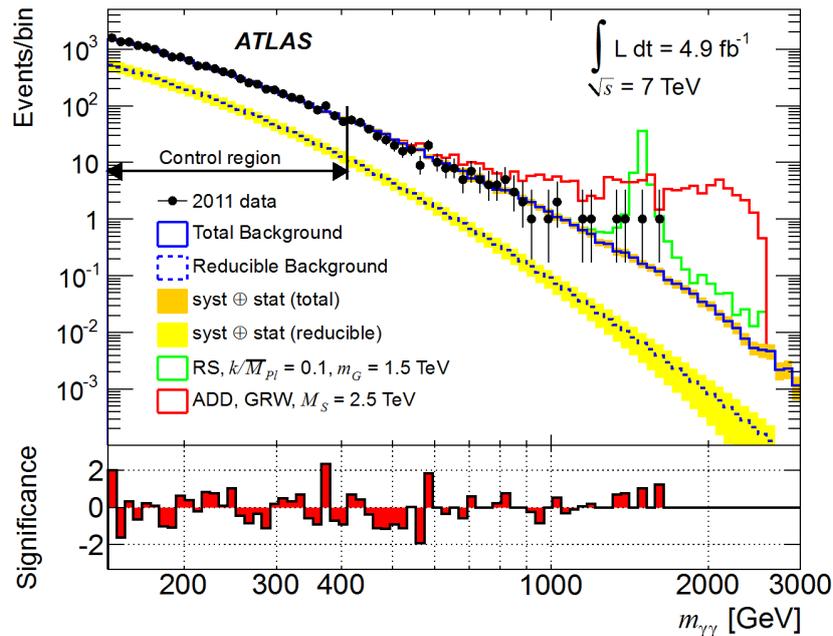


Fig. 7 : (Haut) Distribution de la masse invariante di-photon, comparée avec la somme des bruits de fond prédits par le Modèle Standard. Des exemples de signaux RS et ADD sont superposés à la prédiction du Modèle Standard. (Bas) Signification statistique par intervalle de masse invariante di-photon.

Pour en savoir plus

New Journal of Physics 15 (2013) 043007.

« Recherche de nouveaux phénomènes dans les événements di-photon avec le détecteur ATLAS », Thèse de Quentin Buat, Université de Grenoble, juillet 2013.

C. Biscarat et al., article préparé pour les « Journées Scientifiques mésocentres et France Grilles 2012 », Paris - France (2012), hal-00766069.

Recherche de résonances lourdes dans le canal top-antitop

Le physique du quark top est un domaine privilégié pour la recherche de nouvelle physique : masse élevée du quark, proche de l'échelle de brisure électrofaible, et contraintes expérimentales moindres sur ses caractéristiques. Plusieurs extensions du Modèle Standard prédisent ainsi l'existence d'une résonance top-anti-top. Le LPSC participe à l'analyse des données d'ATLAS portant sur ce canal. L'analyse utilise deux modèles de référence : un modèle de technicouleur où la résonance est celle d'un boson Z' du groupe de jauge étendu et un modèle avec dimension supplémentaire de type Randall-Sundrum dans lequel la résonance est un gluon de Kaluza-Klein. Ces deux modèles servent de référence à deux situations typiques : une résonance étroite (environ 3% de la masse) ou une résonance large (environ 15% de la masse).

L'analyse porte sur le sous-canal « semi-leptonique » où un W issu d'un top se désintègre en muon ou en électron et l'autre W se désintègre en quarks. Notre groupe s'est concentré sur l'analyse dans le régime dit « boosté » dans lequel une résonance de haute masse (> 1 TeV) produit des quarks top à haute impulsion transverse. De ce fait, les produits de désintégration des quarks top sont fortement collimatés : les trois jets issus du top hadronique sont fusionnés en un seul gros jet. La première de nos tâches fut de mettre en place l'infrastructure logicielle de l'analyse et d'implémenter la sélection des données. Cette sélection consiste à exiger pour chaque événement la présence d'un unique lepton identifié, des valeurs minimales d'énergie transverse manquante et de masse transverse, l'identification d'au moins un jet issu d'un quark b. Enfin dans le cadre du régime boosté on demande la présence d'un jet de grand rayon correspondant au top hadronique. Ce jet doit avoir une grande impulsion transverse (> 300 GeV) et une grande masse (> 100 GeV). Le groupe a travaillé en particulier sur l'utilisation de la sous-structure du gros jet (Fig. 8) pour améliorer le rejet du bruit de fond (multijet, W+jets).

Enfin, un critère essentiel pour rejeter les bruits de fond QCD produisant un tel jet est d'imposer une coupure sur une variable caractérisant la sous-structure du jet.

Les bruits de fonds principaux au signal recherché sont le processus de production top-antitop du Modèle Standard (bruit irréductible) et les processus W+jets (où les jets additionnels sont reconstruits comme un gros jet et un jet de b). Les distributions de ces bruits de fond sont obtenues par des simulations et leur normalisation par des calculs NNLO dans le premier cas et à partir des données elles-mêmes dans le second.

L'observable finale est la masse invariante du système top-antitop : la présence d'un excès dans sa distribution est recherchée grâce à des outils statistiques spécifiques.

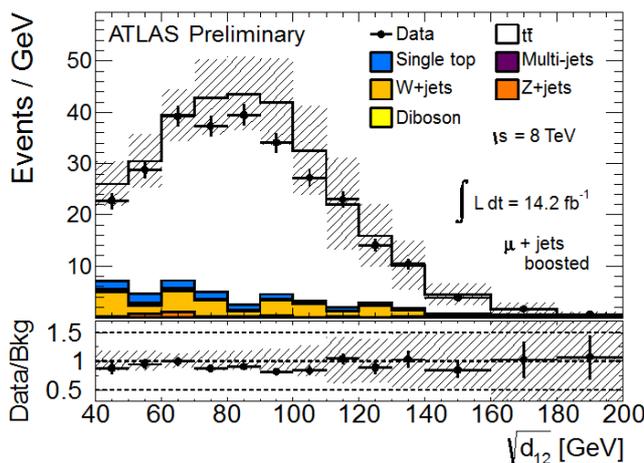


Fig. 8 : Exemple de variable de sous-structure de jet utilisée pour identifier les jets de top, pour les données et les simulations.

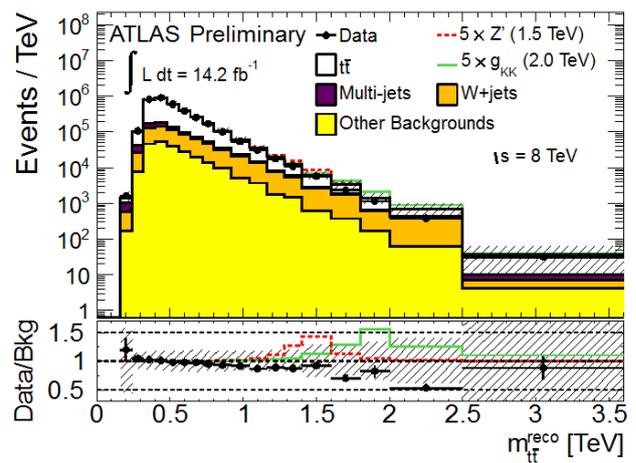


Fig. 9 : Masse invariante du système top-antitop, pour les données et les simulations.

Cette analyse a été menée d'abord avec les données de 2011 (7 TeV, luminosité de $4,7 \text{ fb}^{-1}$) et a été publiée. Elle a ensuite été répétée avec les données de 2012 (8 TeV, luminosité de $14,2 \text{ fb}^{-1}$) et a été rendu publique (une publication doit être soumise prochainement). Dans les deux cas, aucun excès n'a été observé.

comme illustré sur la figure 10. Des limites ont donc été imposées sur les modèles de référence : le modèle de technicouleur est exclu pour des masses inférieure 1,8 TeV et celui à dimensions supplémentaires pour des masses inférieure 2 TeV. Ceci est illustré sur la figure 9.

Cette analyse a fait l'objet d'une thèse soutenue en octobre 2013 qui a permis d'approfondir l'étude de la sous-structure des jets. En examinant plusieurs variables, elle a montré que l'on peut remplacer judicieusement trois coupures de l'analyse actuelle par une seule variable. On gagne ainsi sur l'incertitude systématique tout en maintenant l'efficacité de rejet, améliorant donc la sensibilité de l'analyse. Ces développements originaux sont prometteurs pour les prochaines phases de prise de données du LHC car les objets boostés y seront encore plus fréquemment produits.

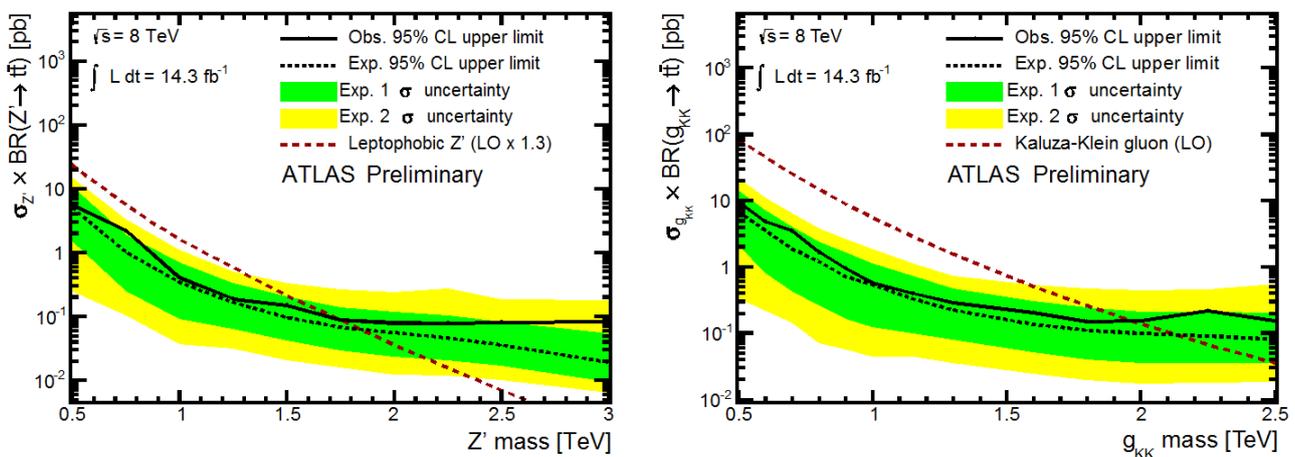


Fig. 10 : Limites observées et attendues sur la section efficace de production top-anti-top en fonction de la masse de la résonance pour deux modèles (grande unification à gauche, dimensions supplémentaires à droite).

Pour en savoir plus

A search for $t\bar{t}$ resonances in lepton plus jets events with ATLAS using 14/fb of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV (ATLAS-CONF-2013-052).

A search for $t\bar{t}$ resonances in the lepton plus jets final state with ATLAS using 4,7 fb⁻¹ of pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV (PRD 88, 012004 (2013)).

Recherche de la supersymétrie et de la matière noire

Une théorie intéressante de physique au-delà du Modèle Standard des particules est la supersymétrie, une symétrie liant les bosons aux fermions. Cette théorie prédit de nouvelles particules, les sparticules, qui pourraient être produites au LHC et dont certaines pourraient permettre de résoudre le problème de la matière noire de l'univers. La production et la désintégration de ces particules au LHC peut mener à diverses signatures dans le détecteur; le groupe du LPSC se concentre sur deux types de recherche.

Le premier type de recherche concerne la production de squarks et/ou de gluinos (les partenaires supersymétriques des quarks et gluons) avec émission de lepton(s) dans la chaîne de désintégration. Cette analyse sélectionne les événements comprenant un ou des leptons, des jets et une grande énergie transverse manquante (MET). La présence d'au moins un lepton permet d'utiliser un critère de déclenchement différent et des coupures moins strictes sur les jets par rapport aux analyses sans lepton, ce qui permet de sonder un espace des para-

mètres différent et d'avoir un bruit de fond QCD réduit par rapport aux analyses jets + MET. L'analyse combine de nombreuses régions de signal différant par le nombre de jets et/ou de leptons requis, par les coupures sur la MET, sur l'impulsion des jets ou des leptons, etc. Cette combinaison permet d'explorer un vaste espace de paramètres (production de squarks ou de gluinos, différentes masses des squarks et des gluinos, spectres de sparticules plus ou moins comprimés...).

Le deuxième type de recherche s'intéresse à la production de particules de matière noire au LHC. Afin de détecter ces particules qui n'interagissent que faiblement, l'analyse s'appuie sur la présence d'un photon énergétique qui serait émis par les quarks impliqués dans les collisions produisant ces particules. Le signal recherché est donc de type monophoton, c'est-à-dire des événements pour lesquels on ne trouve qu'un photon énergétique accompagné d'une grande MET. Cette analyse peut aussi être utilisée pour rechercher d'autres modèles de physique au-delà du Modèle Standard. En supersymétrie, elle permet par exemple de rechercher la production de squarks si le spectre en masse des sparticules est très comprimé, c'est-à-dire si la différence de masse entre le squark et la sparticule la plus légère dans laquelle il se désintègre est très faible. Ce scénario n'est pas contraint par les analyses de type (lepton) + jets + MET car les produits de désintégration sont trop peu énergétiques pour être identifiés. Les résultats peuvent aussi être interprétés dans le cadre d'une théorie stipulant la présence de dimensions supplémentaires : les particules non-détectées pourraient alors être des gravitons.

Le groupe du LPSC est en charge de l'édition de ces deux analyses pour les données accumulées en 2012. Les responsabilités concernent la coordination des groupes de travail, l'écriture des publications et le suivi des résultats à travers les différents processus d'évaluation par des pairs (internes ou externes à ATLAS).

En 2012/2013, le groupe du LPSC a également été en charge des logiciels pour le groupe de supersymétrie d'ATLAS, ce qui implique la coordination du développement et de la maintenance du code servant à mettre en forme les données et les Monte Carlo pour toutes les analyses du groupe de supersymétrie.

Finalement, le groupe est aussi impliqué dans le projet ANR DMAstroLHC, la nature de la matière noire : des astroparticules au LHC. Ce projet est une collaboration entre diverses expériences et les groupes de théories du LAPP, du LAPTh et du LPSC visant à mieux cerner la nature de la matière noire à travers une approche multi-disciplinaire.

Pour en savoir plus

Search for squarks and gluinos in events with isolated leptons, jets and missing transverse momentum at $\sqrt{s}=8$ TeV with the ATLAS detector, Collaboration ATLAS, <http://cds.cern.ch/record/1557779> (2012).

Search for supersymmetry at $\sqrt{s}=8$ TeV in final states with jets, missing transverse momentum and one isolated lepton, Collaboration ATLAS, <https://cdsweb.cern.ch/record/1472673> (2013).

Le projet ILC

J.-Y. Hostachy

D. Grondin, Y. Carcagno, G. Freche, J. Giraud, J.-C. Malacour, J. Menu, S. Roudier, Service Études et Réalisations Mécaniques

Collaboration ILC

The next major project of particle physics will be the International Linear Collider ILC: a linear accelerator in which electrons and positrons will collide with energies of 500 to 1000 GeV. The LPSC-Grenoble is involved in the R&D activities for the International Large Detector (ILD) and in particular in the electromagnetic calorimeter: design of the fastening and cooling systems, design of the mechanics of the end-caps and test of the prototype.

L'ILC (International Linear Collider) est un projet de collisionneur d'électrons et de positrons à une énergie totale comprise entre 90 GeV et 1 TeV. Deux détecteurs sont prévus pour enregistrer les événements produits dans les collisions de particules. Ils profiteront des avancées technologiques récentes pour améliorer significativement les performances par rapport aux expériences actuelles de physique des particules.

La découverte récente du boson de Higgs au LHC et la proposition du Japon de construire l'ILC sur son territoire dans les années à venir, a ravivé l'entrain de la communauté scientifique engagée dans ce projet. Néanmoins les restrictions budgétaires ont limité ou retardé nos travaux. Les études R&D en micro-électronique (voir rapport d'activité du LPSC des années 2011 et 2012) ont été temporairement arrêtées et les tests « de physique » sous faisceau du module EUDET ont été reportés à une date ultérieure.

Dans ce cadre, notre contribution a été essentiellement orientée sur des activités de Recherche et de Développement en mécanique, en accord avec l'historique et le savoir faire du groupe en matière de calorimétrie électromagnétique.

Nous sommes membre de la collaboration internationale CALICE (CALorimeter for the LInear Collider Experiment) qui regroupe 57 instituts de 17 pays différents provenant de quatre continents : Afrique, Amérique, Asie et Europe.

Mécanique: travaux de R&D

Les travaux du Service Études et Réalisations Mécaniques (SERM) mentionnés ci-après ont été réalisés en collaboration avec le LLR de Palaiseau et le LAL d'Orsay.

Architecture générale des bouchons du calorimètre électromagnétique: dessins avancés et simulations numériques.

La masse du tungstène dans chaque bouchon du calorimètre est d'environ 16 tonnes. Des travaux de simulation numérique ont été entrepris afin d'étudier le comportement mécanique de ce sous-détecteur subdivisé en 12 modules de 3 types différents pour chaque bouchon (Fig. 1). La structure alvéolaire (tungstène plus fibres de carbone) sera remplie de plaques de tungstène prises en « sandwich » entre deux fines couches d'un milieu actif (matrices de diodes en silicium). La tenue mécanique de la structure porteuse composite et les aspects de déformation ont déjà fait l'objet de travaux suivis de dessins avancés. La réalisation de composants comme les plaques épaisses de composite avec inserts métalliques pour l'accrochage des modules et la rigidification de la structure a permis de

tester le système d'interface composite/métallique du ECAL. Une nouvelle architecture qui permettrait d'éviter certaines zones mortes est en cours de validation technologique. Cette nouvelle structure requiert en effet des modules d'environ 2,50 m de long et nécessite donc la construction de prototypes afin de vérifier la faisabilité de la solution. Après la réalisation d'une première cellule de composite longue, la fabrication d'une première couche de trois cellules de composite a révélé en 2012 la difficulté de réalisation et la nécessité de faire évoluer le moulage de ces grandes alvéoles. Des améliorations sur les moules, les noyaux, le type et la mise en œuvre du préimprégné ont été réalisées. Le problème de contrainte en flexion des parois inter-alvéolaires ayant influé sur la modification de l'épaisseur des plis extérieurs entourant chaque module, une campagne de tests de cisaillement a été entreprise en 2012 sur des éprouvettes représentatives. Les résultats initiaux valident dans un premier temps le modèle théorique des structures collées. Ces tests vont ainsi permettre d'adapter les paramètres de simulation par éléments finis afin de simuler toute la structure. Des tests complémentaires de fatigue, sur la résine en particulier, vont être conduits afin de valider définitivement le modèle.

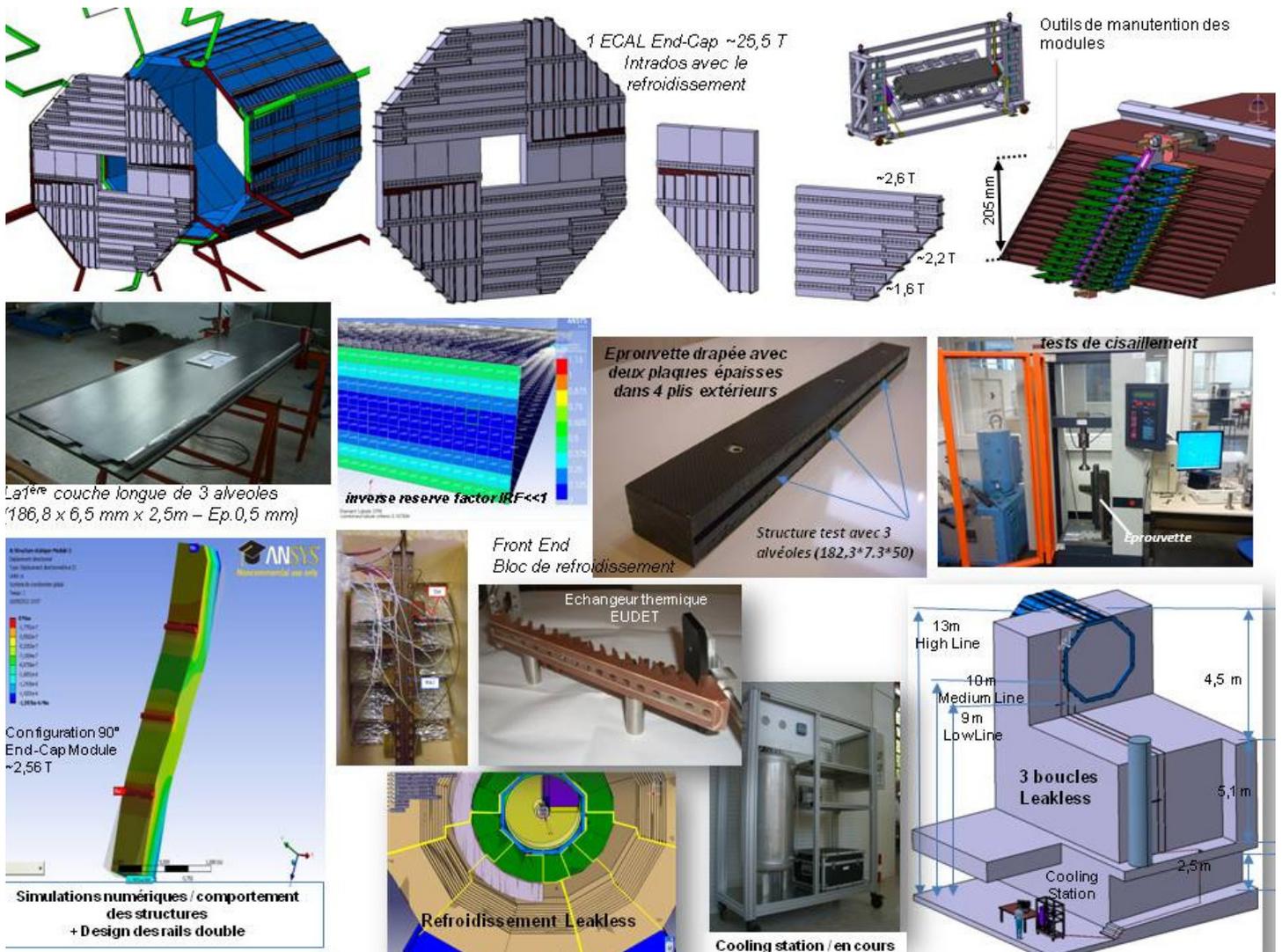


Fig. 1 : Mécanique dédiée au calorimètre électromagnétique Si-W.

Assemblage et positionnement du calorimètre électromagnétique

Seulement environ 3 cm étant disponibles entre le tonneau et les bouchons des calorimètres électromagnétique et hadronique, pour le passage des fluides et commandes, le système d'accrochage constitue aussi un défi. Nous y apportons des solutions par la réalisation de prototypes de rails (composite structurel ou aluminium) ainsi que par l'optimisation des modèles numériques. Des travaux concernant l'optimisation de l'implantation des rails ont été réalisés afin de minimiser la déformation globale des différents modules. Ceci a mené à la réalisation de rails à double rangée et de faible section, permettant de sécuriser la charge sur deux rails pour la majorité des 12 modules. De même, la tenue à l'arrachement des rails et des inserts de support a été optimisée afin de réduire la matière morte à l'arrière des modules. Après la conception en 2012, un outillage lourd de manutention, transport et de positionnement des modules (1,5 à 2,6 t) est en cours de réalisation. Il permettra en outre de tester le système d'accrochage et l'intégration des premiers réseaux de refroidissement sur l'intrados des modules. L'évolution du système d'assemblage et de positionnement a été présentée à la collaboration.

Définition du système de thermalisation

Enfin un dispositif de refroidissement est nécessaire pour évacuer la chaleur produite par le grand nombre de voies électroniques. Là encore le peu de place disponible (le calorimètre électromagnétique doit rester le plus compact possible) est évidemment source de difficultés. Après le test d'un système à caloducs, le design optimisé d'un échangeur à eau, du point de vue de l'encombrement et des résistances thermiques, a été réalisé comme élément représentatif de thermalisation locale, proche du détecteur. Pour la thermalisation globale du ECAL, un système de circulation fluide sous-atmosphérique « leakless » est en cours de réalisation après le test en grandeur réelle en 2010. L'étude détaillée de l'installation globale se termine (circuits, capteurs, actionneurs) et l'intégration du réseau de canalisations ainsi que la centrale de refroidissement sont en cours de réalisation. Ce système de test composé de trois lignes leakless est représentatif des trois types de cheminement réels spécifiques (9 m, 10 m et 13 m) par lequel serait refroidi le détecteur, en intégrant les pertes de charge dues notamment à la traversée des autres détecteurs.

Démonstrateur

Un premier prototype appelé « demonstrator » (1,30 m de long, trois couches alvéolaires) a été réalisé par la collaboration. Le SERM du LPSC a pris activement part à sa conception et construction, fournissant les « couvercles » interne et externe ainsi que le système d'accrochage. Il a permis notamment de vérifier le fonctionnement du prototype de refroidissement conçu au LPSC et surtout de valider les simulations qui serviront ensuite à concevoir le système global pour l'ensemble du calorimètre.

Le Module EUDET

Un module de 1,50 m de long, 15 couches alvéolaires (dit EUDET) proche de la version finale a été réalisé. Comme pour le démonstrateur, le SERM a pris activement part à sa construction (« couvercles » interne et externe, système d'accrochage). La nouvelle version optimisée de l'échangeur thermique Grenoblois a

été réalisée et équipera le prototype. Les tests du système de refroidissement connecté avec une colonne « chargée » thermiquement du démonstrateur se dérouleront dans le futur.

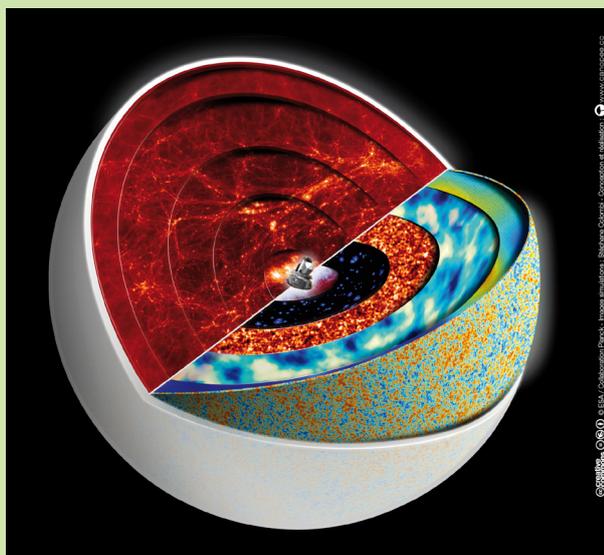
Le projet AIDA

Ce projet, répondant à l'appel FP7-INFRASTRUCTURES-2010-14 de la Commission Européenne, a pour but de fournir un « design » de calorimètre électromagnétique proche de celui proposé pour l'ILC. Il nécessite la réalisation de prototypes validant les différentes technologies utilisées. Pour la partie mécanique, le SERM développe le système opérationnel de refroidissement devant assurer une bonne thermalisation de l'électronique embarquée; cela implique la construction de la centrale de refroidissement pour le prototype de boucle sous-atmosphérique. Le SERM a également développé le système optimisé d'accrochage des modules par rails.

Astroparticules et Cosmologie

Les chercheurs et personnels techniques du LPSC participent à plusieurs projets qui couvrent un très vaste domaine scientifique, de la détermination des paramètres cosmologiques à la recherche directe des particules de la matière sombre, de l'étude des rayonnements cosmiques d'origine galactique à celle des astroparticules aux énergies les plus hautes. Chacun de ces projets de la thématique Astroparticules et Cosmologie a franchi une étape très importante de sa vie dans les deux dernières années.

Le satellite Planck, lancé en 2009, a rendu publique une nouvelle moisson de résultats scientifiques sur l'étude du rayonnement fossile (ou CMB pour Cosmic Microwave Background) avec une résolution et une sensibilité sans précédent. Ces résultats ont été unanimement salués comme constituant un bond qualitatif considérable dans le domaine de la cosmologie observationnelle. Ils ont permis de contraindre précisément les paramètres cosmologiques tels que la géométrie et le contenu de l'Univers mais également la dynamique de la période d'inflation.



Le spectromètre AMS-02 a lui été lancé par la navette spatiale et installé sur l'ISS en 2011. Les premiers résultats étaient également très attendus car d'une richesse et d'une précision inégalées. On peut citer par exemple l'étude du flux de positrons qui constitue un premier test avec les données d'AMS-02 de la présence d'antimatière dans l'Univers. De nombreux autres résultats sont bien entendu encore à venir et constitueront sans nul doute un essor considérable de notre connaissance du rayonnement cosmique.

Ce bond qualitatif et quantitatif, l'observatoire Pierre Auger l'avait déjà franchi en 2008 alors qu'il terminait son installation en Argentine, atteignant son acceptation optimale qui dépassait par plus d'un facteur dix celle des expériences antérieures. Ceci en fait le plus grand détecteur de rayons cosmiques du monde, tout en bénéficiant d'un dispositif considérablement plus précis et complet que ses prédécesseurs. Depuis, chaque année a démontré cette prédominance en termes de résultats scientifiques. Cependant, comme toute grande avancée scientifique, les réponses apportées soulèvent à leur tour de nouvelles questions qui ne pourront être résolues que grâce à d'autres progrès qualitatifs dans les observations. Ainsi la collaboration Pierre Auger étudie la possibilité de compléter

et d'améliorer la mesure des rayons cosmiques aux plus hautes énergies pour une seconde phase du projet au-delà de 2015.

En effet, les avancées scientifiques sont toujours précédées de progrès technologiques. Ainsi le projet MIMAC d'un détecteur directionnel, dont le but ultime est la recherche directe des particules de la matière sombre, a également franchi une frontière de sensibilité dans la mesure trajectographique des reculs nucléaires de très basse énergie. Au-delà des résultats spectaculaires qui seront détaillés plus loin, le fait marquant de ces deux dernières années a été l'installation d'un prototype dans le laboratoire souterrain de Modane et son exploitation.

De même, l'étude du rayonnement fossile au-delà du domaine de sensibilité accessible au satellite Planck, nécessite le développement de nouveaux capteurs basés sur des matrices d'antennes d'un nouveau type. C'est le but du projet NIKA qui teste ces nouveaux types de détecteurs, conçus à l'Institut Néel en collaboration avec le LPSC, sur les radiotélescopes de l'IRAM près de Grenoble. Évidemment, les ambitions de NIKA vont au-delà d'un développement technologique et visent à terme à obtenir la sensibilité et la haute résolution angulaire nécessaires à l'étude des modes polarisés du CMB et à celle angulaire des amas de galaxies et de l'époque de ré-ionisation de l'Univers.

Chacun des projets cités implique évidemment une contribution technique importante des services du laboratoire pendant les étapes de R&D mais également de maintenance. Les physiciens ne sont pas en reste, car ils interviennent en amont à la définition et à l'optimisation des instruments, puis dans l'analyse des données et leur interprétation y compris dans l'étude des implications théoriques.

Un exemple de ce développement en synergie est illustré par les activités autour du projet LSST : les mêmes personnes qui travaillent sur des aspects très théoriques de la cosmologie quantique à boucles mènent de front le développement d'une nouvelle méthode de reconstruction des décalages vers le rouge ainsi que la conception, la validation et la construction d'un dispositif d'étalonnage de l'immense caméra qui équipera le télescope.

Ainsi, les aspects «Astroparticules et Cosmologie» du LPSC couvrent un très vaste spectre tant sur le plan des thématiques que sur celui de la nature des activités mises en jeu. Cette large palette va vous être présentée dans les pages qui suivent.

Rayonnement cosmique de haute énergie

L. Derome, A. Barrau, M. Buénerd, B. Coste, W. Gillard, D. Maurin, J.-S. Ricol
O. Bourrion, L. Eraud, J.-P. Scordilis, Service Électronique.
F. Melot, Service Informatique.

A century after the discovery of cosmic rays, their origin and propagation processes still evade us. The LPSC participates in two major experiments of direct detection covering the GeV-PeV energy range: AMS-02 on the International Space Station (since 19 May 2011), and CREAM, a balloon-borne experiment flown six times in Antarctica. Involved earlier with the detector development and construction, the group main activities are data analysis and their interpretation.

Mesure du rayonnement cosmique

L'expérience AMS¹

Le rayonnement cosmique galactique (RCG) a été découvert il y a maintenant un siècle. Il s'agit de particules énergétiques, principalement des noyaux ionisés qui ont pu être produits et accélérés à des énergies relativistes dans les fronts de chocs associés à des explosions d'étoiles (supernovæ). Ces particules se propagent ensuite dans la galaxie et notre système solaire. Le flux de particules frappant la partie supérieure de l'atmosphère terrestre est de l'ordre de 1000 particules par m² et par seconde.

Bien qu'étudié depuis un siècle, le RCG est toujours un domaine scientifique de grande activité tant d'un point de vue expérimental que théorique. En effet, de nombreuses questions sont toujours sans réponses quant à son origine et aux processus de propagation. De plus, certaines composantes rares du RC peuvent permettre de sonder la présence de matière noire dans notre Galaxie via les particules produites lors de leur annihilation.



Fig. 1 : Détecteur AMS-02 installé sur la station spatiale.

Notre groupe est impliqué dans la physique du RCG depuis 1997 avec la participation du laboratoire à AMS-01 (vol précurseur d'AMS-02) à bord de la navette spatiale. L'objectif d'AMS-02 (sur la station spatiale internationale) est la mesure « définitive » de la composition du RC d'énergie entre la centaine de MeV et le TeV. Un des éléments essentiels pour l'identification des particules du RCG est l'imageur Cherenkov (RICH) d'AMS-02, qui permet la mesure de la charge et de la vitesse des particules traversant le détecteur. Le LPSC a été impliqué dans sa

¹ Alpha Magnetic Spectrometer

conception et sa construction. Il a aussi eu la responsabilité de la caractérisation, des tests et de l'intégration des photomultiplicateurs, ainsi que de la réalisation de l'électronique front-end. Le lancement de la navette spatiale Endeavour STS-134 embarquant AMS-02 a eu lieu le 16 mai 2011. Le 19 mai, AMS-02 était installé sur la station spatiale (Fig. 1). Le détecteur fonctionne depuis de manière continue. Le contrôle de l'instrument est effectué depuis le CERN à Genève.

Le groupe du LPSC travaille actuellement sur les données de vol d'AMS-02. En premier lieu, nous avons travaillé à la caractérisation des détecteurs et l'étude de leurs performances. Un exemple est donné par l'utilisation des protons du RCG pour réaliser une cartographie complète de l'indice de réfraction du radiateur aérogel utilisé dans le RICH d'AMS-02. En effet, la connaissance précise de l'indice du radiateur est essentielle pour atteindre les performances en termes de reconstruction de vitesse et de charge. Ici, des protons de haute rigidité ($R > 50$ GV) sont utilisés pour estimer directement l'indice de réfraction en chaque point du radiateur. Sur la carte obtenue (Fig. 2), les différentes tuiles qui composent le radiateur aérogel apparaissent clairement.

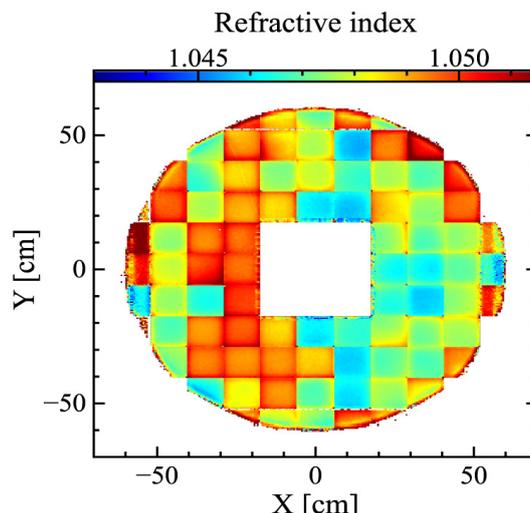


Fig. 2: Carte de l'indice de réfraction de l'AGL du RICH reconstruit à partir des données d'AMS-02.

Concernant l'exploitation des données, plusieurs analyses sont menées en parallèle. L'une d'elles est l'étude du RCG à basse énergie en lien avec l'activité solaire. La figure 3 représente l'évolution dans le temps du flux de protons à différentes rigidités. Ce résultat montre qu'AMS-02 permet, pour la première fois, une mesure fine de l'influence de l'activité solaire sur le RCG : les pics, en bleu sur la figure, correspondent à des éruptions solaires (émission de particules accélérées par le soleil), suivies par une diminution du flux, appelé décroissance « Forbush » (cet effet est en quelque sorte un écrantage du RCG par le plasma éjecté par le soleil).

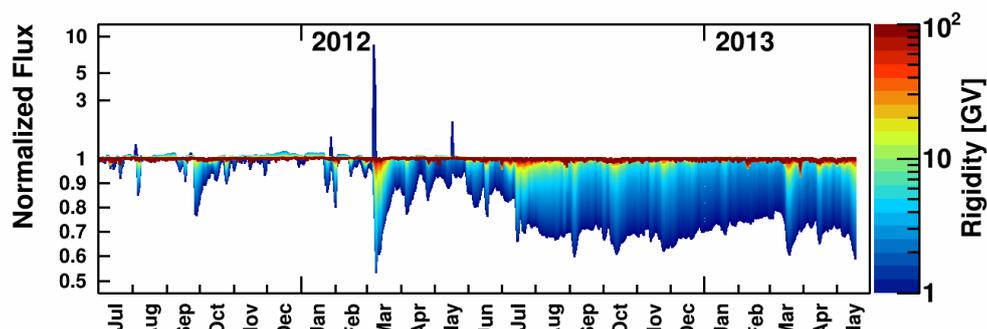


Fig. 3: Variation temporelle du flux de protons du RCG (normalisé à un flux de référence). À chaque couleur est associée une énergie (voir code couleur sur la droite de la figure).

Nous travaillons de plus sur la mesure de la fraction de positrons. Les résultats d'AMS-02, publiés en avril 2013 (Fig 3), dépassent le domaine en énergie précédemment sondé et viennent confirmer, avec une précision accrue, l'excès de positrons. Si cette mesure ne laisse place à aucun doute quant à l'existence de cet excès, son origine reste en revanche inexplicée. Il pourrait être le fait de pulsars proches de notre galaxie, ou être la signature de l'existence de particules de matière noire. Notre groupe s'est intéressé à l'évolution dans le temps des flux d'électrons et positrons (et de la fraction de positrons) à basse énergie. La mise en place d'une analyse reposant sur l'utilisation du RICH et du TRD (pour identifier les électrons/positrons dans le RCG) a permis de montrer que l'activité solaire avait des effets similaires sur les composantes électron et positron, et donc que la fraction de positrons était stable dans le temps.

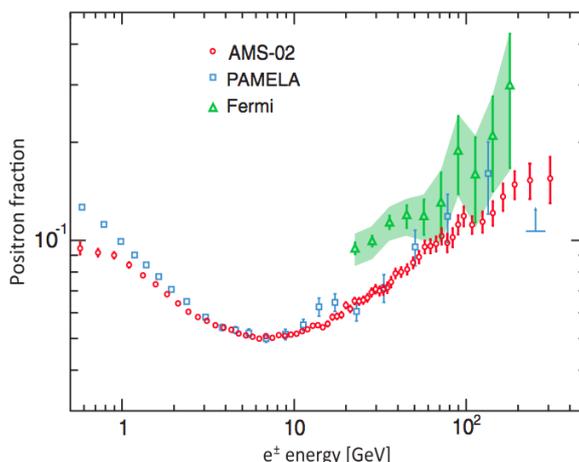


Fig. 4: Fraction de positrons mesurée par l'expérience AMS-02.

Expériences CREAM et ISS-CREAM

L'expérience CREAM est une expérience embarquée sur ballon stratosphérique. Son objectif est de mesurer le RCG entre 1 TeV et 1 PeV, domaine d'énergie complémentaire de celui d'AMS-02. Ces mesures permettront de mieux comprendre les processus de production et de propagation du RCG.

Pour l'ensemble de la physique de CREAM, l'identification des éléments (mesure de la charge) est une tâche centrale. Le groupe du LPSC, invité à rejoindre cette collaboration, a construit en 2006 un imageur Cherenkov appelé CherCam, dérivé du RICH d'AMS-02. CherCam a été embarqué sur quatre campagnes de vol (Fig. 5) en Antarctique : CREAM III, IV, V, et VI.



Fig. 5: Lancement de CREAM lors de la campagne de vol 2010-2011.

Depuis la mise en service du détecteur CherCam, le service électronique du laboratoire a participé aux opérations de maintenance de l'instrument, de récupération du détecteur après chaque vol, ainsi qu'au reconditionnement et à la réintégration de CherCam dans l'ensemble CREAM.

Le travail de thèse de Benoît Coste a porté sur l'analyse des mesures prises lors de ces vols, en particulier sur la reconstruction des flux des noyaux B, C, N, O et du rapport B/C dans le RCG (Fig. 6) pour la physique de la propagation du RCG. À haute énergie (typiquement le domaine de CREAM), le rapport secondaire sur primaire est dominé par la seule diffusion du rayonnement cosmique dans la galaxie alors qu'à plus basse énergie (domaine d'AMS) ce rapport est sensible à la diffusion mais aussi aux effets conjoints du vent galactique, de la réaccélération diffusive, et des interactions nucléaires. La mesure conjointe des rapports secondaire sur primaire par AMS et CREAM permet donc d'accéder aux différents processus régissant la propagation du RCG.

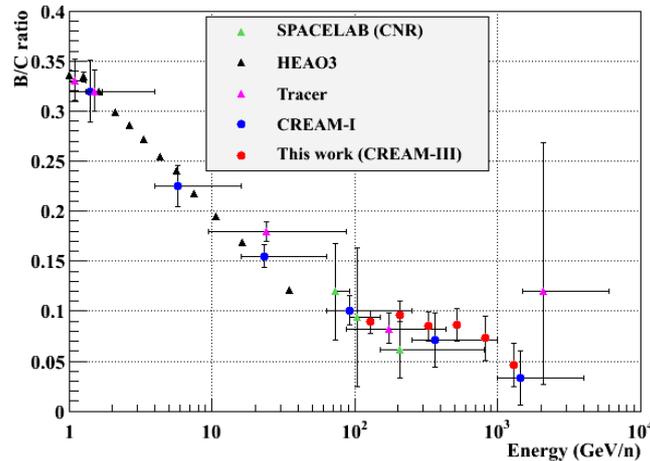


Fig. 6: Mesure du rapport B/C par l'expérience CREAM-III.

Pour le futur, une nouvelle évolution du programme CREAM est en cours : l'installation du détecteur dans une configuration simplifiée sur la station spatiale internationale. Ce nouvel instrument (ISS-CREAM), destiné à être installé sur l'ISS en 2014, permettrait d'accumuler une grande statistique sans atmosphère résiduelle, comme le fait actuellement AMS-02, mais à plus haute énergie. Le service électronique a développé des alimentations 12 kV pour les HPD² du calo-

² Hybrid Photo Detector

rimètre de CREAM. Ces modules ont été développés et réalisés au laboratoire et sont utilisés dans les campagnes de vol depuis CREAM VI. Ces modules ont été adaptés pour équiper ISS-CREAM.

Phénoménologie: RCG et Matière Noire

La physique du rayonnement cosmique galactique (RCG) et la recherche indirecte de matière noire font partie des objectifs majeurs de l'expérience AMS-02. Les abondances des ions du RCG mesurées au niveau de la terre sont des indicateurs des processus d'accélération (p. ex. dans les ondes de choc issues de l'explosion des supernovæ), de transport (interactions avec les champs magnétiques réguliers et turbulents de la Galaxie), et d'interactions du RCG avec le gaz du milieu interstellaire. Ces processus astrophysiques doivent être bien modélisés pour espérer mettre en évidence un signal de matière noire (particules gravitant dans le halo de notre Galaxie). La recherche indirecte de matière noire consiste ainsi à chercher dans le spectre des particules chargées (anti-protons, positrons) ou neutres (γ), dans la gamme d'énergie du GeV au TeV, un excès par rapport à la production astrophysique standard. Dans ce cadre, l'expérience AMS-02 (pour les espèces chargées) et le satellite Fermi-LAT ou les détecteurs Tcherenkov au sol (pour les γ), sont les meilleurs instruments.

Contraintes sur les modèles de propagation et base de données publique CRDB

La phénoménologie du RCG s'intéresse aux paramètres des modèles de propagation utilisant: les espèces dites primaires (p, He, C, O, etc.) qui sont les plus abondantes et qui tracent les sources du RCG, et espèces dites secondaires (^2H , ^3He , B, etc.) qui tracent les mécanismes de transport dans la galaxie. Pour tirer parti au mieux des mesures d'AMS-02 et de CREAM à venir, nous avons développé et utilisé (pour la première fois dans le rayonnement cosmique) un Markov Chain Monte Carlo (MCMC) pour contraindre les paramètres de la propagation. Récemment, nous nous sommes intéressés aux quatre isotopes les plus légers du RCG (^1H , ^2H , ^3He , ^4He). Nous avons pu montrer que l'utilisation des données existantes, bien que peu précises et rares (Fig. 7), conduisait à des contraintes similaires à celles données par le rapport B/C habituellement utilisé.

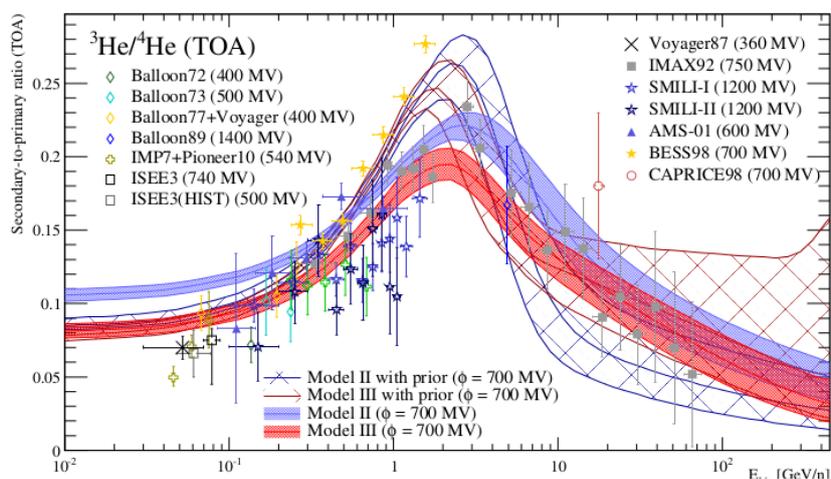


Fig. 7.: Rapport $^3\text{He}/^4\text{He}$ mesuré par les expériences avant AMS-02 (symboles). Les enveloppes des courbes correspondent aux différents types de modèles de propagation autorisés (Coste et al., 2012).

En parallèle à cette activité, nous avons développé avec le service informatique du laboratoire, une base de données (CRDB) des espèces chargées du RCG (e^- , e^+ , et noyaux jusqu'à $Z = 30$), pour des énergies en-deçà de quelques TeV/nucléon (ceci correspond à plus de deux cents expériences dans deux cents publications). Chaque donnée est attachée à un instrument (contenant sa description) et à une référence bibliographique. Les données peuvent être extraites en fonction d'une sélection sur la quantité mesurée, la gamme d'énergie, le nom des expériences et la date de la mesure. En retour, l'utilisateur accède à des fichiers ASCII, des macros ROOT et les entrées BibTEX pour les publications associées. Un dernier point original de cette base est la possibilité d'ajouter de nouvelles données à l'aide d'une interface web, en faisant un véritable outil collaboratif pour la communauté du RCG. Cette base est très appréciée des utilisateurs (nombreux dans la collaboration AMS-02), avec une centaine de visites par mois.

Recherche de matière noire en γ et code public CLUMPY

Les meilleures cibles pour la détection de matière noire en γ au TeV (avec des détecteurs comme H.E.S.S.) doivent être proches, avoir une forte densité de matière noire, et peu de fonds astrophysiques. À cet égard, les galaxies naines sphéroïdes (ayant un fond astrophysique quasi-nul) semblent être les meilleures candidates. Ces deux dernières années, nous avons aussi étudié la détectabilité des amas de galaxies (plus grandes structures virialisées de l'Univers) par les observatoires γ présents et futurs. En utilisant le catalogue X le plus complet et précis à ce jour (MCXC) pour obtenir les profils de matière noire, nous avons pu recalculer leurs facteurs astrophysiques d'annihilation (appelé facteur J) et les comparer à ceux obtenus pour les galaxies naines sphéroïdes (Fig. 8). Si les instruments actuels n'ont toujours pas mis au jour la matière noire, les perspectives sont intéressantes puisque l'on commence à toucher du doigt une partie de l'espace des paramètres de cette nouvelle physique. Cette étude nous a aussi permis d'établir dans quelle condition une stratégie d'empilement du signal (issu des milliers d'objets du catalogue MCXC) devenait intéressante pour améliorer les limites d'exclusion de la matière noire. Pour l'ensemble de ces calculs, nous avons développé le code CLUMPY, premier et seul code public de ce domaine.

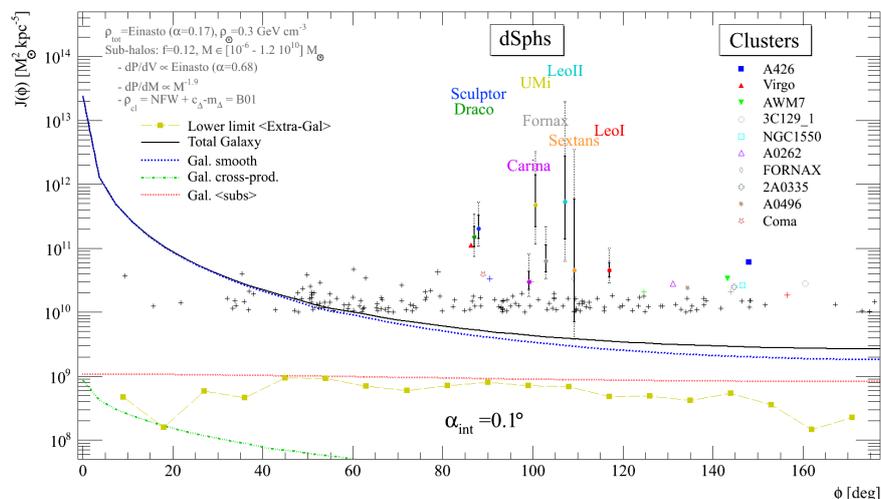


Figure 8: Signal d'annihilation de matière noire en γ pour la composante étendue, galactique (total en trait noir, incluant la contribution du halo lisse et des sous-structures) et extragalactique (ligne chaînée jaune). Les symboles avec niveaux de confiance à 68% et 95% correspondent

au signal attendu des huit galaxies naines sphéroïdes classiques (tiré de Charbonnier et al., 2011). Les symboles colorés sans barre d'erreurs correspondent aux dix amas de galaxies les plus lumineux, et les symboles + aux amas de galaxies dont le J est plus grand que $10^{10} M_{\text{sol}}^2 \text{kpc}^{-5}$ (Nezri et al., 2012).

Pour en savoir plus sur la phénoménologie du RCG

« [Mesure et phénoménologie du RC avec l'expérience CREAM](#) », Benoît Coste, thèse UJF (2012).

« [Constraining GCR parameters with \$Z \leq 2\$ nuclei](#) », Coste, Derome, Maurin, Putze, A&A 539, A88 (2012).

Pour en savoir plus sur la recherche indirecte de matière noire

« [Disentangling cosmic-ray and dark-matter induced \$\gamma\$ -rays in galaxy clusters](#) », Maurin, Combet, Nezri, Pointecouteau, A&A 547, 16 (2012).

« [\$\gamma\$ -rays from annihilating dark matter in galaxy clusters: stacking versus single source analysis](#) », Nezri, White, Combet, Hinton, Maurin, Pointecouteau, MNRAS 425, 477 (2012).

« [Decaying dark matter: a stacking analysis of galaxy clusters to improve on current limits](#) », Combet, Maurin, Nezri, Pointecouteau, Hinton, White, PRD 85, 063517 (2012).

Outils publics

<http://lpsc.in2p3.fr/crdb>: « [A database of charged cosmic rays](#) », Maurin, Melot, Taillet, arXiv:1302.5525.

<http://lpsc.in2p3.fr/clumpy>: « [CLUMPY: A code for \$\gamma\$ -ray signals from dark matter structures](#) », Charbonnier, Combet, Maurin, CPC 183, 656 (2012).

Rayons cosmiques d'ultra haute énergie

C. Bérat, M. Avenier, J. Chauvin, D-H. Koang, D. Lebrun, S. Le Coz, K. Louedec, F. Montanet, A. Stutz, M. Tartare
P. Stassi, C. Bernard, M. Chala, M. Marton, J.-F. Muraz, Service Détecteurs et Instrumentation
G. Dargaud, F. Melot, Service Informatique
J. Bouvier, E. Lagorio, J.-P. Scordilis, Service Électronique

Research on Ultra High Energy Cosmic Rays is carried out by our team within the Pierre Auger Collaboration. The team participates to the monitoring of the experiment, as well as to the observatory upgrade studies. Data analysis is performed, in particular to search for high energy cosmic neutrinos. The team is also involved in R&D for shower radio detection in the framework of the P. Auger Observatory as well as on a small scale and local project aiming at the detection of neutrinos interacting in mountains.

Introduction

L'activité de recherche du groupe porte sur les rayons cosmiques les plus énergétiques et sur les moyens de les détecter. L'étude de ces rayons cosmiques d'ultra haute énergie (RCUHE) présente deux intérêts majeurs : elle permet d'explorer un domaine d'énergie inaccessible aux accélérateurs et elle ouvre la voie à l'utilisation des particules cosmiques chargées dans l'astronomie.

Le groupe fait partie de la collaboration internationale Pierre Auger (19 pays), à l'origine du plus grand détecteur de rayons cosmiques en fonctionnement, l'Observatoire Pierre Auger. Situé dans la pampa argentine, cet observatoire est conçu pour mesurer à la fois le développement longitudinal dans l'atmosphère et la distribution latérale au niveau du sol des gerbes générées par les interactions des particules cosmiques primaires avec l'atmosphère. Les particules chargées et les photons qui atteignent le sol sont échantillonnés avec le Détecteur de Surface (SD) constitué d'un réseau de 1660 détecteurs Cherenkov (WCD) autonomes, répartis sur 3000 km². Chaque WCD contient 12 m³ d'eau pure et est équipé de 3 photomultiplicateurs (PM) qui détectent la lumière Cherenkov émise dans l'eau. La lumière de fluorescence produite dans l'atmosphère par les particules chargées de la gerbe est détectée, lors de nuits claires sans lune, par le Détecteur de Fluorescence (FD) formé de 27 télescopes répartis en quatre points autour du réseau. Les prises de données ont démarré en 2004, le déploiement des détecteurs s'est achevé en 2008. L'Observatoire a ensuite été complété pour étendre le domaine de détection à plus basse énergie.

Durant les deux dernières années, de nombreux résultats ont été publiés par la collaboration P. Auger, en particulier concernant l'origine des RCUHE (études des anisotropies, recherche de sources) et leur nature (interprétation de la profondeur du maximum de développement de la gerbe, limites sur le flux de neutrinos). Lors de la conférence ICRC³ en juillet 2013, les derniers résultats ont été présentés. Avec une augmentation de l'exposition de 50% en deux ans, celle-ci a atteint 32000 km².sr.an mi 2013 ; la détermination de l'énergie des gerbes a été entièrement revue ; le spectre en énergie qui combine les résultats de quatre analyses distinctes couvre une gamme de 0,3 EeV (1 EeV = 10¹⁸ eV) à plus de 100 EeV (4 événements au dessus de 100 EeV) avec une précision remarquable.

³ International Cosmic Ray Conference

Les données de l'expérience Pierre Auger permettent d'étudier les interactions hadroniques aux énergies extrêmes. Les nombreuses analyses et les résultats importants publiés démontrent le riche potentiel en termes de physique des interactions fondamentales. La tâche d'analyse au sein de laquelle ces études sont menées est coordonnée par un des membres du groupe du LPSC. Les modèles hadroniques qui sont développés et utilisés pour l'étude des grandes gerbes atmosphériques ont été confrontés aux données récentes du LHC et ont été modifiés pour mieux reproduire certaines distributions. La comparaison entre les observables mesurées par l'Observatoire Pierre Auger et les prédictions des modèles nous montre que ceux-ci doivent encore être amendés pour reproduire des données toujours plus précises. Le nombre de muons dans les gerbes, leur profondeur de production dans l'atmosphère, etc. sont des observables très sensibles aux détails des interactions hadroniques d'UHE. La confrontation, par modèles interposés, des données précises, directes et détaillées des expériences sur collisionneur d'une part, et des observables des études des RCUHE d'autre part, certes plus indirectes mais près d'un facteur 10 à 100 plus haut en énergie dans le centre de masse, promet de rapides progrès dans ce domaine de physique exclusif.

En été 2013, de nouveaux critères de déclenchement ont été implémentés dans chaque WCD, abaissant ainsi le seuil en énergie pour lequel le SD est totalement efficace de 3 à 1 EeV, et augmentant le taux de gerbes détectées autour de l'EeV, ce qui ouvre des perspectives pour la précision des résultats dans cette gamme d'énergie.

Le groupe est engagé dans le contrôle du fonctionnement du réseau de surface de l'Observatoire, et dans le monitoring de l'atmosphère. Depuis plusieurs mois, la volonté d'améliorer les performances de l'Observatoire, en particulier pour une meilleure identification des rayons cosmiques primaires, a entraîné l'émergence de différents projets au sein de la collaboration. Le groupe participe d'une part au projet d'amélioration et de rénovation de l'électronique du SD, indispensable pour l'évolution de celui-ci, et d'autre part au projet de modifications des WDC (segmentation du volume de détection). Nous participons à la recherche de neutrinos cosmiques d'ultra haute énergie dans les données de l'Observatoire, et sommes impliqués dans l'étude des interactions hadroniques aux énergies extrêmes. Depuis plusieurs années nous collaborons à des programmes de R&D sur la détection radio des gerbes atmosphériques; cette activité est menée au sein d'Auger via les projets AERA⁴ et EASIER⁵,

Les connaissances acquises dans la recherche de neutrinos d'ultra haute énergie (ν UHE) d'une part, et dans le développement de stations de détection autonomes d'autre part, a permis de mettre en œuvre, en site isolé de montagne, le « télescope » NOY⁶ dédié à l'observation des gerbes atmosphériques horizontales induites par l'interaction des ν cosmiques dans les montagnes proches de Grenoble.

⁴ Auger Engineering Radio Array

⁵ Extensive Air Showers Identification with Electron Radiometers

⁶ Neutrino Observatory

Participation au fonctionnement de l'Observatoire P. Auger

Contrôle en ligne du détecteur de surface

Le SD doit fonctionner en continu pendant plusieurs années. Un outil de contrôle en ligne (monitoring) a été développé pour faciliter la surveillance du bon fonctionnement de l'ensemble des détecteurs du site et permettre une identification rapide de tout problème. Le groupe contribue au développement du monitoring du SD depuis 2008. Ces deux dernières années, les contributions ont porté sur le développement d'outils de contrôle spécifiques des WCD équipés d'antennes radio d'EASIER, le traçage des PM qui présentent un fonctionnement anormal, le contrôle des taux de déclenchement de chaque WCD, particulièrement utile lors de l'implémentation de nouveaux triggers.

De récents développements concernent le contrôle de la qualité des données sur le long terme :

- suivi de l'évolution du réseau (repositionnement de détecteurs, destruction accidentelle de certains, remplacement...)
- évaluation de l'uniformité de la réponse du détecteur de surface et de l'évolution de cette réponse en fonction du temps, par l'affichage de paramètres mesurés par les PM et utilisés dans l'étalonnage des WCD
- contrôle du taux de déclenchement (global) du SD, qui reflète également l'évolution de la réponse du SD.

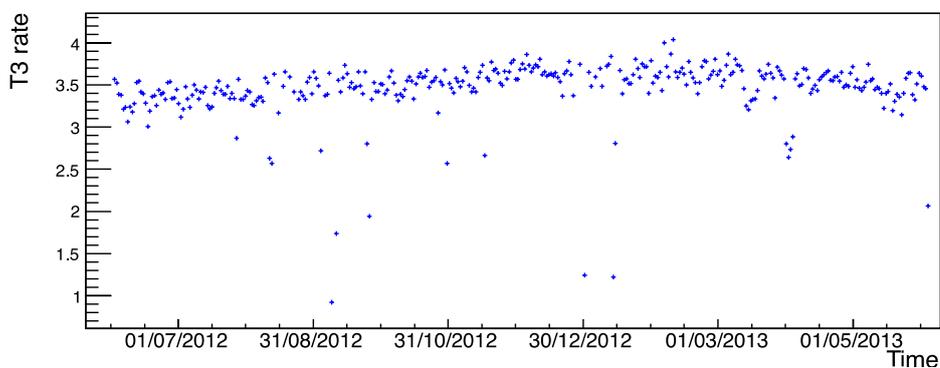


Fig. 1 : Taux de déclenchement du SD de juin 2012 à juin 2013.

Contribution à la caractérisation de l'atmosphère

La lumière de fluorescence issue de la désexcitation du diazote lors du passage des particules chargées des gerbes atmosphériques est détectée par les télescopes du FD. Le nombre de photons de fluorescence, émis principalement dans la gamme en longueurs d'onde 300-430 nm, est directement proportionnel à l'énergie déposée par la gerbe dans l'atmosphère. Il est donc primordial de bien reconstruire ces photons de fluorescence produits. L'atmosphère est utilisée ici comme un calorimètre géant en constante évolution. Afin de réduire autant que possible les incertitudes systématiques sur les mesures de fluorescence, les propriétés de l'atmosphère doivent être suivies continuellement. Les quantités physiques décrivant le caractère diffusant de l'atmosphère, telles que la profondeur optique ou la fonction de phase - ces deux quantités peuvent être comprises comme la mesure de la concentration et de la section efficace différentielle -, sont les plus fluctuantes au cours de la nuit. Les activités du groupe pour cette partie

se sont principalement axées sur les aérosols atmosphériques. Les aérosols sont de fines particules en suspension dans l'atmosphère, avec une taille de l'ordre du micromètre, et sont responsables d'une part importante de l'atténuation des photons dans la partie basse de l'atmosphère. Ces particules peuvent rester dans l'atmosphère plusieurs jours, voire plusieurs semaines, tout ceci dépendant de leur altitude, de leur composition chimique et des précipitations durant la même période. Afin d'étudier et de simuler l'effet des aérosols sur la propagation des photons de fluorescence, trois quantités physiques sont nécessaires: la distance moyenne parcourue par un photon avant de rencontrer un aérosol, l'angle de diffusion et la répartition en altitude des aérosols. Ces informations ont été étudiées en estimant, respectivement, la profondeur optique des aérosols, la fonction de phase de diffusion des aérosols et la couche limite atmosphérique.

Études pour l'amélioration du détecteur au sol

L'Observatoire P. Auger prévoit de poursuivre ses recherches au-delà de 2015 avec pour objectifs l'interprétation de la suppression du flux de RCUHE observée au-dessus de 55 EeV, la détermination de la composition du flux et l'étude des interactions hadroniques aux plus hautes énergies. La collaboration étudie différentes possibilités pour améliorer le réseau de surface. Le but est d'obtenir de nouvelles observables permettant une meilleure caractérisation des gerbes atmosphériques aux plus hautes énergies couvertes par l'Observatoire, en particulier par la mesure des composantes muonique et électromagnétique de ces gerbes avec une précision aussi grande que possible.

Conception d'une nouvelle électronique

Pour assurer la séparation des muons et des électrons, on envisage soit d'ajouter de nouveaux détecteurs (scintillateurs, RPC) soit de modifier les WCD. L'acquisition des données du réseau de surface ainsi amélioré sera facilitée en remplaçant l'électronique actuelle de chaque WCD par une électronique moderne de pointe dont la fréquence d'échantillonnage est multipliée par 3 et possédant une meilleure résolution en temps. Cette nouvelle électronique fournira également les capacités nécessaires pour implémenter de nouveaux triggers. Un plan de développement avec une répartition des tâches entre les 15 instituts de la collaboration impliqués dans l'évolution de l'électronique du SD a été mis en place. L'élément clé en est la réalisation d'une nouvelle carte électronique unifiée pour chaque WCD, dont l'étude a été prise en charge par le LPSC.

Segmentation des détecteurs Cherenkov à eau

Les groupes français ont conçu et proposé une segmentation des détecteurs de surface qui permettrait d'élargir très notablement le programme scientifique de l'Observatoire. Le principe est d'avoir deux volumes de scintillation distincts, la partie inférieure étant plus sensible à la composante muonique de la gerbe qu'à la composante électromagnétique, celle-ci déposant son énergie dans la partie supérieure. Le LPSC étudie un prototype original permettant une séparation du volume d'eau minimisant les opérations de modifications des WCD.

R&D pour les observatoires du futur

Les instruments actuels tels ceux utilisés à l'Observatoire Pierre Auger observent les gerbes en détectant les particules arrivant au sol et en détectant la lumière de

fluorescence qu'elles produisent dans l'atmosphère. Ces deux mesures sont limitées, l'une par la difficulté à distinguer les différentes composantes de la gerbe et à remonter à son développement, l'autre par un faible cycle utile d'observation de ~13% (les nuits claires et sans lune). Pour pallier à ces limitations, de nouvelles techniques de détection, basées sur la mesure des ondes radio émises par la composante électromagnétique des gerbes, sont également à l'étude.

AERA

AERA est un instrument dédié à l'étude des ondes radio, dans la gamme 30-80 MHz, associées aux gerbes atmosphériques induites par les rayons cosmiques. L'année 2013 a été marquée par l'installation de 100 nouvelles stations de détection radio VHF de AERA. Aux 24 antennes dipôles de type log-périodique utilisées précédemment dans la phase 1 ont été ajoutées des antennes doubles de type « Butterfly » orientées nord-sud et est-ouest pour tenir compte de la polarisation. Ces détecteurs peuvent fonctionner soit en mode auto-déclenché, soit en coïncidence avec une partie du détecteur de surface et des détecteurs de fluorescence en mode « radio-hybride ». Le seuil de détection permet l'étude de la région de transition entre 10^{17} et 10^{18} eV.

L'acquisition des données est assurée par trois tâches communicant entre elles via des « sockets » : gestion des antennes, détection des stations en coïncidences, étude de la multiplicité associée et reconstruction des événements. Le LPSC développe une interface graphique (GUI) pour contrôler et commander l'acquisition depuis le Web, la communication avec les autres tâches se faisant par les sockets via un canal dédié. Cette interface d'ores et déjà partiellement intégrée au système de la phase 1 est en cours d'adaptation pour tenir compte des contraintes liées à l'extension du réseau d'antennes final et des exigences associées afin de parvenir à une complète intégration dans le dispositif instrumental.

EASIER

Outre la détection des ondes émises par les gerbes dans la gamme du MHz, déjà observées et étudiées par d'autres expériences, la R&D comprend la recherche et la caractérisation de signaux dans la gamme du GHz, détectés en 2008 par une expérience simulant des gerbes auprès d'accélérateurs. Le principe du projet EASIER est d'intégrer en mode esclave la détection des signaux radio aux WCD du réseau de surface de l'Observatoire Pierre Auger en utilisant les systèmes de déclenchement, d'acquisition, de synchronisation temporelle et d'alimentation électrique des WCD. Durant la phase de validation de ce mode de fonctionnement des antennes, l'analyse des signaux radio dans la gamme du MHz (7 WCD équipés chacun d'un récepteur) a permis de mettre en évidence la détection de l'émission géo-synchrotron attendue. Cependant, les dipôles utilisés pour détecter les ondes décimétriques se sont avérés peu résistants aux rudes conditions climatiques de la pampa ; ils ont été remplacés en mars 2013 par des antennes dites « Butterfly » développées par SUBATECH.

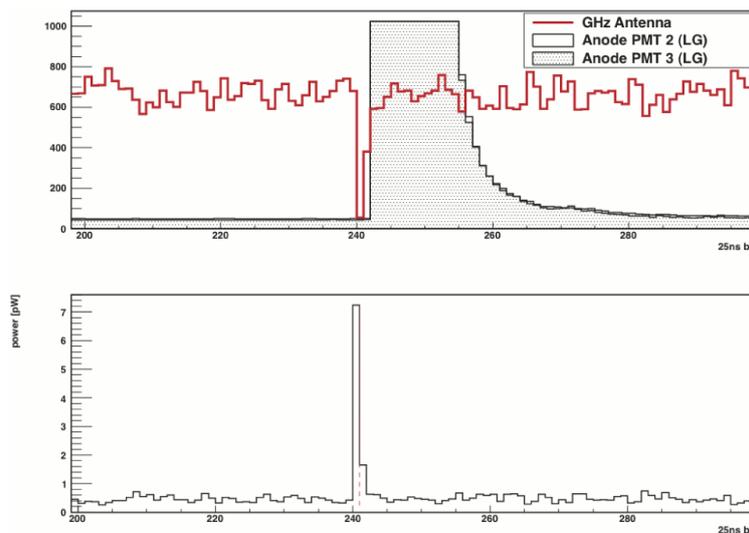


Fig. 2: Gauche : une antenne EASIER (en haut, sur la gauche du mat) sensible dans le GHz, montée en vis à vis de l'antenne Yaggi assurant la communication des données du WCD. Droite : en haut, signal de l'antenne GHz et signal saturé de l'anode (bas gain) des PM 1 et 2 du WCD; en bas, puissance reçue par l'antenne GHz en pico watt après étalonnage.

Dans la gamme du GHz un signal en coïncidence claire avec la détection d'une gerbe atmosphérique a été observé sur l'un des récepteurs du premier dispositif de test comprenant 7 WCD équipés. Au printemps 2012, 61 WCD ont été équipés d'antennes GHz, cette installation ayant été réalisée par des membres du SDI et du service électronique du LPSC. La demande de financement du projet GIGAS⁷ à l'ANR ayant été acceptée en mai 2012, un programme visant à la caractérisation des récepteurs utilisés, et à l'amélioration du rapport signal/bruit a été entrepris. Différentes campagnes de mesures ont été réalisées pour déterminer les performances des antennes installées, de récepteurs commercialisés plus sensibles envisagés, et de cornets fabriqués au laboratoire. Une estimation du signal attendu dans la gamme du GHz est aussi en cours, par la simulation des processus physiques liés au développement de la gerbe dans l'atmosphère susceptibles de produire un rayonnement électromagnétique dans cette gamme de fréquence.

L'analyse des données d'une année d'exploitation des 61 WCD du réseau GHz a mis en évidence 3 nouveaux signaux coïncidant avec une gerbe. Les gerbes atmosphériques associées aux signaux sélectionnés présentent des caractéristiques communes, l'impact de la gerbe se situe à moins de 300 m de l'antenne et son énergie atteint les 10 EeV. Après calibration du détecteur, ces signaux sont respectivement estimés à quelques pico Watts.

Des simulations sont entreprises afin de déterminer l'origine physique des signaux GHz observés. Ces simulations concernent le géo-synchrotron, établi comme étant le mécanisme principal d'émission des signaux MHz, le rayonnement Cherenkov, et le bremsstrahlung moléculaire. Ce dernier a été présenté comme le processus à l'origine d'émissions GHz lors d'un programme expérimental sur faisceau reproduisant le comportement des gerbes atmosphériques. La simulation du bremsstrahlung moléculaire se fait ainsi par deux approches. L'une est basée sur une relation de proportionnalité entre les caractéristiques et résultats de l'expérience faisceau, et celles des gerbes atmosphériques détec-

⁷ Gigahertz Identification of Giant Air Shower

tées à l'observatoire. La seconde se base sur des calculs de sections efficaces dans un environnement plasma.

Neutrinos cosmiques d'UHE

Recherche de neutrinos à l'Observatoire Pierre Auger

L'Observatoire Pierre Auger, en plus d'être à la pointe dans l'étude des RCUHE, s'avère également être le dispositif le plus évolué et le plus performant dans la recherche de neutrinos d'ultra haute énergie. C'est ce qu'attestent les résultats publiés ces dernières années fournissant les meilleures limites sur les flux de neutrinos cosmiques dans cette gamme d'énergie. Il faut souligner l'importance de ces limites, qui apportent des contraintes très fortes sur les mécanismes de production des rayons cosmiques (mécanismes « top-down », neutrinos cosmogéniques ou « GZK »...), sur leur nature exacte (protons-noyaux), sur la distribution de leur sources, etc.

Dans le cadre d'un travail de doctorat mené dans notre groupe, l'étude des neutrinos tau à incidence rasante susceptibles d'interagir dans la croûte terrestre a été poursuivie et en grande partie revisitée notamment par l'étude des incertitudes systématiques sur les modèles d'interactions à UHE des neutrinos et des leptons tau. Cette étude a permis de sonder pour la première fois le domaine des flux de neutrinos à UHE se situant au-delà de la limite phénoménologique de Waxman et Bahcall. Une autre voie a également été explorée en étudiant la sensibilité de l'observatoire à des neutrinos électroniques à incidence rasante. En effet, un neutrino électronique interagissant au sein de la croûte terrestre par courant chargé engendre une gerbe souterraine à dominante électromagnétique dont le développement est retardé par l'effet LPM⁸, effet se manifestant à haute énergie dans un milieu suffisamment dense. Ce ralentissement des processus radiatifs permet à la gerbe de parcourir des distances relativement importantes dans la roche, augmentant de ce fait la masse de cible potentielle et donc la sensibilité du réseau de surface détectant ces gerbes émergentes. Il s'avère cependant qu'à ces énergies, les interactions photo-nucléaires au sein de la gerbe électromagnétique tendent à restreindre la portée de ces gerbes. Ceci a cependant permis de placer une limite spécifique sur le flux de neutrinos électroniques d'énergies supérieures à 10^{19} eV. Les performances attendues du futur observatoire, dans le cadre de propositions pour en étendre encore les performances et pour une période au-delà de 2015, ont également été évaluées. L'étude a porté sur l'impact d'une nouvelle électronique d'acquisition et de nouveaux modes de déclenchements sur l'efficacité de détection des neutrinos à incidence rasante par les stations du réseau au sol. Ce travail de thèse a été soutenu le 30 septembre 2013.

NOY

Le détecteur de rayons cosmiques NOY est installé à flanc de montagne à 1500 mètres d'altitude et à une heure de marche par temps sec de toute route praticable. L'année 2012 a été pour NOY une année de découverte et d'apprentissage en situation extrême. En effet, la rigueur hivernale et sa longueur exceptionnelle ont obéré une exploitation sur une grande fraction de l'année. Des hauteurs de neige supérieures à 3 mètres ont non seulement recouvert les détecteurs, mais causé des dégâts mécaniques importants aux panneaux solaires. La longueur de

⁸ Landau Pomeranchuk Migdal

l'hiver, les intersaisons à l'ensoleillement peu favorable, conjuguée aux difficultés d'accès sur site, ont retardé notablement la mise en exploitation. Le système de régulation solaire s'est souvent mis en veille, nécessitant des interventions sur site pour remises en route. Des commutations fréquentes ont parfois eu raison des étages d'entrée de l'électronique. Afin de remédier à cet ensemble de dysfonctionnements, une carte électronique de gestion automatique et télécommandable du système électrique a été mise à l'étude, et devrait pouvoir être installée prochainement.

Le cycle utile effectif de fonctionnement annuel a atteint 16 %, essentiellement pendant les campagnes d'été. L'acquisition d'environ 2000 gerbes cosmiques pendant la période stable d'exploitation a permis de calibrer et de valider le bon fonctionnement du détecteur. La distribution des événements acceptés est conforme aux prévisions de la simulation qui tient compte des conditions spécifiques de fonctionnement (plan de détection incliné et scintillateurs dans le plan vertical).

L'été en montagne étant propice aux orages, un système de rejet en ligne d'événements d'orages a pu être exploité de façon satisfaisante. Les résidus d'événements d'orages ont tous été identifiés aisément à l'analyse par la forme du signal comme provenant d'un front d'onde électromagnétique plus ou moins proche du détecteur. Certains de ces événements semblent provenir des montagnes, parmi lesquels quelques uns auraient pu simuler une signature neutrino.

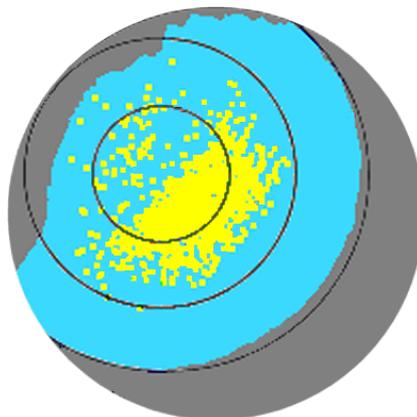


Fig. 3 : Carte du ciel des événements cosmiques détectés par NOY.

Le cercle extérieur délimite le champ de vision de NOY : seules sont visibles sur l'image les directions au-dessus du plan de détection (incliné à 30°). Les cercles noirs sont centrés sur le zénith et représentent les angles zénithaux de 30° , 60° et 90° . La zone bleue : le ciel. La zone grise : les montagnes (Chartreuse en haut à gauche, Belledonne et l'écorce terrestre sous l'horizon en bas à droite). Les points jaunes figurent les directions d'arrivée des événements acceptés (cosmiques); les événements « neutrino » devraient provenir de l'intérieur des montagnes soit de la zone grise, notamment à l'Est-Sud-Est (en bas à droite de la figure).

L'exploitation du détecteur en phase opérationnelle se montre clairement satisfaisante et laisse envisager une poursuite de prise de données, lorsque les problèmes du système de gestion de l'énergie, adapté aux conditions climatiques rigoureuses, auront été résolus.

Pour en savoir plus

The Pierre Auger Observatory: Contributions to the 33rd International Cosmic Ray Conference, the Pierre Auger Collaboration, ICRC 2013, Rio de Janeiro, Brésil, <http://arxiv.org/abs/1307.5059> (2013)

LSST et cosmologie théorique

A. Barrau, A. Choyer, J.-S. Ricol, F. Vidotto, F. Villa
 R. Faure, M. Migliore, Service Détecteur et Instrumentation
 C. Vescovi, Service Électronique
 F. Vezzu, Service Études et Réalisations Mécaniques

The group is involved in various activities around the large telescope LSST. We are developing an efficient method for reconstructing photometric redshifts. We are responsible for the development of camera calibration bench as well as the construction of the filter changer. We also study some aspects of loop quantum cosmology.

Activités liées au télescope LSST

Le projet LSST est un télescope qui permettra dès 2017 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.

Reconstruction des Redshifts photométriques

L'un des enjeux majeurs de l'expérience LSST va être la reconstruction précise du redshift des galaxies. Nous avons développé une méthode qui utilise les caractéristiques des densités de probabilité des paramètres reconstruits (par Template fitting) pour éliminer les catastrophiques et améliorer considérablement les performances, grâce à une coupure sur un paramètre LR (Likelihood Ratio) donnant la probabilité pour une galaxie d'avoir été bien reconstruite. Avec un choix judicieux de coupure sur ce paramètre, notre méthode permet d'atteindre les spécifications de LSST jusqu'à un Redshift de 3 environ.

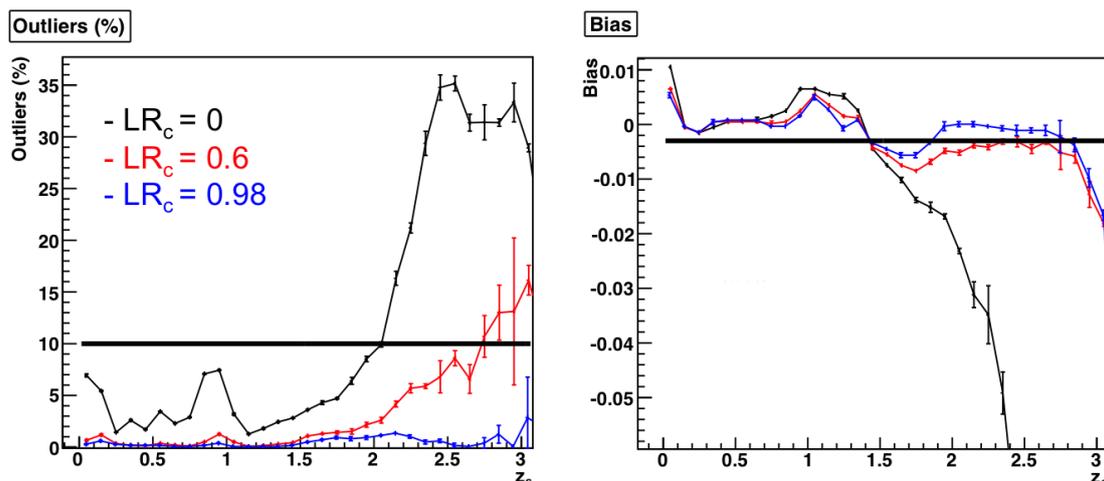


Fig. 1 : Évolution du nombre de catastrophiques (gauche) et du biais (droite) en fonction du Redshift pour différentes coupures sur LR.

Banc de calibration de la caméra (CCOB) et chargeur de filtre

La caméra de LSST sera la plus grosse caméra jamais construite et possèdera plus de 3 milliards de pixels qu'il faudra calibrer à une précision meilleure

que 0,5%. Le banc d'étalonnage de la caméra (CCOB) est à la charge du LPSC et nous sommes actuellement en train de valider un système LED sur un banc prototype. Les efforts de ces dernières années ont porté sur la caractérisation de la structure du faisceau à petite échelle et sur la simulation des performances du CCOB quant à l'alignement mécanique des éléments optiques de la caméra.

Dans le cadre du système d'échangeur de filtres de la caméra, le LPSC a pris la responsabilité de la fourniture de tous les éléments nécessaires à la construction et au fonctionnement du système « Chargeur de filtres ». Le service d'études et de réalisations mécaniques et le service électronique sont impliqués dans ce projet. La conception mécanique détaillée du prototype échelle 1 qui sera testé en 2014 est bien avancée et sera présentée pour la PDR fin 2013. Un premier avant-prototype du système de verrouillage des filtres a été réalisé et une première série de tests a pu être faite. L'architecture du contrôle commande est définie et la mise en œuvre des automatismes est commencée.

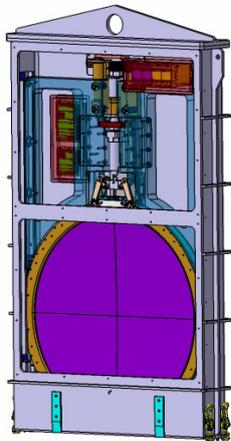


Fig. 2 : Vue CAO de l'ensemble chargeur de filtres.

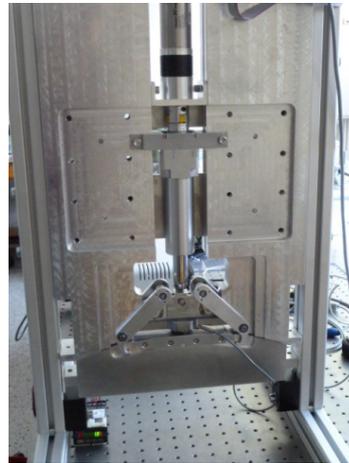


Fig. 3 : Prototype du système de verrouillage des filtres.

Cosmologie théorique

La gravitation quantique à boucles est un des rares modèles cohérents de quantification non-perturbative et invariante de fond de la relativité générale. Une communauté d'environ 200 chercheurs dans le monde travaille sur cette approche. La cosmologie quantique à boucles (LQC) est essentiellement l'application de ce cadre théorique à l'Univers dans son ensemble.

Le résultat principal de la LQC est la disparition du Big Bang : l'évolution cosmologique ne présente plus de singularité et un grand rebond « Big Bounce » remplace le traditionnel Big Bang. Notre travail s'est porté sur (i) La construction d'une algèbre de contraintes cohérente incorporant les corrections d'holonomie et d'inverse-triades (i.e. les deux corrections quantiques majeures en LQC). (ii) La dérivation du spectre tensoriel primordial avec les corrections d'holonomie. (iii) L'étude d'une phase de « silence asymptotique », en accord avec la conjecture BKL, comme limite possible de la théorie à haute densité (ainsi que d'un éventuel changement de signature de la métrique). (iv) La mise en évidence de l'existence systématique d'une phase d'inflation cosmologique suffisamment longue pour être en accord avec les observations. (v) L'étude des anisotropies en cosmologie quantique.

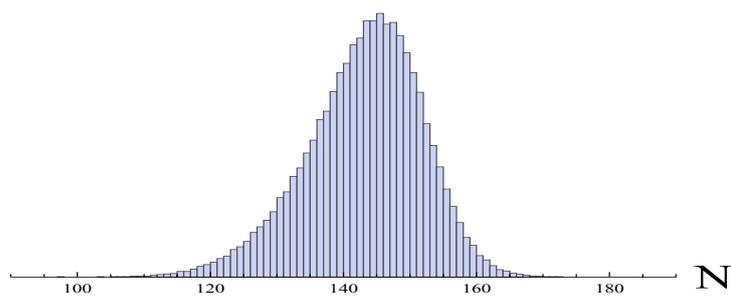


Fig. 4 : Distribution de probabilité du nombre d'e-folds de l'inflation N en cosmologie quantique à boucles

Pour en savoir plus

"A new method to improve photometric Redshift reconstruction. Application to the Large Synoptic Survey Telescope" A. Gorecki et al, submitted to A.A, arXiv:1301.3010.

"The duration of inflation as a prediction of loop quantum cosmology", L. Linsefors, A. Barrau, Phys. Rev. D, 87 (2013) 123509.

Détection directionnelle de matière sombre avec MIMAC

D. Santos, J. Billard, J. Lamblin, F. Mayet, Q. Riffard

C. Bernard, O. Guillaudin, M. Marton, J. Médard, J.-F. Muraz, A. Pelissier, Service Détecteurs et Instrumentation

G. Bosson, J.-L. Bouly, O. Bourrion, J.-P. Richer, J.-P. Scordilis, Service Électronique

C. Fourel, J. Giraud, J.-C. Malacour, D. Fombaron, S. Roni, S. Roudier, Service Études et Réalisations Mécaniques

T. Lamy, J. Angot, P. Sole, P. Sortais, Service des Sources d'ions

O. Meplan, Laboratoire de mesure des faibles radioactivités

MIMAC is a project of a large TPC dedicated to directional dark matter detection. This is a powerful search strategy, which requires measuring both the energy and the 3D track of recoiling nuclei. An important step has been achieved in June 2012 with the installation at Modane Underground Laboratory of the bi-chamber prototype.

Several activities were developed: phenomenology of directional detection, data analysis strategies, primary scintillation and portable ionization quenching facility.

La détection directionnelle constitue une stratégie innovante de recherche de Matière Sombre galactique. L'idée est de profiter du mouvement du système solaire autour du centre galactique et à travers le halo de matière sombre. On observe ainsi un vent relatif de WIMP en provenance de la direction vers laquelle se dirige le système solaire (en l'occurrence vers la constellation du Cygne). Une expérience permettant de mesurer à la fois l'énergie et la direction des reculs nucléaires, devrait donc observer un excès d'événements dans cette direction, clairement discriminable du bruit de fond, isotrope dans le référentiel galactique. Le projet MIMAC est une première étape vers la définition d'un grand détecteur directionnel pour la détection de matière sombre. Dans ce cadre, plusieurs axes de recherches sont développés.

Phénoménologie

La détection directionnelle peut permettre une découverte de la matière sombre, grâce à la reconstruction de la direction principale du signal. Nous avons cherché à estimer la signification statistique qui pourrait être associée à une telle découverte.

Dans une approche fréquentiste des probabilités, la signification d'un processus physique peut être évaluée grâce au test statistique du rapport de vraisemblance profilée. Cela permet de tenir compte des incertitudes astrophysiques, (densité locale de matière sombre, vitesse du soleil), en les considérant comme des paramètres de nuisance dans la fonction de vraisemblance. Cette méthode est d'intérêt général car elle ouvre la voie à des analyses au-delà du modèle standard de la matière sombre, souvent utilisé pour faciliter les comparaisons mais néanmoins marginalement compatible avec les résultats astrophysiques récents.

Cette étude a également permis de montrer quels étaient les paramètres expérimentaux les plus critiques pour la détection directionnelle, en l'occurrence le taux de bruit de fond résiduel et le seuil en énergie. Contrairement à ce que l'on pensait initialement, de bonnes résolution angulaire et efficacité de

reconnaissance du sens de la trace ne constituent pas des conditions sine qua non à la détection directionnelle.

Finalement, nous avons montré qu'un détecteur directionnel de 30 kg.an de CF4 permettrait une découverte à 3σ à 90% CL jusqu'à une section efficace WIMP-nucléon axiale de l'ordre de 10^{-5} pb.

Ce résultat n'est pas influencé par l'éventuelle présence d'un disque de matière sombre en corotation avec notre disque stellaire, comme suggéré par les récents résultats des simulations N-corps. Cette étude répond à l'inquiétude, légitime a priori, apparue dans la communauté de la matière sombre.

En collaboration avec deux chercheurs du LAPTH, nous avons évalué les conséquences au niveau de la supersymétrie de ces futurs résultats. Nous avons montré qu'une large fraction des modèles supersymétriques (minimaux et non-minimaux), avec une masse de WIMP inférieure à 200 GeV, pourrait être découverte avec une signification supérieure à 3σ par les futurs détecteurs directionnels tels que MIMAC.

Analyse de données

La détection directionnelle requiert la reconstruction de l'énergie et de la trace 3D du noyau de recul et ce jusqu'à très basse énergie (~ 5 keV). Cela nécessite le développement de méthodes d'analyse de données optimisées pour en tirer l'information souhaitée.

La première problématique est liée à la reconstruction 3D des événements qui doit fournir in fine :

- La localisation du vertex d'interaction, dans le but de proposer une fiducialisation du détecteur.
- La reconstruction de la direction initiale du recul.
- La reconstruction du sens de la trace.

Nous avons développé une méthode d'analyse de données directionnelle, basée sur une comparaison avec des données simulées, via un maximum de vraisemblance. Nous avons montré que les performances attendues pour le détecteur MIMAC sont suffisantes pour envisager le programme de physique décrit plus haut.

Le second sujet d'étude est lié à la discrimination électron/noyau de recul. Nous avons proposé une méthode d'analyse multivariée par étiquetage des événements (électron ou noyau de recul) en fonction de la sortie d'une analyse en arbres de décision « boostés » qui incorpore les principales observables discriminantes.

Installation du module bi-chambre au LSM

Le prototype du module bi-chambre construit au LPSC constitue la brique élémentaire de la matrice MIMAC. Il consiste en deux chambres de 10 cm x 10 cm x 25 cm avec une cathode commune en mylar aluminisé d'une épaisseur de 12 μm . Chaque chambre est un μTPC avec le mélange gazeux suivant: CF₄ + 28% CHF₃ + 2% C₄H₁₀ fonctionnant à très basse pression (50 mbar). Suite à l'ionisation produite par un noyau de recul les électrons dérivent sous l'effet du champ électrique de collection (~ 180 V/cm) jusqu'à la grille (micromesh). Dans la

zone d'avalanche, un champ électrique plus intense (~ 18 kV/cm) permet ensuite d'amplifier le signal par avalanche, avec un gain de l'ordre de 3000 pour un gap de $256 \mu\text{m}$. L'utilisation d'une Micromegas pixélisée développée en collaboration avec l'IRFU (Saclay) (avec un pitch de $424 \mu\text{m}$) permet d'accéder à la projection de la trace sur l'anode et de mesurer ses coordonnées x et y . La troisième coordonnée est obtenue par une lecture de l'anode avec une fréquence de 50 MHz. En connaissant la vitesse de dérive des électrons, dans ce mélange gazeux et pour ce champ électrique appliqué, il est ainsi possible de reconstruire la coordonnée en z . Une mesure de cette vitesse de dérive a été faite par notre équipe par une méthode originale. Une électronique dédiée a été développée par le service d'électronique du LPSC (voir rapport d'activité 2010-2011). Il s'agit d'une électronique auto-déclenchée comportant un ASIC 64 voies et son acquisition associée. Elle comporte un traitement embarqué qui permet en particulier de limiter le transfert de données à uniquement l'énergie et les coordonnées des pixels touchés. Elle permet la lecture de l'anode toutes les 20 ns, ce qui ouvre la possibilité de reconstruire une trace de quelques millimètres, en trois dimensions, qui est un atout majeur du détecteur MIMAC.

Nous avons installé pour la première fois le prototype bi-chambre à Modane en juin 2012 (Fig. 1).

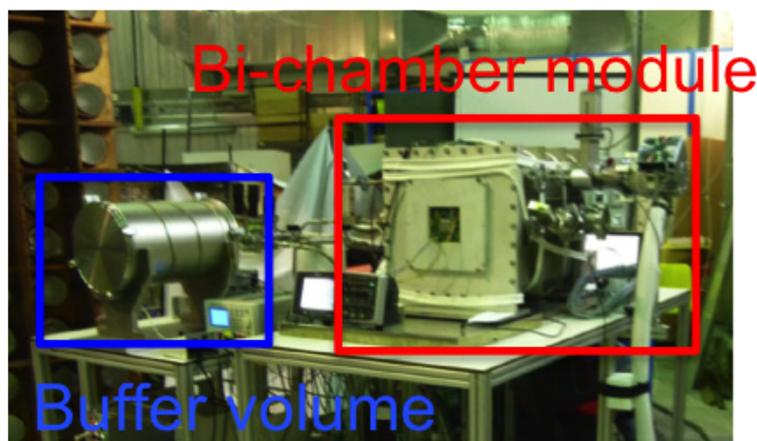


Fig. 1: Installation du prototype bi-chambre à Modane en juin 2012.

Nous avons pu étalonner le détecteur par des rayons X de fluorescence produit par un générateur X sur des feuilles de Cd, Fe, Pb. Nous avons pu montrer la linéarité et la stabilité de l'étalonnage tout au long des 4 mois de mesure en 2012 et puis à partir de juin 2013 après la nouvelle installation.

Nous avons pu détecter pour la première fois les traces des noyaux de recul provenant de la désintégration du ^{222}Rn dans le cas où la particule alpha est absorbée par la matière de la cathode. Ces traces ont une longueur de l'ordre du millimètre et elles ont été clairement identifiées par notre détecteur. Le spectre de ces événements entre 20 keV et 55 keV en ionisation est montré dans la figure 2.

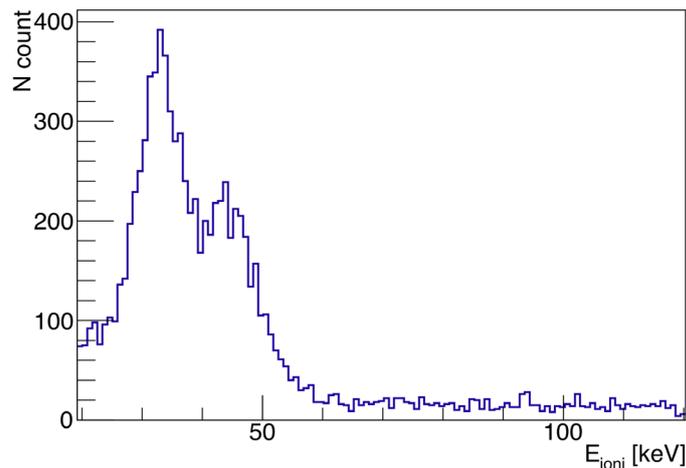


Fig. 2: Spectre des événements présentant une trace en 3D provenant de la désexcitation du ^{222}Rn .

Scintillation primaire dans le CF_4 à 50 mbar

L'une des améliorations possibles du prototype actuel de MIMAC serait l'ajout de photodétecteurs afin d'être sensible à la scintillation primaire du CF_4 . Elle permettrait notamment de mesurer la localisation longitudinale des interactions. En 2012, des tests ont été effectués au LPSC avec une source d'ions permettant d'injecter directement des noyaux de fluor entre 10 keV et 40 keV dans une enceinte contenant une micromegas et un photomultiplicateur. Pour la première fois, la scintillation primaire issue de l'interaction des noyaux de fluor a pu être observée à partir de 10 keV et pour une pression de 50 mbar.

Ligne de Quenching portable: COMIMAC

Voir section *Valorisation*.

Pour en savoir plus

F. Mayet and D. Santos (Eds), *Proceedings of the Third International Conf. on Directional Detection of Dark Matter (CYGNUS 2011)*, EAS Publi. Series, Vol. 53, 2012.

J. Billard, F. Mayet and D. Santos, *Phys. Rev. D* 85 (2012) 035006.

J. Billard et al., *Phys. Lett. B* 718 (2013) 1171.

J. Billard, F. Mayet and D. Santos, *JCAP* 07 (2012) 020.

J. Billard, F. Mayet et al, *arXiv:1305.2360*.

Q. Riffard et al. *Proceedings of the 48th Rencontres de Moriond*, *arXiv:1306.4173*.

J. Lamblin, *HDR de l'Univ. de Grenoble*, 2013.

NIKA

*J. F. Macías-Pérez, R. Adam, J. Angot, A. Catalano, B. Comis, F. Mayet, L. Perotto
C. Vescovi, G. Bosson, J.-L. Bouly, O. Bourrion, J.-P. Girard, J. Menu, S. Muggeo,
J.-P. Scordillis, D. Tourres, Service Électronique
G. Dargaud, Service Informatique
R. Faure, A. Pelissier, O. Zimmermann, Service Détecteurs et Instrumentation
D. Fombaron, G. Freche, C. Geraci, E. Perbet, Service Études et Réalisations Mécaniques*

NIKA is a project dedicated to the construction and scientific exploitation of a millimeter dual band camera, based on arrays of KIDs, to be operated at the IRAM 30m telescope in Granada. The LPSC is a founding member of the collaboration and it is fully invested on this project with large contributions both in the technical and scientific sides. A prototype of the instrument has been constructed and installed in 2013 and first successful scientific results were obtained.

Après le satellite Planck, construit à partir de détecteurs individuels, le futur de l'étude du Fond Diffus Cosmologique dans le domaine millimétrique passe forcément par l'utilisation de matrices de détecteurs. Celles-ci permettent d'une part d'augmenter significativement la sensibilité des instruments pour la mesure des modes B en polarisation et donc l'étude de l'univers primordial, et d'autre part d'avoir accès à la haute résolution angulaire pour une étude détaillée des amas de galaxies par effet Sunyaev-Zeldovich et de l'époque de réionisation de l'Univers. Dans ce cadre, les caméras à base de « Kinetic Inductance Detectors » (KIDs) peuvent jouer un rôle majeur. Le LPSC, en collaboration avec l'Institut Néel et l'IRAM, est un acteur du projet NIKA. NIKA est un projet pour la construction et l'exploitation d'une caméra bi-bande (140 et 240 GHz) de matrices de KIDs (environ 5000 détecteurs en tout) pour des observations en intensité et polarisation dans le domaine millimétrique au télescope de 30 m de l'IRAM à Pico Veleta, près de Grenade en Espagne. Le projet comporte trois phases principales: 1) construction et test d'un prototype comprenant une centaine de détecteurs par canal, 2) construction et installation de la caméra finale, et 3) exploitation scientifique du temps d'observation garanti.

L'ensemble de la caméra est composé d'un cryostat à dilution 100 mK, de trois matrices de KIDs, d'un système optique de reprise froide, d'un ensemble optique pour la polarisation, d'une électronique froide et des électroniques chaudes RF et de lecture. Un prototype de cette caméra avec une centaine de détecteurs par canal a été réalisé et installé de manière permanente au télescope pendant l'année 2013. Le LPSC a eu la responsabilité du développement et de la construction de l'électronique de lecture baptisée NIKEL (Fig. 1 gauche), du prototype et de la caméra finale ainsi que du système de mesure de la polarisation. Huit boîtiers NIKEL ont été livrés à la collaboration ainsi qu'un système complet de polarisation (lame demi-onde et polariseur tournants). Le LPSC participe également activement à la conception du cryostat de la caméra finale et à sa construction ainsi qu'aux développements mécaniques et des logiciels de contrôle du système cryogénique et de l'instrument.

Des observations de qualité scientifique ont été pour la première fois obtenus avec des KIDs. L'équipe du LPSC a joué un rôle majeur dans l'analyse et interprétation de ces données qui ont conduit notamment aux observations d'un amas de galaxie par effet SZ avec une précision inégalée (Fig. 1 droite). Forte de ce succès, la caméra prototype a été ouverte aux observateurs externes.

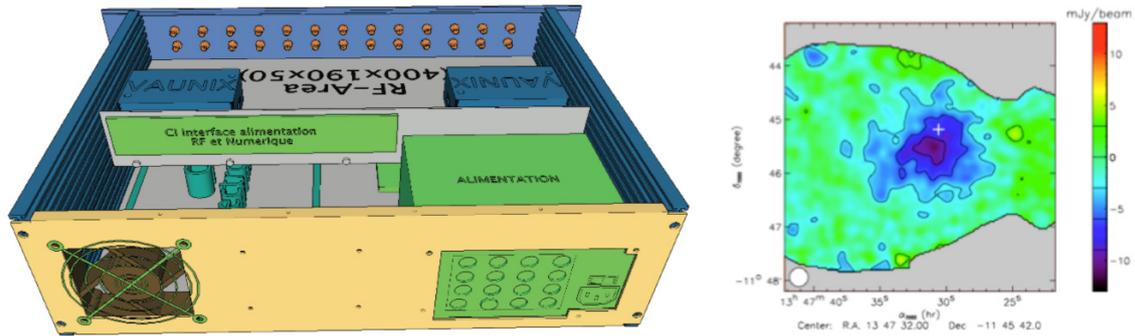


Fig. 1: Rack d'électronique de lecture NIKEL (gauche) et carte de l'effet SZ sur l'amas de galaxies RXJ1347.5-1145.

Pour en savoir plus

Adam et al., "First observation of the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect with Kinetic Inductance Detectors", *A&A*, 2013, soumis à publication.

A. Monfardini et al., "Latest NIKA results and the NIKA-2 project", 2013, *JLTP arXiv1310.1230M*.

M. Calvo et al., "Improved mm-wave photometry for kinetic inductance detectors", 2013 *A&A*.551L.12C.

Bourrion, "Electronics and data acquisition for kilopixels kinetic inductance camera", 2012 *SPIE*.8452E 00B.

M. Calvo et al., "The NIKA 2011 run: results and perspectives towards a permanent camera for the Pico Veleta observatory", 2012 *SPIE*.8452E..03C.

Étude du rayonnement fossile avec Planck

*J. F. Macías-Pérez, R. Adam, A. Catalano, C. Combet, B. Comis, G. Hurier, F. Kharab, L. Perotto, C. Renault, L. Sanselme, D. Santos
F. Melot, Service Informatique
F.-X. Désert, P. Hily-Blant, N. Ponthieu, IPAG*

Planck is the first European Spatial Agency (ESA) mission dedicated to the measurement of the Cosmic Microwave Background (CMB) radiation. Since the launch in 2009, May 14th, Planck has collected data which meet or surpass the required quality. The first cosmological results have been published in March 2013 along with the delivery of the maps in temperature and catalogues of sources from the 15 months of the nominal mission.

The LPSC has the responsibility of the processing of the HFI timeline analysis, the extraction of the CO maps, the validation of the SZ source catalogue, the measurement of the diffuse SZ component and a deep contribution to the measurement of the gravitational lensing of the CMB by the line-of-sight matter.

Contexte scientifique

Le fond diffus cosmologique

Le rayonnement fossile à 3 K (ou CMB pour Cosmic Microwave Background) est la plus ancienne image de l'univers qui nous soit accessible. En effet, il correspond à la surface de dernière diffusion, lorsque l'univers s'était suffisamment refroidi pour que les premiers atomes se forment et que les photons, ne pouvant plus agir avec les électrons, se propagent librement jusqu'à nous. C'est une observable fondamentale pour l'élaboration du modèle cosmologique actuel – corroboré par l'ensemble des observations dans ses grandes lignes, dans lequel les fluctuations de courbure générées par l'inflation environ 10^{-30} seconde après le Big-Bang auraient évolué par effondrement gravitationnel dans un Univers en expansion pour donner naissance aux grandes structures de l'Univers (galaxies, amas et super amas de galaxies). L'étude de la carte du CMB sur l'ensemble de la voûte céleste donne accès au spectre de puissance des fluctuations de température moins de 400 000 ans après la période d'inflation. Ce spectre contient donc l'information sur le spectre initial des fluctuations ainsi que sur les propriétés de l'Univers dans lequel elles ont évolué. Par ailleurs, le rayonnement fossile, polarisé à 10%, recèle encore deux observables supplémentaires: le mode E de polarisation, essentiel pour l'étude de la réionisation de l'Univers notamment, et le mode B de polarisation, généré par les ondes gravitationnelles produites à l'issue de la période inflationnaire.

L'expérience satellite Planck

Après COBE et WMAP, Planck est la troisième génération de satellite dédié à l'observation du CMB, et le premier mis en oeuvre par l'agence spatiale européenne. L'objectif de Planck est la mesure définitive des anisotropies primaires en température et une première mesure de précision pour la cosmologie du mode E de polarisation. La mesure du mode B de polarisation sera vraisemblablement l'enjeu de la quatrième génération de satellite, d'ores et déjà à l'étude. À partir de l'étude statistique des observables, les paramètres cosmologiques tels que la

géométrie et le contenu de l'Univers mais également la dynamique de la période d'inflation ont été estimés précisément, avec des erreurs de un à quelques pourcents selon ces paramètres. Cette précision inégalée a permis de défavoriser de nombreux modèles de nouvelle physique qui ont dû faire face à de très fortes contraintes observationnelles. La qualité des cartes fournies, tant en termes de sensibilité que de résolution angulaire, permet également une reconstruction des anisotropies dites secondaires, car affectant le CMB après son émission. Ainsi, Planck a fourni la première reconstruction aux plus grandes échelles angulaires de l'effet de lentille gravitationnelle que les grandes structures impriment sur le CMB, lui conférant ainsi une sensibilité à l'échelle absolue de masse des neutrinos. Planck a détecté aussi un millier d'amas et super amas de galaxies grâce à leur interaction avec le rayonnement fossile par effet Sunyaev-Zeldovich, ouvrant ainsi une nouvelle voie pour l'étude statistique des grandes structures.

Planck est une collaboration internationale organisée autour des deux instruments LFI et HFI (pour Low et High Frequency Instrument), regroupant environ 400 chercheurs, dans une dizaine de pays en Europe et en Amérique, pour un budget d'environ 550 M€. En France, le LPSC a des responsabilités « clés » tant au niveau de l'instrument que de l'analyse de données. La période 2012-2013 a été marquée par la fin des opérations de HFI le 14 janvier 2012 et la fin des opérations de LFI le 13 août 2013. Le fonctionnement des électroniques et logiciels embarqués conçus et testés au LPSC a été nominal. Cette période a également été intense en termes d'analyse et d'interprétations des données, ainsi qu'en rédaction des articles scientifiques qui présentent les résultats de la mission nominale.

Analyse et interprétation des données de Planck

Analyse des données de l'instrument HFI

Le plan focal de l'instrument HFI contient 52 bolomètres sensibles à la température et à la polarisation du ciel dans une large gamme de fréquences d'observation de 100 à 857 GHz. Avant de pouvoir projeter les données issues des détecteurs sur une carte, il est indispensable de séparer l'information venant effectivement du ciel des perturbations issues de l'instrument lui-même. Celles-ci peuvent venir de l'interaction d'un rayon cosmique avec le bolomètre, d'une fluctuation de l'émission thermique d'un élément du système optique (miroirs, cornets, filtres, bolomètres), d'une variation de la réponse du détecteur ou du bruit parasite produit par la machine cryogénique à 4 K. Notre groupe a la responsabilité du développement et de l'intégration des outils nécessaires à cette étape. Ce travail se fait de façon itérative et en relation avec les étapes ultérieures de l'analyse, notamment la fabrication des cartes. Il s'appuie sur de nombreuses études visant à comprendre en détail le fonctionnement du détecteur et à quantifier la qualité des données avant projection sur les cartes par exemple. Les cartes obtenues (Fig. 1) ont été à la base de 29 articles publiés en 2013.

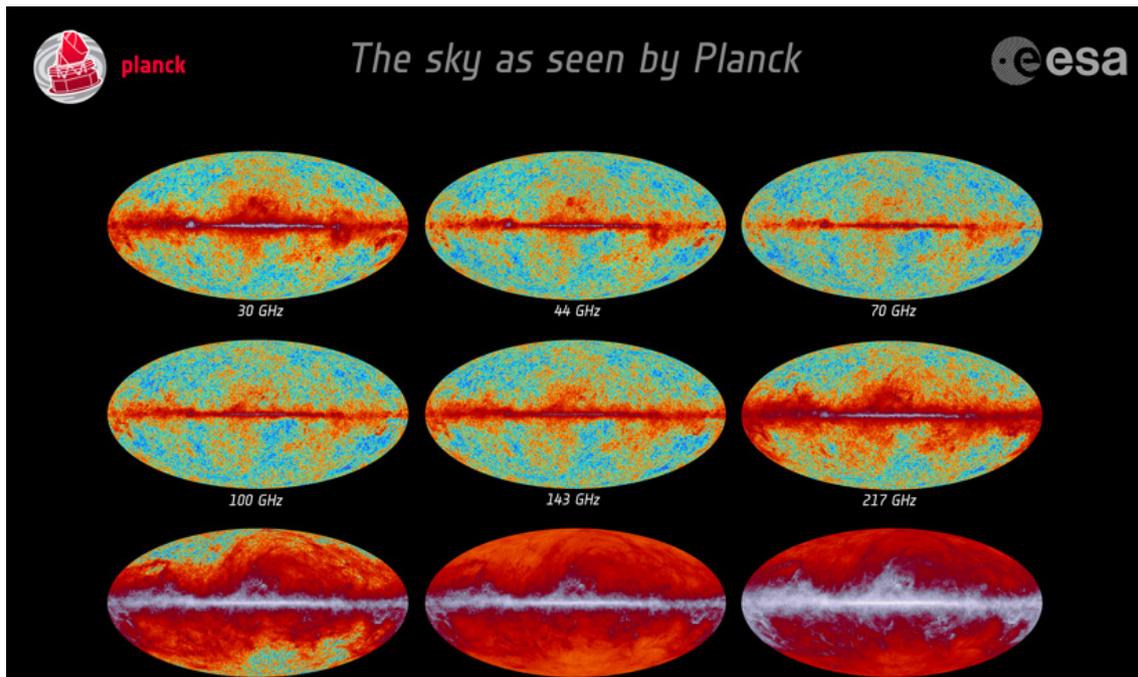


Fig. 1 : Cartes en coordonnées galactiques des 6 fréquences de Planck-HFI. Crédits ESA - collaboration Planck.

Effet de lentille gravitationnelle

Une nouvelle méthode d'analyse, appelée METIS, a été proposée. Elle se base sur la précédente version du pipeline développé au LPSC - incluant un traitement des masques par une technique d'« inpainting », un estimateur du potentiel gravitationnel utilisant les non-gaussianités induites pour l'effet de lentille dans la carte de température et une correction des biais par une méthode Monte-Carlo - et en améliore significativement la robustesse aux effets systématiques par le recours à un traitement a posteriori de la carte reconstruite du potentiel des lentilles. Les masques des sources ponctuelles et de l'émission galactique diffuse destinés aux cartes par fréquence à 100, 143 et 217 GHz ont été optimisés, fournis à la collaboration et utilisés pour l'analyse finale.

La méthode METIS a été appliquée sur des cartes nettoyées des émissions astrophysiques par les 4 techniques de séparation de composantes « officielles », à la fois sur les données et sur les simulations « full-focal plane ». Il a été montré que ces cartes permettent d'obtenir une reconstruction de l'effet de lentille sur près de 90% du ciel (Fig. 2) et qui soit compatible à 1 sigma à la reconstruction officielle.

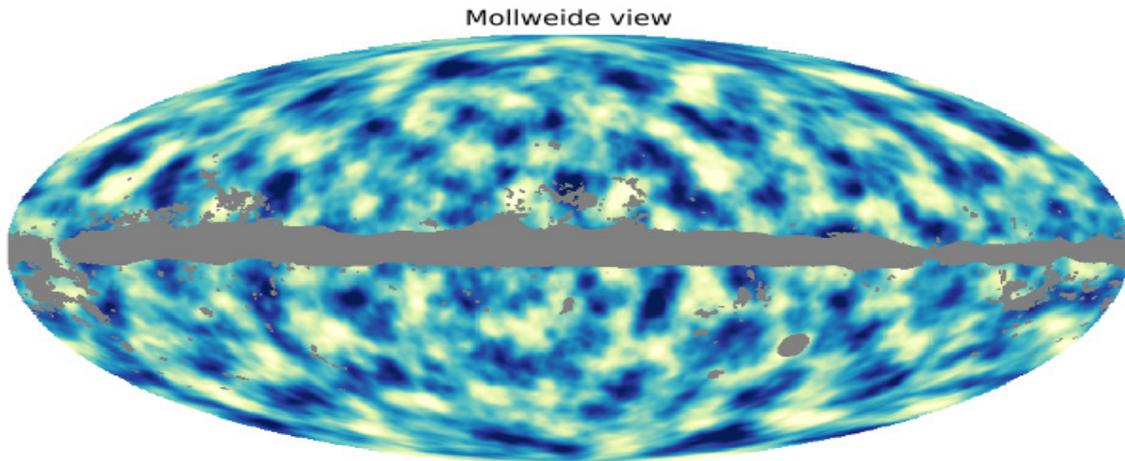


Fig. 2 : Carte en coordonnées galactiques du potentiel gravitationnel intégré sur la ligne de visée déduit des déformations de la carte du rayonnement fossile par effet de lentille gravitationnelle. Crédits ESA - collaboration Planck.

Emissions d'avant-plans et systématiques liés à la polarisation

Les bandes spectrales des détecteurs de Planck étant différentes dans un même canal en fréquence, des fuites du signal en intensité vers le signal en polarisation se produisent inévitablement. Il est indispensable de quantifier cet effet et de le corriger au mieux (correction de couleur et fuite de E dans B). Des méthodes de séparation de composantes dédiées sont appliquées pour estimer et corriger cet effet de fuite. Les données en polarisation n'ont pas été publiées mais l'étude est faite sur chaque version des cartes. La présence de raies du CO dans trois des bandes spectrales de Planck doit aussi être prise en compte. Une méthode de production de cartes du CO (Fig. 3) et de cartes de correction de la contamination par fréquence a été mise au point. Les résultats sont produits pour chaque version des données et font partie des « délivrables », le LPSC ayant eu la responsabilité de ce produit.

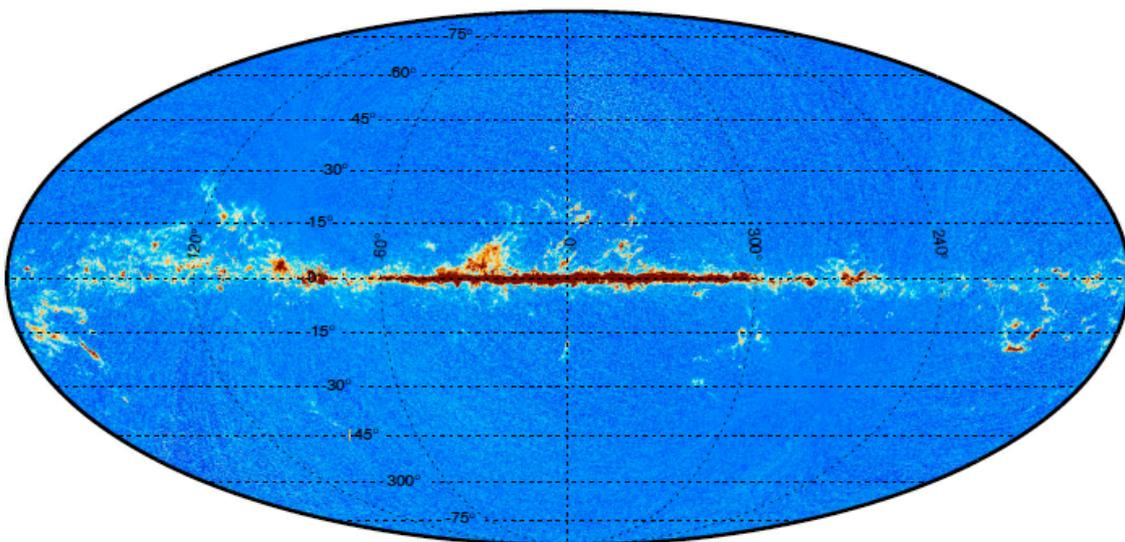


Fig. 3 : Carte en coordonnées galactiques de la raie 1-0 du monoxyde de carbone (CO). Crédits ESA - collaboration Planck.

Effet Sunyaev-Zeldovich (SZ)

L'équipe du LPSC a été très active dans la construction et validation des catalogues successifs d'amas de galaxies détectés via l'effet SZ thermique : plus de 3000 amas candidats étudiés individuellement, plus de 1200 amas validés et publiés en mars 2013. Le catalogue d'amas de galaxies détectés par effet SZ est un livrable de Planck. L'échantillon devient suffisamment important pour que l'effet SZ entre dans la boîte à outils de la cosmologie observationnelle. C'est en particulier le cas pour le paramètre σ_8 qui caractérise les contrastes de densité de la matière qui est mesuré à partir de la statistique des amas de galaxies.

L'émission diffuse a également été scrupuleusement recherchée et étudiée. Une première détection de gaz chaud dans un filament inter-amas a été faite et publiée dans un « Intermediate Paper ». Les simulations montrent qu'une fraction importante de la matière, y compris baryonique, devrait se trouver dans les filaments inter-amas mais ce gaz très ténu et très chaud est particulièrement difficile à détecter directement. L'effet SZ offre une nouvelle possibilité. Un autre système plus compliqué, composé d'au moins trois galaxies massives est également en cours d'étude. De même l'émission diffuse sur tout le ciel a été cartographiée (Fig. 4) et son spectre de puissance angulaire ainsi que ses propriétés statistiques d'ordre supérieur ont été mesurées.

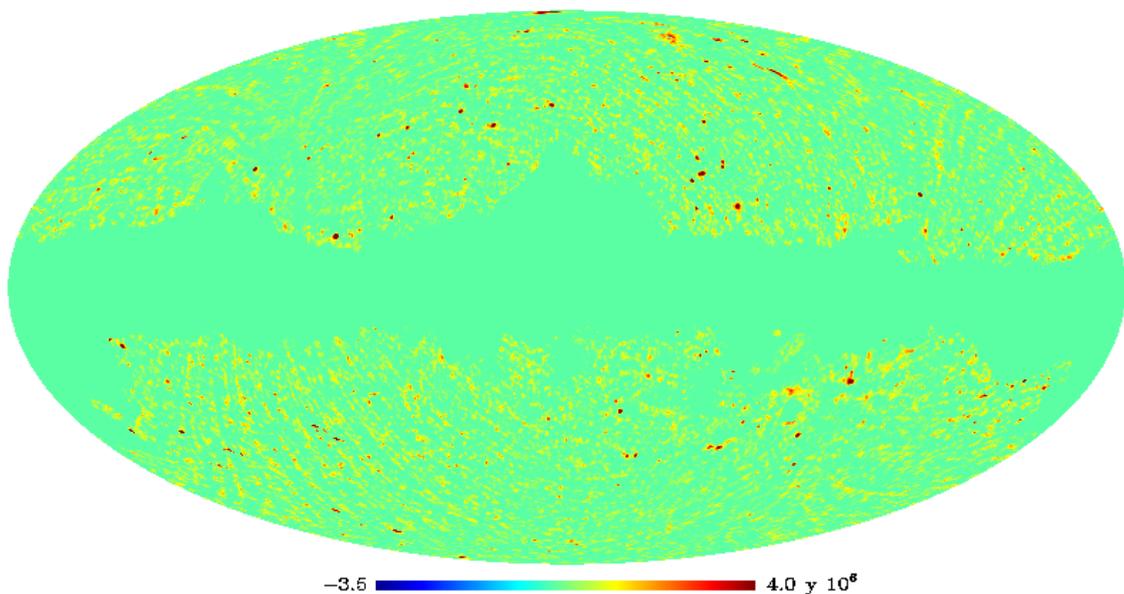


Fig. 4 : Cartes du paramètre de Compton Y mesuré avec la méthode MILCA. Crédits ESA - collaboration Planck.

Communication

Plusieurs actions ont été menées en 2012-2013 : site internet planck.fr (pages de contenu, animations interactives pédagogiques), mallette pédagogique (pour lycées, clubs d'astronomie, animations grand public), intégration d'un bolomètre au contenu de l'exposition (conception et construction du présentoir), diffusion des résultats de mars 2013 (contenu des pages Web), co-écriture d'un film de 5 minutes de présentation de la mission, conception d'une image de l'univers vu

par Planck en 3D, événements grand public (Grenoble, Échirolles, Vaulx-en-Velin, Dijon, Lyon).

Pour en savoir plus

Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results., Planck Collaboration, and 276 colleagues 2013. ArXiv e-prints arXiv:1303.5062.

Hadrons et Noyaux

L'objectif de la physique nucléaire est la compréhension de la structure des noyaux à partir des interactions entre les nucléons. L'objectif de la physique hadronique est la compréhension de la structure des nucléons en termes de quarks et de gluons et l'étude du confinement des quarks dans la matière ordinaire.

Pour étudier le confinement, on produit un état de la matière très dense en quarks et en gluons où chaque constituant ne subit plus d'interaction forte (état complètement déconfiné) et on étudie son retour à la matière ordinaire. Cet état très particulier appelé plasma de quarks et de gluons est obtenu à partir des collisions d'ions lourds ultra-relativistes. L'expérience ALICE a spécifiquement été conçue pour l'étude de ce plasma et se déroule actuellement auprès du collisionneur LHC du CERN à Genève. L'équipe du LPSC travaillant sur ALICE est impliquée dans la construction d'un calorimètre électromagnétique destiné à la détection et la sélection des particules neutres et des jets de grande impulsion. Des données ont été acquises en collisions proton-proton, plomb-plomb et proton-plomb, dont une partie est actuellement étudiée au laboratoire.

L'étude des nucléons en termes de quarks et de gluons dans un régime confiné est essentielle à notre compréhension de la matière ordinaire. Actuellement la description des nucléons est basée sur les distributions de partons généralisées (GPDs) qui font l'objet de nombreux programmes expérimentaux. Une équipe du LPSC est impliquée dans un programme de mesure sur des nucléons et les noyaux légers en diffusion inélastique d'électrons auprès d'un accélérateur d'électrons de 6 GeV aux États-Unis. Une avancée considérable des programmes expérimentaux pourrait avoir lieu avec de nouveaux faisceaux de positrons polarisés. Dans ce cadre, le LPSC a proposé la production d'un faisceau de positrons polarisés à basse énergie en utilisant la source intense du même accélérateur d'électrons. Une expérience exploratoire (PePPo) a eu lieu auprès du Jefferson Laboratory pour valider la technique de transfert de polarisation d'un faisceau d'électrons à un faisceau de positrons.

La thématique actuelle de la physique nucléaire est l'exploration d'états extrêmes du noyau que ce soit en asymétrie neutrons/protons (noyaux exotiques), en charge (noyaux super lourds), en vitesse de rotation (noyaux super déformés) ou en énergie d'excitation (noyaux chauds), pour mieux comprendre l'interaction nucléon-nucléon. Pour explorer ces différents phénomènes nucléaires il faut disposer d'accélérateurs d'ions lourds, qui produisent des faisceaux d'énergie pouvant aller de quelques MeV à quelques centaines de MeV par nucléon (GANIL, GSI-FAIR), de faisceaux de protons accélérés à des énergies de l'ordre du GeV (ISOLDE/CERN), de faisceaux de neutrons thermiques produits par réacteur (ILL) et bientôt des faisceaux intenses des ions radioactifs accélérés à quelques MeV par nucléon (SPIRAL-2). Les stations expérimentales sont composées de systèmes de détection de particules et/ou de rayonnements gamma très performants

et/ou, plus rarement, d'électrons de conversion, les produits de réaction pouvant être sélectionnés avant détection à l'aide d'un spectromètre de masse ou d'un séparateur d'isotopes. Une équipe du LPSC travaille sur l'étude des noyaux exotiques riches en neutrons proches des noyaux doublement magiques ^{132}Sn et ^{78}Ni et aussi dans les régions des masses $A \sim 100$ et 150 où des coexistences de forme ont été observées. De nouveaux isomères de durée de vie de l'ordre de 100 ns, ont été identifiés dans les noyaux de rubidium très riches en neutrons. Ces isomères ont été produits par fission induite par les neutrons thermiques du réacteur à haut flux de l'ILL de Grenoble. Ces chemins de décroissances étaient interprétés par des calculs de modèles en couches.

Expérience ALICE auprès du LHC

J.-S. Real, N. Arbor, G. Conesa Balbastre, J. Faivre, C. Furget, R. Guernane, S. Kox, C. Silvestre Tello

A. Vey, Service Administratif et Financier

C. Bernard, M. Chala, J.-F. Muraz, Service Détecteurs et Instrumentation

J.-L. Bouly, O. Bourrion, G. Marcotte, S. Muggeo, Service Électronique et Acquisition de données

D. Gondrin, D. Fombaron, S. Roudier, Service Études et Réalisations Mécaniques

C. Biscarat, C. Gondrand, Service Informatique

The ALICE experiment is dedicated to the study of the quark-gluon plasma produced in ultra-relativistic heavy ion collisions at the LHC. In this context, the LPSC is involved since 2006 in the construction of two electromagnetic calorimeters, which improve the measurements of high momentum photons and electrons. The laboratory has been in charge of the supermodules' assembly and of their calibration on a dedicated cosmic-ray setup. The LPSC has also been responsible for the construction of the electronics associated to the level 1 trigger, which is now used in ALICE's data-taking. The group is furthermore involved in the calorimeter calibration and physics analysis.

Depuis 2006, notre groupe est impliqué dans l'étude du plasma de quarks et de gluons (QGP) avec l'expérience ALICE dans les collisions de faisceaux d'ions lourds ultra-relativistes auprès du LHC. Nous avons participé, dans le cadre d'une collaboration française, italienne et américaine, à la construction du calorimètre électromagnétique EMCal, ainsi qu'à la construction d'un second calorimètre de technologie identique, DCAL, au sein d'une collaboration française, américaine, chinoise et japonaise. Ces deux calorimètres permettent d'étendre les performances du détecteur ALICE dans le domaine de la physique des jets, des photons et des particules de grande impulsion transverse.

Une des signatures du plasma de quarks et de gluons repose sur le phénomène de jet-quenching : la production des particules de grande impulsion transverse est supprimée en collisions d'ions lourds, à cause de l'interaction des partons de grande énergie avec les quarks et gluons déconfinés. L'expérience ALICE permet une étude systématique de ce phénomène à travers la modification des distributions en impulsion des hadrons du jet (fonctions de fragmentation) entre les systèmes plomb-plomb et proton-proton afin de caractériser le milieu traversé. Cette mesure requiert la mise en œuvre de calorimètres de grande dimension. Ceux-ci sont divisés en unités appelées supermodules, et utilisent la technologie de la calorimétrie à échantillonnage en Pb-scintillateur. Ils permettent d'augmenter l'acceptance de détection des photons et de fournir un déclenchement efficace et non biaisé sur les jets de grande impulsion transverse ainsi que sur les photons et électrons de grande impulsion. Combinés au système de trajectographie d'ALICE, ils permettent d'améliorer la résolution en énergie des jets par la mesure de la contribution des particules neutres.

Durant les années 2012-2013, les six supermodules du calorimètre DCal ont pu être assemblés, testés puis calibrés au LPSC. Ces supermodules seront installés dans l'expérience ALICE d'ici le redémarrage du LHC. La réponse des 1024 tours composant un supermodule est uniformisée avec une dispersion inférieure à 2%, nettement meilleure que les spécifications du cahier des charges (10%). Parallèlement, notre groupe a participé aux tests sous faisceau de modules pour la caractérisation de leur réponse en énergie et de leur résolution spatiale, ainsi

qu'à la modélisation dans l'environnement Geant des conditions expérimentales de ces tests, de manière à comparer les données simulées avec les données réelles issues du banc de test. Cela a permis de déterminer les paramètres de la simulation décrivant le mieux la réponse du détecteur. Parallèlement à ces activités de montage, test et pré-calibration, notre groupe s'est investi dans la calibration des 10 supermodules en place à partir de la détection des pions neutres produits dans les collisions p-p et décroissant en deux photons. Une précision de l'ordre de 1% a été atteinte à ce jour pour la majorité des canaux du détecteur. De multiples activités de programmation ont également été conduites sur l'ensemble de la période, d'une part pour mettre en place des outils de reconstruction, de contrôle-qualité, de simulation des données.

La période 2012-2013 aura été une période d'exploitation du LHC particulièrement importante pour le programme de physique de l'expérience ALICE puisqu'elle a vu l'énergie dans le centre de masse des collisions proton-proton portée à 8 TeV, ainsi que l'occurrence des premières collisions proton-plomb. Au cours de cette période riche et intense, le premier niveau du système de déclenchement calorimétrique du détecteur ALICE, développé et mis en service par le LPSC, a constitué une composante clé de la réduction des taux d'événements produits par le LHC, par la sélection de jets et photons de grande impulsion transverse. Dans ce contexte, le travail de l'équipe a consisté en l'optimisation des seuils en énergie, paramètres essentiels gouvernant le déclenchement, dans le but d'atteindre la meilleure efficacité possible dans la limite de la bande passante disponible, ainsi qu'à assurer le suivi opérationnel et le contrôle en ligne de l'électronique. Parallèlement à la prise de données, nous avons également développé les codes d'analyse hors-ligne et de simulation de l'électronique de déclenchement de premier niveau.

L'analyse des corrélations entre d'une part un pion neutre ou un photon (particule-trigger), et d'autre part les autres particules produites dans les collisions entre protons à une énergie de 7 TeV dans le centre de masse, est en cours de finalisation. Les résultats préliminaires ont été présentés à la conférence internationale Quark Matter, la plus importante du domaine, en 2012, et devraient rapidement faire l'objet d'une publication. Cette analyse en collisions de protons renseigne sur la manière dont les hadrons fragmentent. En particulier, la figure 1 montre la distribution du paramètre de balance, c'est-à-dire le produit scalaire entre l'impulsion des particules et la direction opposée à la particule-trigger normalisé par l'impulsion de cette dernière, lorsqu'il s'agit de photons venant majoritairement de processus durs. La poursuite de cette analyse permettra d'établir pour les photons ce que nous avons déjà obtenu pour les pions neutres: le changement de la distribution du paramètre de balance en fonction de l'énergie de la particule-trigger. Sur la figure 2, la pente de cette distribution pour diverses énergies de pion neutre est comparée à des prédictions théoriques, et montre que le pion neutre emporte une grande fraction de l'énergie initiale du parton qui lui a donné naissance. Cette analyse est la référence pour la compréhension de la perte d'énergie des partons dans un milieu coloré – donc des propriétés de l'interaction forte –, notamment dans les collisions entre noyaux de plomb. Les corrélations photons isolés/hadrons dans ce système sont également en train d'être analysées au sein du groupe.

Il est à noter que ALICE est l'un des principaux utilisateurs du nœud de grille de niveau Tier-3, particulièrement important pour la gestion du calcul au LHC (cf. section Plateformes technologiques et d'enseignement).

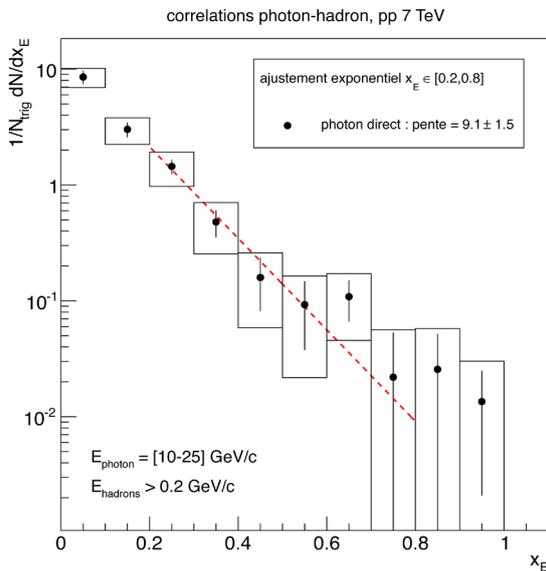


Fig. 1 : Distribution du paramètre de balance extraite des corrélations photon-hadron.

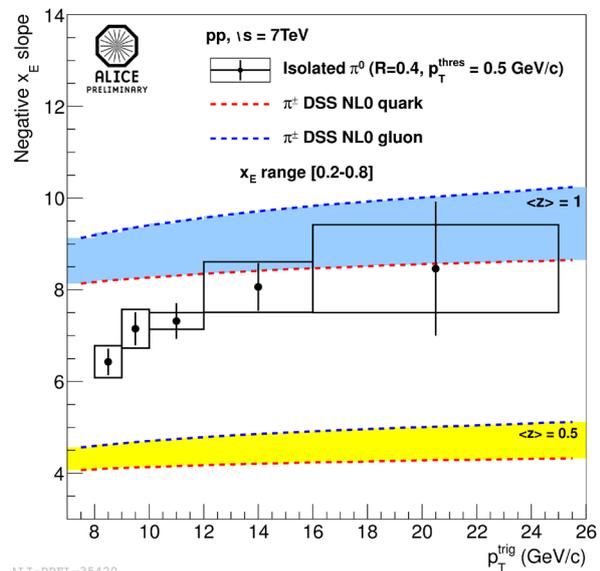


Fig. 2 : Distribution des pentes exponentielles de la distribution du paramètre de balance extraites des corrélations pi0-hadron.

Réalisations techniques

Après les années 2010 et 2011, où durant cette période 9 supermodules EMCAL avaient été assemblés, câblés et calibrés au LPSC, les deux années 2012 et 2013 ont également été riches et intenses en terme de réalisations techniques. En effet, au cours de ces deux années, 2 supermodules supplémentaires de taille réduite (un tiers en azimuth) permettant l'extension de la couverture d'EMCAL, ainsi que l'ensemble des 6 supermodules DCal constituant l'extension de la couverture angulaire de la partie inférieure du détecteur ont été assemblés, câblés et calibrés au LPSC. En janvier 2012, la courte fenêtre d'arrêt hivernal du LHC a offert la possibilité de réaliser l'insertion des 2 supermodules extension d'EMCAL, permettant ainsi de compléter la couverture totale de ce détecteur. Le LPSC a participé activement à cette phase d'insertion au CERN en apportant son support technique. À l'été 2013, la fabrication de l'ensemble des supermodules constituant le détecteur DCal étant terminée, tous ont été expédiés au CERN. Cette opération logistique, placée sous la responsabilité du LPSC, a nécessité l'utilisation de moyens de maintenance lourds et la mise en place de procédures douanières complexes, réalisées avec l'appui technique de la cellule logistique du CNRS (ULISSE). Au total, et durant les 4 années qu'aura duré la construction de EMCAL et de son extension DCal, 15 supermodules auront été assemblés, câblés, calibrés au LPSC (8 Américains, 3 Européens, 2 Japonais, 2 Chinois). Ceci représente la calibration en cosmique de 16 000 photodiodes, la mise en place de 2,3 km de câbles et la réception, le montage et l'expédition au CERN de 105 tonnes de matériel. L'insertion des supermodules DCal se déroulera lors du long arrêt actuellement en cours du LHC (LS1).

L'implication des services techniques du laboratoire a été déterminante dans cette réussite. Le Service Détecteurs et Instrumentation a assuré la coordination

technique du projet, participé activement à la construction et à l'expédition des supermodules ainsi qu'à l'insertion des supermodules au CERN.

Par ailleurs, le service électronique, après avoir conçu et mis en service au CERN la carte STU (Summary Trigger Unit) d'EMCal, a réalisé, testé et livré la carte STU de DCal. Ces cartes STU sont des éléments cruciaux pour le bon fonctionnement du calorimètre car elles sont chargées de fournir le signal de déclenchement de niveau 1 associé aux photons et jets de grande impulsion. De plus, le service électronique a apporté les améliorations logicielles nécessaires pour le fonctionnement optimal de la carte STU d'EMCal tout au long des périodes de prises de données. Enfin, le service administratif et financier a assuré la gestion courante des commandes, des factures, des missions, mais aussi le suivi de plusieurs contrats européens (ANR, HP2) relatifs au projet.



Fig. 3 : Stockage des supermodules DCal dans le hall ARIANE avant expédition vers le CERN.

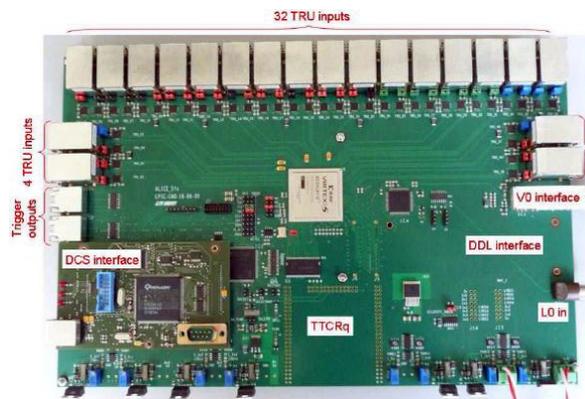


Fig. 4 : Carte de déclenchement.

Pour en savoir plus

The ALICE experiment at the CERN LHC, J. Instrum. 3, S08002 (2008).

N. Arbor, thèse de l'université de Grenoble.

N. Arbor for the ALICE collab., Nucl. Phys. A 904-905 (2013) 697c-700c.

Structure des Hadrons

J.-S. Réal, E. Fanchini, Y. Perrin, E. Voutier

M. Marton, J.-F. Muraz, Service Détecteurs et Instrumentation

C. Geraci, J. Giraud, S. Roni, Service Études et Réalisations Mécaniques

G. Bosson, Service Électronique

M. Baylac, E. Froidefond, Service Accélérateurs

C. Martin, Service Administratif et Financier

Collaboration Internationale CLAS, Collaboration Internationale PEPPo, INFN Turin

Lepto-production of real photons in the deep inelastic regime allows to access novel features of the parton structure of hadrons encoded within the concept of Generalized Parton Distributions (GPD). Our team pursued the study of these distributions at the Jefferson Laboratory by measuring the deeply virtual Compton scattering reaction (DVCS) off helium and developing the phenomenology of the competing Bethe-Heitler process. In this perspective, a large part of our effort has been devoted to the development of a new concept of polarized source of positrons (PEPPo) to be used in the next accelerator generation as well as at low energies for Condensed Matter studies.

Distributions Généralisées de Partons

Structure en Partons de l'Hélium

La diffusion Compton profondément inélastique (DVCS) induite par un faisceau de leptons correspond à l'absorption d'un photon virtuel par l'un des constituants du hadron, suivi de l'émission d'un photon réel alors que le hadron sondé reste intact. La section efficace expérimentale est alors sensible à l'état initial du parton décrit par les GPD qui dépendent de l'impulsion longitudinale et de la position transverse du parton ainsi que des états de spin des objets impliqués dans la réaction. La déconvolution des parties réelles et imaginaires des facteurs de forme Compton (FFC) caractérisant le processus DVCS permet d'extraire l'information sur ces distributions. La structure en partons des cibles scalaires, telle que le noyau d'hélium, présente l'intérêt de n'être représentée que par une seule GPD. Dès lors, la mesure de la sensibilité de la réaction de production de photons réels à la polarisation du faisceau initial de leptons permet d'isoler les parties réelle et imaginaire du facteur de forme Compton.

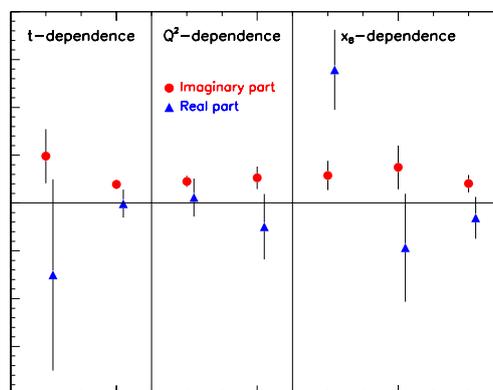


Fig. 1 : Résultats préliminaires de la mesure du FFC de l'expérience He-DVCS (système d'unité arbitraire).

L'expérience He-DVCS effectuée dans le Hall B du Jefferson Laboratory (JLab) avec le détecteur CLAS est une étude exploratoire de la réaction DVCS sur l'hélium visant à démontrer la faisabilité d'un programme DVCS dédié sur les

noyaux. L'analyse des données réalisée dans le cadre de la thèse de doctorat de Y. Perrin (Fig. 1) a fourni une première mesure mondiale des parties réelles et imaginaires du FFC de l'hélium et a établi les bases d'un futur prometteur pour un programme DVCS sur les noyaux à JLab12.

Le Processus Bethe-Heitler

Le processus Bethe-Heitler (BH) où le photon réel est rayonné par l'électron incident ou diffusé, est compétitif du processus DVCS mais exactement calculable par l'électrodynamique quantique, supposant la connaissance des facteurs de forme électromagnétique acquise pour le nucléon à petit transfert d'impulsion. Bien que la polarisation du faisceau initial permette d'isoler en partie le terme d'interférence entre les amplitudes BH et DVCS, l'interprétation quantitative des données expérimentales demande une connaissance très précise de la section efficace BH.

En collaboration avec l'INFN Turin, l'influence de la masse des leptons initiaux et finaux sur les observables expérimentales a été étudiée, en développant un formalisme exact pour la section efficace non-polarisée sur le nucléon. La prise en compte de la masse finie des leptons introduit des termes supplémentaires dans le tenseur leptonique conduisant à des effets nontriviaux dans des régions cinématiques déterminées. En particulier dans la région des très petits transferts d'impulsion, de première importance pour la détermination expérimentale de la règle de somme de J_i , ces termes supplémentaires dominent la section efficace sur le proton et sont d'autant plus importants que l'énergie du faisceau augmente, à l'opposé du comportement de l'approximation ultra-relativiste. Ces effets dépendent également de l'isospin de la cible et deviennent négligeables pour un neutron.

Source de positrons polarisés

Les faisceaux polarisés de positrons ont été identifiés comme des ingrédients essentiels de la prochaine génération d'accélérateurs. Dans le contexte du programme de physique hadronique conduit à JLab, la comparaison des observables expérimentales mesurées avec des faisceaux polarisés d'électrons et de positrons permet par exemple de mesurer la contribution des diagrammes d'échange à deux photons et autorise une détermination des facteurs de forme électromagnétique indépendante de tout modèle ainsi que la séparation exacte des amplitudes BH et DVCS. Ces perspectives ont motivé notre intérêt pour le développement d'un nouveau concept de source polarisée de positrons aux applications potentiellement pluridisciplinaires.

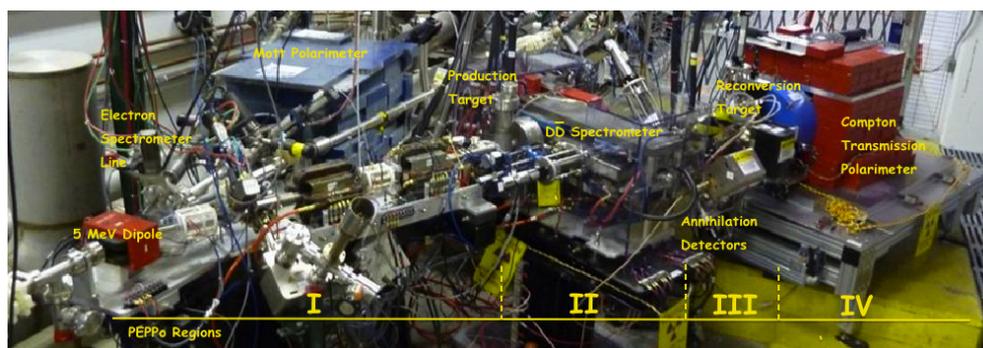


Fig. 2 : La ligne expérimentale PEPPo installée à l'injecteur de JLab.

L'expérience PEPPo (Fig. 2) installée auprès de l'injecteur du Jefferson Laboratory vise à valider le concept de production de positrons polarisés basé sur la création de paires e^+e^- polarisées par un faisceau polarisé de photons issu du rayonnement de freinage d'un faisceau polarisé d'électrons dans une cible de tungstène. Débuté en 2007 dans le contexte de la thèse de doctorat de J. Dumas, ces travaux ont permis la réalisation de l'expérience PEPPo à l'été 2012 après des phases successives de construction et d'installation d'une nouvelle ligne de faisceau au cours des deux années précédentes. Le transfert de la polarisation d'électrons de 8,25 MeV/c aux positrons produits dans le domaine d'impulsion 3,2-7,3 MeV/c a été mesuré à l'aide d'un polarimètre à transmission Compton développé au LPSC. L'analyse finale de l'expérience est en cours mais les asymétries expérimentales obtenues par l'analyse en ligne des données (Fig. 3) confirment déjà sans aucune ambiguïté l'existence d'un fort signal de polarisation synonyme d'un transfert efficace de la polarisation des électrons aux positrons. En s'affranchissant des grandes énergies du faisceau primaire d'électrons, caractéristiques des précédentes générations d'accélérateurs, ce nouveau concept permet d'envisager l'utilisation des positrons polarisés pour des applications, qui s'étendent bien au-delà du domaine de la physique hadronique.

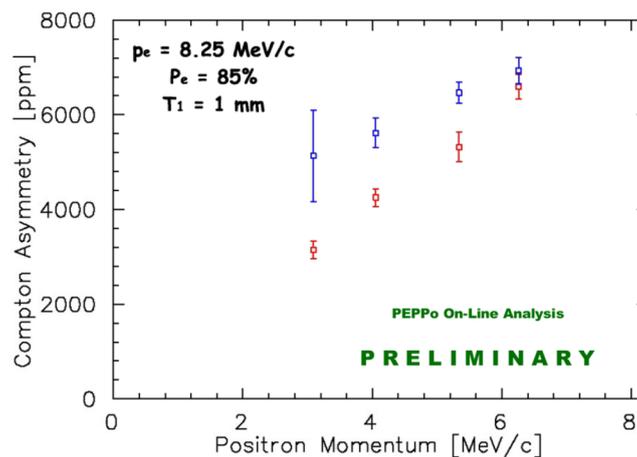


Fig. 3 : Asymétries expérimentales mesurées en ligne durant l'expérience PEPPo.

Pour en savoir plus

Helium Compton form factor measurements at CLAS, E. Voutier, arXiv:1307.0222, 2013.

Lepton mass effects in the Bethe-Heitler process, M.B. Barbaro et al. , arXiv:1305.3873, 2013.

The PEPPo concept for a polarized positron source, E. Voutier, WEOAB203, 2013.

Structure nucléaire

G. Simpson, F. Drouet, G. Gey, M. Ramdhane, G. Thiamova, A. Vancraeynest

C. Biscarat, Service Informatique

Y. Carcagno, C. Geraci, J.-C. Malacour, J. Menu, S. Roni, S. Roudier, Service Études et Réalisations Mécaniques

The aim of our research is the study of neutron-rich exotic nuclei close to the doubly magic nuclei ^{132}Sn and ^{78}Ni , to test the interactions used in shell model calculations. At the same time we focus on nuclei in the mass regions $A \sim 100$ and 150 to better understand the development of the collectivity. In particular we have studied neutron-rich isotopes of praseodymium ^{151}Pr and ^{153}Pr by γ -prompt, delayed- γ and conversion electron spectroscopy.

The group has also strongly contributed to the success of the EXILL campaign. The purpose of this campaign is to install the large gamma spectrometer EXOGAM on the line PF1B at ILL to study by γ -prompt spectroscopy fission and capture processes induced by thermal neutrons.

The spectrum of topics we work on in our group includes also the application and development of various theoretical approaches: especially algebraic methods issued from the theory of Lie groups and chains groups applied to the study of the collective motion of nuclei.

Étude par spectroscopie gamma et électron de conversion des isotopes de lanthanides riches en neutrons

La présence de fortes corrélations octupolaires dans les noyaux riches en neutrons de lanthanides est un phénomène bien établi. Ces corrélations sont générées par deux paires d'orbitales $\Delta J = \Delta I = 3$ qui se trouvent ici à proximité de la surface de Fermi et permettent le couplage $\pi(h_{11/2}, d_{5/2})^{3-}$ et $\nu(i_{13/2}, f_{7/2})^{3-}$ et conduisent à l'apparition de forts modes octupolaires dans le ^{144}Ba . Malgré de nombreuses études dans cette région, notre connaissance sur ce sujet est loin d'être complète. Par exemple, il reste à comprendre comment les couplages octupolaires sont affectés par la forte déformation quadripolaire statique, qui apparaît soudainement pour un nombre de neutrons au-delà de $N=90$, et dans quelle mesure le mode octupolaire évolue.

La corrélation octupolaire est réduite dans les noyaux de A -impairs. Nous avons observé ce dernier effet dans trois noyaux de A -impairs, les isotopes de Cs et récemment dans ^{149}Pr . Il est intéressant d'étudier les isotopes Pr, surtout avec un nombre de neutrons supérieur, pour vérifier cette observation et pour suivre l'évolution des corrélations octupolaires avec l'augmentation du nombre de neutrons et la déformation quadripolaire. Cette étude est dans la continuité du travail réalisé par notre groupe sur les noyaux de la région $A=150$ comme le ^{151}Ce , $^{153-154}\text{Nd}$ et ^{155}Sm .

Dans ce travail, nous avons recherché les états isomériques de l'ordre de la picoseconde dans les isotopes de Pr riches en neutrons en utilisant le spectromètre de masse Lohengrin de l'Institut Laue-Langevin à Grenoble. De plus, les mesures de coïncidences γ recueillies avec le dispositif anti-Compton EURO-GAM-II et GAMMASPHERE ont été utilisées pour rechercher des excitations à moyen spin dans ces noyaux.

À partir des données de l'expérience de Lohengrin, un état isomérique à une énergie de 35,1 keV a été mesuré avec une durée de vie de $T_{1/2}=50(8)$ ms et son spin a été déterminé. Cet état a été assigné à l'isotope ^{151}Pr . Avec les données des expériences effectuées par EUROGAM-II et GAMMASPHERE. De nouvelles bandes rotationnelles ont pu être ainsi identifiées et comparées aux calculs théoriques établis dans le cadre du modèle quasi-particule-rotor (QPRM) et cela pour les deux isotopes de ^{151}Pr et de ^{153}Pr . L'intérêt de l'étude des corrélations octupolaires est présenté dans un récent article publié dans la revue Nature.

Par ailleurs, nous avons utilisé les calculs théoriques du Modèle Quasi-Particule Phonon (QPM) pour décrire les propriétés des noyaux riches en neutrons de la région de masse $A\sim 150$. Ce modèle vient d'être utilisé avec succès pour la description des isotopes impairs de Pr et Pm dans le but de comprendre la différence entre les intensités des corrélations octupolaires dans ces noyaux.

La campagne EXILL 2012/2013

Entre fin 2012 et début 2013 notre groupe en collaboration avec le service de mécanique du LPSC a contribué fortement à la réussite de la campagne de mesure EXILL. Le but de cette campagne était d'installer le spectromètre gamma EXOGAM sur la ligne de neutrons PF1B à l'ILL, pour la spectroscopie gamma prompt lors de la fission/capture induite par des neutrons thermiques. Cette expérience a nécessité l'utilisation de 16 détecteurs germanium (8 Clovers de EXOGAM, 2 Clovers de l'ILL et 6 GASP) pour la spectroscopie γ et 16 détecteurs LaBr3(Ce) pour les mesures de durée de vie. Le laboratoire a contribué aux différentes étapes de ce projet. Le service informatique du LPSC a aussi contribué fortement en installant un serveur de 30 Tb pour distribuer les données. Les analyses en cours vont permettre de tester le modèle en couches au voisinage des noyaux doublement magiques ^{78}Ni et ^{132}Sn , de déterminer les propriétés des noyaux proches du processus-r et la coexistence de formes et le début de la collectivité.



Fig. 1 : Dispositif expérimental : EXOGAM en place à PF1B à l'ILL.

Étude théorique de la structure nucléaire des noyaux lourds

Le spectre des recherches effectuées dans notre groupe comprend aussi l'application et le développement du modèle ACM (Algebraic Collective Model) [4]. Ce modèle a déjà été appliqué à la description des isotopes de Ru. A l'heure actuelle un projet de recherche dont le but est l'étude de la structure des isotopes d'osmium est en cours.

Une autre direction de recherche théorique effectuée dans notre groupe porte sur l'application des modèles GICM (Generalised Intermediate Coupling Model) et QPM (Quasiparticle-Phonon Model). Le premier modèle est une extension du modèle du couplage intermédiaire et permet de décrire les noyaux pairs-pairs sphériques. Il repose sur l'hypothèse que les noyaux sont constitués d'un cœur vibrationnel pair-pair couplé avec un proton célibataire et un neutron célibataire. Des états vibrationnels 3^- d'un cœur pair-pair de même que des états 2^+ peuvent être pris en compte. L'interaction entre le proton et le neutron célibataires peut être soit phénoménologique ou microscopique. De ce fait, la comparaison avec les calculs effectués dans le cadre du modèle en couches est possible.

Le modèle QPM peut être appliqué à la description des noyaux pairs-pairs, impairs-pairs et impairs-impairs déformés. Ces noyaux peuvent posséder une déformation quadripolaire mais aussi des corrélations octupolaires dynamiques. Ce modèle est utilisé pour décrire la structure interne des noyaux et il peut être combiné avec le modèle du rotateur à symétrie axiale. Dans le cas des noyaux impairs l'interaction entre le nucléon impair et le phonon vibrationnel du cœur pair-pair est décrite à l'aide du couplage de Coriolis. Plusieurs applications de ce modèle sont en cours.

Pour en savoir plus

T. Rzaca-Urban, W. Urban, J.-A. Pinston, G. S. Simpson, A. G. Smith, J. F. Smith, I. Ahmad, Phys. Rev. C 82, 067304 (2010).

Nature 497, 199–204 (09 May 2013).

G. Thiamova, D. J. Rowe, and M. A. Caprio, Nucl. Phys. A 895, 20-32 (2012).

Physique des réacteurs

Le groupe de physique des réacteurs a comme objectifs scientifiques principaux l'étude de systèmes innovants pour la production d'énergie nucléaire, l'utilisation du cycle thorium en réacteur ainsi que l'amélioration de la gestion des déchets des filières actuelles et leur possible incinération dans des systèmes dédiés.

Le groupe poursuit son effort d'obtention et de traitement des données nucléaires. Des méthodes de propagation des incertitudes sur ces données dans les différentes étapes des calculs de réacteurs (autoprotection, mise en groupe, préparation des calculs de diffusion, évolution du combustible) ont été développées. L'objectif est d'assurer au maximum la cohérence du traitement des incertitudes des données de base à chaque étape. Parallèlement, le groupe poursuit à l'Institut Laue Langevin une campagne ambitieuse de mesures des rendements de production des produits de fission des principaux noyaux de la filière thorium. De nouvelles méthodes expérimentales ont été développées pour améliorer les contraintes sur les observables expérimentales et définir le plus précisément possible les corrélations entre celles-ci. La symbiose de ces deux approches a pour objectif d'identifier les contraintes microscopiques à l'origine des effets systématiques sur les incertitudes à l'échelle macroscopique du réacteur.

Le groupe poursuit ses travaux en physique des réacteurs expérimentale, auprès de l'installation GUINEVERE au SCK-CEN (Mol, Belgique). Dans le cadre du projet GUINEVERE, une source externe de neutrons de 14 MeV (réactions d-t induites sur une cible tritiée par l'accélérateur de deutons GENEPI-3C) a été couplée au réacteur sous-critique rapide VENUS-F. En 2012-2013, les premières analyses de données ayant pour objectif la détermination de la réactivité ρ du réacteur ont été menées. Une méthode développée et perfectionnée au LPSC, appelée méthode k_p intégrale, a permis de déterminer avec précision le coefficient de multiplication prompt du réacteur, donc la valeur de ρ . Ces résultats prometteurs seront affinés (i) en utilisant un détecteur de neutrons à seuil et (ii) en corrigeant un biais systématique induit par les premières générations de neutrons.

Le groupe poursuit l'étude du concept MSFR, un réacteur à sels fondus en spectre neutronique rapide développé au LPSC. Dans le cadre du projet européen EVOL, un benchmark neutronique a été réalisé, avec pour objectif la validation des outils et méthodes utilisés pour le calcul des grandeurs caractéristiques de ce réacteur. L'évaluation de la puissance résiduelle du MSFR, un aspect important pour la sûreté nucléaire, a été effectuée. Du fait des différences entre réacteurs à sels fondus et réacteurs à combustible solide classiques, un travail sur la méthodologie de sûreté nucléaire a été initié, au travers principalement (i) d'une transposition des méthodologies de sûreté traditionnelles des réacteurs et (ii) d'une analyse systémique de risques. Les catégories d'accidents propres au MSFR ont été définies, et une étude préliminaire de leurs conséquences a été effectuée avec des outils de cinétique des réacteurs. Enfin, le développement d'une approche de modélisation multi-physique appliquée au MSFR a été initié.

Pour compléter les résultats récents de haute conversion obtenus pour les réacteurs à eau (de type CANDU, mais aussi de type REP moyennant la sous-modération du cœur), des développements ont été réalisés en vue d'études de sûreté spatiales précises. Une étude détaillée de la convergence du calcul MCNP d'un cœur REP complet, indispensable à la qualité du couplage ultérieur de la neutronique à la thermo-hydraulique, a été réalisée. En parallèle, un code simplifié de cinétique nodale a été mis au point et validé sur un transitoire typique de CANDU. Ces deux activités préliminaires se rejoignent actuellement dans le cadre de SIRIUS (Simulation Initiative for Reactors Improving Uranium savings and Safety margins) pour l'évaluation à terme de la sûreté de concepts innovants de REP, aussi bien en cycle uranium qu'en cycle thorium.

Données nucléaires

A. Bidaud, S. Chabod, A. Chebboubi, F. Ferragut, G. Kessedjian, M. Heusch, F. Martin,
P. Sabouri, C. Sage
Service Informatique, Service Détecteurs et Instrumentation, Service Accélérateurs,
Service Études et Réalisations Mécaniques

Future generation reactors will use fuels that are very different from the ones used today. Thus, future generation reactors cannot benefit from the feedback of the huge experience accumulated with water cooled reactors. Furthermore, the optimization of their design will rely more on numerical simulation and less on reactor experiments. A reduction in the impact of nuclear data uncertainty may allow enhanced performances and improved safety margins. This means that the sources of uncertainty are to be known with accuracy and the impact of these uncertainties estimated properly. The group is involved both in the global effort of improving the nuclear data, in particular fission product yields, and also in the task of calculating the impact of the uncertainty on nuclear data for reactor calculations.

Sensibilités aux données nucléaires

Les calculs d'impact nécessitent de comprendre la physique des réacteurs et les limites des logiciels utilisés pour la simuler. De plus il est aussi nécessaire de maîtriser le processus de construction de bibliothèques de données et des incertitudes à partir de la modélisation des données expérimentales. Deux méthodes complémentaires sont utilisables pour propager des incertitudes de données de bases.

La première consiste à calculer non seulement la distribution spatiale et énergétique des neutrons, mais aussi les sensibilités de cette distribution ou de variables associées (distribution de puissance, taux de réactions, etc.) aux données de base (sections efficaces, rendements de fission, distribution en énergie des neutrons produits, etc.). Si les incertitudes des données sont fournies, il ne reste plus qu'à multiplier les sensibilités et les incertitudes pour obtenir les incertitudes sur les sorties des calculs. Dans le cadre d'une collaboration avec EDF, des travaux ont été menés pour mettre en place des outils de propagation basés sur cette méthode à certaines étapes clés des calculs industriels de neutronique: calculs d'autoprotection et calculs des sections efficaces moyennes des assemblages utilisées dans les calculs complets de cœurs des réacteurs.

La seconde méthode, appelée Total Monte Carlo, utilise les possibilités offertes par l'augmentation continue des performances des ordinateurs pour les calculs de sections efficaces, de neutronique et d'évolution de combustibles. Désormais, les évaluateurs peuvent construire à partir de la distribution des paramètres en amont des modèles théoriques, des distributions de sections efficaces. Nous pouvons obtenir non seulement une bibliothèque de données utilisables en neutronique et les incertitudes associées, mais directement une bibliothèque de bibliothèques dont la distribution correspond à la distribution des données expérimentales. La puissance phénoménale des ordinateurs permet alors de lancer un calcul avec chacune des bibliothèques. Nous obtenons directement la distribution des sorties correspondant à l'incertitude des données nucléaires sans utiliser des matrices d'incertitudes lors de calculs intermédiaires. Cette méthode est applicable grâce à l'utilisation de la très grande puissance de calcul et de l'espace disque disponibles au laboratoire.

Les résultats des deux méthodes sont comparés entre eux ou à ceux de méthodes équivalentes, dans le cadre d'exercices de comparaisons organisés par l'Agence de l'Énergie Nucléaire de l'OCDE. L'objectif de toutes ces activités est de montrer qu'il est possible de maîtriser de bout en bout la propagation des erreurs depuis la mesure de données nucléaires jusqu'aux calculs de sûreté.

Mesure des rendements de fission

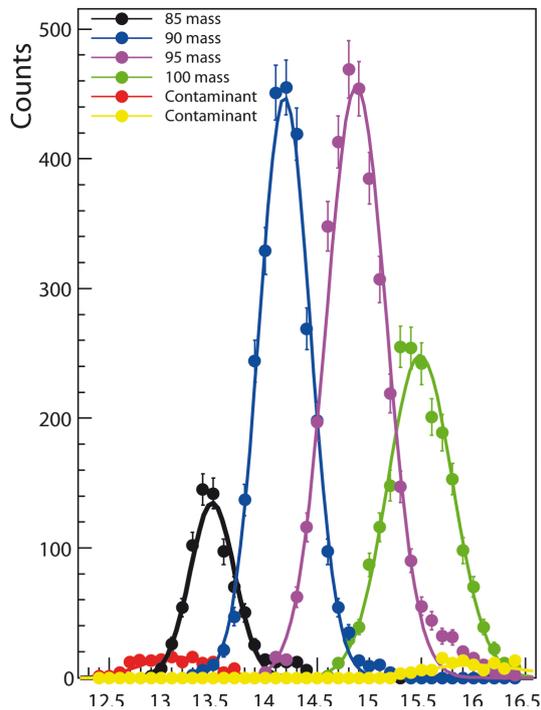
Le groupe a poursuivi son programme de mesures de rendements de fission d'actinides d'intérêt pour les cycles du combustible actuels et innovants sur le spectromètre Lohengrin en collaboration avec l'ILL et le CEA (Cadarache et Saclay). Les travaux effectués concernent notamment les mesures de rendements isobariques et isotopiques de fission induite par neutrons thermiques du ^{233}U et du ^{241}Pu dans la région des fragments lourds avec une résolution d'une unité de masse. L'analyse en cours sur ces données se concentre particulièrement sur l'évaluation des incertitudes et de leur matrice de variance-covariance, cette dernière constituant un outil crucial afin d'évaluer l'impact des incertitudes de mesures dans les calculs d'inventaires de fin de cycle et de puissances résiduelles. Un deuxième point important de cette nouvelle méthode d'analyse, mise au point par le groupe, réside dans l'obtention de mesures indépendantes de toutes évaluations ou données existantes.

La dernière campagne de prise de données à l'ILL entre mai et juillet 2013 a permis d'une part de compléter les données des mesures effectuées précédemment en s'intéressant tout particulièrement à la région de la production de fragments de fission symétriques, mesure délicate du fait des très faibles rendements, mais riche en information sur le processus même de fission. Par ailleurs, une nouvelle méthode de mesure de population d'états isomériques produits par la fission a également été testée. Ce genre de mesure, ainsi que la prise de données dans la région symétrique, revêtent un intérêt majeur en vue de la confrontation avec les différents modèles théoriques existant décrivant le processus de fission. Un de nos objectifs est en effet la comparaison et l'interprétation de nos résultats par des codes de désexcitation nucléaire (GEF, PACE, FIFRELIN) afin d'extraire les distributions des moments angulaires induits par la fission.

Développement d'un spectromètre magnétique gazeux dédié à l'étude de la fission

Parallèlement à ces activités de mesures de rendements, le groupe est fortement impliqué dans l'étude d'un nouvel instrument de fragments de fission de l'ILL: FIPPS (Fission Product Prompt gamma ray Spectrometer) constitué d'un spectromètre type « Gas Filled Magnet » (GFM). La transformation momentanée de l'aimant de focalisation du Lohengrin en GFM a permis de réaliser des expériences de dispersion dans ce type de spectromètre (tests de différents gaz, pressions et configurations différentes). L'analyse des données est en cours, de même que l'écriture et la validation d'un code de calcul destiné à la simulation d'un tel dispositif. Cette étude doit permettre in fine de définir les caractéristiques et le dimensionnement du projet FIPPS de l'ILL. Les résultats préliminaires encourageants sont montrés Fig. 1, qui montre le pouvoir de séparation mesuré pour le spectromètre rempli d'hélium.

Mass separation with GFM



Evolution of Purity of a mass with Bred

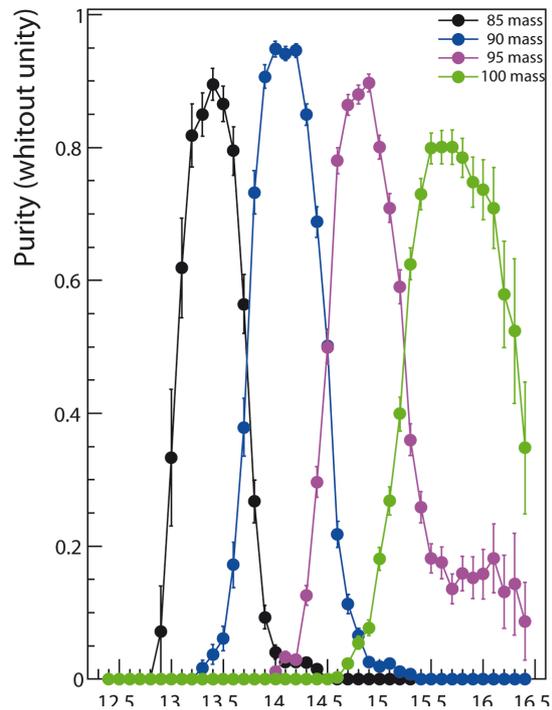


Fig. 1: Pouvoir de séparation et pureté de faisceau mesurés pour le GFM rempli d'hélium.

Pour en savoir plus

Propagation of nuclear data uncertainties in deterministic calculations: application of generalized perturbation theory and the total Monte Carlo method to a PWR burnup pin-cell, P. Sabouri et al, Nuclear Data Sheets, Proceedings of ND2013, New York, États-Unis (2013).

Measurements of the Mass and Isotopic Yields of the $^{233}\text{U}(n,f)$ Reaction by the Lohengrin Spectrometer, F. Martin et al, Nuclear Data Sheets, Proceedings of ND2013, New York, États-Unis (2013).

Physique des réacteurs expérimentale: premières mesures de réactivité auprès de l'installation GUINEVERE

A. Billebaud, S. Chabod

Service Électronique, Service Informatique, Service Détecteurs et Instrumentation,
Service Accélérateurs, Service Études et Réalisations Mécaniques

The GUINEVERE (EUROTRANS-IP FP6) and FREYA (FP7) projects address the main issue of the on-line monitoring of an ADS reactivity. The latter aims at validating a methodology that consists in the combination of two approaches: (i) the time monitoring of the reactor power as well as of the beam intensity (i.e. the source intensity), that gives access to the relative fluctuations of the reactivity, $\rho(t)$, around a reference value; (ii) some calibration measurements, performed regularly, providing an absolute level of ρ . This absolute level – that may evolve with time too but slower – is used as a reference for the on-line relative measurements. The calibration measurements are based on the analysis of the time decay of the reactor neutron population measured during programmed beam interruptions. At LPSC, we are developing and testing an innovative analysis method that focuses on the prompt component of the neutron population decay. This method, called integral k_p method as it allows the determination of the reactor prompt multiplication factor, has been applied to the first experimental data taken at the GUINEVERE facility (SCK-CEN), and gives promising preliminary results.

Expériences GUINEVERE/FREYA

Pour vérifier qu'un ADS reste sous-critique en fonctionnement, une condition imposée pour raison de sûreté, il faut pouvoir combiner deux approches : (i) effectuer une mesure en ligne de l'intensité de la source externe de neutrons, qui donne l'évolution relative de la réactivité ρ du réacteur au cours du temps ; (ii) recalibrer ces mesures relatives avec des mesures absolues de ρ , qui doivent être effectuées à intervalles réguliers. L'implémentation de cette stratégie de mesure n'est pas triviale. La difficulté principale réside dans la nécessité que nous avons d'extraire un indicateur global du fonctionnement du réacteur, la réactivité ρ , en effectuant des mesures locales à l'aide de chambres à fission, des détecteurs de neutrons quasi ponctuels à l'échelle du réacteur. Cette problématique, classique en physique des réacteurs, a fait l'objet de nombreuses études, ne serait-ce qu'en raison de son importance pour la filière des réacteurs actuels. Plusieurs solutions ont été proposées, telles les méthodes de bruit, des aires, ASM/MSM, d'ajustement par combinaison d'exponentielles pour des configurations proches de la criticité, etc. Un lecteur curieux pourra se reporter à la littérature, abondante sur ce sujet.

L'installation GUINEVERE (Generator of Uninterrupted Intense NEutrons at the lead VENus REactor) a été réalisée au SCK-CEN (Mol, Belgique) pour tester la méthodologie de mesure en ligne de la réactivité. Elle consiste en le couplage d'un réacteur maquette sous-critique (le réacteur VENUS-F) à une source de neutrons de 14 MeV générés par l'accélérateur de deutons GENEPI-3C construit par une collaboration IN2P3 (réactions T(d,n) à 220 keV). Ce couplage est réalisé à puissance quasi-nulle. Le réacteur VENUS-F est instrumenté à l'aide de 10 chambres à fission à dépôt d'uranium 235 ; leur système d'acquisition GANDDALF a été développé au LPSC. C'est dans le cadre du projet européen FREYA

(Fast Reactor Experiments for hYbrid Applications, FP7) que se poursuivent depuis 2011 les travaux sur le contrôle de la réactivité des ADS. Les années 2012 et 2013 ont vu la réalisation de nombreuses expériences pour ce projet. Cette phase a nécessité la présence régulière sur le terrain d'équipes de physique de l'IN2P3 (LPSC, LPCC et IPNO), ainsi que l'investissement constant de l'équipe du Service Accélérateurs du LPSC, qui assure la conduite et l'entretien de l'accélérateur sur site depuis la fin de son installation (2010).

Point d'avancement sur l'analyse des données

Parallèlement aux expériences, l'analyse des données des campagnes expérimentales 2012-2013 est effectuée, en grande partie, au CNRS : (i) au LPC Caen, pour ce qui concerne la méthode des aires et la méthode MSM ; (ii) au LPSC et l'IPNO, pour la méthode k_p . La méthode k_p est une solution développée au LPSC pour extraire la valeur du coefficient de multiplication prompt, k_p , d'un ADS en analysant la décroissance de sa population de neutrons consécutive à l'injection d'un pulse de neutrons source ou à l'interruption programmée du faisceau de son accélérateur (Perdu et al. 2003). Le coefficient k_p étant relié au k_{eff} du réacteur, sa mesure permet ensuite de remonter à la valeur de la réactivité.

Concrètement, l'extraction de la valeur k_p s'effectue en comparant les taux de comptage des chambres à fission positionnées dans le réacteur VENUS avec des prédictions théoriques obtenues en résolvant une équation intégrale faisant intervenir deux distributions : (i) la densité de probabilité, $P(\tau)$, qu'un neutron, créé dans le réacteur au temps t , a d'induire une fission au temps $t+\tau$; (ii) la distribution $D(\tau)$ des temps écoulés entre la création d'un neutron au temps t dans le réacteur et le moment, $t+\tau$, où il induit une fission dans le dépôt d'un détecteur. La distribution $D(\tau)$ doit donc être simulée pour chaque détecteur. Le calcul des histogrammes $P(\tau)$ et $D(\tau)$ a été effectué à l'IPNO, à l'aide du code de calcul Monte-Carlo MCNP et de la géométrie détaillée du réacteur fournie par le SCK-CEN. Les données théoriques et expérimentales doivent ensuite être comparées en utilisant un estimateur auto-normalisé, car leurs normalisations ne sont pas identiques. Les taux expérimentaux sont par exemple proportionnels à deux données difficiles à connaître avec précision : (i) le nombre exact de neutrons source injectés dans le réacteur par unité de temps ; (ii) l'efficacité de détection des chambres à fission. Dans la version classique de la méthode k_p , proposée par Perdu et al. en 2003, le problème de normalisation est contourné en comparant les dérivées logarithmiques des taux de comptage. La dérivée logarithmique est un estimateur auto-normalisé simple, mais son utilisation présente deux inconvénients majeurs : (i) une sensibilité excessive aux fluctuations statistiques. Les fluctuations statistiques des taux de comptage des détecteurs positionnés hors cœur ou de faible efficacité induisent en retour des fluctuations importantes sur les dérivées logarithmiques, entravant la comparaison théorie-expérience ; (ii) il est difficile de quantifier l'erreur sur la valeur k_p extraite.

Pour résoudre ces difficultés, nous avons proposé un nouvel estimateur auto-normalisé, dont l'expression repose sur l'utilisation d'intégrales au lieu de dérivées. Une intégrale étant une fonction continue, sa sensibilité aux fluctuations statistiques est moins importante. Nous avons testé l'estimateur intégral sur des configurations pour lesquelles il existe une expression analytique des taux de comptage théoriques des détecteurs. Nous avons ainsi vérifié que notre esti-

mateur conserve en présence de fluctuations statistiques importantes un pouvoir de résolution suffisant pour distinguer deux configurations de réacteurs dont les réactivités diffèrent de 5 pcm. De surcroît, l'utilisation de l'estimateur intégral permet de quantifier proprement l'écart théorie-expérience, rendant le calcul des barres d'erreur sur k_p possible. Les résultats obtenus avec notre nouvelle approche dans le cas d'une source de neutrons impulsionnelle sont présentés fig. 1: pour chacun des dix détecteurs utilisés dans l'installation GUINEVERE, nous comparons la réactivité obtenue avec la méthode k_p intégrale à la valeur de référence obtenue avec la méthode MSM (qui permet de déduire la réactivité par référence à un niveau critique). Nous constatons un bon accord entre les deux méthodes pour 8 détecteurs sur 10. Les deux détecteurs qui s'écartent de la valeur de référence sont positionnés dans une zone du réacteur pour l'heure mal modélisée (composition des matériaux incertaines, influence prouvée du béton et des structures entourant le cœur mais non prise en compte dans les simulations).

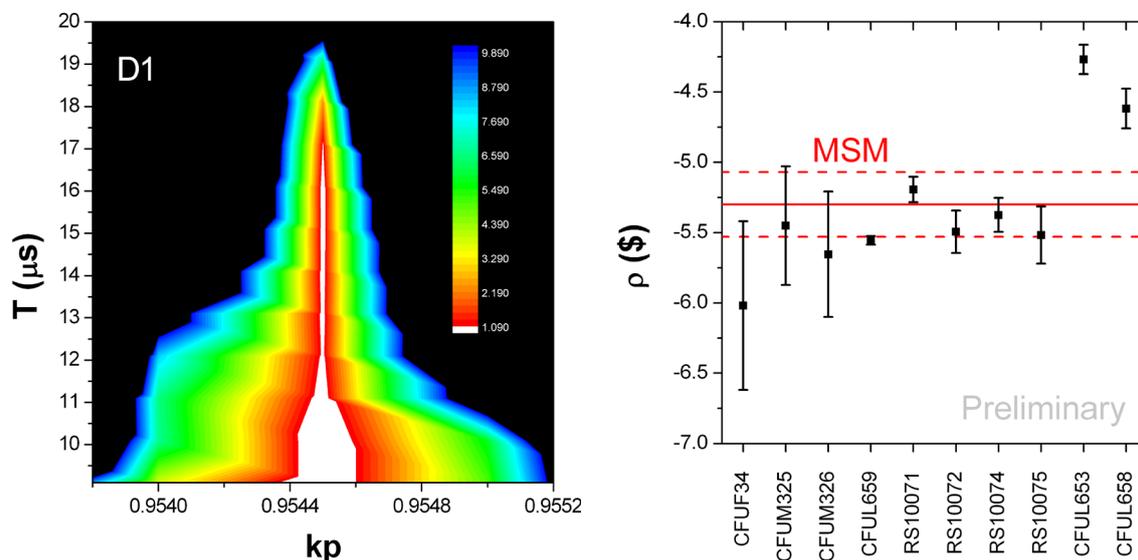


Fig. 1: (gauche) Évolution du χ^2 réduit entre les taux de comptage théoriques et expérimentaux d'une chambre à fission positionnée dans le réflecteur du réacteur VENUS-F. T est le temps écoulé depuis le pulse de neutrons, k_p est le coefficient de multiplication prompt. La zone blanche est l'intervalle sur lequel l'inégalité $\chi^2 \leq \chi^2_{min} + 1$ est vérifiée; (droite) réactivités en dollars obtenues pour les dix détecteurs positionnés dans le réacteur VENUS, comparées au résultat de la méthode MSM (valeur MSM = trait rouge plein, barres d'erreur MSM = traits rouges en pointillés). La distance à la source de neutrons augmente de gauche à droite, les deux détecteurs tout à droite étant les plus éloignés du centre.

Perspectives

L'application de la méthode k_p à des configurations très fortement sous-critiques ($k_{eff} < 0,9$) requiert l'utilisation d'une fonction de correction, qui revient à prendre en compte le poids des premières générations de neutrons dans la réaction en chaîne. Ce travail sera effectué l'année prochaine, lors de l'analyse des configurations fortement sous-critiques du réacteur VENUS obtenues en modifiant la hauteur de ses barres de contrôle.

La simulation des distributions $D(\tau)$ nécessaires à la détermination des taux de comptage théoriques est coûteuse en temps de calcul. L'utilisation de chambres à fission dont les dépôts sont constitués d'isotopes de sections efficaces de fission

à seuil, tels ^{238}U ou ^{237}Np , est alors recommandée. Pour ces détecteurs en effet, la distribution $D(\tau)$ se réduit à un Dirac. Cependant, des détecteurs à seuil ayant une efficacité compatible avec les faibles flux de neutrons de notre expérience restent difficiles à trouver. Avec l'aide du CEA/DEN, nous avons fait réaliser par Photonis un tel détecteur, contenant 1 g d' ^{238}U très pur. Il a été livré en octobre 2013 à Mol et nous l'utiliserons lors des prochaines campagnes expérimentales, ce qui devrait considérablement simplifier l'application de la méthode k_p .

La méthode k_p intégrale sera également mise en œuvre pour extraire la réactivité du réacteur en analysant la décroissance prompt qui suit une interruption d'une source continue, au lieu de celle qui suit une impulsion de neutrons.

Pour en savoir plus

S. Chabod et al., Analysis of prompt decay experiments for ADS reactivity monitoring at VENUS-F GUINEVERE facility, proceedings of the International Workshop on Technology and Components of Accelerator Driven Systems (TCADS-2), OECD Nuclear Energy Agency, Nantes, France (2013).

Perdu et al., Prog. in Nucl. Energy 42 (2003).

Développement du concept de MSFR

M. Allibert, M. Brovchenko, V. Ghetta, D. Heuer, A. Laureau, E. Merle-Lucotte, P. Rubiolo
Service Informatique

The LPSC research activities are related to the concept of Molten Salt Fast Reactor (MSFR) based on a fast neutron spectrum and the Thorium fuel cycle. For the two years, the effort has been focused on neutronic, thermalhydraulic and safety issues. A neutronic benchmark has been realized in the frame of a European project, to validate the tools and methods developed at LPSC for the optimization of the MSFR physical specifications. Its residual heat, important safety issue, has also been calculated and analyzed. Due to the differences with solid fueled nuclear reactors, a novel methodology for the safety assessment of the MSFR is needed. Such a work has been initiated, through the transposition of classical safety methods and a systematic risk analysis. A classification of the accidents specific to this liquid fueled reactor has been defined, with a preliminary study of their consequences performed with different basic tools of reactor kinetics. Finally a multi-physics approach to simulate the MSFR is under development. In the first stage, a neutronics - thermalhydraulics coupling using the MCNP and OpenFOAM codes is being developed. At present the steady-state model has been completed.

Études du Molten Salt Fast Reactor (MSFR)

Le MSFR (Fig. 1) a fait l'objet d'études comparatives des outils dans le cadre de benchmarks dans le groupe de travail « Design and Safety » du projet européen EVOL (Evaluation and Viability of Liquid Fuel Fast Reactor System) du 7e PCRD démarré en 2011 et qui a permis de compléter les moyens consacrés à l'étude du MSFR et de coordonner les efforts des partenaires européens et russes autour du même concept.

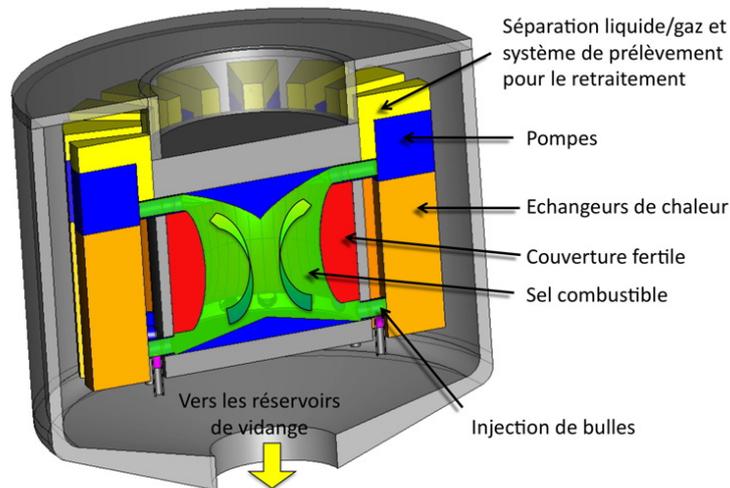


Fig. 1: Vue conceptuelle du MSFR.

Au niveau national, ces travaux de recherche ont été soutenus jusqu'à fin 2012 par le Groupement National de Recherche GEDEPEON (Gestion des Déchets et Production d'Énergie par des Options Nouvelles). Depuis 2013, ces recherches nationales sont coordonnées par le défi NEEDS de la mission interdisciplinaire du CNRS, en collaboration avec le CEA, EDF, AREVA, l'IRSN, l'ANDRA et le BRGM, plus précisément dans le projet fédérateur Systèmes Nucléaires.

Benchmark neutronique

Des calculs de criticité, de spectre neutronique, de fraction des neutrons retardés et de coefficients de contre-réactions ont été effectués par les partenaires du projet. Les comparaisons de ces variables statiques ont conclu à un bon accord entre les différents codes et méthodes utilisés par les partenaires (Fig. 2), et ont mis en évidence l'influence du choix des bases de données nucléaires, notamment sur le spectre neutronique et les calculs de criticité. Les sections efficaces de capture de l' ^{233}U et du ^{232}Th , ainsi que la section efficace inélastique du ^{19}F , en sont responsables. Les coefficients thermiques de contre-réactions totales et partielles (densité et Doppler) ont été évalués. Leurs valeurs négatives, capitales pour la stabilité intrinsèque du réacteur, ont été confirmées, et ce sans influence significative du choix des bases de données ou des codes de calcul.

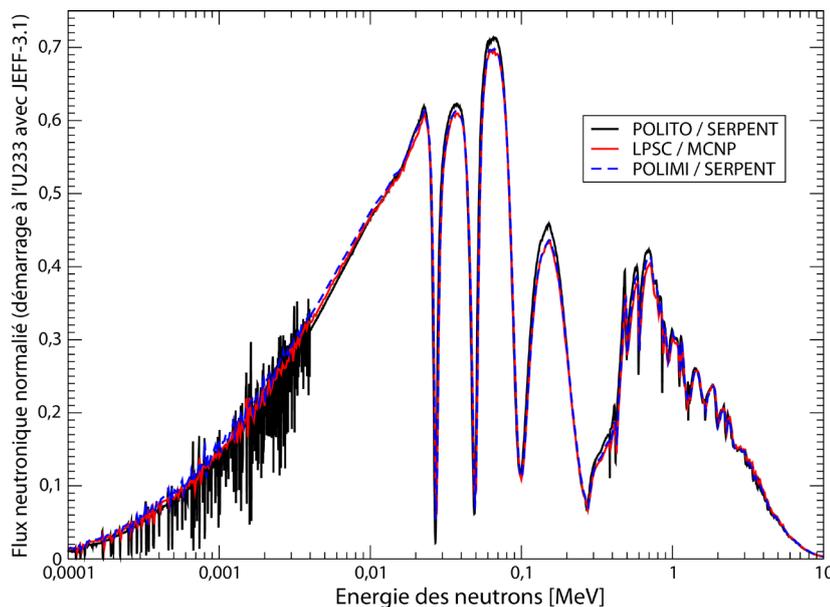


Fig. 2: Comparaison des spectres neutroniques du MSFR calculés avec plusieurs outils de simulation neutronique (codes stochastiques SERPENT et MCNP) par plusieurs partenaires (Politecnico di Torino, LPSC et Politecnico di Milano) dans le cadre du projet européen EVOL.

Puissance résiduelle

Grâce à un outil préalablement validé, nous avons montré que les noyaux d' ^{235}U et de ^{241}Pu génèrent une puissance résiduelle des produits de fission par fission plus importante pendant les premières dizaines de minutes par rapport à l' ^{233}U et le ^{239}Pu . Cet outil a ensuite été utilisé afin d'évaluer la puissance résiduelle du réacteur MSFR. Les sources de chaleur associées à chaque localisation contenant des produits radioactifs ont été quantifiées. Si le sel combustible est bien la source majeure de puissance résiduelle, l'unité de bullage constitue également une source de chaleur importante qui nécessite un système de refroidissement efficace. La sensibilité aux paramètres d'extraction des produits de fission a été étudiée, mettant en valeur l'importance de l'extraction des produits de fission gazeux et non-solubles sur la production de chaleur résiduelle dans le sel combustible. L'évaluation de la puissance résiduelle a ensuite été utilisée dans les études d'accident afin d'étudier l'augmentation de température du sel combustible lors des transitoires de perte de refroidissement. Cette étude sert aussi de base pour le dimensionnement du réservoir de vidange ainsi que des systèmes de déclenchement de la vidange.

Étude de sûreté

Un travail de transposition des critères de sûreté classiques à un réacteur à combustible liquide a été initié. Ainsi une définition des trois barrières de confinement a été proposée pour le MSFR. La méthodologie ISAM (Integrated Safety Analysis Methodology), développé par le groupe d'experts sur le risque et la sûreté du Forum International Génération 4 (GIF), a été appliquée au MSFR. Le questionnaire de la méthode a permis de lister et de documenter les caractéristiques et attributs de sûreté demandés pour les concepts de quatrième génération tels que définis par le GIF.

Une méthodologie plus générale et non-spécifique aux réacteurs nucléaires, l'analyse systémique de risque, a parallèlement été appliquée. Il s'agit d'identifier les risques existants dans le MSFR, en complément de la transposition d'une liste d'accidents préétablie pour d'autres réacteurs nucléaires à combustible solide. Une description systémique du réacteur a permis de dresser un état des lieux des composants envisagés dans le MSFR ainsi que leur fonction. En se basant sur ce descriptif du système, des scénarios accidentels ont été établis. Ces scénarios ont été regroupés par événements initiateurs d'accidents, comme la perte de refroidissement ou la perte de circulation du sel combustible. Les défaillances initiales menant à chaque type d'accident ont été établies. Enfin, des études préliminaires sur les conséquences possibles de ces accidents ont été réalisées en utilisant des outils de simulations basés sur le modèle de la cinétique point, la cinétique point par zone ou le code COUPLE développé à Karlsruhe en Allemagne et couplant la thermo-hydraulique à la neutronique.

Développement d'une modélisation multi-physique pour le MSFR

Depuis 2011 d'importants efforts ont porté sur le développement d'une approche de modélisation multi-physique du MSFR. Ayant un combustible liquide en circulation, ce réacteur nécessite des modèles neutroniques et thermo-hydrauliques différents de ceux en général utilisés pour les réacteurs nucléaires à combustibles solides. Par ailleurs, la géométrie relativement simple de la cavité du cœur permet de réduire drastiquement l'effort numérique, et donc rend l'implémentation d'une approche multi-physiques et multi-échelles à la portée de nos capacités de calcul.

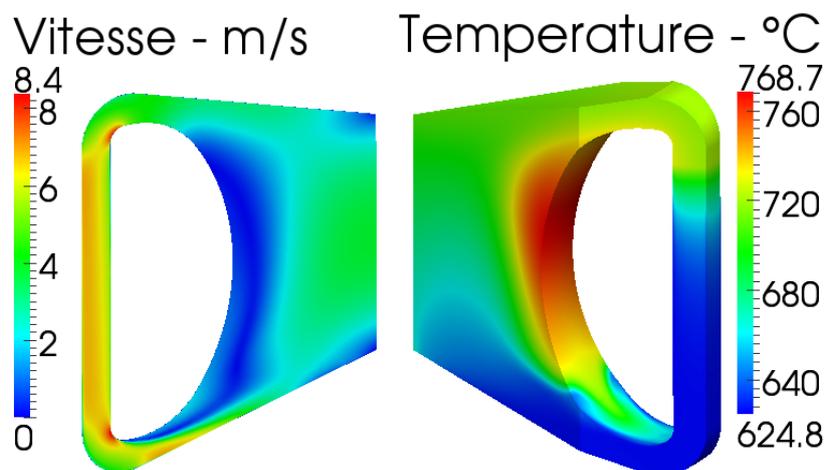


Fig. 3: Distributions de vitesse et de température du sel combustible obtenues en couplant le code Monte-Carlo MCNP au code CFD OpenFoam.

Dans le cadre de ces efforts, une thèse (2012-2015), deux stages master (2013) et un projet structurant (2013-2015) ont été ou sont actuellement en cours. Dans la phase actuelle, un modèle stationnaire du MSFR à l'aide du code neutronique MCNP et des codes de mécanique des fluides CFD (Computational Fluid Dynamics) OpenFoam et Fluent est en cours de développement. Ce modèle permet de calculer des distributions de puissance, de concentration des précurseurs, de température et de vitesse du sel combustible (Fig. 3). Un Projet grenoblois piloté par le LPSC et structurant les activités de recherche autour de la thématique *nucléaire et réacteur à combustible liquide au thorium* a été mis en place en 2013 jusqu'à 2015. Dix-sept chercheurs de six laboratoires grenoblois sont associés à Grenoble INP pour travailler sur ce projet structurant.

Pour en savoir plus

« Rapport sur la gestion durable des matières nucléaires », <http://www.cea.fr/energie/rapport-sur-la-gestion-durable-des-matieres-nucl-106009>, Tome 4, pages 31-36 (2012)
Collectif « L'énergie à découvert », chapitre « La filière Thorium », pages 124-125, éditions CNRS (2013).

Preliminary safety calculations to improve the design of the Molten Salt Fast Reactor, M. Brovchenko, D. Heuer, E. Merle-Lucotte, M. Allibert, N. Capellan, V. Ghetta, A. Laureau, *Proceedings of the PHYSOR 2012 Conference, LaGrange Park, USA (2012)*.

Coupled neutronics and thermal-hydraulics numerical simulations of a Molten Salt Fast Reactor (MSFR), A. Laureau, P. Rubiolo, D. Heuer, E. Merle-Lucotte, M. Brovchenko, *Proceedings of Supercomputing in Nuclear Applications and Monte Carlo (SNA&MC) International Joint Conference, Paris, France (2013)*.

Vers l'analyse Monte Carlo complète de réacteurs à eau en cycle thorium par neutronique couplée et cinétique nodale

N. Capellan, O. Méplan, A. Nuttin
Service Informatique

The two main research tracks identified in 2010-2011 (safety assessment of thorium CANDU and further optimization of thorium PWR performance) have been followed during the past two years. Concerning the latter track, NEA has proposed a performance test of full PWR core calculations based on Monte Carlo neutron transport, which we have used to define an optimal detail level for convergence of steady state coupled neutronics. In parallel with this study and within the same MURE framework (MCNP Utility for Reactor Evolution), a simplified code of nodal kinetics based on two-group and few-point diffusion equations has been developed and validated on a typical CANDU LOCA (Loss Of Coolant Accident). Now we work on the synthesis of these two activities (coupled neutronics and nodal kinetics) towards safety studies of thorium-fueled PWR-like innovative options.

Exploitation optimale du transport Monte Carlo (MCNP)

Problématique du couplage neutronique - thermohydraulique

MCNP présente des problèmes pour le calcul des taux de réaction locaux et a tendance à sous-estimer les erreurs. Pour s'assurer de la pertinence des résultats, et faute de pouvoir les comparer avec des mesures en réacteur, nous avons réalisé des études basées sur leur reproductibilité en utilisant un grand nombre de calculs indépendants. La comparaison de la dispersion obtenue pour chaque volume et des études techniques complémentaires (basées entre autres sur l'entropie de Shannon) nous ont permis de mettre au point une méthodologie de caractérisation représentative de la précision des résultats.

Limites actuelles du calcul Monte Carlo de puissances locales

Cette méthodologie a été appliquée au calcul de puissances locales d'un cœur entier de Réacteur à Eau sous Pression (REP) dans le cadre de notre participation à un benchmark NEA sur les performances des codes Monte Carlo. Le niveau de détail spatial est celui d'un crayon radialement (environ 1 cm) et un centième de crayon axialement (environ 4 cm), soit plus de 5 millions de cellules. Les deux conclusions principales de notre étude sont que le code MCNP sous-estime dans ce cas les erreurs d'un facteur 5 en moyenne, et que le niveau de détail demandé par le benchmark n'est pas encore atteignable (Fig. 1) pour des temps de calculs raisonnables (notamment pour les équipes ne bénéficiant pas de super calculateurs). Une simulation en parallèle réalisée sur 12 processeurs de dernière génération nécessiterait plus d'un mois de calcul tout en offrant d'après nos extrapolations une précision de seulement 11% sur les zones les plus défavorables. Cependant un niveau de détail moins exigeant (par assemblage radialement et pour 10 niveaux axiaux) est en revanche accessible avec des erreurs de l'ordre du pourcent tout à fait acceptables et compatibles avec par exemple un couplage thermohydraulique.

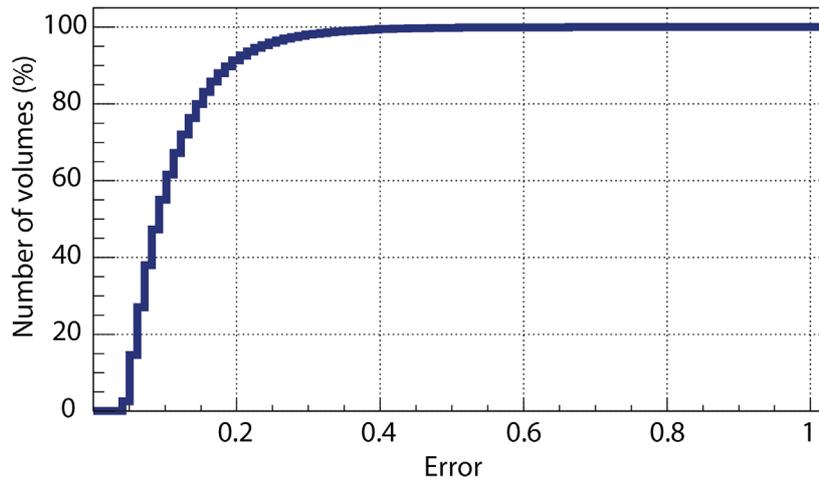
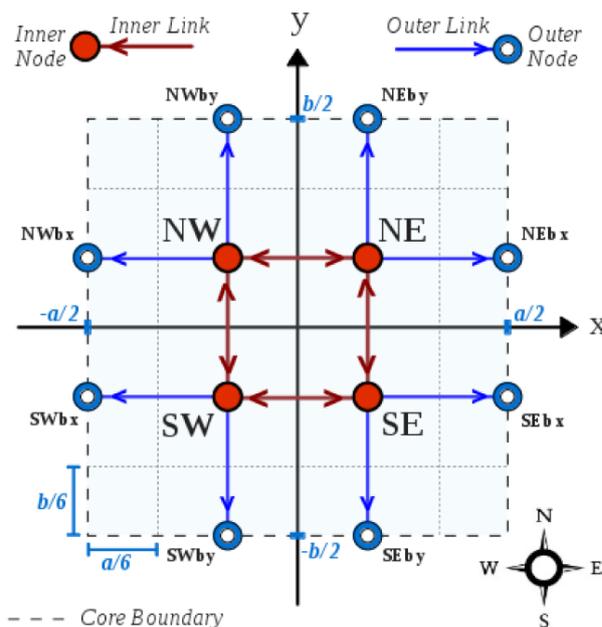


Fig. 1 : Erreur cumulée des puissances relatives locales d'un cœur de REP estimées par MCNP.

Caractérisation en diffusion pour la cinétique nodale

Validation du code de cinétique nodale simplifiée NodalDrift

Ce code a été conçu comme le point de départ le plus simple possible vers le couplage, indispensable à nos futures études de sûreté, entre cinétique spatiale et thermohydraulique. Il est basé pour cela : (i) sur l'approximation de la diffusion pour un cœur homogène et (ii) sur le maillage maximal compatible avec la symétrie des transitoires étudiés. La figure 2 décrit le modèle 2D à 4 zones utilisé pour le calcul d'un accident LOCA (Loss Of Coolant Accident) en CANDU^{nat}U, qui nous a permis de valider NodalDrift par comparaison avec des résultats de référence. Aux équations (1-3) d'évolution des nombres de neutrons (à deux groupes d'énergie) et de précurseurs s'ajoute la forme discrétisée (4) de l'opérateur de déplacement Δn qui exprime les transferts de chaque zone vers les autres et l'extérieur. Avec un bon rapport précision/complexité, ce code autorise ainsi des prédictions fiables en cinétique spatiale.



$$\frac{dn_1}{dt} = D_1 v_1 \Delta n_1 - \Sigma_{a1} n_1 v_1 - \Sigma_{12} n_1 v_1 + (1 - \beta) \nu \Sigma_{f2} n_2 v_2 + \sum_g \lambda_g p_g \quad (1)$$

$$\frac{dn_2}{dt} = D_2 v_2 \Delta n_2 - \Sigma_{a2} n_2 v_2 + \Sigma_{12} n_1 v_1 \quad (2)$$

$$\frac{dp_g}{dt} = \beta_g \nu \Sigma_{f2} n_2 v_2 - \lambda_g p_g \quad (3)$$

$$\Delta n_{NE} = \left(\frac{1 + \delta}{dx}\right)^2 (n_{NW} - n_{NE}) + \left(\frac{1 + \delta}{dy}\right)^2 (n_{SE} - n_{NE}) + \left[\left(\frac{1 + \delta}{dx}\right)^2 + \left(\frac{1 + \delta}{dy}\right)^2\right] (-n_{NE}) \quad (4)$$

Fig. 2 : Principes du code NodalDrift (discrétisation nodale typique et équations cinétiques résolues).

Calcul des paramètres de diffusion, application et perspectives

Comme tout transitoire calculé par NodalDrift, le LOCA du benchmark CANDU^{natU} utilisé est décrit par plusieurs variations locales de certains paramètres de diffusion (sections efficaces pour l'essentiel). Une procédure rigoureuse a été mise au point pour le calcul, à partir de résultats obtenus avec MCNP, de tels paramètres représentatifs d'un cœur complet en début de transitoire. Les valeurs de ces paramètres correspondant à une version thoriée du même CANDU ainsi que les caractéristiques du LOCA associé ont pu être calculées, confirmant nos études ponctuelles antérieures selon lesquelles la sûreté d'un CANDU thorié reste proche de celle d'un CANDU^{natU} classique. Cette démarche est à présent appliquée et généralisée au cas des réacteurs à eau légère sous-modérés et thoriés. Restent entre autres à implémenter le couplage avec la thermohydraulique et la fermeture du circuit primaire.

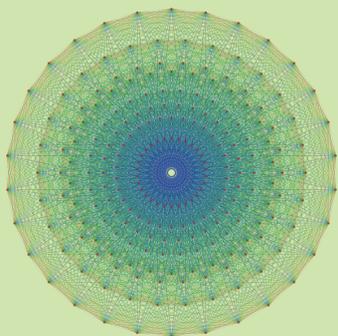
Pour en savoir plus

Performances des codes Monte Carlo dans le calcul de densités de puissance locales, C. El Mhari sous la direction de N. Capellan, rapport de PFE, LPSC-13-96 (2013).

Facing Challenges for Monte Carlo Analysis of Full PWR Cores: Towards Optimal Detail Level for Neutronics and Proper Diffusion Data for Kinetics, A. Nuttin et al., SNA&MC 2013.

Physique théorique

La physique théorique a comme objectif la construction de modèles mathématiques aussi simples et complets que possible, capables de rendre compte d'un maximum de phénomènes physiques à partir d'un minimum de paramètres libres. En physique des particules, ces modèles décrivent les constituants élémentaires et leurs interactions. Dans ce contexte, le siècle dernier a vu l'avènement du Modèle Standard (MS), décrivant presque tous les processus connus en termes de juste 19 paramètres. Il laisse de côté l'interaction gravitationnelle, dont le traitement quantique nous échappe, mais reste le meilleur modèle disponible aujourd'hui. Bien sûr, le but ultime est d'inclure toutes les interactions au sein d'une seule théorie ayant peu ou pas de paramètres libres. Le fonctionnement de l'univers, du subatomique au cosmologique, découlerait alors entièrement de sa structure géométrique intime.



Au quotidien, face à l'ampleur et l'ambition de cet objectif, les théoriciens suivent deux axes de travail. Un premier angle d'attaque est de tester le MS, et d'estimer précisément ses paramètres libres. La théorie intervient car le lien entre paramètres fondamentaux et observables mesurés est indirect. L'établir nécessite l'évaluation de corrections quantiques, particulièrement complexes quand l'interaction forte joue un rôle. Par exemple, lorsque le LHC collisionne des protons, agrégats de quarks et de gluons, ce sont

ces derniers qui interagissent. La mesure d'un paramètre fondamental nécessite donc de contrôler la distribution des constituants des protons.

Au lieu de tester le MS en espérant le prendre en défaut, la deuxième approche est de regarder directement au-delà. En effet, passer du MS à la théorie ultime, si elle existe, ne se fait probablement pas en une étape. Donc, partant des limitations du MS, les théoriciens cherchent à construire des modèles un peu plus simples ou complets. Par exemple, ils peuvent avoir moins de paramètres libres ou un meilleur comportement quantique, expliquer pourquoi les neutrinos sont si légers, de quoi est faite la matière noire, ou comment l'équilibre entre matière et antimatière s'est brisé après le Big Bang. Reste alors à vérifier si ce modèle passe les contraintes expérimentales actuelles, puis à analyser sa phénoménologie, entre autre aux collisionneurs, en vue de le valider directement. Ici aussi, contrôler les interactions fortes est crucial pour identifier avec certitude un nouveau phénomène.

Un peu d'histoire...

La prédiction du boson de Higgs illustre à merveille le travail des théoriciens, et leur rôle au côté des expérimentateurs. L'interaction faible est la seule interaction fondamentale de courte portée. Les trois autres, fortes, électromagnétiques,

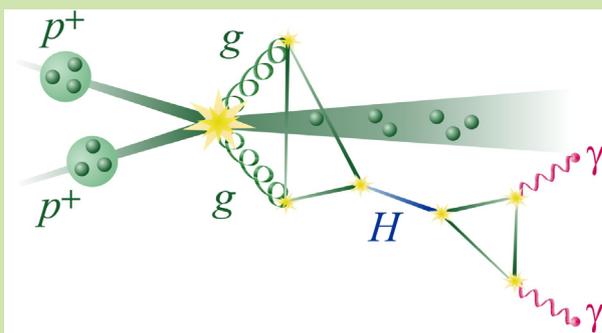
et gravitationnelles, sont de portée infinie car dues à l'échange de particules sans masse : gluons, photons, et gravitons. Jusqu'en 1969, le modèle de Fermi était utilisé pour décrire l'interaction faible. Bien qu'en parfait accord avec l'expérience, ce modèle ne satisfaisait pas les théoriciens. Il n'expliquait pas pourquoi les vecteurs de l'interaction faible avaient une masse et, plus grave, il était incompatible avec certains préceptes de théorie des champs jugés incontournables : la renormalisabilité et l'unitarité.

C'est ce problème qu'Englert, Higgs et d'autres ont résolu, ce qui leur a valu le Prix Nobel 2013. Ils ont montré comment générer la masse des vecteurs de l'interaction faible, et donc la rendre de courte portée, à travers leurs interactions avec un champ scalaire. Procéder ainsi préserve la symétrie de la théorie et la rend renormalisable et unitaire. La preuve de ce dernier point valut à 't Hooft et Veltman le Prix Nobel 1999. Ce mécanisme est à la base du MS, tel que formulé par Glashow, Weinberg, et Salam, Prix Nobel 1979. Ses prédictions se sont toutes spectaculairement vérifiées, la dernière en date étant l'existence du champ scalaire – le boson de Higgs – découvert en 2012 au LHC.

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + h.c. + \chi_i^\dagger \gamma_{ij} \chi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

Qu'étudient les théoriciens du LPSC ?

Le LPSC a toujours eu un groupe de physique théorique important, jusqu'à une dizaine de chercheurs permanents. Par le passé, les thématiques étaient surtout centrées sur la physique hadronique et nucléaire. Après la vague de départs des années 2000, le groupe s'est rajeuni, restructuré et réorienté vers la physique des particules. Il se compose depuis la mi-2012 de quatre chercheurs permanents (3 CNRS, 1 UJF), soutenus par environ quatre chercheurs en CDD et autant d'étudiants en thèse.

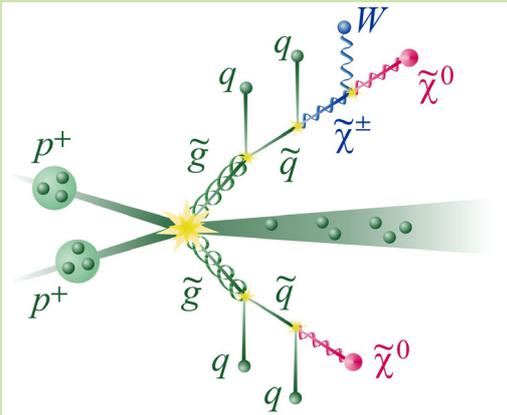


Comme nous le montrerons dans ce rapport d'activités, notre groupe contribue aux avancées dans les domaines les plus actifs et compétitifs de la physique des particules d'aujourd'hui. Grâce à ce dynamisme, à la fiabilité et au sérieux de nos travaux, notre groupe bénéficie d'une excellente

réputation et d'une visibilité tant nationale qu'internationale.

Nos travaux s'inscrivent dans le cadre général exposé plus haut, et couvrent un large spectre d'approches et de thématiques. Avant d'entrer dans le détail, nos axes majeurs de recherche sont actuellement :

- Le traitement des effets dus aux interactions fortes, en particulier dans les collisions proton-proton du LHC, tant pour les processus du Modèle Standard que pour ceux attendus dans divers scénarios de nouvelle physique.



- La formulation de modèles de nouvelle physique, l'étude de leurs phénoménologies aux collisionneurs, présent ou futur, et celle de leurs conséquences astrophysiques et cosmologiques. La période récente ayant été marquée par la découverte du boson de Higgs, nous lui avons consacré nombre de nos travaux.

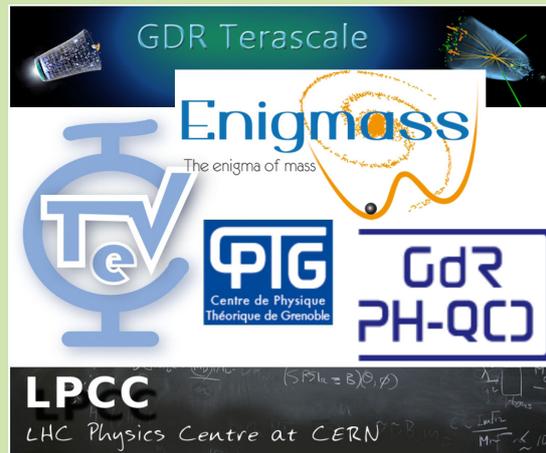
Ces thématiques sont étroitement liées aux programmes expérimentaux du LPSC. Par exemple, l'étude du boson de

Higgs, la recherche de la supersymétrie, ou le contrôle des effets de l'interaction forte sont des préoccupations communes avec la collaboration ATLAS. Également, l'interaction forte est au cœur de l'activité de la collaboration ALICE. Finalement, l'épineuse question de la nature de la matière noire mobilise une partie de nos efforts et de ceux des groupes d'astrophysique.

Quelques autres activités

Notre groupe est impliqué dans l'animation d'ateliers, l'organisation de conférences, ainsi que la gestion scientifique de différents réseaux de recherche, et ce tant au niveau national qu'international. Citons par exemple la série d'ateliers des Houches *Physics at TeV Colliders*, ceux du *LHC Physics Center at CERN*, les groupements de recherches *PH-QCD* et *Terascale*, et l'organisation au LPSC des *Rencontres de Physique des Particules 2013* et de la série d'ateliers *Implications of the 125 GeV Higgs boson*.

Ces activités sont particulièrement cruciales pour un groupe théorique, car elles participent à la dissémination de nos résultats et garantissent notre visibilité présente et future. D'ailleurs, les membres de notre groupe sont très souvent sollicités comme orateurs, tant aux conférences thématiques qu'aux congrès internationaux.



Chromodynamique quantique

*I. Schienbein, M. Mangin-Brinet, T. Stavreva, T. Ježo, F. Lyonnet
LAPTh Annecy, LLR Palaiseau, Hamburg univ., Mainz univ., Karlsruhe univ., Münster univ.,
Dallas univ.
nCTEQ Collaboration : Dallas univ., JLab, Hampton univ., Fermilab, Florida State univ.
European Twisted Mass Collaboration : CEA Saclay, LPT Orsay, LPC Clermont, DESY,
P. de Olavide univ., Huelva univ.*

The research carried out in QCD spans a wide range of topics including a global analysis of nCTEQ nuclear parton distribution functions (PDFs) with uncertainties, theoretical work on the ACOT heavy flavor scheme extending it to next-to-next-to leading order (NNLO) accuracy and beyond and generalizing it to include explicitly the dependence on the number of active flavors in the PDFs, a study on the experimental constraints on the strange quark PDF and the influence of the strange quark PDF uncertainty on W/Z boson production at the LHC, a next-to-leading order (NLO) study of inclusive charmed meson production in p-p collisions at the LHC, and predictions for the production of a photon in association with a heavy quark jet at NLO QCD for both p-p and Pb-Pb collisions. In the case of Pb-Pb collisions, a particular focus has been placed on the energy lost by the heavy quark during the propagation through the hot and dense medium (the quark gluon plasma) formed in the heavy ion collisions. In addition to the work in perturbative QCD, we have carried out research in non-perturbative QCD where we have studied non-perturbative renormalisation, and we have performed a determination of the strong coupling constant on the lattice.

QCD perturbative: Distributions de partons

L'une de nos activités principales de recherche concerne la détermination des distributions de partons (PDF) dans les protons et noyaux complexes.

Les PDF sont d'une importance primordiale pour la physique moderne des hautes énergies. Elles encodent des informations fondamentales sur la structure des hadrons et sont indispensables à la détermination d'une large classe d'observables mesurées par les collisionneurs de haute énergie utilisant des hadrons dans l'état initial. En particulier, ce sont des outils essentiels pour pouvoir prédire les sections efficaces des collisions p-p, p-A, A-A (ainsi que γ -p et γ -A) au LHC, indispensables au succès de son ambitieux programme de physique. Le LHC explore les lois fondamentales de la nature à l'échelle du téra-électronvolt, ce qui inclut l'étude du mécanisme de brisure de symétrie électrofaible, les recherches de signaux d'une nouvelle physique, les tests de la Chromodynamique Quantique perturbative (pQCD) dans des domaines cinématiques jamais explorés jusqu'alors, ainsi que les études détaillées des propriétés du plasma de quarks et de gluons (QGP). De plus, les PDF ne sont pas seulement des outils ou des prérequis empiriques pour les calculs, mais représentent aussi en elles-mêmes un sujet d'étude cruciale de la QCD ; elles font en particulier l'objet d'études par calculs sur réseau, ou via des théories effectives.

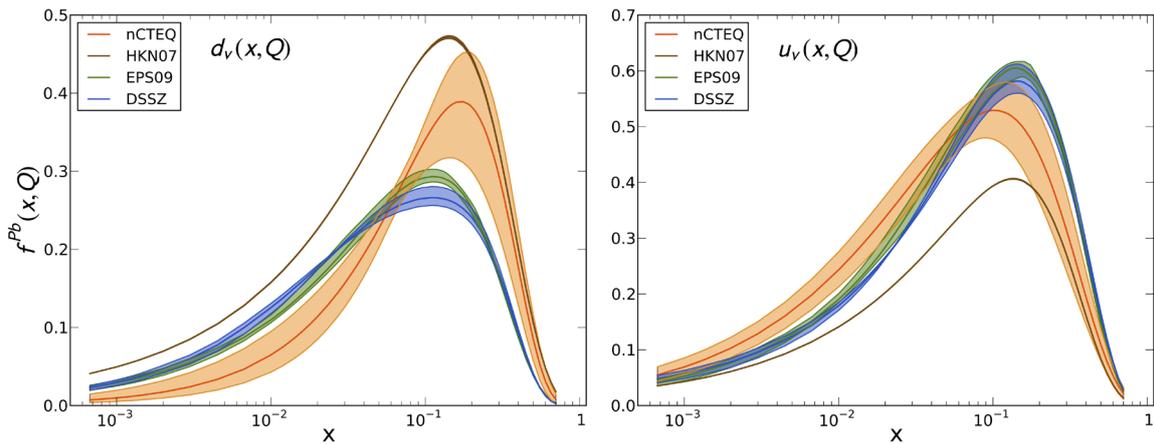
Les PDF sont déterminées par des ajustements globaux des données d'une grande variété de processus durs en utilisant le cadre théorique nCTEQ, qui a été développé par notre groupe au LPSC avec quelques membres de la collaboration CTEQ. Cette approche représente une extension du cadre théorique de la collaboration CTEQ pour analyser les PDF dans les protons, et permet de traiter plusieurs noyaux avec nombre atomique A, reproduisant le cas du proton dans

la limite $A \rightarrow 1$. Un aspect unique de notre approche est ainsi sa large portée puisque nous analysons les PDF dans les protons et les noyaux en utilisant un cadre théorique cohérent et unifié, au lieu de la pratique habituelle qui consiste à considérer soit des protons soit des noyaux.

Incertitudes des PDF

Notre groupe a investi un effort tout particulier dans la détermination des PDF nucléaires nCTEQ et de leurs incertitudes. Les premiers résultats préliminaires ont été présentés à la conférence DIS 2013. Par exemple, dans la figure ci-dessous sont représentées les PDF des quarks de valence dans un noyau de plomb et leurs incertitudes, à une énergie de 10 GeV, comparées aux résultats obtenus par différents groupes nPDF (HKN07, EPS09, DSSZ). Ce travail devrait aboutir prochainement.

Un projet débuté récemment ambitionne d'appliquer la méthode de Monte-Carlo par chaînes de Markov à la détermination des PDF, ce qui permettrait en particulier une estimation plus rigoureuse des incertitudes. L'un des points les plus délicats de ces méthodes est le temps de calcul requis. Une première étude a démarré, qui vise à identifier les étapes les plus lentes et à optimiser les codes, avec une éventuelle utilisation du parallélisme.



PDF du quark étrange et implication sur la production de W/Z

Les analyses globales des PDF fournissent des contraintes fortes sur les composantes u et d du proton, mais contraindre les autres degrés de liberté de saveur est plus délicat. Les prédictions théoriques aux ordres supérieurs et les nouveaux ensembles de données ont contribué à de récentes améliorations. Cependant, en dépit de ces efforts, la fonction de distribution du quark étrange est encore entachée d'amples incertitudes, particulièrement dans la région de faible fraction d'impulsion. Nous avons examiné les contraintes expérimentales et théoriques et cherché à comprendre l'impact de ces incertitudes sur les observables du LHC. En particulier, nous avons étudié la production de W/Z pour déterminer comment ces incertitudes dues au quark étrange se propagent aux observables. Nous avons de plus regardé dans quelle mesure les résultats précis obtenus au LHC pourraient fournir des informations additionnelles sur la structure en saveur du proton.

Schémas de saveurs lourdes

Un traitement théorique approprié et consistant des quarks lourds (charme et bottom) est crucial pour une détermination précise des PDF. En pratique, lorsque

l'on atteint l'ordre NNLO (next-to-next-to-leading order), il est donc essentiel de formuler le schéma des quarks lourds au moins au même ordre.

Pour la production de quarks lourds, la collaboration nCTEQ emploie le schéma ACOT, qui a été le premier traitement des saveurs lourdes discuté dans la littérature et qui reste probablement le schéma le plus utilisé. Nous avons utilisé les résultats du schéma de renormalisation $\overline{\text{MS}}$ à masse nulle, à l'ordre NNLO et NNNLO pour les fonctions de structure F_2 et F_L dans la diffusion profondément inélastique avec courant neutre, pour estimer les corrections d'ordre supérieur aux résultats à masse non nulle donnés par le schéma ACOT, en imposant sur l'espace de phase des contraintes dues à la masse des quarks. La combinaison des résultats exacts du schéma ACOT à l'ordre NLO avec les expressions ainsi obtenues devrait fournir une bonne approximation du calcul ACOT complet aux ordres NNLO et NNNLO.

Dans un autre travail, nous avons introduit un schéma hybride avec un nombre variable de saveurs de quarks lourds, dénoté H-VFNS, qui incorpore les avantages du schéma traditionnel à nombre de saveurs variable (VFNS) et de celui à nombre de saveurs fixe (FFNS). En incluant explicitement une dépendance dans le nombre de saveur dans les PDF et la constante de couplage forte, nous avons généré des ensembles de PDF et de valeurs de couplage pour 3,4,5,6 saveurs, à une échelle quelconque de renormalisation, reliés analytiquement par les conditions de raccordement $\overline{\text{MS}}$. Le schéma H-VFNS resomme les contributions des quarks lourds et laisse la liberté de choisir le nombre de saveurs optimal pour chaque ensemble de données. Cette généralisation du schéma ACOT traditionnel permet d'ajuster les données de HERA sélectionnées dans le schéma FFNS, tout en conservant les bénéfices du schéma VFNS pour analyser celles du LHC à des échelles d'énergie plus grandes.

QCD perturbative: Production de saveurs lourdes

La production de saveurs lourdes dans les collisions hadroniques fournit des tests importants de notre compréhension de la QCD. Dans les collisions p-p et p-A, ces processus permettent de contraindre les PDF des quarks charmés et beaux. Concernant les collisions A-A, la production de saveurs lourdes fournit des observables clés pour étudier le milieu chaud et dense formé dans les collisions d'ions lourds. Dans ce contexte, les résultats obtenus en collisions p-p et p-A constituent des références nécessaires pour interpréter les observables dans les collisions d'ions lourds.

Production de mésons D

Nous avons appliqué le GM-VFNS (General-mass variable-flavor-number scheme) pour obtenir des prédictions à l'ordre NLO pour la production de mésons charmés (D^* , D^+ , D^0 , D_s , Λ_c) dans les collisions p-p au LHC. Nos résultats ont été présentés sous une forme qui permet une comparaison facile avec les données expérimentales des collaborations ALICE, ATLAS, CMS et LHCb. Nous avons trouvé que la section efficace de production à grande rapidité est très sensible à la présence d'une composante non-perturbative dans la PDF du quark c, appelé charme intrinsèque. Des mesures à grande rapidité devraient ainsi être utiles pour dépister ou contraindre ces effets prédits par la QCD.

Production d'un photon direct en association avec un quark lourd

La production d'un photon direct en association avec un quark lourd est un processus aux multiples facettes. Nous avons mené une étude de ce processus à l'ordre NLO dans les collisions p-p au LHC. Il s'avère que la distribution en impulsion transverse du photon à grande rapidité est prometteuse pour découvrir ou contraindre l'existence du charme intrinsèque dans la structure du proton.

Dans un autre travail, nous avons présenté une étude phénoménologique exploratoire de ce processus dans les collisions Pb-Pb au LHC. Nous avons considéré plusieurs observables qui peuvent être utiles pour estimer la quantité d'énergie perdue par le quark lourd durant sa propagation à travers le milieu dense et chaud produit dans les collisions d'ions lourds. Les calculs ont été effectués à l'ordre NLO en utilisant pour les quarks lourds des probabilités de perdre une certaine énergie formulées par Armesto-Salgado-Wiedemann (basées sur le cadre théorique de Baier-Dokshitzer-Mueller-Peigne-Schiff et Zakharov, BDMPS-Z). Généralement, on s'attend à une certaine hiérarchie dans la perte d'énergie des partons, avec la perte la plus grande pour les gluons, suivis par les quarks légers et ensuite les quarks lourds. En supposant une telle hiérarchie dans les probabilités de perte d'énergie (quenching weights), nos résultats montrent que le quenching des spectres inclusifs en impulsion transverse du jet de quark lourd suit raisonnablement cette hiérarchie. Par contre, le spectre en p_T du photon est seulement modifié à petite impulsion, où moins de jets de quarks lourds arrivent à passer les coupures cinématiques. En plus des spectres inclusifs d'une particule, l'état final avec deux particules fournit une gamme d'observables (l'impulsion de la paire photon-jet, l'asymétrie de jet, etc.) que nous avons étudiée en détail. La comparaison de l'impulsion de la paire photon-jet dans les collisions p-p et Pb-Pb est sensible à la quantité d'énergie perdue par le quark lourd et pourrait donc être utilisée pour mieux comprendre la perte d'énergie dans le secteur des quarks lourds.

Calculs sur réseau

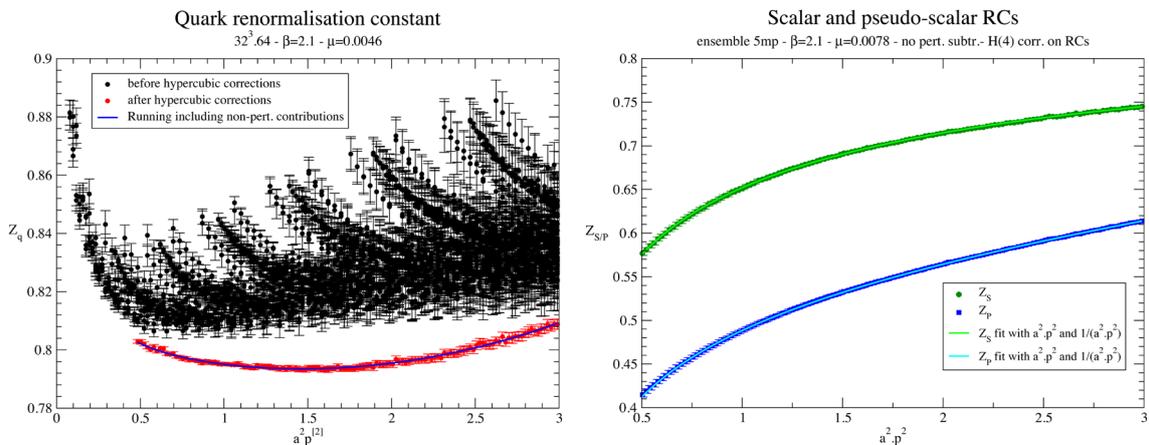
La QCD sur réseau représente à l'heure actuelle la seule méthode systématique et rigoureuse permettant d'effectuer des calculs *ab-initio* et non perturbatifs de QCD.

Renormalisation non perturbative

La renormalisation non perturbative est un ingrédient indispensable des calculs sur réseau. La discrétisation de la QCD sur un réseau d'espace-temps fournit une régularisation évidente de la théorie, en introduisant comme coupure naturelle la maille du réseau, dénotée a . Mais toute comparaison avec des résultats physiques nécessite un contrôle précis de la limite du continu, c'est-à-dire lorsque $a \rightarrow 0$. C'est la renormalisation qui permet, à partir de quantités nues calculées à maille finie, d'obtenir des observables physiques (donc indépendantes de a) avec des précisions raisonnables.

Nous avons ainsi réalisé une étude systématique des constantes de renormalisation des opérateurs fermioniques bilinéaires, i.e. de type $\bar{q}_a(x)O(x,y)q_b(y)$ avec quatre saveurs de quarks dynamiques. L'opérateur O n'est pas nécessairement local, et peut contenir des dérivées, par exemple dans le cas des éléments de matrice utilisés pour l'extraction des fonctions de structure du nucléon (PDF, GPD, etc.).

La technique de renormalisation que nous utilisons fait appel à la méthode RI-MOM. Nous avons cependant développé une stratégie plus élaborée permettant un traitement approprié des artefacts hypercubiques. La discrétisation sur réseau brise en effet la symétrie de rotation de l'espace-temps en son sous-groupe $H(4)$. Cela induit des artefacts réseau qui, dans le cas des constantes de renormalisation, sont très prononcés. La figure de gauche ci-dessous montre la structure typique en arêtes de poisson de ces artefacts pour la constante de renormalisation du quark (représentée en fonction de l'impulsion en unité de maille du réseau (courbe noire), ainsi que le résultat obtenu après corrections hypercubiques (courbe rouge). L'évolution non perturbative est aussi parfaitement décrite, comme le montrent les exemples ci-dessous pour les constantes de renormalisation (RC) du quark.



Afin de contrôler au mieux les divers artefacts réseau (limite du continu, chirale, etc.), nous avons calculé les constantes de renormalisation pour plusieurs ensembles de paramètres réseau. Une publication à venir présentera de façon complète les résultats pour quatre saveurs de quarks dynamiques.

Détermination de la constante de couplage fort

La constante de couplage forte α_S est un paramètre fondamental du MS. Elle intervient dans tous les processus où la QCD joue un rôle, par exemple dans le canal dominant de production du boson de Higgs par fusion de gluons. Les prédictions théoriques de ces processus sont donc toutes sensibles à l'incertitude sur sa valeur. De plus, tester la dépendance en énergie de ce paramètre sur un large intervalle fournit un test de la QCD, et sonde les effets potentiels d'une éventuelle nouvelle physique.

Nous avons calculé α_S sur réseau, avec quatre saveurs de quarks dynamiques. Cette approche est complémentaire aux analyses globales (voir la section sur les PDF), et constitue la première détermination tenant compte des effets de polarisation du vide par le quark charmé. L'un des intérêts majeurs de notre approche est le traitement non perturbatif du seuil du charme. Notre procédure fait appel au formalisme d'expansion en produits d'opérateurs pour analyser les propagateurs de gluon et de fantôme, et au schéma MOM de Taylor. Les effets hypercubiques ont été éliminés en utilisant la même méthode que pour les constantes de renormalisation, et nous avons montré que les corrections en puissance de l'impulsion ne peuvent pas être négligées dans le développement d'opérateurs.

Physique au-delà du Modèle Standard

S. Kraml, I. Schienbein, C. Smith, G. Chalons, S. Kulkarni, A. Wingerter, J. Bernon, B. Dumont, T. Ježo, Q. Le Boulc'h, F. Lyonnet, J. Proudome
LAPTh Annecy, IPHC Strasbourg, CERN, LPT Orsay, Vienna univ., Münster univ., Würzburg univ., Bonn univ., DESY, univ. Louvain-la-Neuve, Ljubljana univ., Bangalore univ., Sao Paulo univ., UC Davis, Oklahoma univ.

New Physics models are one of our main topics of research. In 2012-13, driven by the experimental results, our efforts were geared towards interpreting the Higgs boson signal at 125 GeV, the ever increasing bounds on SUSY particles, and the yet inconclusive searches for dark matter. In these contexts, our works tackle theoretical questions, often related to supersymmetry breaking or GUT scénarios, as well as phenomenological aspects, in particular the collider signatures.

Conséquences de la découverte du boson de Higgs

Le LHC explore la physique à l'échelle d'énergie du TeV, dans l'espoir d'y découvrir les mécanismes régissant la brisure de la symétrie électrofaible et d'observer les premiers signes d'une dynamique au-delà du Modèle Standard (MS). La découverte en 2012 d'une nouvelle particule, avec une masse d'environ 125 GeV et des propriétés proches de celles attendues pour le boson de Higgs du MS, véritable pierre angulaire de ce modèle, constitue donc un premier triomphe pour ce programme.

Même conforté par cette découverte, le MS laisse beaucoup de questions en suspens. Outre qu'il exclut la gravité, les valeurs mesurées de ses paramètres ne semblent pas arbitraires. Par exemple, la convergence des constantes de couplage forte, faible et électromagnétique ou la petitesse des masses des neutrinos ne se comprennent naturellement qu'en présence d'une nouvelle dynamique à très haute énergie, entre 10^{12} et 10^{16} GeV. Plus grave, la légèreté du boson de Higgs par rapport à ces énergies est inexplicable dans le cadre du MS où les corrections radiatives l'alourdiraient terriblement.

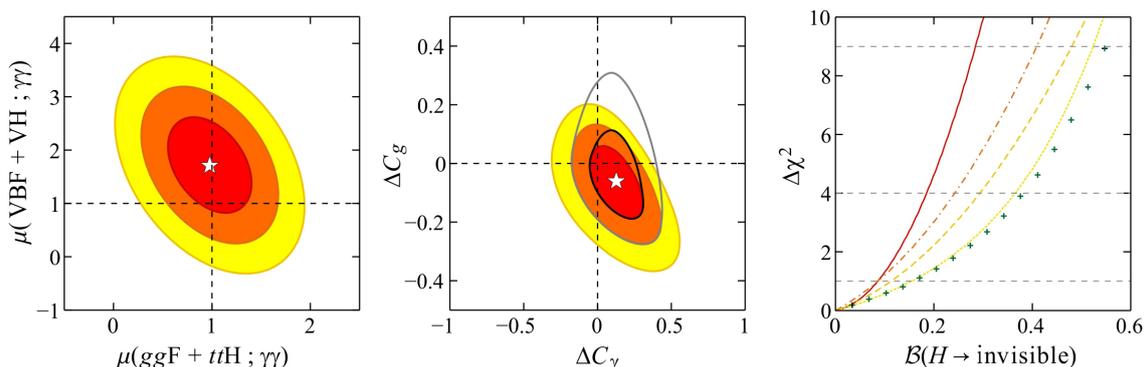
Ce problème de hiérarchie peut se résoudre par l'extension du MS dès l'échelle d'énergie du TeV. Toutes les extensions proposées introduisent de nouvelles particules, qu'elles soient fermioniques (matière), vectorielles (interaction), ou scalaires (similaires au boson de Higgs). N'étant pas toutes beaucoup plus lourdes que celles du MS, elles peuvent affecter sa dynamique. En particulier, les propriétés du boson majoritairement en charge de la brisure électrofaible sont altérées. De ce fait, l'étude détaillée du boson observé à 125 GeV nous ouvre une fenêtre précieuse sur la nouvelle physique, et impacte directement les modèles les plus étudiés: supersymétrie, nouvelles dimensions spatiales, brisures non-perturbatives (technicouleur, little Higgs, etc.), ou les modèles plus génériques ayant un groupe de jauge étendu, un secteur de Higgs élargi, ou de nouvelles générations de matière.

Notre groupe s'est fortement impliqué dans cette problématique. Nous organisons d'ailleurs chaque année un atelier sur ce thème. En pratique, il y a essentiellement deux façons de l'appréhender: soit via une analyse générique et globale, suivant une stratégie effective ou phénoménologique, soit via l'étude précise des prédictions d'un modèle spécifique de nouvelle physique.

Études effectives: Ajustements aux mesures de couplages du boson de Higgs

Comme indiqué plus haut, les valeurs mesurées des couplages du boson de Higgs sont proches de celles attendues dans le MS. En vue d'exploiter cette observation et d'en déduire des contraintes sur une large classe de modèles de nouvelle physique, cette assertion se doit d'être quantifiée dans un contexte statistique. Combinant les données d'ATLAS, CMS et Tevatron, nous avons donc établi les contours de vraisemblance dans l'espace des intensités de signaux de productions via fusion de gluons, productions associées..., et ce pour chaque canal de désintégration actuellement mesuré (voir figure de gauche ci-dessous pour le canal $\gamma\gamma$).

Indirectement, ces ellipses de vraisemblance permettent de contraindre les couplages du boson de Higgs à d'autres particules. D'abord, à celle du MS, les quarks, leptons, et bosons de jauge, et ensuite à celles de nouvelle physique. Dans ce dernier cas, il n'est pas nécessaire de préciser leur nature. Plutôt, il suffit d'inclure comme variable dans l'analyse statistique tous les couplages susceptibles d'être modifiés par leur présence. Par exemple, nous avons considéré les couplages $H\gamma\gamma$ et Hgg , qui n'apparaissent pas à l'ordre de l'arbre dans le MS (voir figure du milieu ci-dessous). Alternativement, la largeur totale du boson de Higgs, trop petite pour être mesurée directement au LHC, peut être contrainte. Cette observable permet de tester la présence d'une nouvelle particule légère couplée au boson de Higgs, puisqu'elle ouvrirait de nouveaux canaux de désintégration et donc augmenterait d'autant la largeur totale. Par exemple, comme illustré par la figure de droite ci-dessus, nous avons prouvé que le taux de désintégration maximum en particules invisibles, c'est à dire neutres et suffisamment stables, varie entre 20% et 38% suivant les hypothèses (les aspects liés à la matière noire sont discutés plus loin). Enfin, nous avons illustré la puissance de notre analyse en l'appliquant à une série de modèles ayant un secteur scalaire élargi (deux doublets, doublet inerte, et triplet).



Études effectives: Un ou plusieurs scalaires à 125 GeV?

Le signal observé à 125 GeV pourrait provenir non d'un seul mais de plusieurs bosons scalaires presque dégénérés. Les sections efficaces résonneraient, c'est-à-dire exhiberaient un pic d'intensité, lorsque l'énergie incidente coïncide avec la masse de chaque scalaire. Toutefois, ces pics ne sont pas si faciles à distinguer expérimentalement. Ils peuvent être trop proches, en deçà de la résolution en énergie, ou ne pas avoir des forces égales dans chaque canal de désintégration. Par exemple, le premier scalaire pourrait contribuer majoritairement dans le canal

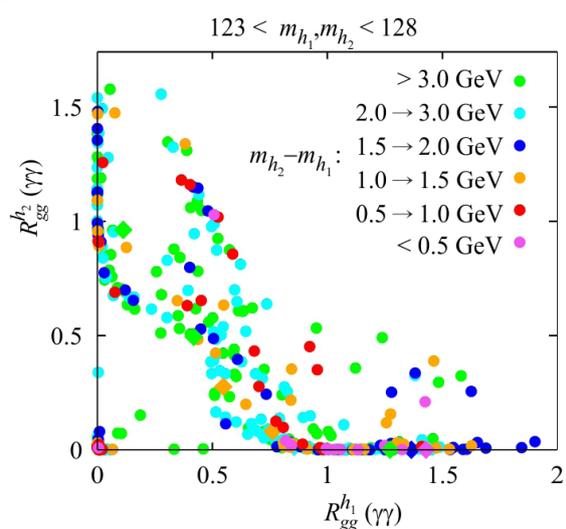
diphoton, et le second dans celui en paire de quarks bottom. Pour contourner cette difficulté, nous avons proposé des outils de diagnostic puissants basés sur la comparaison des différents taux de production et de désintégration (voir ci-dessous pour un cas concret). Cette stratégie est en cours d'implémentation autant par ATLAS que par CMS.

Études de modèles: Conséquence pour la supersymétrie

Les motivations pour introduire la supersymétrie (SUSY) sont rappelées plus tard. Ici, nous ne discuterons que des conséquences de l'existence d'un boson scalaire de 125 GeV ayant des couplages proches de ceux attendus dans le MS. Rappelons que cette masse n'est pas un paramètre libre en SUSY, et que ces couplages peuvent être très différents en présence de sparticules légères.

En particulier, l'extension supersymétrique minimale du MS, le MSSM, prédit un boson de Higgs trop léger à l'ordre de l'arbre. Les corrections radiatives ont en charge de l'alourdir jusqu'à 125 GeV, mais ce n'est pas trivial: soit le stop est très lourd, dans les multi-TeV, soit le mélange entre les stops droit et gauche est maximal. Nous avons étudié cette dernière possibilité, en particulier son comportement sous le groupe de renormalisation. L'objectif était de voir dans quelle mesure elle peut se réaliser partant de l'échelle de grande unification, et de comparer les conditions nécessaires à cette échelle avec ce qui est attendu dans différents scénarios de médiation de la brisure de supersymétrie.

Plutôt que d'alourdir le boson de Higgs grâce aux corrections radiatives, une autre stratégie est d'introduire de nouvelles particules capables de l'alourdir dès l'ordre de l'arbre. Le scénario le plus simple, appelé Next-to-Minimal Supersymmetric Standard Model ou NMSSM, adjoint un singlet de jauge au MSSM, et fut l'objet d'une série d'analyses de notre groupe. Plus précisément, ce modèle prédit l'existence de trois bosons scalaires neutres. Si plusieurs d'entre eux sont légers, l'interprétation du signal à 125 GeV peut être profondément modifiée. Pour commencer, nous avons prouvé qu'une telle situation émerge naturellement si des conditions d'unification sont imposées. Ensuite, nous avons regardé deux cas particuliers: celui où les deux bosons les plus légers sont presque dégénérés et où le signal à 125 GeV est une superposition de leurs contributions (voir figure ci-contre), et le cas où le signal à 125 GeV correspond en fait au boson de masse intermédiaire. Le boson le plus léger expliquerait alors le petit excès observé à 98 GeV au LEP dans le canal $e^+e^- \rightarrow Z [h \rightarrow bb]$. Finalement, nous avons discuté de la validation de ces scénarios, et plus généralement du NMSSM, lors des recherches à 14 TeV au LHC.



Recommandations: Présentation des résultats sur le boson de Higgs

Notre groupe a mené les discussions visant à établir le format sous lequel les mesures relatives au secteur scalaire devraient être présentées pour optimiser

leur utilité pour la communauté de physique des particules. L'importance de ces recommandations peut se comprendre au vu de la discussion ci-dessus : la présence de nouvelle physique peut altérer individuellement chaque taux de désintégration ou de production, et plus insidieusement les efficacités de sélection ou les acceptantes. Nos recommandations identifient les informations indispensables pour comparer et combiner les résultats expérimentaux, et pour permettre à chacun de réinterpréter ces résultats dans le modèle de son choix.

Phénomènes supersymétriques aux collisionneurs

Les principes de symétrie sous-tendent les théories de physique des particules élémentaires. Historiquement, le premier groupe de symétrie est celui de Galilée, intimement lié à la mécanique classique. Plus tard, ce groupe fut supplanté par celui de Poincaré, intrinsèque à la relativité restreinte. La supersymétrie (SUSY) s'inscrit dans cette évolution; sa version locale pourrait même en être l'étape ultime dans le cadre d'une théorie quantique des champs. Elle offre une description unifiée des particules de spins entiers et demi-entiers, éliminant ainsi la distinction entre interactions dues à l'échange cohérent de bosons et matières stabilisées grâce au principe d'exclusion de Fermi.

Phénoménologiquement, le principal attrait de la SUSY est qu'elle résout le problème de hiérarchie : grâce à la présence d'un partenaire de spin différent d' $1/2$ pour chaque particule du MS, les corrections radiatives se compensent largement, et le boson de Higgs ne s'alourdit plus autant. Évidemment, cette compensation n'est efficace qu'avec des partenaires pas trop lourds. Typiquement, ils devraient avoir des masses de l'ordre du TeV, c'est-à-dire être accessibles au LHC.

Toutefois, la SUSY en tant que telle est loin d'être un principe suffisant pour complètement définir une théorie. En effet, cette symétrie ne peut être qu'approximative à basse énergie puisque particules et sparticules n'ont pas les mêmes masses. Actuellement, de nombreux modèles ou descriptions phénoménologiques de sa brisure coexistent, ce qui rend l'étude de la SUSY plutôt complexe. D'un autre côté, cette sous-détermination peut être vue comme une qualité phénoménologique : de par sa versatilité, la SUSY permet de sonder une large gamme d'effets de nouvelle physique, et ce tout en restant dans le cadre d'une théorie renormalisable, dont les corrections quantiques sont calculables.

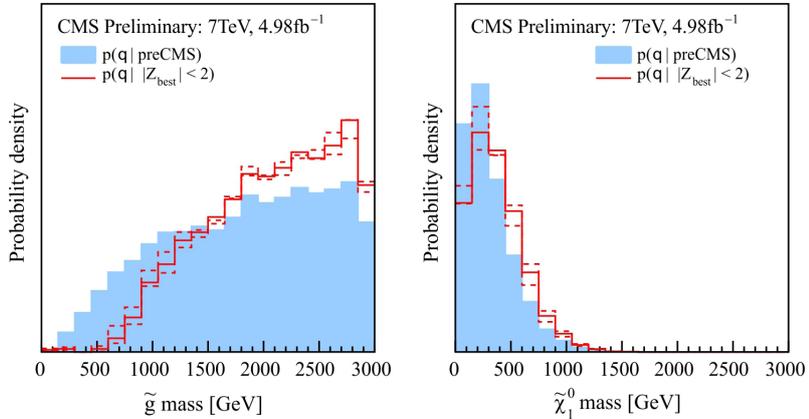
Le contexte supersymétrique couvre une large partie de nos activités. Comme pour l'étude du boson de Higgs, celle de la SUSY peut se faire de façon effective, c'est-à-dire en tentant de couvrir aussi largement que possible ses réalisations concrètes, ou de façon spécifique en se concentrant sur un modèle précis. Nos travaux suivent l'une ou l'autre voie, et tentent surtout d'interpréter les contraintes expérimentales et/ou de proposer de nouvelles stratégies pour découvrir ou contraindre la SUSY.

Études effectives : Contraintes LHC sur le MSSM phénoménologique

En l'absence de contraintes théoriques spécifiques de brisure de la SUSY ou d'unification à une très haute énergie, la description la plus générale du MSSM à l'échelle électrofaible nécessite plus d'une centaine de paramètres libres, et n'est donc pas adaptée à une analyse numérique. Évidemment, tous ces paramètres n'ont pas un impact égal sur la phénoménologie. Ne gardant que les 19 paramètres les plus importants, le MSSM phénoménologique ou pMSSM offre une

paramétrisation simple mais réaliste du MSSM complet. Cette approche permet de dépasser le cadre très restrictif des prescriptions de type *constrained MSSM* ou *mSUGRA*. Une telle souplesse est importante pour interpréter les contraintes expérimentales et en tirer des conclusions sur la viabilité du modèle.

En particulier, nous avons analysé différentes recherches effectuées par CMS et en avons tiré les distributions de probabilité des paramètres du pMSSM, et donc aussi par exemple celles des masses des sparticules (voir figures ci-contre pour

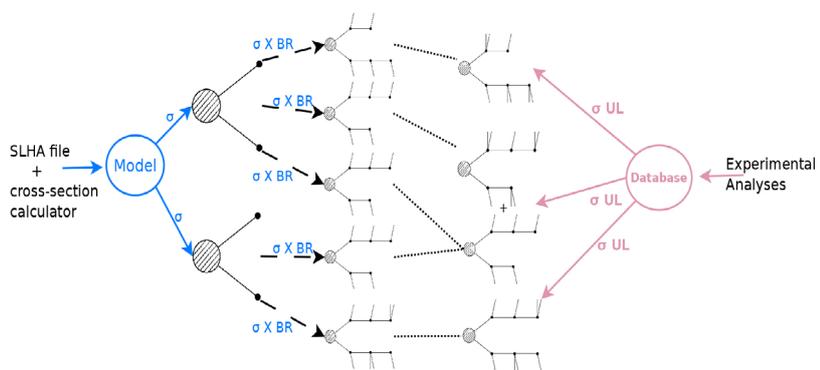


celles du gluino et du neutralino le plus léger). De cela, nous avons pu obtenir des renseignements génériques sur le secteur scalaire et la recherche de matière noire supersymétrique. Ce travail fut d'abord basé sur les premiers 1 fb^{-1} de données à 7 TeV, puis étendu à la totalité des 5 fb^{-1} , et devrait être prochainement complété par celles à 8 TeV. Un de nos résultats principaux est d'avoir identifié les scénarios qui, tout en ayant de grands taux de production, parviennent à passer au travers des recherches expérimentales.

Études effectives: De SUSY aux modèles simplifiés grâce à SModels

ATLAS et CMS présentent leurs résultats de recherche de nouvelle physique en termes de limites sur les sections efficaces prédites par des modèles simplifiés. Ces Simplified Model Spectra (SMS) sont des descriptions effectives ne rendant compte que des déviations par rapport au MS induites par un petit nombre de nouvelles particules. De telles analyses sont utiles pour tester en toute généralité la présence de nouvelle physique, mais leur interprétation dans un cadre théorique réaliste est difficile.

Nous avons donc développé une procédure permettant de décomposer les signatures de modèles de nouvelle physique en termes de ces SMS, et ainsi de directement les confronter aux contraintes expérimentales. Nous



avons ensuite appliqué cette méthode pour réinterpréter les limites SMS obtenues dans les canaux avec énergie manquante en termes de contraintes sur la SUSY. Une fois automatisée, tester la compatibilité d'un modèle SUSY avec les résultats du LHC en sera simplifié. Cet outil sera rendu publique sous le nom de code Smodels.

Études de modèles: Conditions d'unification et Théorie Unifiées

Un des attraits principaux de la SUSY est de rendre l'hypothèse de grande unification viable. Grâce aux corrections quantiques dues aux sparticules, les trois constantes de couplage de jauge convergent précisément à haute énergie. De plus, comme mentionné plus haut, la SUSY élimine le problème de hiérarchie : elle stabilise l'échelle électrofaible par rapport à l'échelle d'unification. Inversement, les théories de grande unification requièrent, en plus de l'unification des couplages de jauge, celle d'autres paramètres, par exemple les masses (couplages de Yukawa). Après évolution, ces conditions aux frontières contraignent les paramètres du MSSM à basse énergie, et donc la phénoménologie aux collisionneurs. C'est une des voies d'étude que nous poursuivons intensément.

Par exemple, nous avons étudié une réalisation concrète de la théorie de grande unification basée sur le groupe de jauge $SO(10)$, imposant de plus l'unification des couplages de Yukawa du top, bottom et tau. Ces contraintes d'unifications peuvent être combinées à celles venant de mesures d'observables à basse énergie, fournissant ainsi un cadre théorique précis dont nous avons étudié la phénoménologie. En particulier, ce cadre prédit un gluino relativement léger, en dessous de 2,8 TeV, et donc a priori accessible au LHC à 14 TeV. Nous avons confirmé cela en montrant que les limites SMS à 8 TeV imposent déjà une borne inférieure de 1 TeV pour la masse du gluino dans ce modèle.

Études de modèles: Sur l'utilité de la polarisation du quark top

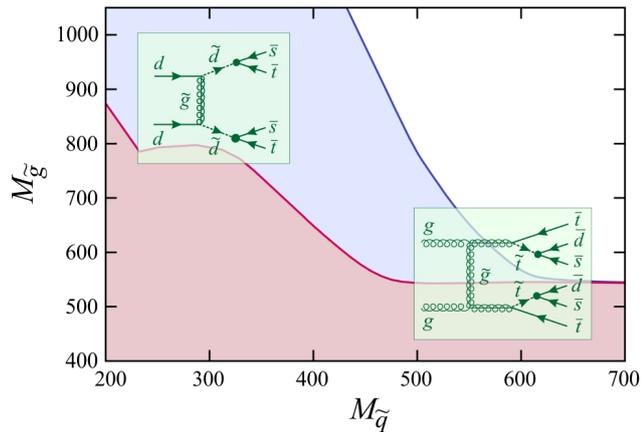
Dans le MS, le quark top est la particule fermionique la plus lourde, c'est-à-dire celle qui se couple le plus au boson de Higgs. En SUSY, ses partenaires scalaires, les stops, héritent de ce couplage fort, mais la conséquence s'inverse : le squark le plus léger est en général un stop. De ce fait, le top et ses partenaires stops jouent un rôle phénoménologique particulier dans la recherche de la SUSY.

Une abondance excessive de tops, due par exemple aux désintégrations de stops ou sbottoms, n'est pas le seul indicateur de la présence de la SUSY. Leur polarisation peut aussi servir car elle dépend du processus de production, c'est-à-dire de la nature des particules A et B dans $A \rightarrow B + \text{top}$. Dans le MS, un quark top isolé est parfaitement polarisé puisque seul le top gauche subit l'interaction faible. En SUSY, au contraire, tous les états de polarisation sont possibles : sa polarisation dépend des masses des sparticules, en particulier des mélanges gauche-droit dans le secteur des squarks et des mélanges gauginos-higgsinos dans celui des neutralinos et charginos. Nous avons donc étudié cette dépendance de la polarisation aux paramètres SUSY, et montré comment elle peut améliorer la sensibilité du LHC dans certains scénarios, par exemple ceux où les higgsinos sont légers.

Études de modèles: Nombre baryonique et paires de quark tops

Dans le MS, les nombres baryonique et leptonique sont automatiquement conservés, ce qui garantit la stabilité du proton. Cet accident ne se reproduit pas en SUSY. À la place, une nouvelle symétrie, la parité R, est souvent invoquée pour exclure les couplages dangereux. Mais, cette symétrie n'est pas inoffensive : elle impose aux sparticules d'être produites par paires, et de se désintégrer vers la sparticule la plus légère qui doit donc être stable. Comme une telle particule n'a pas été découverte, le plus simple est de la supposer neutre donc invisible (elle est alors un candidat naturel pour la matière noire, voir plus loin) : les événements SUSY s'accompagnent d'énergie manquante.

La parité R n'est pas la seule solution. Au lieu d'être interdits, les couplages dangereux peuvent être petits. En fait, imposant une hypothèse de naturalité, seuls les couplages violant le nombre baryonique et impliquant le (s)top sont grands. Ils ne peuvent donc directement induire la désintégration du proton, mais modifient profondément la phénoménologie: les sparticules ne doivent plus être produites par paires ni forcément générer de l'énergie manquante. Vu que ces caractéristiques sont supposées expérimentalement, cela pourrait expliquer pourquoi la SUSY n'a pas encore été découverte.



Nous avons donc étudié les signatures attendues en présence d'une telle violation du nombre baryonique. La production de paires de quarks top de même charge est apparue comme la plus symptomatique, et la plus sensible car un tel état final est très rare dans le MS. De plus, elle peut s'observer relativement clairement grâce à son produit de désintégration en paires de leptons de même signe. Nous avons montré que les recherches de nouvelle physique dans ces canaux leptoniques poussent déjà les limites sur les masses des squarks et du gluino au-delà de 500 GeV, voir ci-contre.

Dans ce cadre de la parité R brisée, d'autres travaux sont en cours, par exemple sur leur comportement sous le groupe de renormalisation (stage master 2 accompli en 2013), ou sur les effets de polarisation.

Recommandations: Présentation des recherches de nouvelle physique

La recherche de nouvelle physique est un projet collaboratif, incluant théoriciens et expérimentateurs du monde entier. En effet, comparer les prédictions d'un modèle spécifique, partant de ses règles de Feynman, aux mesures du LHC où sont observés des jets hadroniques, des leptons, des photons... nécessite une chaîne d'analyse longue et complexe. Standardiser et pérenniser les informations nécessaires pour chacune des étapes de cette chaîne sont les objectifs des recommandations « Les Houches » pour le LHC. Plus précisément, ces recommandations portent sur la description de l'analyse expérimentale, en particulier ses variables cinématiques, les informations nécessaires pour modéliser les détecteurs, l'accès et le stockage des données, leurs erreurs, corrélations, etc., et les outils statistiques utilisés pour les interpréter. Nous avons collaboré activement à l'élaboration de ces recommandations, qui permettront d'exploiter au mieux le LHC aujourd'hui comme dans le futur.

Matière noire: Propriétés et contraintes

À moins de profondément modifier notre compréhension de la gravité, l'univers ne peut être constitué uniquement de matière connue. Les preuves cosmologiques et astrophysiques de l'existence d'une grande quantité de matière noire s'accumulent et, dans une large mesure, concordent. Si cette matière noire dénotée DM (Dark Matter) se compose de particules, elles doivent être stables à

l'échelle de l'âge de l'univers, électriquement neutres, et non relativistes. Ceci étant, aujourd'hui, nous n'en savons pas plus sur cette forme de matière, et nous ne l'avons pas observée directement sur terre.

Néanmoins, les théoriciens s'attendent à ce que la DM ne soit pas très différente de la matière classique. D'abord, les densités reliques de matière baryonique et noire sont très proches, juste un facteur cinq. Puis, le MS contient déjà des particules de DM, les neutrinos, même si pas en quantité suffisante. Ensuite, les théories de nouvelle physique incluent souvent, ou peuvent facilement inclure, une particule stable, neutre et suffisamment massive. Enfin, si cette particule de DM interagit avec celles du MS, alors l'intensité de cette interaction doit être similaire à celle de l'interaction faible. Par exemple, en supersymétrie avec parité R, le plus léger des super-partenaires neutres des bosons de Higgs et de jauge peut parfaitement remplir ce rôle. Plus généralement, tous ces indices pointent vers une modification relativement légère du MS, et non vers un changement complet de paradigme.

Une telle interaction de la DM avec la matière ordinaire ouvre la possibilité de l'observer directement, tant aux expériences dédiées qu'aux collisionneurs. Inversement, la mesure de sa densité relique et l'absence actuelle de signaux deviennent contraignantes pour nos modèles de nouvelle physique. Cette connexion est à la base de nos travaux. Comme précédemment, nous suivons deux stratégies complémentaires pour l'exploiter : soit effective, en paramétrant les couplages de la DM de manière générique, soit dans un modèle particulier, en étudiant la viabilité de son candidat DM.

Études effectives: Les portails de Higgs

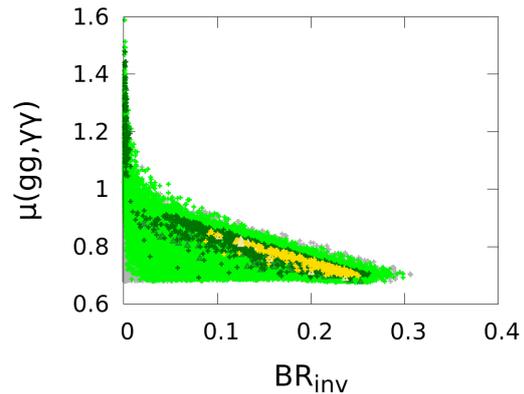
Si l'on considère tous les couplages possibles d'une nouvelle particule à celles du MS, ceux impliquant le boson de Higgs sont les plus simples car c'est la seule particule scalaire dans le MS. Ayant une dimension de masse minimale, et tant qu'un modèle explicite de nouvelle physique n'est pas adopté, ces couplages peuvent donc être supposés dominants : ils sont appelés portails de Higgs.

Dans cette optique, la DM interagit avec le MS principalement à travers ces portails. Bien qu'attractive, cette hypothèse ne tient pourtant pas. La densité relique mesurée requiert des couplages trop grands, inconciliables avec l'absence de signal dans les recherches expérimentales de la DM. Également, lorsque la DM est suffisamment légère, de tels couplages permettraient au boson de Higgs de se désintégrer en DM avec un taux qui est exclu expérimentalement (voir première section). Nous avons montré que cette conclusion reste valide pour tous les couplages effectifs Higgs-DM, même au-delà des portails. En conséquence, la seule manière de coupler la DM au MS via le boson de Higgs est de supposer que le formalisme effectif ne tient pas, c'est-à-dire que la DM ne peut pas être la seule nouvelle particule légère. Nous avons illustré ce résultat par quelques modèles explicites.

Études de modèles: Le neutralino léger comme matière noire

Comme mentionné plus haut, la SUSY avec parité R a un candidat naturel de DM. Dans le MSSM, c'est le neutralino le plus léger qui remplit ce rôle. Nous avons analysé cette possibilité, et en particulier les scénarios où ce neutralino est si léger que le boson de Higgs peut se désintégrer en DM.

À cette fin, nous avons sondé l'espace des paramètres du MSSM satisfaisant aux contraintes expérimentales de différents types. D'abord, celles imposées par la densité relique, qui demandent des staus autour de 100 GeV. Les autres sleptons peuvent également être légers, auquel cas les charginos sont proches des limites inférieures obtenues au LEP. Ensuite, nous avons inclus les contraintes venant des recherches directes et indirectes de la DM, ainsi que celles d'ATLAS et CMS sur les jauginos et les sleptons (utilisant leurs SMS, voir plus haut). Finalement, nous avons introduit les contraintes venant du boson de Higgs, en particulier sa masse et son taux de branchement invisible (voir plus haut également). Le résultat principal de cette analyse est qu'un neutralino aussi léger que 15 GeV peut être un candidat viable de DM. Dans ce cas, les couplages du boson de Higgs sont affectés (voir la figure ci-dessus pour ceux en deux gluons ou photons), et sont donc de bons indicateurs, exploitables au LHC à 14 TeV.



Études de modèles: Prédire la coannihilation neutralino-stop

Grâce aux mesures de WMAP, la densité de matière noire est connue précisément, à moins de 2% près, et sera encore mieux mesurée par Planck prochainement. Reproduire un tel niveau de précision au niveau théorique est un challenge. En effet, son calcul nécessite l'évaluation précise des sections efficaces d'annihilation de la particule de DM en celles du MS, car ces processus déterminent l'évolution de sa densité lors du refroidissement de l'univers. Ces processus d'annihilation peuvent être directs, $DM + DM \rightarrow$ particules du MS, ou catalysés par d'autres particules de nouvelle physique de masses proches de celle de DM, les coannihilations de type $DM + X \rightarrow$ particules du MS. Vu le niveau de précision à atteindre, lorsque ces processus contribuent significativement et impliquent des particules colorées, les corrections radiatives fortes doivent être prises en compte.

Nous avons donc calculé les corrections fortes à une boucle pour la coannihilation neutralino-stop dans le MSSM. Numériquement, dans le cadre du pMSSM (voir section précédente), nous avons montré que ces corrections sont importantes, en particulier dans le secteur de l'espace des paramètres permettant au boson de Higgs d'atteindre 125 GeV. En fait, leur impact sur la densité relique de neutralino peut même être plus grand que les incertitudes expérimentales actuelles.

Études de modèles: Le sneutrino léger comme matière noire

Lorsque le MSSM est étendu en y incluant des neutrinos droits, des masses de Dirac très petites pour les neutrinos peuvent être obtenues à travers la brisure de la SUSY. Pour la DM, ce scénario est intéressant car au lieu du neutralino, un sneutrino principalement droit peut être un excellent candidat.

Nous avons effectué une analyse globale de ce scénario utilisant la méthode de Monte-Carlo par chaînes de Markov et incluant toutes les contraintes venant des

collisionneurs et des recherches de la DM. Deux cas peuvent être distingués, en fonction de la masse du sneutrino le plus léger. Lorsque sa masse est entre 3 et 6 GeV, toutes les contraintes sont satisfaites exceptées celles venant du boson de Higgs à 125 GeV. Lorsqu'il est plus lourd, autour de 100 GeV, même ces dernières sont satisfaites. Les conséquences de ce dernier scénario pour les recherches directes et indirectes de DM, et pour celles de nouvelle physique aux collisionneurs, ont été et sont encore en cours d'étude.

Modèles alternatifs de nouvelle physique

En plus de la SUSY, notre groupe étudie beaucoup d'autres scénarios de nouvelle physique. Récemment, ces travaux ont surtout reposé sur le formalisme effectif, que ce soit pour interpréter le signal d'un boson de Higgs à 125 GeV et les mesures de ses couplages, les limites SMS, la violation du nombre baryonique dans les canaux dileptons, ou la recherche de matière noire. À chaque fois, nous avons paramétré en toute généralité, sans référence à un modèle particulier, l'impact de la nouvelle physique. De plus, nous avons souvent illustré ces analyses à l'aide de modèles spécifiques, par exemple les secteurs scalaires étendus pour les études du boson de Higgs et de la matière noire, ou les leptoquarks pour celles sur la violation du nombre baryonique. En plus de ces études effectives, nous avons également travaillé sur les questions ou modèles spécifiques décrit ci-dessous.

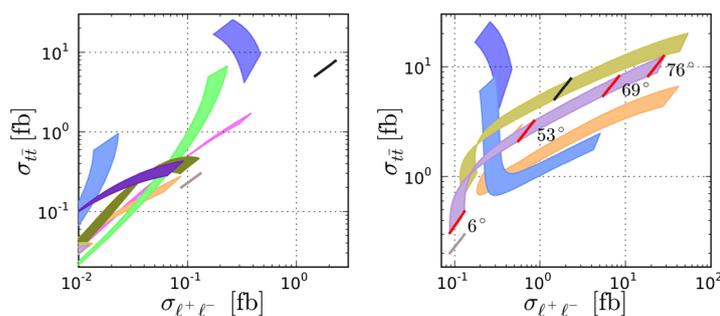
PyR@TE: Python Renormalization group equations @ Two-Loop for Everyone

Les équations du groupe de renormalisation (RGE) décrivent l'évolution des couplages d'une théorie en fonction de l'énergie. Elles sont cruciales non seulement pour tester une théorie, vu que toutes les mesures ne sont pas forcément faites à la même échelle, mais également pour identifier une possible dynamique sous-jacente, par exemple une théorie de grande unification.

Même si les RGE à deux boucles d'une théorie de jauge générale sont connues depuis longtemps, appliquer ces résultats à un modèle donné reste une tâche difficile. Nous avons donc développé un code, PyR@TE, fournissant les RGE de tous les paramètres d'un modèle directement à partir de son Lagrangien, son groupe de jauge, et son contenu en particules. Ces RGE sont automatiquement consignées dans un document LaTeX, ou bien sauvegardées pour une utilisation ultérieure.

Phénoménologie de bosons de jauge Z' et W' auprès des collisionneurs

Nous avons travaillé sur la phénoménologie des modèles ayant un groupe de jauge étendu, basé sur le groupe SU(2) x SU(2) x U(1). Ceux-ci apparaissent dans divers cadres théoriques, et ont pour caractéristique commune d'avoir trois nouveaux bosons de jauge, dénotés Z', W⁺ et W⁻.



Par contre, les propriétés de ces bosons dépendent du scénario considéré. Nous avons montré qu'une stratégie

prometteuse pour les différencier au LHC est d'étudier les corrélations entre les sections efficaces dans les canaux impliquant des quarks top et des leptons. Ce résultat est illustré dans la figure page suivante, où chaque couleur représente un scénario particulier.

Un des canaux sensibles à la présence d'un boson Z' est la production de paires de quarks top par fusion de quark et antiquark, où le boson Z et le photon contribuent également. Ce canal non leptonique est sujet à d'importantes corrections radiatives fortes, que nous avons donc estimées. Notre résultat a également été implémenté dans le générateur Monte Carlo POWHEG, permettant d'inclure les effets de « parton showering ».

Symétries discrètes et mélanges entre saveurs de neutrinos

Outre qu'elle est inexplicée, l'existence de trois familles de particules de matière multiplie le nombre de paramètres libres. Déjà deux tiers des paramètres du MS ne servent qu'à spécifier les masses et les mélanges entre fermions, et cette situation empire en SUSY ou en présence de masses pour les neutrinos. En plus, les valeurs de ces paramètres semblent suivre un schéma précis, mais dont la dynamique nous échappe encore. Dans ce contexte, une solution possible est d'imposer une nouvelle symétrie. Nos travaux se sont concentré sur les groupes discrets et leurs conséquences pour les mélanges des neutrinos, en particulier au vu des résultats récents des collaborations Daya Bay et Reno.

Recherche interdisciplinaire

Au LPSC, la recherche interdisciplinaire est présente sous plusieurs formes : développement à visée médicale et physique des plasmas. Cette recherche – à la fois ouverte sur la société et très exigeante – contribue à nous enrichir dans nos secteurs thématiques. Ces activités vont également de pair avec la vocation d'enseignement du laboratoire dans les secteurs de la physique médicale et des plasmas.

En 2009 a été initiée une collaboration entre le LPSC et le service de radiothérapie du CHU de Grenoble, (INSERM U836, équipe 6, Grenoble Institut Neurosciences) pour le développement et la mise au point d'un détecteur de mesure des caractéristiques d'un faisceau de rayons X, utilisé pour le traitement des cancers. La radiothérapie conventionnelle utilise des faisceaux de photons, jusqu'à 25 MeV, pour irradier en profondeur les tissus cancéreux. Dans ce domaine en constante évolution, la radiothérapie conformationnelle 3D permet d'ajuster la forme du faisceau conique à celle de la tumeur. Plus récemment, le collimateur multilames sert aussi à moduler dynamiquement l'intensité du faisceau afin que l'énergie déposée dans les tissus cancéreux soit la plus uniforme possible, tout en épargnant les tissus sains environnants. La position des lames qui bougent au cours du temps va suivre la prescription du programme de planification de traitement, utilisé en clinique pour modéliser le dépôt de dose dans les tissus d'après les clichés anatomiques. Cette nouvelle technique est beaucoup plus sensible à des écarts entre la position planifiée et la position effective des lames. Le groupe DAME (Développement et Applications pour le Médical) a initié le développement d'un détecteur gazeux pixélisé en transmission pour le contrôle en temps réel de la position des lames, en mettant l'accent sur la transparence (mesurer en atténuant au minimum le faisceau et limiter la production d'électrons de contamination), la résolution spatiale (de l'ordre du millimètre au point de prescription du dépôt de dose), la simplicité de mise en œuvre, et la tenue dans le temps à l'irradiation intense.

L'activité du groupe Plasmas-Matériaux-Nanostructures (CRPMN) porte principalement sur le développement de nouvelles générations de sources plasmas micro-onde et des techniques de caractérisation associées pour des études fondamentales sur la production d'espèces, sur l'interaction d'espèces avec la surface et sur l'élaboration de micro-nanostructures. Cette activité est menée sur des équipements propres développés au LPSC à travers des projets de recherche fondamentale et appliquée. Elle concrétise l'ouverture du CRPMN à l'international et son partenariat très fort avec le milieu industriel. Sous l'impulsion du CRPMN, la physique des plasmas constitue à l'Université de Grenoble une discipline à part entière enseignée dans de nombreuses filières de formations initiales et continues. Les deux principaux axes de recherche couvrent le domaine des technologies en couches minces qui émergent comme procédés spécifiques issus des études fondamentales menées, d'une part sur l'élaboration de micro-nanostructures par plasma, et d'autre part, sur la production d'espèces et leur interaction avec la surface. Ces études sont réalisées sur les technologies plasma développées au sein du groupe. Le groupe est associé à un laboratoire international – le LITAP (Laboratoire International des Technologies et des Applications des Plasmas) – qui regroupe 2 laboratoires français (LPSC et LAPLACE), l'université et l'INRS de Montréal, ainsi qu'à l'Institut Carnot.

Profileur médical

Y. Arnoud, M.-L. Gallin-Martel, O. Rossetto, R. Delorme
B. Boyer, L. Gallin-Martel, Service Électronique
O. Guillaudin, A. Pelissier, Service Détecteur et Instrumentation
Service Études et Réalisations Mécaniques
J.-Y. Giraud, R. Sihannath, N. Docquière (Service de Radiothérapie de Grenoble Michalon,
Grenoble Institut Neurosciences, unité INSERM U836, équipe 6)

New technics in external photonic radiotherapy involve the use of a MultiLeaf Collimator for beam intensity modulation. It allows a dose increase in the tumour with a homogeneous dose deposit and leads to a reduction of the dose in the nearby normal organs. The leaf position is controlled by a mechanical device that may introduce possible failure. There is a need to check the position of the leaf and the stability of the linac accelerator during the delivery session. Any sizeable deviation from the planned treatment will be tracked and the forthcoming sessions will be adapted in accordance. Since 2009, the LPSC is involved in developing a new gaseous detector dedicated to online measurement of the beam properties upstream to the patient, in collaboration with the radiotherapy center of the Grenoble Public Hospital.

Principe du profileur médical

La mise en œuvre de nouvelles techniques d'irradiation externe en radiothérapie, comme le masquage dynamique du faisceau (IMRT) permet un dépôt de dose plus précis au niveau des tissus à traiter. Ces techniques pointues nécessitent la mise en place de nouveaux systèmes de contrôle, qui ne sont pas actuellement présents sur les machines commerciales. Face à la complexité croissante des traitements, et aux accidents de sur-irradiations passés, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire a imposé la mise en place de nouveaux contrôles de dosimétrie in vivo. Dans ce contexte, nous développons un détecteur pour la mesure en temps réel de la fluence du faisceau d'irradiation de photons en sortie d'accélérateur, en amont du patient. Il validera la conformité de l'irradiation au plan de traitement initialement prévu, aussi bien par l'aspect du suivi dynamique de la position des lames du collimateur multi lames nécessaire à la modulation du faisceau, que par la mesure de l'intensité de celui-ci.

Ce développement répond à une demande formulée par la communauté des physiciens médicaux, suite à la mise en œuvre de la dosimétrie in vivo imposée par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Ce projet a reçu l'aval du conseil scientifique du laboratoire au printemps 2009.

Le cahier des charges du détecteur développé au LPSC regroupe :

- Une couverture intégrale 2D allant jusqu'à 40 x 40 cm du champ d'irradiation.
- Une atténuation minimale et homogène du faisceau, permettant aussi de limiter la production d'électrons de contamination.
- Une mesure en temps réel de chaque impulsion de faisceau délivré par l'accélérateur.
- Une résolution spatiale sur la position des lames de l'ordre du millimètre.
- Une bonne tenue dans le temps à l'irradiation.
- Un faible poids.

Ce projet trouve diverses sources de financement: la région Rhône-Alpes, l'INSERM par le biais du plan PhysiCancer et le projet national ISI INSPIRA¹ qui comporte 3 industriels et 10 partenaires scientifiques et cliniques. Il est aussi intégré au LABEX PRIMES². L'étude du profileur est faite à l'aide de simulations Geant4 et PENELOPE, les tests des prototypes se font au CHU de Grenoble et à l'ESRF. Deux dépôts de brevet ont été effectués en 2011 et 2013.

Résultats et performances des modules prototypes

Le profileur de faisceau sert donc à mesurer les caractéristiques 2D du faisceau (forme et intensité) en sortie d'accélérateur et en amont du patient, afin d'assurer le suivi de la qualité de l'irradiation en temps réel. Depuis les premières mesures en 2009, trois prototypes ont été développés au LPSC, les deux derniers mettant en œuvre des technologies innovantes, donnant lieu à deux dépôts de brevet.

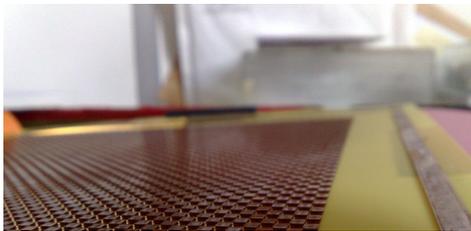


Fig. 1: Détail de la structure cloisonnée du 2e prototype pour limiter la diaphonie. Les piliers d'isolement de 500 µm de hauteur ont été réalisés en polyimide, selon une technique innovante.

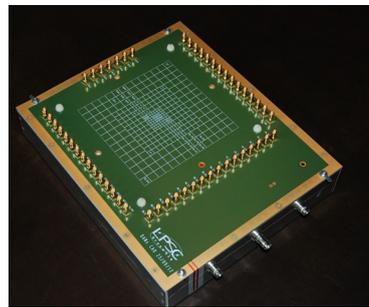


Fig. 2: Le troisième prototype met en œuvre des électrodes de taille croissante afin de conserver une excellente transparence tout en assurant une couverture complète de la zone instrumentée.

Des mesures régulières sous les faisceaux des accélérateurs médicaux du service de radiothérapie du CHU de Grenoble et plus récemment à l'ESRF³ permettent de progresser dans le design des électrodes de collecte de charge et en parallèle de valider l'électronique de proximité développée au LPSC, et qui est nécessaire à l'amplification des signaux.

L'ensemble des études a conduit :

- Au design innovant de la géométrie électrodes de lecture/cloisons d'isolement, qui a été réalisé selon nos plans par le groupe TS-DEM au CERN qui seul a la maîtrise de fabrication du procédé de dépôt/gravure des micro-piliers, réduisant la diaphonie entre les voies.
- Au design innovant d'électrodes couvrant une plus grande surface en zone périphérique sans engendrer plus de signal, ceci permettant l'utilisation d'un système d'acquisition à gain constant, indépendamment de la taille des électrodes de collecte des charges.

Ces développements ont donné lieu à deux dépôts de brevet.

Un nouveau prototype comportant une refonte des technologies validées sous faisceau est en cours de réalisation. Il intègre l'électronique miniaturisée développée au LPSC en 2013 et permettra une acquisition précise à l'échelle de l'impulsion de faisceau délivrée par l'accélérateur de radiothérapie.

¹ INformatique pour la Sureté des Procédés et Installations en RAdiothérapie

² Physique, Radiobiologie, Imagerie Médicale et Simulation

³ European Synchrotron Radiation Facility

Le détecteur et son électronique de contrôle et d'acquisition intégrée sera ultérieurement interfacé avec les systèmes experts de contrôle qualité en radiothérapie, pour permettre une mesure en ligne des caractéristiques dynamiques du faisceau d'irradiation.

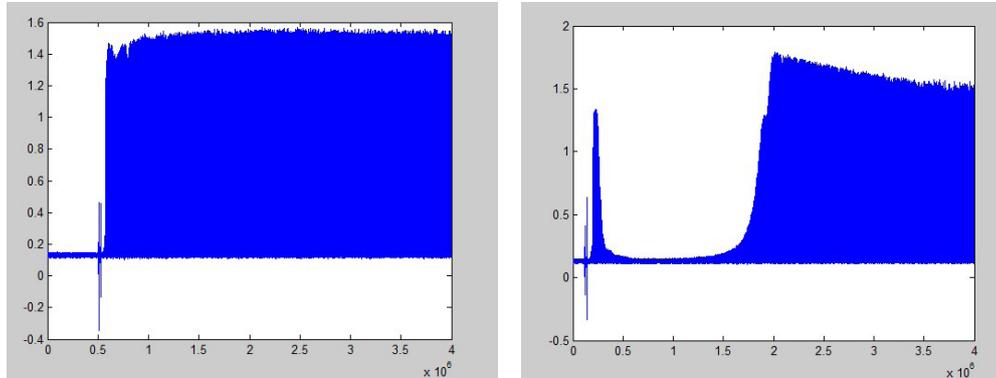


Fig. 3: Mesure temporelle de l'amplitude du signal recueilli sur une des électrodes du 3^{ème} détecteur, placé sous faisceau d'irradiation. Si on observe à gauche une montée en puissance rapide avant stabilisation de l'intensité du faisceau, l'enregistrement de droite montre au contraire un démarrage chaotique (baisse d'intensité, arrêt de l'irradiation puis reprise avec décroissance lente de l'amplitude pour retrouver un régime stable), pour un retour à une irradiation régulée au bout de 3 secondes.

Réalisations techniques

La mise en œuvre expérimentale du projet s'est faite en collaboration avec les services Détecteurs et Instrumentation (SDI), Électronique (SE) et Études et Réalisations Mécaniques (SERM) du LPSC.

En particulier, la nécessité d'une étude approfondie des signaux analogiques a conduit à la réalisation par le SE d'un module comportant 16 préamplificateurs de charge, avec mise en forme des signaux, codage numérique et lecture intégrée. L'accent a été mis sur la réjection des importants parasites générés par le klystron/magnétron utilisé dans l'accélérateur linéaire, au regard des très faibles courants des signaux en sortie d'électrodes.

Ce module a parfaitement rempli son rôle et a permis le suivi en ligne des charges en sortie d'électrodes. Ceci a conduit à la validation de la géométrie des chambres d'ionisation utilisées dans le 3^e prototype.

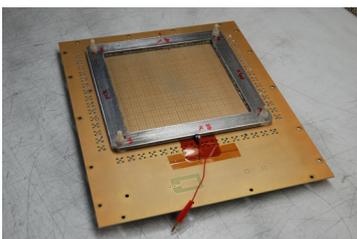


Fig. 5: Détail de l'assemblage du détecteur de 3^e génération.

Le montage des éléments constitutifs du détecteur a été assuré par le SDI.

Enfin, un circuit ASIC dédié a été conçu par le SE, afin d'embarquer sur le circuit imprimé tout le système d'acquisition (collecte, amplification, codage numérique, mise en forme et transmission des données). Ce circuit a été testé intensivement et permet un suivi très précis des charges générées par le faisceau de radio-



Fig. 4: Carte d'électronique d'amplification et de numérisation des charges développée pour le suivi en ligne des signaux à la sortie des électrodes du 3^e prototype.

thérapie. Par ailleurs, des tests sous faisceau synchrotron à l'ESRF ont permis de valider le très bon comportement du détecteur et de son électronique intégrée sous forte intensité. Il apparaît donc que l'ensemble du système sera à même de traiter les futurs faisceaux de radiothérapie en mode haute intensité FFF⁴, où la fluence effective du faisceau sera multipliée jusqu'à un facteur 6.

Dans les mois à venir, un détecteur intégré couvrant le quart de la surface cible, puis un dernier prototype couvrant l'intégralité du champ 40 x 40 cm² seront développés. Des contacts avec des partenaires industriels ont été initiés en vue de la mise sur le marché du détecteur, qui assurera le suivi en ligne des faisceaux modulés en radiothérapie externe.

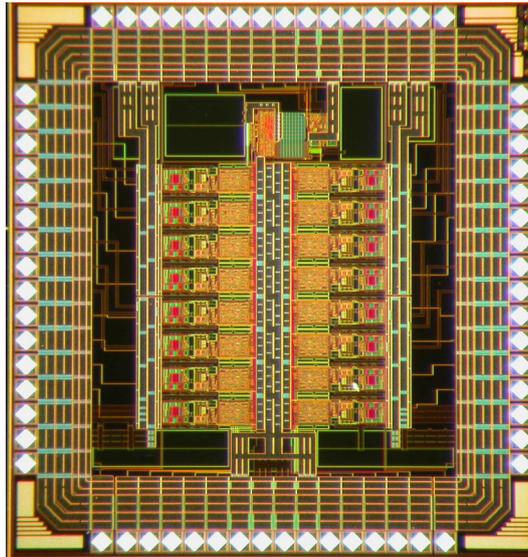


Fig. 6: ASIC développé par le service électronique. Il permet la collecte des charges au plus proche des électrodes, avec une linéarité de codage de charge sur 16 bits meilleure que 0,4%.

⁴ Flatening Filter Free

Plasmas-Matériaux-Nanostructures

A. Lacoste, S. Béchu, A. Bès, P. Baële, L. Bonny, H. Le Quoc, J. Pelletier, T. L. Phan, C. Prahoveanu, A. Todoran.

S. Roni, S. Roudier, Service des Études et Réalisations Mécaniques

G. Marcotte, D. Tourres, Service Électronique

The main research axes of CRPMN¹ are the development of innovative plasma technologies issued from fundamental research and their applications in different fields such as surface treatments, elaboration of new materials for energy conversion, production mechanisms of negative deuterium ions in plasmas (ITER project), microelectronics and micro-nanotechnologies. In the domain of plasma sources, CRPMN carries on previous studies on distributed microwave plasmas, particularly well suited to the scaling up of plasma sources. Physical and numerical modeling of elementary plasma sources, study of new plasma designs, and extension of operating conditions for higher process flexibility are the main objectives of CRPMN. Of course, such plasmas are favorably applied to surface processing and other applications where enhanced specifications must be met.

Plasmas micro-ondes et applications aux procédés

Les activités de recherche du groupe se déclinent en deux principaux axes : 1) conception et étude des sources plasma excitées par micro-ondes ; 2) Applications des plasmas aux procédés en volume ou en surface. Ces activités sont menées en collaboration avec des partenaires académiques et industriels dans le cadre de différentes structures auxquelles le groupe est associé : LIA-LITAP (Laboratoire International sur les Technologies et Applications des plasmas), Institut CARNOT Énergies du Futur, Fédération FR-FCM (Fusion et Confinement Magnétique), Réseau CNRS Plasmas Froids.

Physique et ingénierie des plasmas micro-onde

Ce volet couvre aussi bien la physique et l'ingénierie des réacteurs plasma, que les méthodes et techniques de diagnostic associées. En ce qui concerne les réacteurs plasma, il s'agit d'une technologie développée par le groupe depuis 2000 et elle repose sur la distribution de sources plasma élémentaires selon des réseaux 2D et 3D. L'activité de recherche est centrée sur l'évolution de ces sources élémentaires en vue de l'extension du domaine opératoire (pression, fréquence) et de l'optimisation de l'efficacité énergétique, du générateur de micro-ondes jusqu'à l'applicateur utilisé pour la transmission et la production du plasma. Plusieurs types de sources élémentaires ont été développés pour aboutir à une nouvelle génération capable d'opérer sur un domaine de 4 décades en pression grâce à une transition continue d'un couplage résonnant (efficace dans le domaine des très basses pressions) à un couplage collisionnel



Fig. 1: Sources plasma élémentaires en configuration 3D dans un réacteur de procédé. Plasma d'iode à 0,5 mTorr et 50 W par source élémentaire.

¹ Centre de Recherche Plasmas-Matériaux-Nanostructures

(très efficace au-delà du torr). Le perfectionnement et l'évolution de ces sources pour des applications spécifiques font l'objet des projets successifs comme ANR Emergence-APANAGE (terminé en 2013), FUI-GMP DLC2 (démarré en 2013) ou des projets collaboratifs avec financement des thèses CIFRE (deux thèses en cours).

La spécificité des sources plasma étudiées et développées au sein du groupe réside dans la séparation des fonctions: production du plasma et paramètres d'interaction plasma-surface. Ceci est d'une importance déterminante, aussi bien au niveau des études fondamentales qui peuvent être effectuées de manière paramétrique, qu'au niveau de la flexibilité des conditions opératoires dans les applications nécessitant une maîtrise parfaite des paramètres de procédés (e.g. flux et énergie de bombardement), comme celles d'élaboration de matériaux.

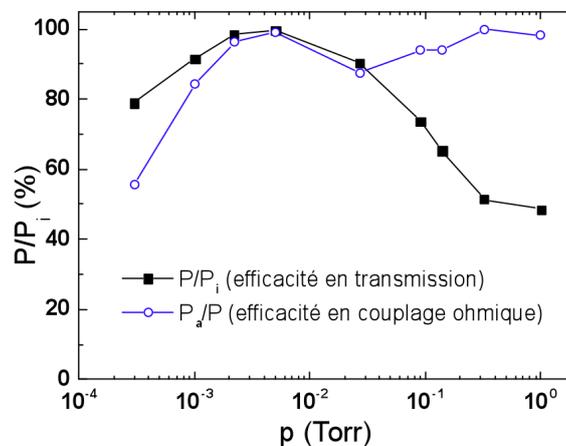


Fig. 2: Rendement de transmission et de couplage d'une source plasma élémentaire en fonction de la pression d'argon.

Au niveau plus fondamental, ces technologies micro-onde et les diagnostics mis en œuvre permettent d'étudier les mécanismes de production d'espèces (atomes, métastables, radicaux, ions positifs et négatifs) en fonction des conditions opératoires, et ce, de manière découplée entre volume et surface. Compte tenu de très nombreuses applications des plasmas hydrogénés, plusieurs études portent sur les plasmas d'hydrogène pour la production efficace d'espèces atomiques neutres ou négativement chargées. Ces études sont menées dans le cadre de différents projets comme ANR Blanc ITER-NIS (terminée en 2012), FR-FCM-EURATOM (2012, 2013), ou encore dans le cadre d'une collaboration dans un projet ANR JCJC Maria's Storhy (2012-2014).

Physique et ingénierie des matériaux en couches minces

La flexibilité que confèrent ces technologies plasma permet d'envisager et de mettre en œuvre des procédés d'élaboration des matériaux complexes de stœchiométrie et de micro-nanostructure contrôlées. C'est le cas, en particulier, des procédés pour les applications tournées vers les micro-technologies (gravure, dépôt), mais aussi des matériaux fonctionnels pour le stockage et la conversion d'énergie.

Les études fondamentales de gravure plasma concernent les effets du dopage (silicium) et de la température (silicium, polymères), les mécanismes physico-chimiques basés sur les effets stériques et de diffusion. Ces études visent, du point de vue fondamental, une meilleure compréhension des mécanismes

réactionnels de surface et de leurs cinétiques (2 thèses), et, du point de vue applicatif, la gravure anisotrope et sélective à facteur de forme élevé (projet ANR-APANAGE 2010-2012).

De manière générale, les matériaux fonctionnels sont des alliages binaires ou ternaires qu'il est important d'élaborer avec une composition très bien contrôlée. La pulvérisation (réactive ou non) assistée par plasma multi-dipolaire, qui permet de répondre à cette spécification constitue un outil privilégié pour l'élaboration de ces alliages en couches minces en vue de l'étude de leurs propriétés fondamentales. Ainsi, l'étude de différents matériaux est effectuée dans le cadre des projets financés et porte entre autres sur : (i) les matériaux thermoélectriques à base de magnésium (thèse/projet CNRS-Valeo); (ii) les hydrures complexes à base de magnésium (post-doc/projet ANR-JCJC et thèse/projet CARNOT-Athos); (iii) les composés à changement de phase (projet dans le cadre du LIA-LITAP); (iv) les contacts électriques sur diamant monocristallin (ANR blanc-MONODIAM).

Pour en savoir plus

<http://lpsc.in2p3.fr/index.php/activites-scientifiques/le-crpmn>.

Pôle Accélérateurs et Sources d'ions

Le pôle Accélérateurs et Sources d'ions travaille à la conception et à la réalisation d'accélérateurs et de sources d'ions pour les programmes de physique et les applications industrielles. Le pôle est ainsi impliqué dans des thématiques scientifiques extrêmement variées comme la physique nucléaire (neutronique, physique des réacteurs, ions radioactifs) et la physique des particules. Les compétences mises en œuvre portent sur la physique générale des accélérateurs et des sources, la radiofréquence, le magnétisme, la valorisation et la formation technique et doctorale.

La ligne basse énergie du projet SPIRAL2 a été caractérisée au laboratoire avant d'être réinstallée au GANIL. La source d'ions lourds à $Q/A=1/3$ a été améliorée et optimisée, pour une livraison prévue en mai 2014. Une nouvelle version de cette source est à l'étude, qui permettra de délivrer des faisceaux plus intenses. Le booster de charge ainsi que la ligne d'analyse en ions exotiques multichargés ont fait l'objet de développements techniques (commande/contrôle et nucléarisation du booster, définition détaillée de la ligne). Toujours dans le cadre de SPIRAL2, les coupleurs radiofréquence dédiés au Linac ont fait l'objet d'améliorations importantes du processus de fabrication et de conditionnement, et la production, tout à fait satisfaisante, arrive à son terme.

Le générateur de neutrons GENEPI2 est exploité pour l'étude de défaillance de circuits intégrés. Une jouvence est à l'étude pour permettre, à court terme, de disposer d'une plateforme d'irradiation neutrons multi-usages à plus grand flux.

L'accélérateur GENEPI3C est utilisé pour le pilotage d'un réacteur sous-critique par un accélérateur à MoI (Belgique). Le couplage a été effectif fin 2011. Il permet de mener le programme de physique côté réacteur mais également d'acquérir une réelle expérience de type d'installation, en termes techniques et humains.

Les sources d'ions font l'objet de R&D poussée. Une source ECR à 60 GHz est ainsi à l'étude en collaboration avec le Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, et des premiers faisceaux ont été extraits à 18 GHz. Par ailleurs, une collaboration (EMILIE) est menée. Elle porte sur l'étude des mécanismes entrant en jeu dans les booster de charge utilisant des faisceaux alcalins.

La R&D accélérateur porte notamment sur la ligne basse énergie du projet d'ADS MYRRHA. Cette ligne est en cours de conception et permettra l'étude des faisceaux intenses de basse énergie (neutralisation, diffusion par exemple).

Diverses activités sont arrivées à leur terme : la réalisation des nappes polaires pour le CERN-PS, les études de transport de spin dédiées à SUPERB, les activités de réseaux européens dans le domaine des radiofréquences (dont le pôle assurait la coordination).

Enfin, le pôle dispose de locaux blindés et accueille une société industrielle pour le test d'accélérateurs d'électrons.

Le pôle est fortement impliqué dans des projets locaux. Il répond par ailleurs aux demandes exprimées par la communauté de physique, tant par les programmes nationaux qu'internationaux. Il mène une politique active de recherche de nouveaux projets et de mise en œuvre de collaborations

Projet SPIRAL2

*T. Lamy, J. Angot, M. Baylac, P. Boge, T. Cabanel, Y. Gómez Martínez, J. Jacob, M. Marie-Jeanne, R. Micoud, P. Sole, T. Thuillier, J.-L. Vieux-Rochaz
P. De Lamberterie, Chargé de mission qualité
D. Grondin, D. Bondoux, D. Fombaron, C. Fourel, G. Freche, C. Geraci, J. Giraud, M. Legrand, J.-C. Malcour, S. Roni, S. Roudier, F. Vezzu, Service Études et Réalisations Mécaniques
R. Faure, M. Marton, O. Zimmerman, Service Détecteurs et Instrumentation
C. Deslorieux, F. Petiot, Service Administration
W. Regairaz, Service Sécurité
P. Meyrand, Service Informatique
C. Peauccelle, Institut de Physique Nucléaire de Lyon
C. Barué, C. Canet, M. Dubois, M. Dupuis, J.-L. Flambard, R. Frigot, P. Jardin, F. Lemagnen, L. Maunoury, B. Osmond, Grand Accélérateur National d'Ions Lourds*

The accelerators and ion sources pole has an important contribution to the SPIRAL2 accelerator. We are in charge of the delivery of the $Q/A=1/3$ heavy ion source with its low energy beam line, of the 30 RF couplers to feed the LINAC cavities and of the ECR Charge breeder necessary to multi ionise the radioactive ion beams produced after the target. We are also in charge of the design of the vertical $n+$ beam line located just after the charge breeder.

Ligne basse énergie et sources d'ions lourds ($Q/A=1/3$)

Ligne basse énergie

La ligne Basse énergie ions lourds $Q/A=1/3$ a été caractérisée au LPSC en collaboration avec les concepteurs et constructeurs des différents sous-ensembles. Les caractérisations de la ligne et de la source d'ions PHOENIX V2 se sont poursuivies jusqu'au mois de mai 2012 en collaboration LPSC-IPNL-GANIL avec une participation régulière des personnels du groupe sources du GANIL aux campagnes de mesures.

Le Service Détecteurs Instrumentation (SDI) a poursuivi le développement du logiciel LabVIEW de pilotage de la source et de la ligne, assurant notamment l'automatisation des mesures de spectres (application synchrone des profils de champ des aimants de la ligne de faisceau et acquisition des mesures), la visualisation en ligne ou a posteriori des paramètres de la ligne, le réglage fin des différents appareils. Un module d'interface LabVIEW-EPICS a été mis en place dans l'application LabVIEW. Le rôle de cette « passerelle » est de permettre au logiciel de supervision EPICS de piloter à travers l'application LabVIEW une série de commandes et de mesures gérées par cette dernière. L'applicatif EPICS de haut niveau a pu ainsi piloter l'ensemble de la ligne avant même de disposer de tous ses composants bas-niveau. La passerelle LabVIEW-EPICS a permis de mener en parallèle les optimisations de la source et de la ligne, avec LabVIEW, et le développement de la supervision EPICS nominale.

L'objectif principal des études expérimentales a été l'optimisation des faisceaux de nickel dont la vapeur était produite par un four de grande capacité du GANIL, la figure 1 montre un spectre typique de Nickel obtenu au LPSC.

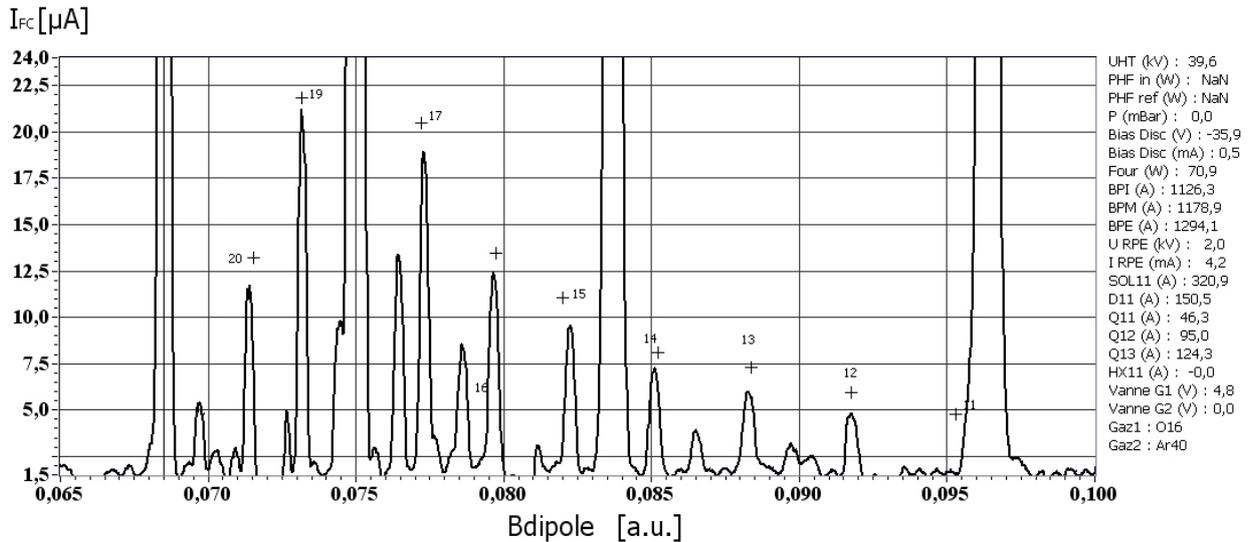


Fig. 1 : Spectre d'ions multichargés de nickel extrait de la source PHOENIX V2 et analysé dans la ligne basse énergie de SPIRAL2 au LPSC.

Au mois de juillet 2012 la ligne basse énergie a été démontée et expédiée au GANIL en vue de son installation dans le bâtiment accélérateur de SPIRAL2. La source d'ions PHOENIX-V2 a été installée sur une autre ligne de faisceau du LPSC, ce qui a nécessité des adaptations mécaniques effectuées par le Service d'Etudes et de Réalisations mécaniques (SERM) et des modifications du contrôle commande effectuées par le SDI pour prendre en compte le nouvel environnement. Enfin, le LPSC a participé au montage de la ligne et des boîtes à vide en octobre 2013, les châssis et les éléments d'optique ayant déjà été installés.

Source d'ions lourds (Q/A=1/3)

PHOENIX-V2

De nombreuses améliorations techniques ont été effectuées sur la source PHOENIX V2 et son environnement. Le SERM a accompagné les études expérimentales en assurant la conception et la réalisation de différents sous-ensembles complexes tels que les chambres à plasma ainsi que le système d'extraction de la source. La baie haute tension supportant les servitudes de la source (les gaz et ses vannes de dosage, le four pour la production de vapeur métallique, le guide d'onde HF, l'alimentation du disque polarisé) a été validée à 62 kV ce qui fait de cette source, la seule au monde à pouvoir produire des faisceaux accélérés à $60 \cdot q$ keV (en général les sources fonctionnent à 20-25 kV) sans pour autant nécessiter l'utilisation d'une plateforme haute tension supportant l'ensemble des alimentations (bobines, émetteur HF) représentant une puissance de l'ordre de 200 kW. L'extraction à double électrode a été optimisée afin de produire des faisceaux de bonnes qualités optiques tout en gardant une excellente transmission de la ligne de faisceau (> 90%).

Une faiblesse magnétique au niveau de l'hexapôle a nécessité son démontage. En général, dans cette situation il convient de changer les aimants altérés ce qui implique des délais très importants. La proximité du Laboratoire National des Champs Magnétiques intenses nous a permis, suite à la conception et à la réalisation d'outillages dédiés, la ré-aimantation des aimants permanents défectueux ce qui représente une économie extrêmement importante en temps et en coût.

Une nouvelle chambre à plasma optimisant le refroidissement des aimants a été installée puis une série d'expériences a été effectuée pour optimiser la production des faisceaux de calcium (étude de l'influence de la nature du gaz support, utilisation d'une double paroi en tantale, réalisée au GANIL, installée dans la chambre et chauffée par le plasma pour augmenter le recyclage), un spectre est donné pour exemple figure 2. Enfin le DC-breaker (dispositif permettant de transporter les ondes HF guidées et référencées au potentiel terrestre jusqu'à l'intérieur de la source référencé à 60 kV), présentant des problèmes de tenue dans le temps à la haute tension (passage de 2 kW de HF au travers d'une feuille de téflon de surface inférieure au cm^2), a été réétudié en vue du remplacement de la feuille de téflon par une lame de quartz (voir figure). Ce nouveau dispositif a donné entière satisfaction est a été installé sur la source de démarrage de SPIRAL2 PHOENIX V2 qui sera livrée au GANIL en mai 2014.

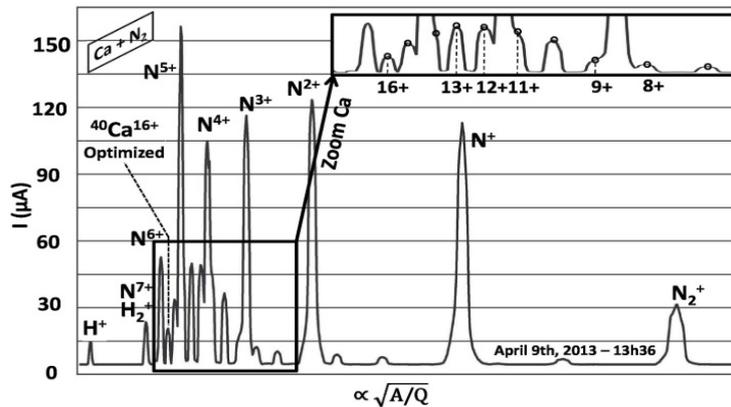


Fig. 2 : Spectre d'ions multichargés de calcium extrait de la source PHOENIX V2 et analysé dans la ligne basse énergie de SPIRAL2 au LPSC.

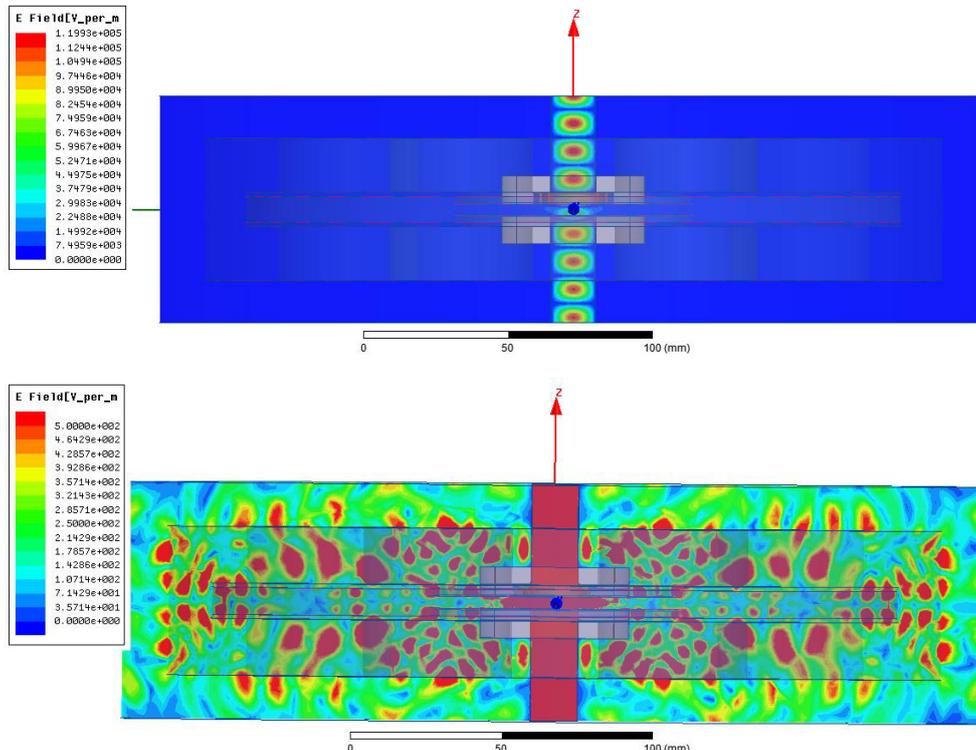


Fig. 3 : Simulation HFSS de la transmission des ondes hyperfréquences à travers le DC-breaker quartz (haut) et du champ électrique dans la structure mécanique isolante (bas).

PHOENIX-V3

La technologie PHOENIX présente un grand avantage par rapport à la plupart des sources existantes, elle est constituée d'une structure externe (référéncée à la terre) composée des bobines de champ axial et d'anneaux en fer doux permettant d'optimiser celui-ci, et d'un noyau central (porté à la HT) comprenant essentiellement la chambre à plasma, l'hexapole établissant le champ radial ainsi que deux pièces massives en fer doux concentrant et renforçant le champ axial sur l'axe en extrémité d'hexapole. Cette géométrie permet de modifier les caractéristiques de la source sans pour autant modifier la structure externe, il a ainsi été décidé, afin de gagner en performances en terme d'intensités d'ions lourds multichargés $Q/A=1/3$, d'augmenter le volume du plasma tout en maintenant les caractéristiques magnétiques constantes. Le noyau central sera modifié afin de satisfaire ces critères. Un nouvel hexapôle de plus grand diamètre intérieur ainsi que des pièces en fer doux ont été conçus, l'ensemble de la source sera assemblé et les premiers tests de faisceaux sont prévus pour mai 2014. L'accélérateur SPIRAL2 pourra ainsi profiter de faisceaux plus intenses que ceux délivrés par la source actuelle PHOENIX-V2.

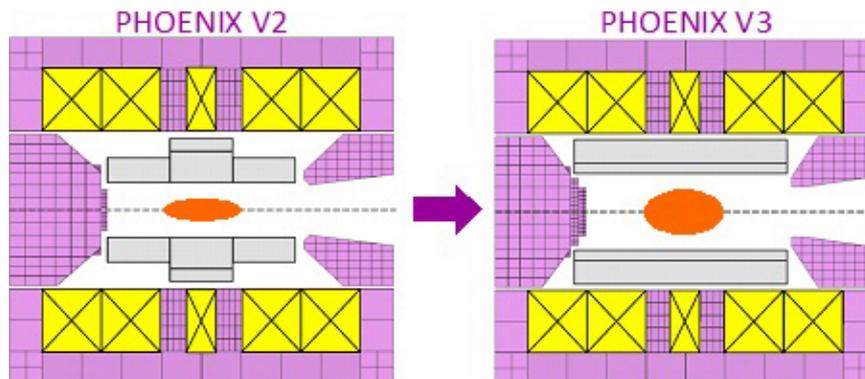


Fig. 4 : Coupe schématique comparative des sources PHOENIX-V2 et V3.

Booster de charge et Ligne verticale n+ analyse Booster

Booster de charge

Les activités pour le Booster de charge et la ligne n+ Analyse Booster de SPIRAL2 ont été essentiellement techniques.

Le SERM a assuré un travail très conséquent au niveau des études détaillées de la plupart des composants du booster de charge, les standards de mécanique du projet ont été intégrés, une vue d'ensemble de l'étude du booster est donnée figure 5. Ce service a mené une activité importante de calculs mécaniques (contraintes et déplacements des châssis supports du fait de la masse des éléments et lors des séismes ainsi que lors des manutentions, étude du comportement mécanique du caisson d'injection sous vide lors des séismes ainsi que de la résistance mécanique du circuit de refroidissement des bobines de champ axial), pour exemple on montre figures 6 et 7 les résultats des contraintes des châssis du booster ainsi que celles engendrées par la pression d'eau de refroidissement sous 15 bars dans la clarinette d'alimentation en eau de refroidissement.

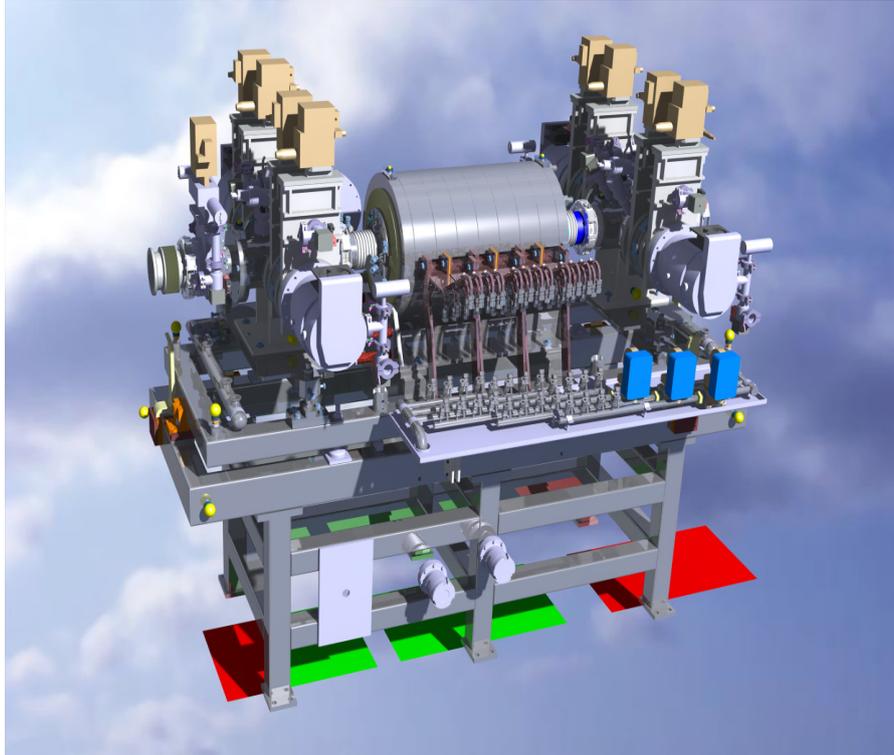


Fig. 5 : Vue d'ensemble de l'étude détaillée des différents composants du booster de charge pour SPIRAL2.

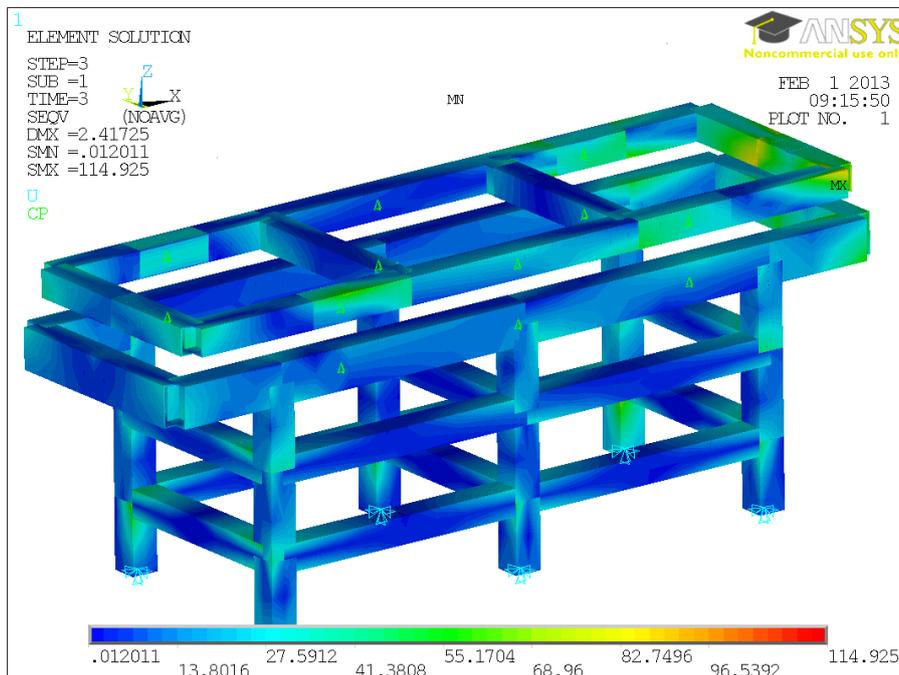


Fig. 6 : Contraintes de Von Mises pour le châssis du booster dans le cas poids et séisme (MPa).

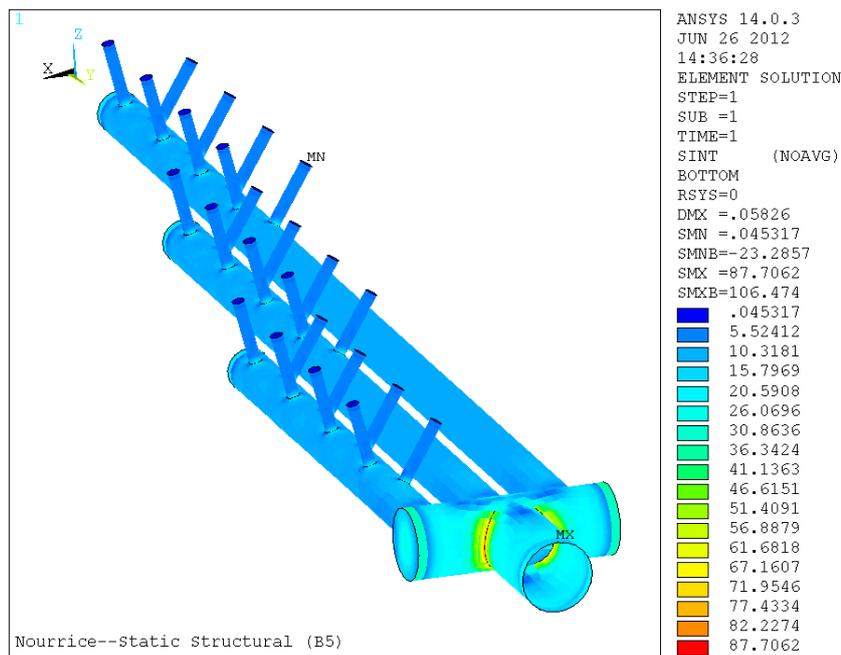


Fig. 7 : Système de refroidissement des bobines : contrainte en membrane plus flexion 88 MPa (critère : 259,5 MPa).

Pour les activités de contrôle commande, le SDI s'est positionné sur le développement sous EPICS. Dans cette perspective, de nombreux essais ont permis d'acquérir une meilleure connaissance de ce système, en particulier en validant l'échange de données d'instruments simulés via le protocole « channel access ». Le module de communication série « asyn » ainsi que la mise en place d'interfaces utilisateur graphiques sous « CSS-BOY » ont été testés avec succès. Un test de terrain sur un moteur pas à pas du prototype de booster de charge du LPSC a validé une chaîne de commande complète sous EPICS, ouvrant la voie à de premières applications de pilotages. Nous avons de même effectué l'analyse fonctionnelle du contrôle commande du booster.

Les activités de l'équipe sources d'ions ont porté sur la nucléarisation qui consiste en l'optimisation des principes de maintenance du système dans un environnement radioactif (zone jaune). Cette optimisation est obtenue grâce à l'analyse et à la simplification de tous les dispositifs mécaniques mis en œuvre lors des démontages pour maintenance. Cette étude a été étendue à l'étude des raccords des servitudes (amenée des courants intenses de 1300 A, refroidissements des bobines de confinement axial, injection de l'hyperfréquence).

Enfin, le vide résiduel ayant une grande influence sur les efficacités de multi-ionisation, les taux de dégazage des différents éléments ont été évalués à la fois au niveau théorique et à partir d'expérimentations.

Ligne n+ Analyse Booster

Cette ligne située en aval du booster de charge réalise l'analyse et la compensation du faisceau multichargé avant son transport vers le synchrotron CIME du GANIL existant. Elle assure également une fonction géométrique de changement de niveau altimétrique du faisceau, l'entrée et la sortie de cette ligne étant situées respectivement aux niveaux -9,30 m et -3,25 m. En conséquence une grande

partie de la ligne est verticale et deux dipôles de déviation à 90° dans le plan vertical sont utilisés. Le LPSC s'est vu confié la conception de cette ligne en avril 2011.

La définition détaillée de cette ligne a été effectuée par le SERM. Cette définition a porté principalement sur :

- La structure des modules constituant la ligne (définition et positionnement des équipements).
- L'architecture des supports des modules.
- Les dispositifs et procédures d'alignement des modules.
- La manutention des modules (scénarios et outillages nécessaires).
- Le cheminement des servitudes et tableaux de connexions associés.

Une première évaluation de la tenue au séisme des structures porteuses et dispositifs de fixation des modules a également été réalisée. Les figures 8 et 9 montrent les trois premiers modules ainsi qu'une vue d'ensemble de la ligne de faisceau.

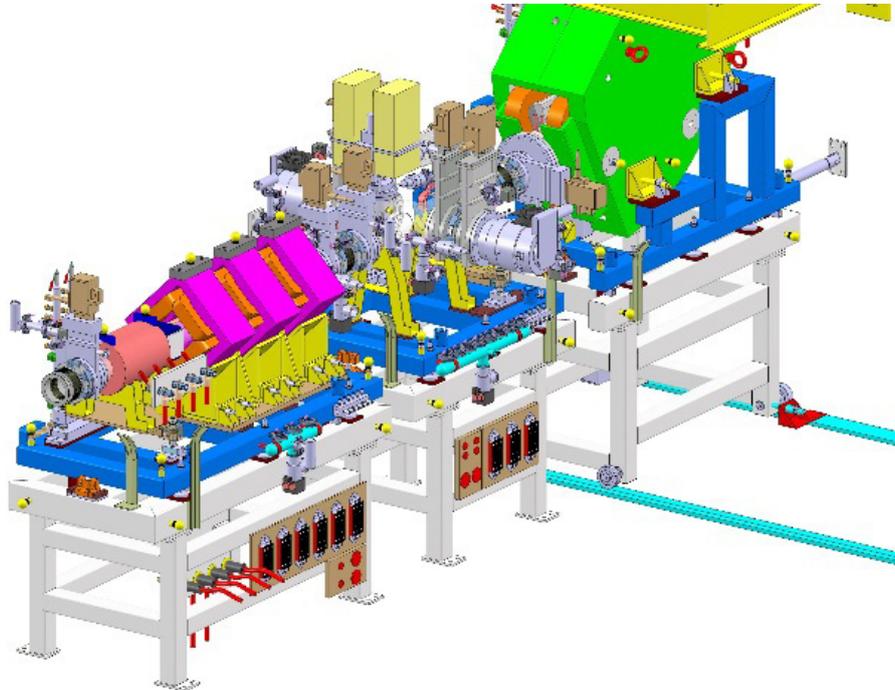


Fig. 8 : Les 3 premiers modules de la ligne.

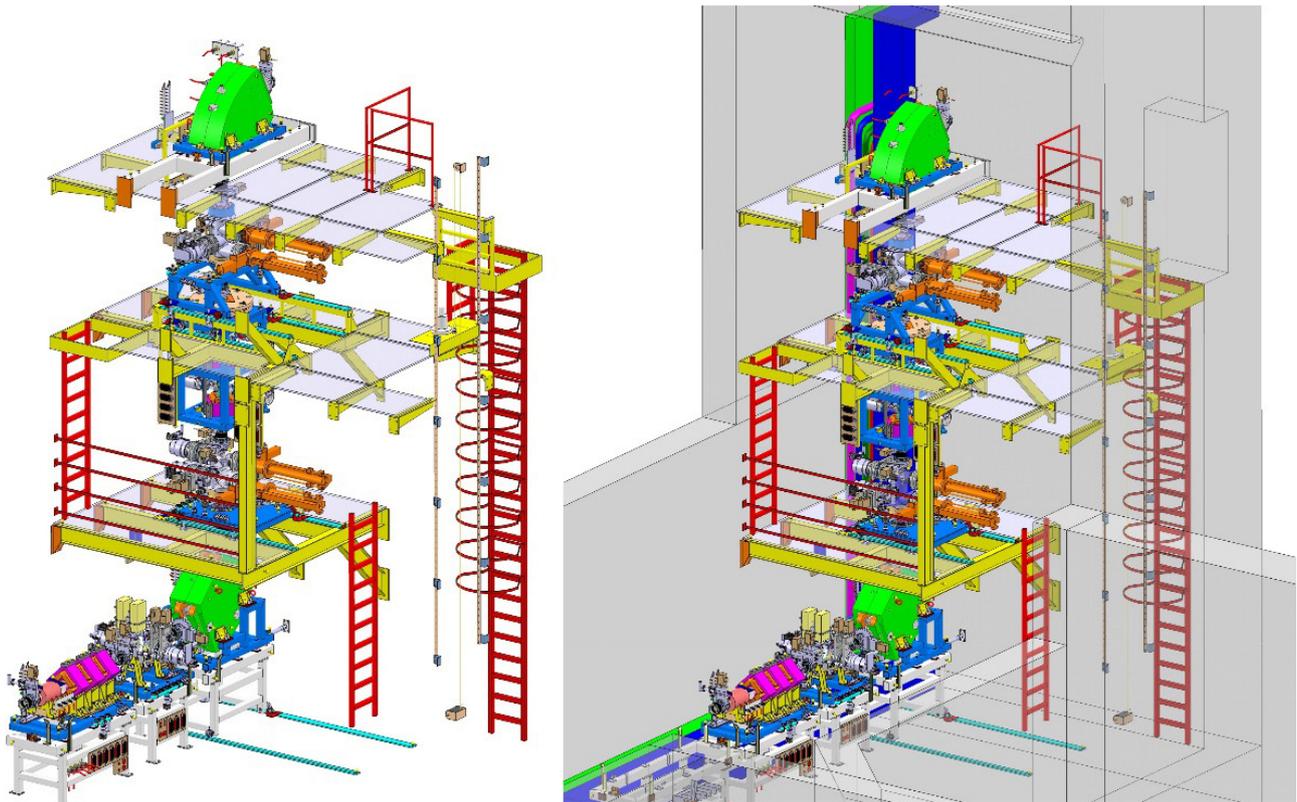


Fig. 9 : Ensemble ayant fait l'objet de l'étude détaillée (seul et dans le contexte du bâtiment).

Les coupleurs RF de puissance

Nous sommes en charge de la réception, de la préparation et du test des 28 coupleurs radiofréquence (RF) avec son système de compensation des misalignements, des efforts barométriques et thermiques. Les coupleurs ont pour but principal de transférer la puissance des amplificateurs RF (88,05 MHz, 20 kW CW) aux différents types de cavités accélératrices.

En 2011, trois cryomodules n'ont pas atteint les spécifications du champ accélérateur ($E_{acc_nominal} = 6,5 \text{ MV/m}$) à cause d'une forte émission de champ. En 2012, pour résoudre ce problème des contrôles de poussières ont été imposés pour tout élément monté dans le LINAC (ACcélérateur LINEar), dont le coupleur. Le contrôle consiste à souffler avec N₂ filtré à 5 bars, la mesure de particules doit donner que il n'a aucune particule plus grande que 5 μm et moins que 100 particules plus petits à 0,5 μm . Ne pas tenir cette spécifications provoque un nettoyage du matériel. Depuis que cette spécifications est tenu, tous les cryomodules ont atteint les 6,5 MV/m voir 9 MV/m de champ accélérateur.

Le bout de l'antenne du coupleur couplé avec la cavité peut être soumis à un champ électrique de 12 MV/m.

Ainsi en 2012-2013 un effort particulier a été réalisé concernant l'amélioration de la propreté du coupleur et l'état de surface de l'antenne :

- L'antenne est maintenant électropolée. L'électropolissage est réalisé par l'équipe du LPSC dans le bain électrolytique (phosphore et éthanol) du LNCMI (Laboratoires National du Champ Magnétique Intense).
- Tous les parties métalliques du coupleur et ses pièces annexes sont désoxydés

(10 minutes avec d'acide citrique puis l'antenne pendant 2 minutes avec de l'acide sulfamique).

- Les coupleurs sont contrôlés et assemblés sur une hotte ISO4 situé à l'intérieur de la salle propre ISO6.
- À chaque étape du montage du coupleur des contrôles de particules sont réalisés.



Figure 10 : Comptage de particules du coupleur (à gauche) et l'antenne électro-polie (à droite).

En 2012-2013, nous avons aussi optimisé le protocole de conditionnement RF et maintenant le temps est passé d'une moyenne de quelques jours à quelques heures. Le temps du traitement complet (contrôles, électropolissage, préparation, montage, tests RF, emballage) du coupleur est de 10 jours.

Aujourd'hui, ils restent à préparer et tester cinq des vingt-six coupleurs présent dans l'accélérateur plus les deux de rechange.

Pour en savoir plus

Power couplers for SPIRAL2, Y. Gómez Martínez et al. (SRF 2011).

Last Spiral2 coupleurs preparation and RF conditioning, Y. Gómez Martínez et al. (SRF 2013).

L'accélérateur GENEPI2

*M. Baylac, P. Boge, E. Labussière, D. Marchand, R. Micoud, S. Rey
T. Cabanel, Service Détecteurs et Instrumentation
J. Bouvier, D. Tourres, Service Électronique
G. Dargaud, Service Informatique*

The electrostatic accelerator GENEPI2 is under operation at LPSC to produce 2.5 or 14 MeV neutrons. It was used to run a new type of experiments dedicated to printed circuits irradiation.

The machine is currently going through a major upgrade to improve reliability and optimize the neutron flux.

En fonctionnement au LPSC depuis une dizaine d'années, GENEPI2 (GENérateur de NEutrons Pulsé Intense) produit des neutrons de 14 MeV (ou 2,5 MeV) par impact de faisceaux de deutons accélérés à 250 keV sur une cible de Tritium (ou Deutérium). Initialement, cet accélérateur a été développé et exploité pour les expériences en soutien des études des réacteurs nucléaires innovants dans le cadre de la plateforme PEREN.

Depuis 2013, cette infrastructure accueille un nouveau type d'expériences dédié aux études de sensibilité des circuits et systèmes intégrés issus de technologies sub-nanométriques au flux neutronique. La fiabilité des circuits intégrés en présence de particules énergétiques doit être caractérisée expérimentalement pour les applications spatiales et aussi pour certaines applications critiques opérant dans l'atmosphère terrestre. Pour cela, le circuit est exposé à des flux significatifs pendant qu'il exécute une tâche représentative de son fonctionnement nominal. Ces campagnes expérimentales sont menées en collaboration avec des collègues du laboratoire TIMA¹ et ont concerné plusieurs générations de mémoire d'un même constructeur. Elles seront étendues à d'autres types de mémoire et différents composants électroniques.

Programmé pour la fin de l'année 2013, l'arrêt de l'accélérateur est consacré à une jouvence et une extension de l'infrastructure. Dans un premier temps, un nouveau système de contrôle-commande (hardware et software) ainsi que des tiroirs gérant les sécurités de la machine sont développés, construits et mis en œuvre. Ils sont basés sur les travaux effectués pour la machine GENEPI-3C exploitée au SCK-CEN de Mol en Belgique pour le programme GUINEVERE. 11 modules sont nécessaires pour gérer la communication entre les composants de l'accélérateur et le PC de commande. Utilisant un noyau Linux embarqué, ils sont semblables aux modules développés par le service électronique pour GENEPI-3C. De même, le pilotage informatique s'appuie sur une version adaptée du code développé par le service informatique pour GUINEVERE. Cette jouvence doit permettre de fiabiliser le fonctionnement de la machine tout en apportant des fonctionnalités supplémentaires. Dans un second temps, l'accélérateur sera modifié afin de s'affranchir de la structure impulsionnelle du faisceau qui n'est plus requise pour les nouvelles expériences et d'augmenter le flux de neutrons pour minimiser les durées d'irradiations. Pour cela, une source ECR et un nouvel aimant de déviation sont à l'étude.

¹ *Techniques de l'Information et de la Microélectronique pour l'Architecture des systèmes intégrés, laboratoire CNRS/Grenoble INP/UJF, UMR 5159*

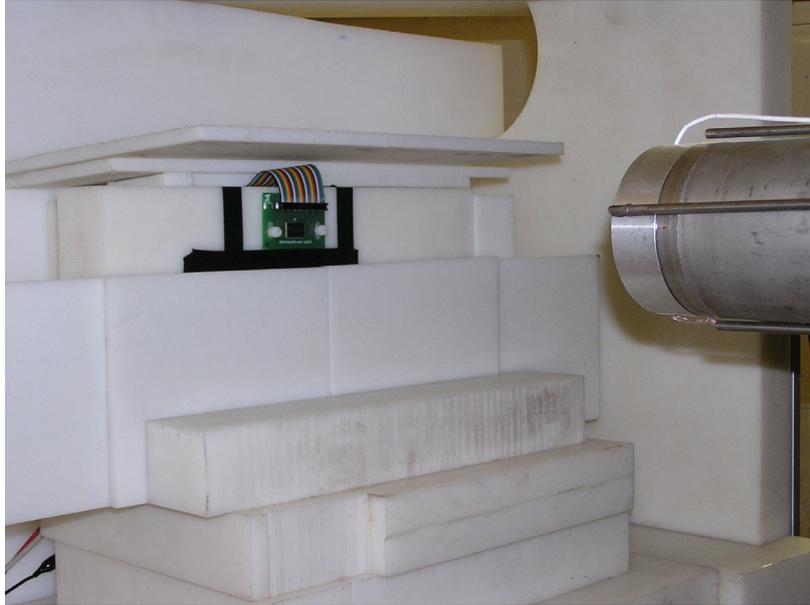


Figure 1 : Circuit imprimé en regard de la section terminale de la ligne de faisceau de GENEPI2 contenant la cible générant les neutrons.

L'accélérateur GENEPI-3C

*M. Baylac, A. Billebaud, P. Boge, E. Froidefond, E. Labussière, R. Micoud, S. Rey
T. Cabanel, M. Heusch, Service Détecteurs et Instrumentation
D. Bondoux, Service Études et Réalisations Mécaniques
J. Bouvier, D. Tourres, Service Électronique
G. Dargaud, Service Informatique*

The neutron generator GENEPI-3C is coupled to the fast nuclear core VENUS-F at SCK-CEN (Belgium) to study accelerator driven systems. Since the first coupling late 2011, this electrostatic accelerator drives the sub-critical core in different beam modes. Operational feedback is presented.

Le programme expérimental GUINEVERE exploite le pilotage d'un réacteur sous-critique par une source externe de neutrons fournie par un accélérateur. Le LPSC a conçu, construit et exploite l'accélérateur électrostatique GENEPI-3C (GENérateur de NEutrons Pulsé Intense et Continu) auprès du réacteur rapide VENUS-F, mis au point et opéré par le centre d'études nucléaires SCK-CEN de Mol (Belgique). GENEPI-3C produit des neutrons par impact de faisceaux de deutons sur une cible de Tritium située au centre du cœur du réacteur. Le programme expérimental, entrepris dans le cadre de programmes européens (GUINEVERE, FREYA), est mené au LPSC par le groupe de physique des réacteurs.

Suivant l'autorisation de couplage entre l'accélérateur et le réacteur obtenue à l'automne 2011, le commissioning a permis de valider le bon fonctionnement de la machine et des détecteurs de neutrons ainsi que la production neutronique. Le taux de production reproduit les prédictions et atteint $\sim 10^{11}$ n/s pour 1 mA de courant de faisceau avec une cible neuve. Depuis, la prise de données est en cours pour les campagnes expérimentales. La machine est exploitée alternativement dans 3 modes de fonctionnement : pulsé, continu (DC) et continu haché par des coupures de faisceau ajustables en fréquence et en durée (BT). Les conditions d'exploitation de la machine dépendent fortement du mode de faisceau :

le mode impulsif, éprouvé par les 2 précédentes machines GENEPI, est stable. Les caractéristiques de faisceau requises pour le programme expérimental sont atteintes, à l'exception de l'amplitude du courant (crête) qui demeure inférieure aux spécifications. Les puissances moyennes de faisceau mises en jeu sont faibles de par le cycle de la machine ($< 0,5\%$); les modes continus (DC et BT) présentent plus de difficultés, principalement car la source d'ions est plutôt adaptée à un fonctionnement impulsif et de par l'absence d'expérience préalable de ces conditions d'opération. Les spécifications de courant (1 mA sur cible) et de rapidité de coupure ($\sim \mu\text{s}$) sont atteintes, mais des limitations demeurent sur les plages de fonctionnement et la stabilité des interruptions programmables de faisceau. Ces modes mettent en jeu des puissances de faisceau importantes (jusqu'à 600 W au total) et sont plus propices aux problèmes de décharges électriques.

La principale difficulté du fonctionnement couplé de l'accélérateur avec le réacteur est liée aux phénomènes de décharges qui peuvent se produire à l'intérieur ou à l'extérieur des enceintes portées à de hautes tensions. Dans la plupart des cas, la décharge s'accompagne d'une perte momentanée du faisceau, générant la chute du taux de neutrons présents dans le cœur. Au retour brutal du fais-

ceau sur la cible, la production de neutrons, qui est constamment contrôlée par les moniteurs équipant le réacteur, croît très rapidement. Cet événement peut alors être interprété comme dangereux par le système de sécurité du réacteur, ce qui déclenche automatiquement son arrêt par chute des barres de sûreté (SCRAM). La récupération suite à un événement de ce type est très longue car elle nécessite le redémarrage complet du réacteur (~30 min) et représente la plus importante source d'arrêt (downtime) de l'installation (entre 0 et 6 SCRAMS en moyenne par semaine). Au cours des 2 années d'exploitation, deux périodes ont connu des taux de décharges tels qu'ils ont empêché le fonctionnement normal de la machine. Ces phénomènes semblent trouver leur origine dans les conditions environnementales de l'accélérateur électrostatique (humidité et chaleur pendant certains mois de l'année) et ont généré de lourds travaux de réparation. Pour l'avenir, des solutions sont envisagées pour à la fois minimiser le nombre de décharges, mais aussi réduire le taux de SCRAMS du réacteur généré par un claquage. D'autre part, les conditions de travail au SCK-CEN imposent deux arrêts annuels complets de l'accélérateur à l'été et à Noël. Le fonctionnement du filament de la source d'ions est souvent compromis par ces coupures et requiert également de nombreuses maintenances, préventives et curatives.

Depuis la mise en œuvre initiale de la machine et pendant ses 2 années d'exploitation, la charge intégrée sur la cible de production de neutrons mesurée quotidiennement s'est accrue d'un facteur ~8 jusqu'à plus de 5 C (correspondant à ~7,5 h de faisceau sur une journée effective de 8 h), attestant des progrès effectués sur la maîtrise de cette installation couplée. À la lumière de l'expérience acquise lors de l'exploitation, de nombreuses modifications ont été apportées au système de contrôle-commande. Celles-ci ont concerné la partie hardware mais surtout la partie software dans le but d'étendre et d'optimiser les fonctionnalités de ce système et d'en améliorer la fiabilité et l'ergonomie. Le retour d'expérience sur l'exploitation couplée de l'accélérateur est étudié dans le cadre du programme européen MAX (FP7).

Le pilotage de l'accélérateur est assuré par le service accélérateur, ce qui représente un investissement humain important (3 semaines sur 4 pendant les ~8 mois d'expériences chaque année). À terme, la conduite de la machine pourra être menée par un unique pilote du SCK-CEN, conjointement à celle du réacteur VENUS-F. À cet effet, les pilotes du réacteur ont suivi une formation théorique sur le fonctionnement et la conduite de GENEPI-3C et acquièrent depuis une expérience pratique au contact des conducteurs de la machine pendant son exploitation.

Les résultats de l'exploitation des données du réacteur piloté par l'accélérateur sont présentés dans le chapitre *Physique des réacteurs*.



Figure 1 : Partie terminale de la ligne de faisceau de GENEPI-3C insérée dans le réacteur VENUS-F.

Pour en savoir plus

M. Baylac et al., *Proceedings of the second International Workshop of Technology and Components of Accelerator Driven Systems (TCADS2)*, Nantes (France), May 21-23, 2013.

Prototype de source d'ions ECR à 60 GHz

*T. Lamy, J. Angot, L. Bonny, J. Jacob, M. Marie-Jeanne, T. Thuillier, P. Sole, P. Sortais, D. Grondin, G. Calogero, G. Freche, C. Fourel, J. Giraud, S. Roni, S. Roudier, Service Études et Réalisations Mécaniques
M. Chala, Service Détecteurs et Instrumentation
W. Regairaz, Service Sécurité
Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses
Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Science - Nizhny Novgorod, Russie.*

Worldwide, the highest electromagnetic waves frequency presently used in ECR ion sources is 28 GHz. Since many years we collaborate with the Institute of Applied Physics (IAP) of the Russian Academy of Science (Nizhny-Novgorod) to initiate a research and development program toward higher frequencies. In 2008 we initiated a collaboration with the Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses (LNCMI of the CNRS-Grenoble) in order to develop a low cost magnetic structure for an ECR ion source accepting 60 GHz electromagnetic waves. The first beams at 18 GHz have been extracted from this prototype.

Suite à la réalisation d'un prototype de source d'ions utilisant les techniques d'aimant à champ intense (polyhélices à refroidissement radial) et suite aux mesures de champ magnétique effectuées, il avait été montré qu'une zone de résonance fermée à 1 tesla existait au centre de la chambre à plasma permettant l'établissement de la résonance cyclotronique électronique à 28 GHz (voir rapport d'activité 2010-2011) pour une intensité de 15000 A dans les polyhélices. Nous avons alors prévu une campagne expérimentale à cette fréquence, afin de caractériser les faisceaux d'ions extraits du prototype. Nous avons donc conçu et réalisé l'ensemble des pièces internes de la source. La figure 1 montre l'ensemble des pièces constituant la source proprement dite, inséré dans la structure magnétique. La chambre à plasma et le guide d'onde sont polarisés à la haute tension positive, ils sont isolés de la ligne de faisceau par l'alumine d'extraction et de la structure magnétique par deux isolants en PEEK (en haut à droite sur l'image). La chambre à plasma est équipée d'un anneau polarisable permettant de repousser les électrons ou les ions vers le centre de la chambre.

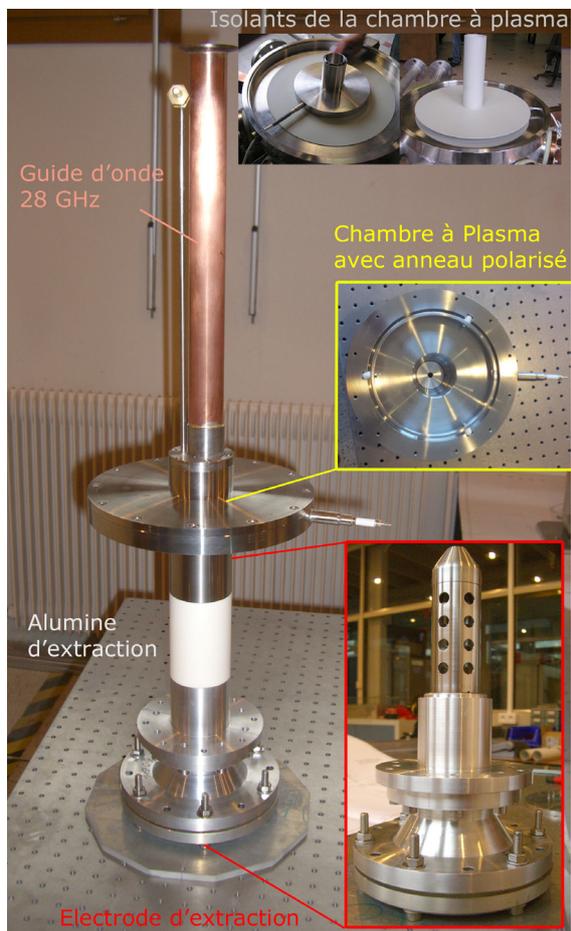


Fig. 1 : Pièces internes du prototype.

L'expérience a été remontée dans la salle de l'aimant M3 du LNCMI suite à la nécessité de libérer la place dans la salle M5, en particulier, il a fallu adapter le système hydraulique, en fonction des standards du laboratoire, comme montré

sur la figure 2. Une ligne de faisceau a été installée au LNCMI, elle est constituée d'une lentille de Einzel en sortie de source et d'un spectromètre magnétique, le faisceau étant mesuré dans une coupelle de Faraday. Le banc expérimental est montré figure 3.

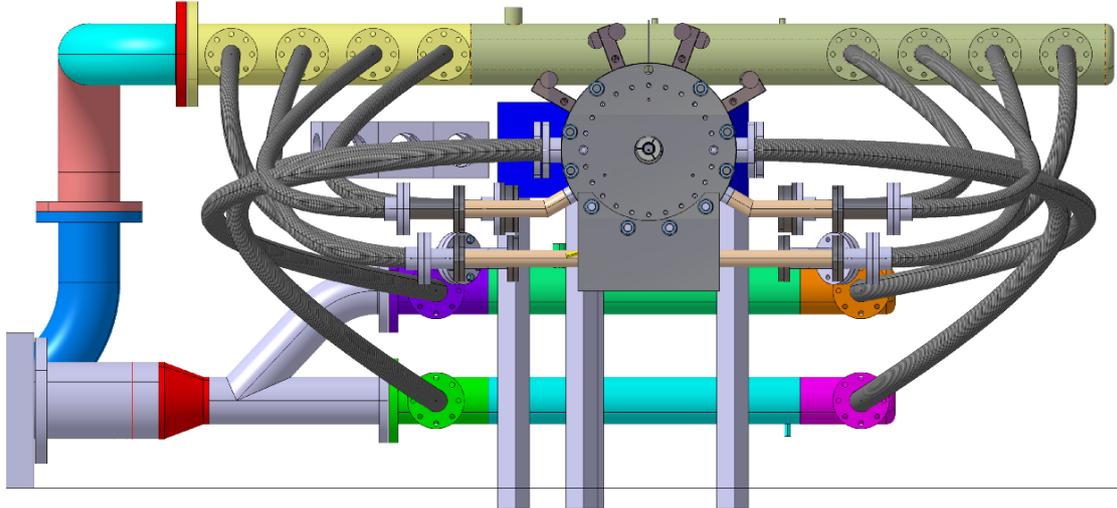


Fig. 2 : Système hydraulique de refroidissement du prototype.

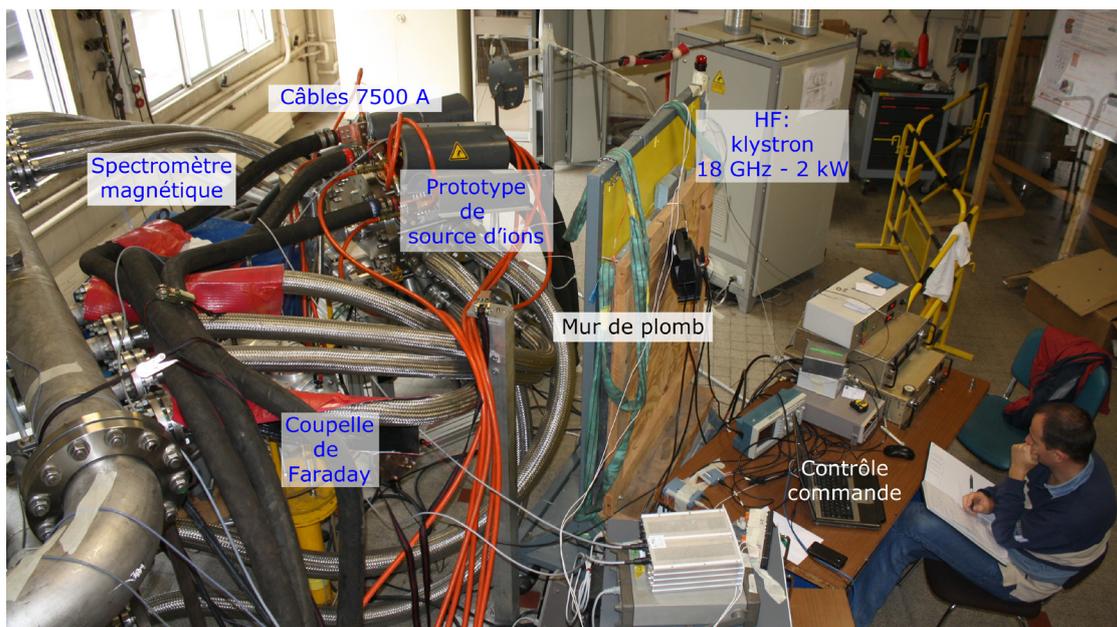


Fig. 3 : Installation du banc expérimental au LNCMI.

L'émetteur 28 GHz n'étant pas disponible au moment de l'expérience programmée, nous avons décidé de travailler à 18 GHz, remarquons que cette fréquence ECR n'a jamais été utilisée dans une structure magnétique en cusp présentant des champs magnétiques aussi élevés.

Les résultats principaux constatés lors de cette première campagne expérimentale sont :

- L'établissement du plasma à très basse puissance HF (quelques watts).
- La possibilité de produire des ions multichargés (Ar^{7+} a été observé).
- La possibilité de produire de fortes intensités d'ions de faibles charges (jusqu'à quelques mA).

Un exemple de spectre d'argon multichargé est montré figure 4.

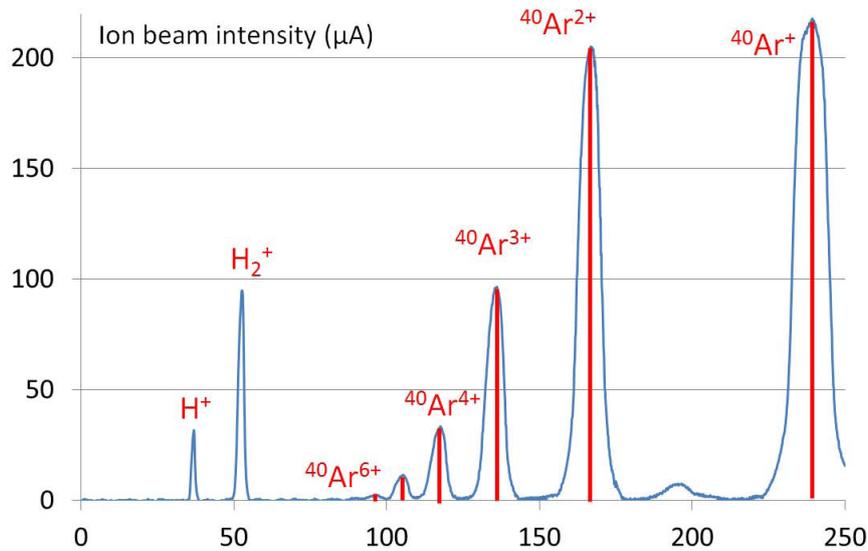


Fig. 4 : Spectre d'ions argon multichargés extraits du prototype à 18 GHz.

Suite à ces expériences de faisceaux, nous avons modifié la connexion du prototype aux alimentations du LNCMI afin de pouvoir atteindre 30 000 A à partir de deux alimentations (sur les 4 disponibles) et de câbles refroidis acceptant 7500 A en intensité électrique. Dans cette configuration, l'intensité dans les hélices d'injection et d'extraction est identique. À 21 500 A un court-circuit est apparu dans l'hélice de petit diamètre côté injection, ceci étant dû à un défaut de refroidissement localisé, ce problème est en cours de traitement.

À la fin de l'année 2012 nous avons finalisé un contrat ISTC (International Science and Technology Center) avec l'IAP-RAS de Nizhny Novgorod (Russie). Un gyrotron 60 GHz de puissance 300 kW et pulsé à 3 Hz a été installé au LNCMI par une équipe de la société GYCOM, ce gyrotron (Fig. 5), qui est maintenant propriété du CNRS, sera utilisé en mars 2014 pour produire les premiers faisceaux d'ions extraits d'un plasma ECR 60 GHz à zone de résonance topologiquement fermée.

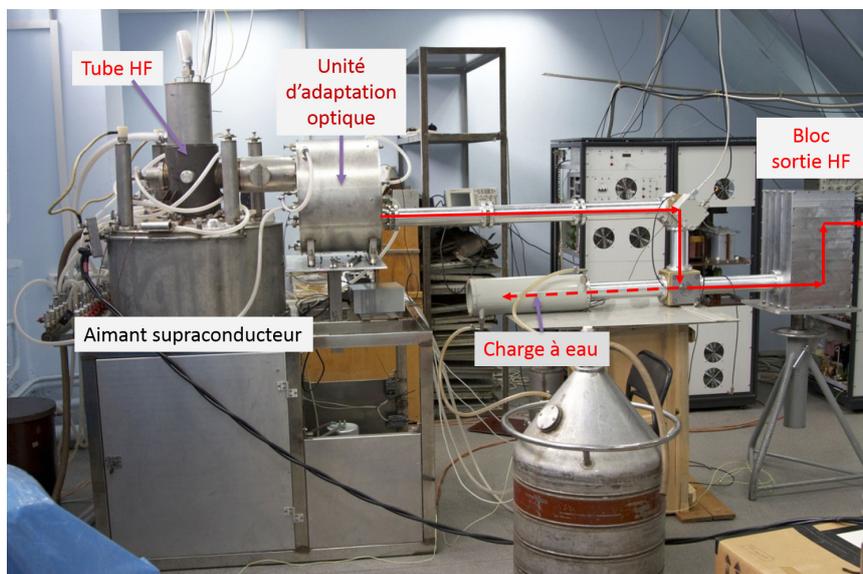


Fig. 5 : Gyrotron 300 kW 3 Hz du LPSC, installé au LNCMI par la société GYCOM.

Collaboration EMILIE

T. Lamy, J. Angot, J. Jacob, P. Sortais, T. Thuillier, P. Sole.

D. Grondin, D. Fombaron, J. Giraud, S. Roni, S. Roudier, Service d'Études et de Réalisations Mécaniques

Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, France

Laboratori Nazionali di Legnaro - INFN, Italy

Laboratori Nazionali del Sud - INFN, Italy

University of Jyväskylä, Finland

Heavy Ion Laboratory, University of Warsaw, Poland

The first objective of this European collaboration is to improve the knowledge of the phenomena involved in ECR charge breeding, especially the ones involved in the metallic ions capture. Within the same time, we performed the comparison of ECR ion sources and charge breeders efficiencies that may allow progresses in charge breeders and ECR ion sources performances.

Dans le cadre de la collaboration EMILIE (Enhanced Multi-Ionization of short-Lived Isotopes at EURISOL – contrat NuPNET) nous avons développé une source COMIC 2,45 GHz chaude ($T_{\max} = 650^{\circ}\text{C}$) dont l'objectif est de produire des faisceaux d'alcalins pour les études expérimentales avec le booster de charge. La conception mécanique a été réalisée en interne, tandis que les calculs ont été effectués par le service d'études et de réalisations mécaniques. Une étude de couplage HF a été effectuée afin de remplacer le câble coaxial d'amenée de l'hyperfréquence par un coaxial rigide supportant la température. Les aimants permanents permettant la résonance ECR ont été écartés de la cavité plasma afin de supprimer leur échauffement par conduction thermique et permettre l'installation d'un refroidissement par eau. La figure 1 montre le résultat de l'étude thermique, le point important est que la vapeur d'alcalins produite au niveau du four verra un gradient de température croissant en direction du plasma, ainsi la vapeur ne pourra se condenser sur une paroi plus froide et ceci permettra d'optimiser l'efficacité de la source. La figure 2 montre la source prête à être testée telle que réalisée en 2013. En 2014, la source sera tout d'abord testée du point de vue du couplage HF (production de faisceaux d'ions gazeux), puis des mesures de température seront faites afin de valider les simulations, enfin le développement de faisceaux d'alcalins sera effectué.

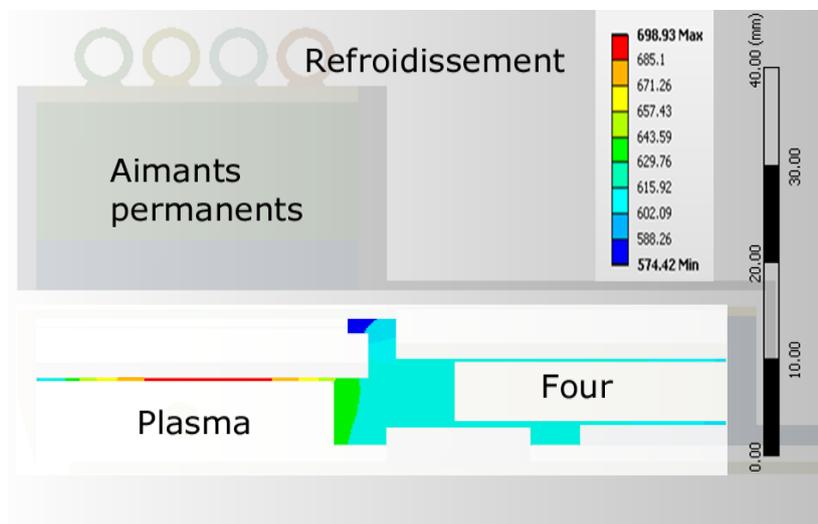


Fig. 1 : Résultat de l'étude thermique de la source COMIC chaude 650°C .

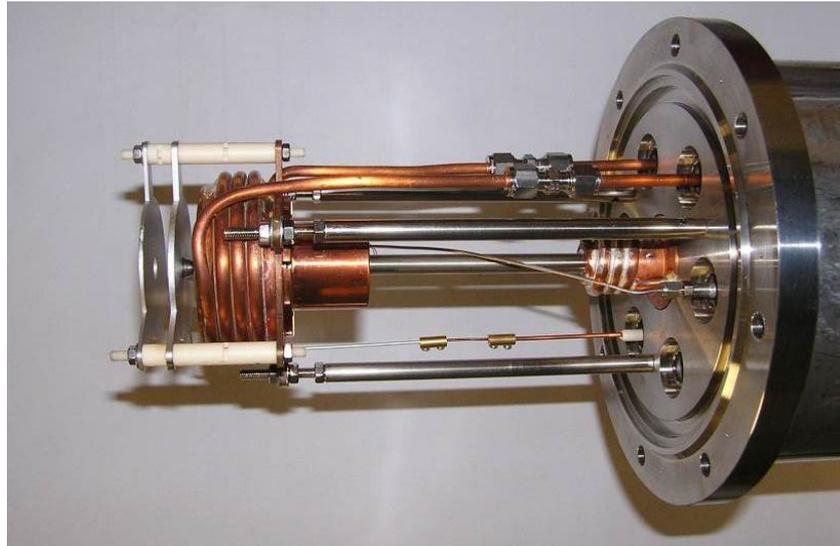


Fig. 2 : Source d'ions COMIC 2,45 GHz 650°C.

Afin d'améliorer la connaissance fondamentale du processus de capture d'un faisceau d'ions de basse énergie dans un plasma magnétisé, il est important de pouvoir injecter différents types de faisceaux, la source chaude décrite précédemment permettra de varier l'espèce chimique, tandis qu'une source présentant une plus grande densité de plasma permettra de produire des faisceaux d'ions de charges différentes. Pour cela nous avons débuté le développement d'une source de type COMIC à 5,8 GHz et de puissance moyenne (200 W). La structure magnétique de cette source, pour en limiter son coût, est formée d'aimants permanents NdFeB standards de dimensions 40 x 15 x 5 mm.

Le circuit HF est de type coaxial et a été calculé sur ANSYS-HFSS afin d'obtenir un champ électrique maximal vers l'électrode plasma de la source ou se trouve la résonance cyclotronique électronique (Fig. 3). La figure 4 montre la source telle que réalisée et prête à être testée.

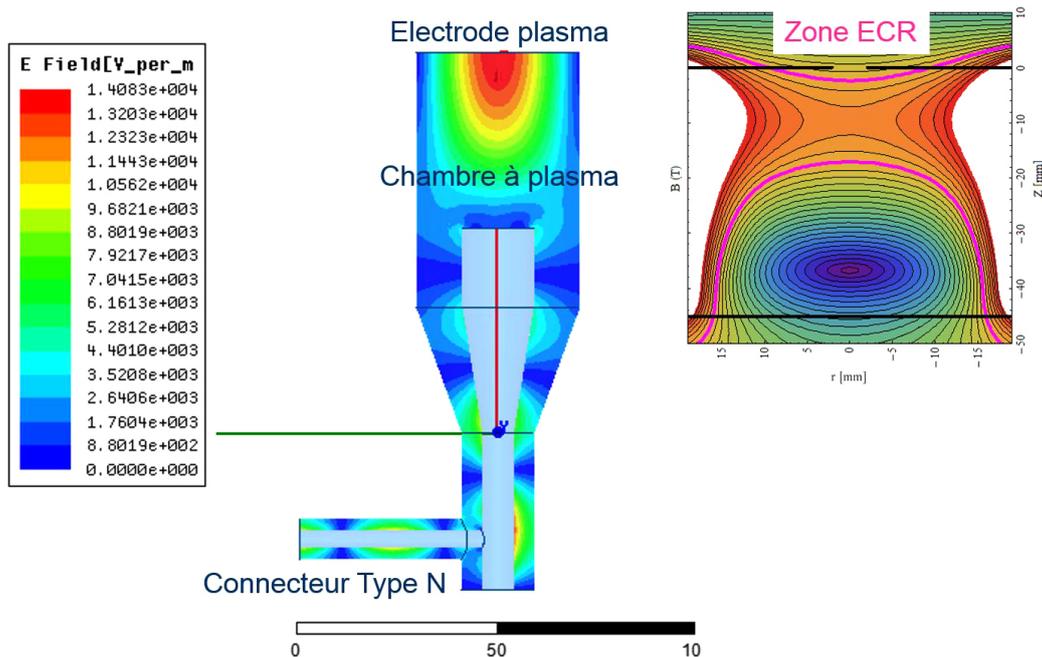


Fig. 3 : Source d'ions COMIC 5,8 GHz – simulation du couplage HF et résonance cyclotronique électronique.

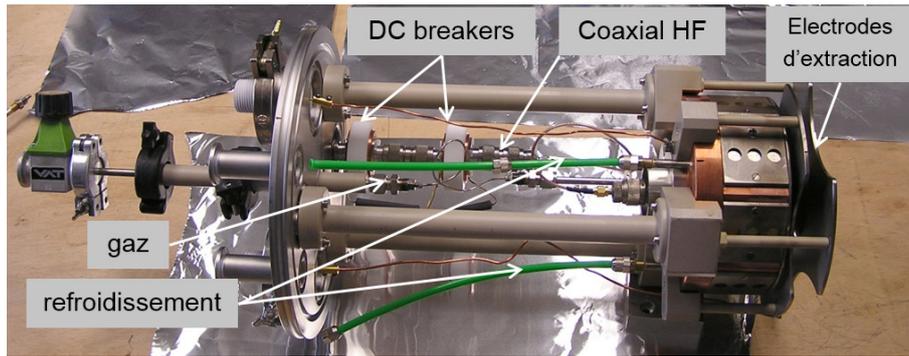


Fig. 4 : Source d'ions COMIC 5,8 GHz.

Les premiers faisceaux d'argon (Fig. 5) ont été produits en été 2013 afin de valider l'établissement du plasma, une structure à minimum-B sera construite en 2014 afin de produire des faisceaux d'ions de faible charge ($q =$ de 1 à 3 unités).

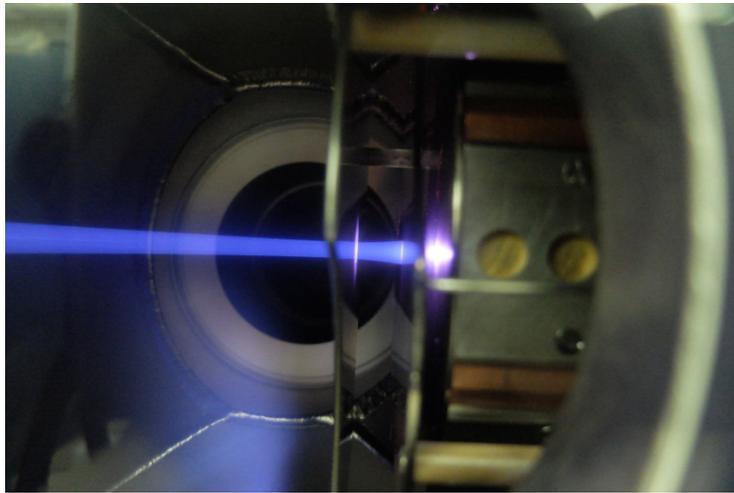


Fig. 5 : Premier faisceau d'ions Ar⁺ extraits de la source COMIC 5,8 GHz.

La ligne basse énergie du projet MYRRHA

M. Baylac, J.-M. De Conto, E. Froidefond, T. Lamy, S. Rey

P. de Lamberterie, Chargé de mission qualité

T. Cabanel, O. Zimmermann, Service Détecteurs et Instrumentation

D. Bondoux, C. Fourel, J. Giraud, Service Études et Réalisations Mécaniques

The MYRRHA project aim is the construction of an Accelerator Driven System prototype. The driver will be a 5 mA, 600 MeV linac. The Low Energy Beam Transport line (LEBT) is under construction at LPSC, including an ion source, two solenoids and a chopper. Beam diagnostics are designed to characterize the low energy deuteron beam.

MYRRHA (Multipurpose HYbrid Research Reactor for Hightech Applications) est un projet porté par le SCK-CEN, visant à réaliser un démonstrateur de réacteur nucléaire piloté par accélérateur (Accelerator Driven System ou ADS). Le cœur du réacteur, délivrant une puissance de 50-100 MWth, sera alimenté par des neutrons de spallation obtenus par l'impact d'un faisceau de 5 mA de protons sur une cible en Pb-Bi liquide. Ces protons sont délivrés en mode continu par un accélérateur linéaire supraconducteur avec le plus haut niveau possible de disponibilité de faisceau. L'accélérateur est composé d'un injecteur, redondant pour en maximiser la fiabilité, suivies de 2 sections accélératrices formées de cavités de type Spoke puis elliptiques portant le faisceau à une énergie de 600 MeV avant son transport sur la cible de spallation.

Dans la continuité des travaux menés par le LPSC sur GUINEVERE, maquette d'ADS (faisceau de 250 W, réacteur de 150 W), le laboratoire est engagé sur le projet MYRRHA. Dans une première phase de R&D dédiée à cette installation multi-mégawatts, le LPSC assure la construction, la mise en œuvre et les tests d'un prototype de la ligne de basse énergie (LEBT) de l'injecteur de protons (20 mA, 30 keV). Cette ligne a pour but de produire le faisceau de protons et de le mettre en forme pour son accélération dans le quadrupôle radiofréquence de l'injecteur. Elle comprend une source d'ions, fournie par un industriel, des éléments magnétiques combinés pour la focalisation et le guidage de faisceau, des diagnostics, un système de déviation rapide de faisceau (chopper), du pompage, un arrêt de faisceau et un système de contrôle-commande. La conception mécanique de la LEBT est en cours d'achèvement :

- Après définition, les éléments magnétiques sont en cours d'approvisionnement.
- La conception de l'arrêt de faisceau a été validée par des études thermiques.
- Un système de 4 fentes indépendantes pour l'ajustement réglable de l'extension spatiale transverse du faisceau a été conçu.
- Des diagnostics permettront la mesure de l'émittance et du profil des faisceaux.
- Après dimensionnement, les équipements du système de pompage ont été commandés. Le SCK est responsable de la conception et de la construction du chopper. Le développement du système de contrôle-commande de la ligne est mené par une collaboration entre le LPSC et un industriel. Un site a été aménagé pour accueillir la ligne qui sera caractérisée au laboratoire avant son transfert vers la Belgique. Cette ligne permettra d'étudier les faisceaux hadroniques de basse énergie, région particulièrement déterminante dans le transport des faisceaux intenses. Au-delà du projet MYRRHA, ces études bénéficieront à

tous les accélérateurs de hadrons de forte puissance actuels et futurs (ESS, SPIRAL2, FAIR...). Le programme expérimental est actuellement en cours de définition.

Pour en savoir plus

Site web MYRRHA: <http://myrrha.sckcen.be/>.

Contrat de fabrication de nappes polaires

M. Baylac, E. Froidefond

LPSC is in charge of the contract for the production and test of the 120 pole face windings for the main dipoles of the CERN PS. This contract has been closed in September 2013.

Dans le cadre de la contribution exceptionnelle de la France au CERN, l'accord technique n°5, financé grâce au Grand Emprunt, inclut la fourniture de 120 bobines de correction, les « nappes polaires », destinées aux corrections de champs des aimants dipolaires à fonctions combinées de l'accélérateur PS (Proton Synchrotron) du CERN. Ces nappes polaires sont des bobinages de cuivre moulés fournissant une correction de champ quadripolaire. Ces nouvelles bobines sont destinées à pallier toute panne de ces éléments primordiaux dans la fourniture de faisceau par le PS au LHC. Le cahier des charges, repris des anciennes fabrications, a été révisé afin d'améliorer la qualité de fabrication et ainsi d'augmenter la fiabilité des nappes polaires.

Le contrat conclu avec la société SigmaPhi, basée à Vannes (Bretagne), s'est terminé au mois de septembre 2013, après une fabrication longue et problématique. La réalisation des nappes polaires réclame en effet une grande maîtrise technique. La finesse de l'objet et la sévérité des essais obligent à respecter strictement les cotes et contraintes de fabrication, tant lors de la réalisation des bobines que lors du moulage de celles-ci. Le temps de formation des opérateurs recrutés pour ce contrat est donc très long afin d'obtenir la stricte maîtrise des procédures de fabrication, ce qui ne va pas sans un taux de pertes élevé.

L'amélioration de la qualité des nappes polaires fournies a nécessité la fabrication de cinq préséries afin de corriger certains défauts. Malgré cela, la réalisation de la série a révélé des problèmes techniques supplémentaires lors de la formation des opérateurs, nécessitant parfois d'apporter des précisions dans la description des procédures.

Durant toute la durée de ce contrat, près d'une centaine de visites à l'usine auront été nécessaires afin d'assurer un suivi conforme à cette fabrication exigeante. L'aide apportée par Subatech, depuis Nantes, pour assurer ce suivi a été déterminante par la qualité du personnel dédié.

Ce travail a été complété par l'étude et la réalisation d'un banc d'essai automatisé. Il sert à la réalisation des essais de réception au CERN, mêlant mesures de précision et hautes tensions. Le but étant de vérifier que les nappes n'ont pas subi de dommage pendant le transport, ce banc ne reproduit qu'une partie des essais réalisés par l'industriel.

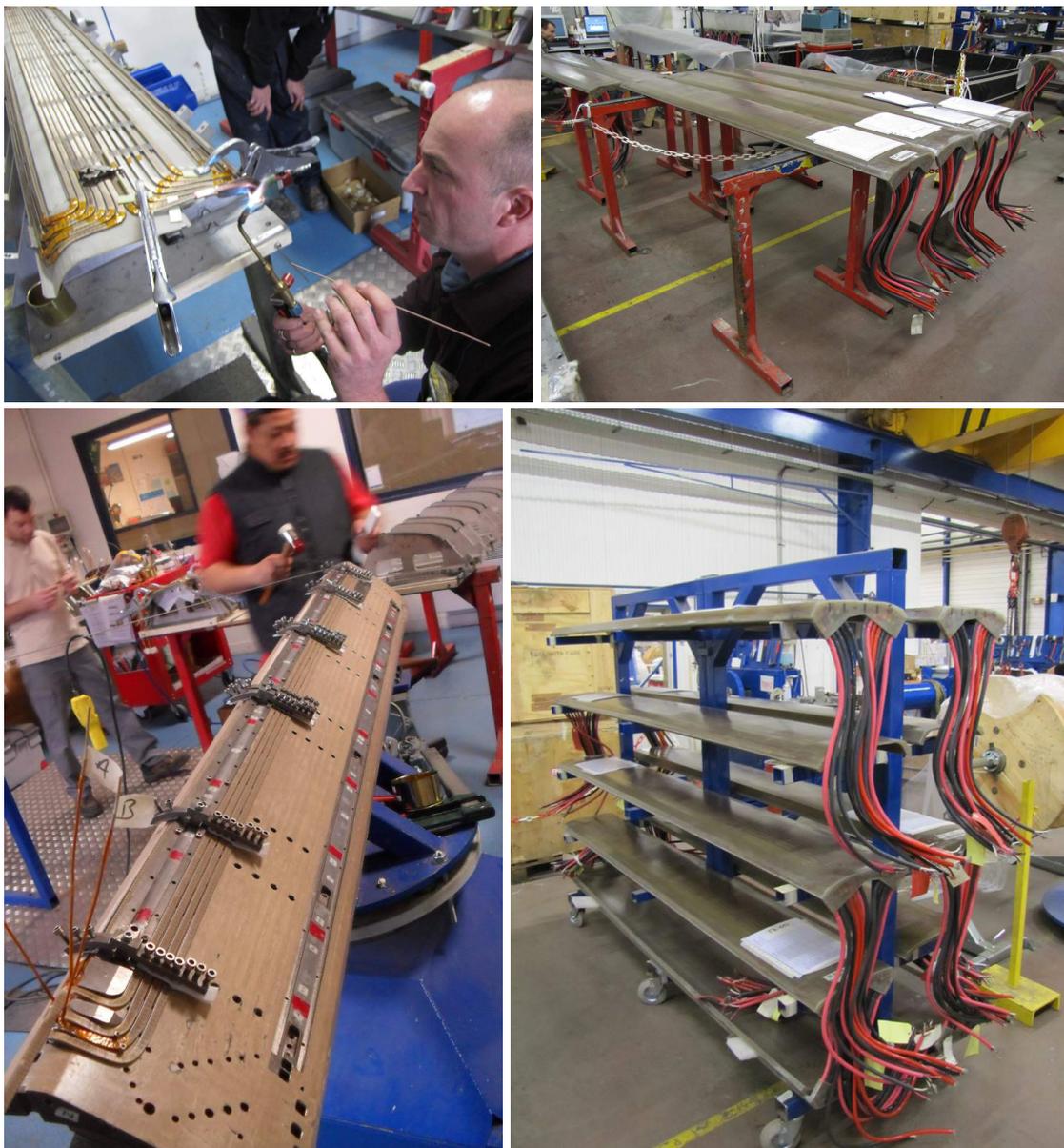


Fig. 1 : Réalisation des nappes polaires pour le CERN-P.

Autres projets et activités

M. Baylac, J.-M. De Conto, N. Monseu

Three additional activities are led at LPSC: fundamental studies of the beam polarization in the SUPERB project, networking activities within FP6 (RFTECH) and support for industry inside the laboratory buildings.

Études pour le projet SUPERB

L'étude du transport de la polarisation du faisceau a fait l'objet d'un travail de thèse. Dans un anneau de stockage, où les effets de rayonnement sont importants, la polarisation obtenue dépend directement du champ invariant de spin (ISF), qui est un invariant global sur un tour, et qui est défini sur l'espace des phases à 6 dimensions de la machine. Sa détermination permet de déduire la polarisation du faisceau en y incorporant les expressions analytiques du rayonnement synchrotron. Le but de la thèse était de montrer que méthode classique de tracking de particules, incorporant la dynamique du spin, permettait de reconstruire cet invariant de manière numérique et dans des champs réalistes (par opposition aux modèles du type lentilles minces ou champs à bord franc) et pour des trajectoires quasi-périodiques. Une méthode de moyenne de construction de l'ISF a été mise en œuvre avec succès, montrant notamment que le transport rétrograde permettait de s'affranchir de la périodicité non-strict.

RFTECH

RFTECH est une activité de réseau financée dans le cadre de FP6 et incluant de nombreux laboratoires européens. Cette activité a été coordonnée par le LPSC. Elle consistait à l'organisation de workshops annuels (Hambourg, Villigen, Rostock et Annecy) regroupant de 20 à 30 participants. Elle a permis de faire la synthèse sur les différentes problématiques de la radiofréquence accélérateurs : modélisation et calculs, systèmes de puissance (amplificateurs à état solide notamment), architecture micro-électronique, électronique de bas niveau, etc. Elle a permis de réunir les différentes communautés, domaines et projets confondus. Elle a permis le support à la participation à de nombreuses conférences comme la conférence MIXDES ou celui de nombreux workshops (International Low-Level RF workshop par exemple).

Essais d'accélérateurs industriels au LPSC

Depuis 2012, l'équipe des accélérateurs du LPSC met à disposition des locaux pour les essais de mise en service d'accélérateurs linéaires intenses d'électrons conçus par un industriel (PMB). Ces machines sont dédiées à la génération de hautes doses de rayons X (jusqu'à 30 Gy/min). La mise en œuvre de ces machines requiert donc un important niveau de blindage qui n'est, à l'heure actuelle, pas disponible auprès de la société développant ces accélérateurs.

La casemate du cyclotron de SARA, accélérateur à l'arrêt depuis 1997, fournit des locaux parfaitement adaptés en termes de blindage au fonctionnement de ces accélérateurs intenses. La casemate a été aménagée pour permettre l'installation et la mise en œuvre de ces machines. Depuis, plusieurs machines ont été accueillies pour des essais de mise en service.



Figure 1 : Accélérateurs linéaires à électrons en tests dans la casemate du cyclotron SARA.

Plateformes technologiques et d'enseignement

Les plateformes technologiques et d'enseignement sont des zones géographiques, propres au laboratoire, où se trouvent des équipements scientifiques et techniques pour mener à bien des programmes d'enseignement, de recherche ou de valorisation avec des acteurs extérieurs au laboratoire. Pour les industriels souhaitant développer de nouvelles technologies ou de nouveaux composants ces plateformes sont autant de portes d'entrées vers les compétences et le savoir-faire du laboratoire. À chacune de ces zones géographiques, correspond un cadre juridique permettant de réglementer ces interventions extérieures par une charte qui garantit les propriétés physique et intellectuelle des travaux effectués.

Le LPSC compte deux plateformes d'enseignement et trois plateformes technologiques :

- Enseignement :
 - Plateforme Internationale des Procédés Plasmas Avancés (IAP3).
 - Plateforme de physique nucléaire.
- Recherche :
 - Plateforme Internationale des Procédés Plasmas Avancés (IAP3).
 - Plateforme de fluorures liquides.
 - Le nœud de grille de calcul.

Les actions menées et les opérations accomplies sur ces plateformes lors de ces deux dernières années attestent de l'activité de ces structures. Concernant l'enseignement, les plateformes IAP3 et de physique nucléaire ont respectivement assuré la formation de 60 étudiants grenoblois et stagiaires en physique des plasmas et 500 en instrumentation nucléaire (Grenoble INP et Université Joseph Fourier).

Côté recherche, la plateforme IAP3 a engagé plusieurs contrats de collaborations avec des industriels. La plateforme de fluorures liquides est, quant à elle, engagée dans l'étude d'un procédé de nettoyage du combustible du réacteur MSFR. Cette étude expérimentale a nécessité la construction d'une boucle de sel fondu circulant en convection forcée (projet FFFER: Forced Fluoride Flow for Experimental Research). Et enfin, le nœud de grille est désormais qualifié Tier-2 depuis l'été 2011 et a contribué aux prises de données des expériences ATLAS et ALICE à hauteur de plus de 200 Po (200×10^{15} octets) de données qui ont été traités, distribués et analysés grâce à cette plateforme. Une partie de la puissance de calcul (< 10%) est ouverte à d'autres activités que celles du LHC.

Plateforme IAP3

A. Lacoste, S. Béchu, A. Bès, L. Bonny, H. Le Quoc, R. Maurau
S. Roni, S. Roudier, Service des Études et Réalisations Mécaniques
G. Marcotte, D. Tourres, Service Électronique

The International Platform for Advanced Plasma Processing (IAP3) includes up to date plasma equipments devoted to three objectives: 1) Education: technical courses for initial and continuous training; 2) Research: interface between laboratories for pluri-disciplinary research such as co-tutoring PhD, research projects, national and international partnerships (e.g. with Quebec and Vietnam); 3) Transfer of Technology: interface with industrial R&D laboratories in order to promote the plasma technologies and processes developed at CRPMN¹.

Contexte

La Plateforme Interuniversitaire des Procédés Plasmas Avancés (IAP3) a été créée en 2001 avec, pour triple vocation :

- Formation pratique en plasma au niveau Master2 pour les filières de formation de l'Université Joseph Fourier (UFR de Physique et Polytech) et de Grenoble INP (PHELMA² et Département Formation Continue).
- Rôle d'interface entre laboratoires pour des recherches pluridisciplinaires (e.g. thèses en co-tutelle).
- Rôle d'interface entre laboratoires et industriels pour favoriser les transferts technologiques (contrats, accueil d'équipes R&D, projets ANR, projets européens).

Avec la création du LIA-LITAP³ en 2007, la plateforme IAP3 s'intitule désormais « Plateforme Internationale des Procédés Plasma Avancés », dénomination plus appropriée à sa nouvelle vocation internationale.

Actuellement, les responsabilités scientifique et technique de la plateforme sont assurées par le CRPMN. La plupart des installations disponibles sur la plateforme IAP3 sont dédiées à la recherche académique et/ou à la valorisation, ainsi qu'à l'enseignement.

Cette plateforme, récemment labellisée par la MRCT⁴ au titre de ses 22 réseaux de compétences, est hébergée au LPSC et au LPCI⁵ au Mans. Cette structure unique en France permet aussi bien à des universitaires que des industriels d'effectuer des traitements de surface sur des échantillons plans, tri-dimensionnel ou même des poudres grâce à 5 réacteurs plasma. Un suivi des traitements peut être effectué in-situ ou ex-situ.

L'accès à ces installations est réglementé au travers d'une charte d'utilisation co-signée par le CNRS, l'UJF et la MRCT.

¹ Le Centre de Recherche Plasma-Matériaux-Nanostructure est un groupe de recherche du LPSC.

² École d'ingénieurs en PHysique, ÉLectronique et MATériaux de l'INP - Grenoble.

³ Laboratoire International des Technologies Plasmas.

⁴ Missions Ressources et Compétences Technologiques UPS 2274.

⁵ Laboratoire Polymères Colloïdes Interfaces – Le Mans UMR 6120.

Équipements

Dispositifs plasma

Réacteur plasma multi-dipolaires (LPSC - Grenoble).

- Dépôt par pulvérisation et co-pulvérisation assistée par plasma (PAPVD) par dépôts de Si_3N_4 , Er-Ni, NiMnGa, VO_2 ...

Réacteur DECR⁶ (LPSC - Grenoble).

- Implantation ionique par immersion plasma 0-50 keV (PI^3) pour couche de TiN, AlN, TiO, MgH_2 ...

Réacteur matriciel (LPSC - Grenoble).

- Dépôt PACVD de SiOCH...
- Gravure de résine photosensible pour MEMS.

Réacteurs magnétron (LPSC - Grenoble).

- Dépôt par pulvérisation magnétron de Cr pour masques de gravure destinés à la microélectronique.

Réacteur plasma domaine opératoire étendu (LPSC - Grenoble).

- Gravure de Si, Ge, Sn et de polymères.
- Traitement de surface : hydruration de couche de ZnO pour application photovoltaïque.

Réacteur à usage mutualisé avec le laboratoire PCI (Polymères, Colloïdes, Interfaces - Le Mans).

- Traitement de poudres.

Bancs de mesures et de test

- Spectroscopie d'émission optique (in-situ).
- Caractérisation électrostatique par sonde de Langmuir (in-situ).
- Banc de mesure de tension superficielle (ex-situ).
- Banc de mesures micro-onde (ex-situ).

Actions menées sur la plateforme IAP3

Prestations industrielles :

- HEF (42166 Andrézieux Bouthéon) : Essai et validation d'un procédé de nettoyage plasma de parois de réacteur, conception de sources optimisées pour le dépôt de DLC (FUI DLC² - THALES – RENAULT – PSA).
- SAGEM Défense Sécurité (95101 Argenteuil) : Essai d'enlèvement de résine en plasma O_2 .
- THALES (74200 Thonons les Bains) : Conception, mise au point et optimisation d'un réacteur plasma pour le nettoyage de pièces mécaniques, dépôts de couches minces de Si.

Collaboration pour le développement de sources pour la dépollution.

VALEO (92000 La Verrière) : Élaboration de couches à propriétés thermoélectriques.

⁶ Distributed Electronic Cyclotron Resonance

Prestations académiques :

- Institut Néel : Élaborations de matériaux en couches minces pour le stockage d'Hydrogène, propriétés thermoélectriques, etc.
- LMGP : Nettoyage et préparation plasma de surfaces avant croissance de nano-fil.
- ILL : Élaboration d'un procédé de dépôt de couches de B4C pour la détection de neutrons.
- LPSC : Développement d'un procédé de dépôt de couches de B pour la détection de neutrons ultra froids. Élaboration de contacts ohmiques sur diamant pour la réalisation de détecteurs (ANR MONODIAM).

Enseignement :

Chaque année, une cinquantaine d'étudiants (formations initiale et continue) suivent des séances de travaux pratiques plasma sur cette plateforme. Sont concernés les élèves de Grenoble INP, Polytech Grenoble et du Master plasma de l'UJF.



Fig. 1 : Réacteur de gravure plasma à conditions opératoires étendues. Ce réacteur a été développé dans le cadre du programme ANR émergence « APANAGE » et inauguré le 31 janvier 2013 au LPSC.

Réalisations mécanique et électronique

Le service mécanique a été impliqué dans la réalisation des corps de réacteur pour la plateforme et pour la société Thales, ainsi que pour l'usinage de prototype de source plasma.

Le service électronique a quant à lui été mis à contribution pour la conception, la réalisation et le développement d'un dispositif, appelé « Què Æo », de caractérisation des paramètres plasma (potentiels, densités, température des électrons, FDEE) par sonde de Langmuir.

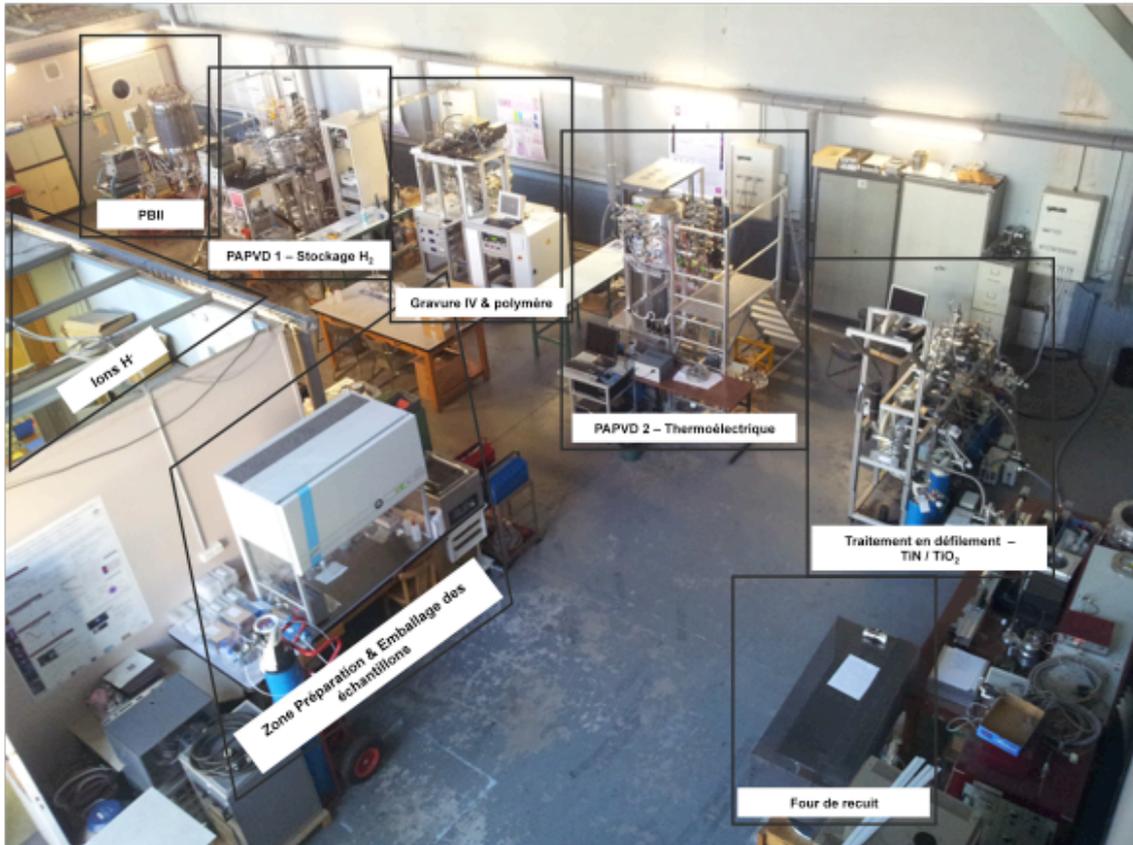


Fig. 2: Vues de détail des réacteurs plasma de la plateforme IAP3 au LPSC.

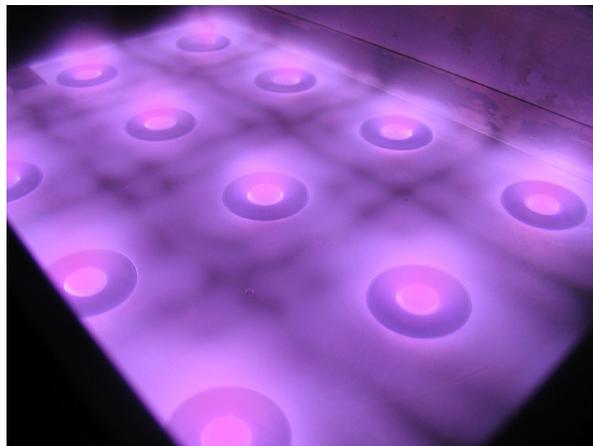


Fig. 3: Plasma matriciel d'argon excité par 12 sources individuelles pour des pressions de fonctionnement comprises entre ~ 1 Pa et ~ 500 Pa et des puissances micro-onde comprises entre 20 W et 200 W par source. Ce réacteur fonctionne depuis 6 ans sur la plateforme IAP3.

Plateforme de physique nucléaire

*Enseignants-Chercheurs, moniteurs, vacataires, chercheurs CNRS
Service Détecteurs et Instrumentation
Service Électronique
Service Informatique*

The “plateforme de physique nucléaire” is an experimental platform dedicated to education in nuclear science. The facility, located in the LPSC building, is the unique centre for experimental education in nuclear science in Grenoble and is commonly shared and managed by the two universities - UJF and Grenoble INP.

Contexte

La Plateforme de physique nucléaire est le centre unique de formation en physique expérimentale nucléaire sur le pôle grenoblois, elle a donc un rôle central dans l'ensemble des formations les utilisant. Elle est le résultat de la mutualisation des travaux pratiques de l'UJF et de Grenoble INP au sein d'une plateforme commune d'enseignement qui est basée dans les locaux du LPSC.

Les enseignements expérimentaux réalisés sur cette plateforme ont pour objectifs à la fois l'acquisition de connaissances en physique fondamentale (physique nucléaire et physique des particules), en physique appliquée (médecine, énergie/radioprotection) et physique instrumentale (détecteur, système de déclenchement, système d'acquisition et analyse de données). Au sein de la plateforme on dispose aussi d'une salle avec 10 postes informatiques pour la simulation du pilotage de réacteurs nucléaires REP 1300 MW utilisant le logiciel SIREP (développé par la société CORYS).

Les formations utilisant la plateforme sont :

- M1 de physique et ITDD (UJF/Physique).
- M2 PSA et ITDD (UJF/Physique).
- M2 physique bio-médicale (UJF/Médecine).
- M2 pro radioprotection (UJF/Médecine).
- Génie Énergétique et Nucléaire (INPG).
- Instrumentation Physique (INPG).
- Instrumentation pour les biotechnologies (INPG).

La plateforme bénéficie du soutien des services techniques du laboratoire dans la maintenance des expériences proposées aux étudiants et pour des développements spécifiques. Les travaux pratiques sont en constante évolution pour s'adapter aux nouveaux enseignements et aux filières utilisant la plateforme. On peut par exemple citer la mise en place d'une nouvelle expérience destinée aux étudiants de Master 2 dont l'objectif est de mesurer la durée de vie dans le vide de l'orthopositronium qui est un état lié positron-électron.

Plateforme fluorures liquides

V. Ghetta, M. Allibert

J. Giraud, J.-C. Malacour, J. Menu, S. Roni, Service des Études et Réalisations Mécaniques

M. Heusch, O. Zimmermann, Service Détecteurs et Instrumentation

P. Cavalli, E. Lagorio, G. Marcotte, Service Électronique

Taking advantages of the pre-existence of an equipment dedicated to salt mixtures preparation and small to medium sized experimentations (group of three well equipped glove boxes under controlled atmosphere), a more ambitious project has been built related to MSFR (Molten Salt Fast Reactor) study. The objectives of this project were to develop experimental work on on-line cleaning technics (bubbling) for the reactor and to gather a technical team able to ensure further technical R&D with fluoride salt. That needs manpower with various abilities and recovery of lost molten salt handling knowledge. The current work is focused on the construction of a forced convection molten salt loop (FFFER project: Forced Fluoride Flow for Experimental Research). This project comprises the improvement of all associated technics (flow and level measurements, separating valves, etc.) and work on water and plexiglass mock-up.

Introduction

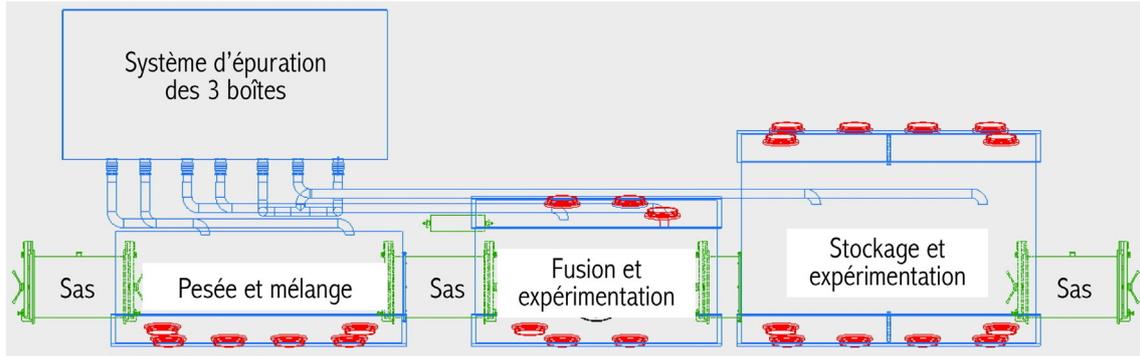
Cette plateforme est dédiée aux expérimentations mettant en jeu des composés de type fluorures à l'état liquide ou solide et regroupe des aspects complémentaires :

- Élaboration et mise en forme de mélanges de différents fluorures (LiF, NaF, KF, CaF₂, ZrF₄, etc.).
- Construction de dispositifs expérimentaux dédiés à l'étude et à la mise en œuvre des fluorures liquides.

Les projets en cours portent sur un procédé de nettoyage du combustible du réacteur MSFR. Il s'agit d'un traitement de bullage en ligne, destiné à être effectué en continu et qui a pour objectifs d'extraire une partie des gaz de fission formés lors du fonctionnement du réacteur et de limiter le taux de particules solides en suspension dans la circulation. L'étude expérimentale nécessite la construction d'une boucle de sel fondu circulant en convection forcée (projet FFFER : Forced Fluoride Flow for Experimental Research).

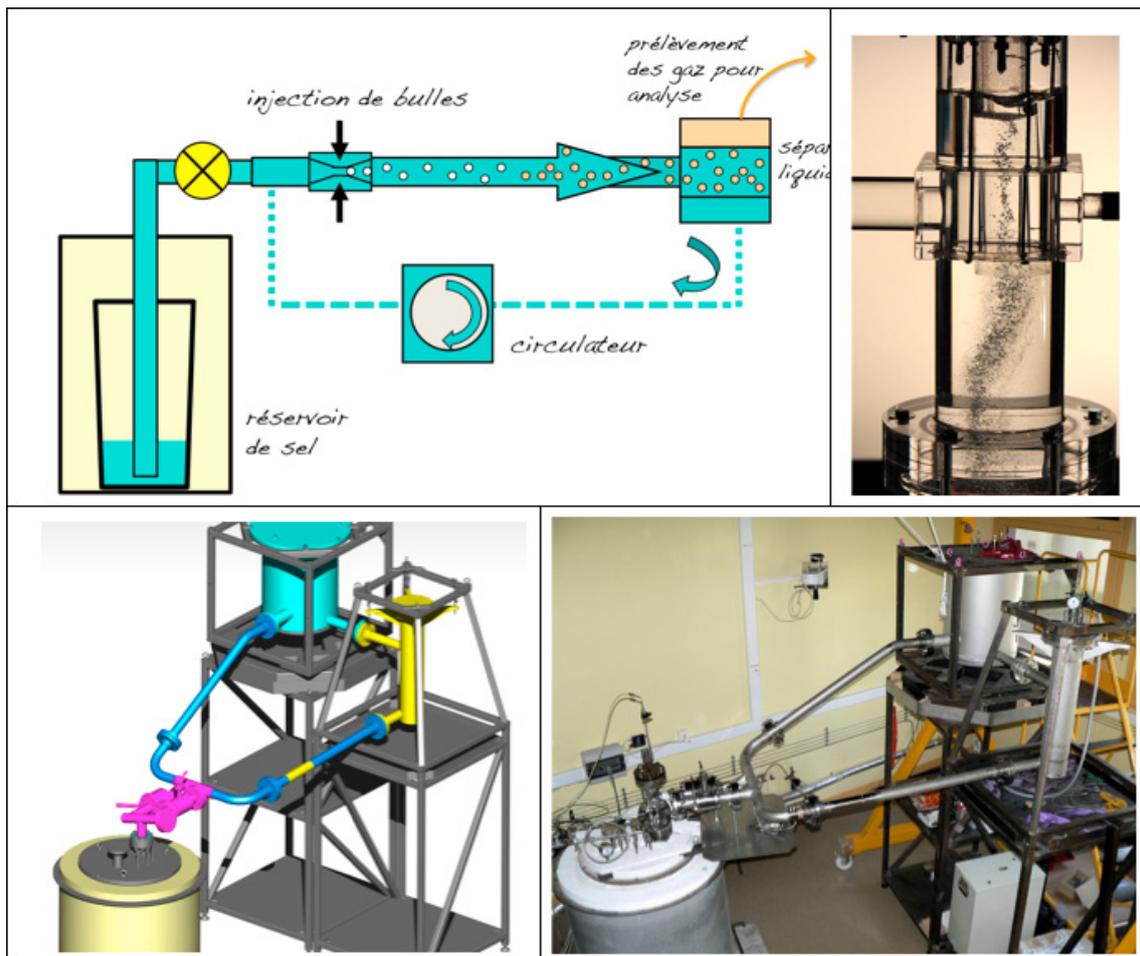
Expérimentation en boîtes à gants

La chaîne de trois boîtes à gants sous atmosphère contrôlée (vapeur d'eau et oxygène) de la plateforme permet d'effectuer des préparations de fluorure en quantité importante (lingots d'environ 15 cm de haut sur 16 cm de diamètre à partir de mélange de poudre en une seule fusion). Le mélange salin qui est utilisé pour la boucle a été fabriqué dans cette installation. Des expériences de petites tailles peuvent y être installées (tests de mesures par ultrason en mode statique, système à électrode tournante pour mesure de l'oxygène dissous, etc.).



Projet FFER

Le projet est bâti autour de la construction d'une boucle de circulation de fluide liquide. Il regroupe des développements techniques très diversifiés : conception d'ensemble par le bureau d'étude, réalisation à l'atelier du laboratoire, mise au point sur maquettes hydrauliques de la partie séparation liquide/gaz, réalisation du contrôle commande, réalisation de capteurs de niveaux, étude d'un système de vanne à cristallisation (bouchon froid), essais de mesures de débit par ultrasons, réalisation du circulateur, etc. L'ensemble est dans la phase d'assemblage final.



Illustrations : Schéma de principe de la boucle ; vue de la maquette en eau du séparateur liquide/gaz en cours de fonctionnement ; schéma d'ensemble simplifié ; vue de la boucle lors du montage provisoire effectué pour le raccordement des tubulures.

Le nœud de grille du LPSC

S. Crépe-Renaudin

B. Boutherin, C. Biscarat, C. Gondrand, Service Informatique

The LPSC grid node was created in 2008 to contribute to data processing and analysis of the ATLAS and ALICE Large Hadron Collider (LHC) experiments as a Tier-3 of the worldwide LHC Computing Grid (WLCG). Since then the site CPU and storage capacities have been multiplied by more than a factor ten. The site has moreover demonstrated its ability to deliver a high quality of service to the LHC experiments so that it has been accepted by WLCG as a Tier-2 site in 2011 and is integrated in the LHCONE network since 2013. On top of the LHC activities, the site has been progressively opened to other scientific fields from LPSC as well as other local or international ones.

Contexte

Le nœud de grille du LPSC a été mis en place en 2008 pour répondre à la demande du groupe ATLAS du LPSC de participer au traitement des données de l'expérience ATLAS auprès du Large Hadron Collider (LHC). Dans un premier temps, le site a été ouvert aux expériences ATLAS et ALICE du LHC auxquelles participe le LPSC. Le LPSC a ainsi rejoint la grille de calcul du LHC (WLCG : « Worldwide LHC Computing Grid ») en tant que site de niveau Tier-3. À l'été 2011, la collaboration WLCG a validé le passage au niveau Tier-2 du nœud du laboratoire.

Les capacités de calcul et de stockage du site ont régulièrement augmenté et le site a fait la preuve de sa fiabilité et de son efficacité. Avec le démarrage des prises de données des détecteurs du LHC en 2010, les expériences ATLAS et ALICE ont déjà produit plus de 200 Po de données qui ont été traitées, distribuées et qui sont analysées grâce à la grille de calcul. Le site du LPSC a participé à cet effort depuis sa création.

Parallèlement aux développements des activités grille autour du LHC, le site s'est progressivement ouvert à d'autres acteurs en lien avec des activités de recherche du LPSC ou des activités locales et régionales. Ces activités hors LHC représentent moins de 10% de la puissance de calcul délivrée par le site, elles sont dotées d'un espace de stockage spécifique sous iRods pour la plupart d'entre-elles.

Le nœud de grille du LPSC

Infrastructure

Le nœud de grille du LPSC se trouve dans la salle informatique du laboratoire, qui permet l'hébergement de huit baies 42 U avec une puissance électrique disponible de 120 kW. La salle dispose d'un onduleur (30 kVA) pour les services critiques et d'un système de refroidissement par « free cooling » particulièrement fiable, d'une puissance de 100 kW.

Le nœud de grille occupe aujourd'hui cinq des huit baies disponibles dans la salle informatique du LPSC. Sa capacité de calcul est constituée de 95 serveurs, correspondant à 852 cœurs d'une puissance totale de 9220 HEP-SPEC 06⁷. Quant

⁷ <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/FIOgroup/TsiBenchHEPSPEC>

au stockage, 21 serveurs offrent une capacité de 785 To utilisable sous le « Disk Pool Manager » DPM⁸. Les évolutions de la puissance de calcul et de stockage depuis 2008 sont représentées sur la figure 1. Les achats effectués fin 2013 ne sont pas pris en compte sur cette figure.

Pour les activités de grille hors LHC deux serveurs de stockage iRods ont été mis en place dans la période 2011-2013 pour les applications qui n'utilisent pas DPM. Ils offrent une capacité utilisable de 60 To.

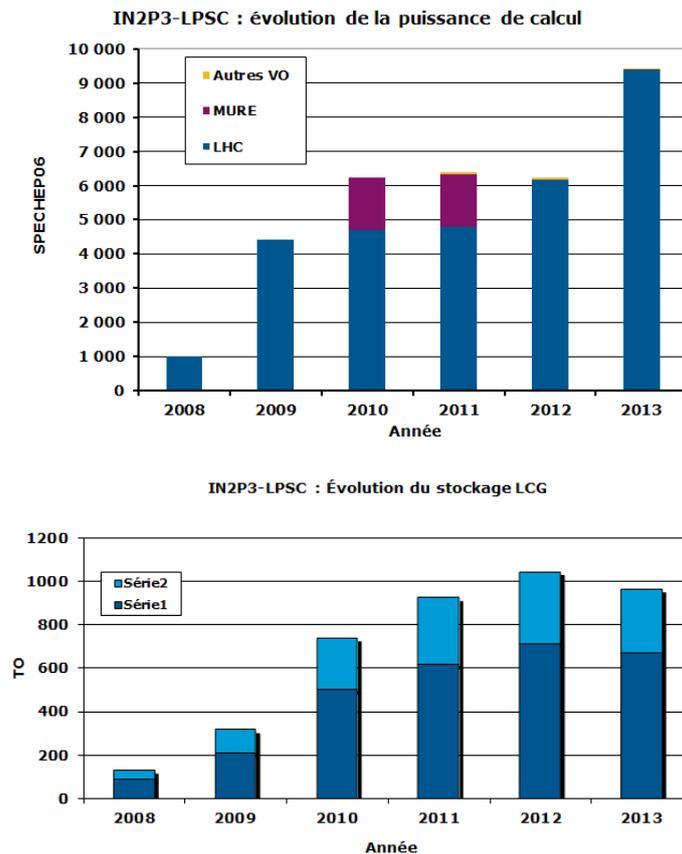


Fig. 1 : Évolution de la capacité de calcul et de stockage du nœud de grille du LPSC (en bleu foncé, la capacité utilisable telle que vue par DPM). Les matériels installés au dernier trimestre 2013 ne sont pas pris en compte.

Les services de grille disponibles au LPSC sont répartis sur une architecture virtualisée basée sur trois serveurs VMWARE ESX. Cette architecture a été mise en place fin 2013. Le Tier-2 du LPSC dispose d'un BDII⁹ « Database Information Index » pour le site, de deux CREAM-CE « Computing Elements », de plusieurs UI « User Interface », d'une VOBOX, d'un serveur DPM « Disk Pool Manager » et d'un serveur XRootD. Les configurations de l'ensemble des services sont déployées via Quattor¹⁰.

L'ensemble de la grille est surveillé via le serveur NAGIOS du LPSC.

Le réseau

Le cœur du réseau local est basé sur deux commutateurs CISCO NEXUS 5010 dotés de 40 ports à 10 Gbits/s. Le LPSC étant situé sur le polygone scientifique

⁸ <https://svnweb.cern.ch/trac/lcgdm/wiki/Dpm>

⁹ <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/EGEE/BDII>

¹⁰ <http://quattor.sourceforge.net>

de Grenoble, la connexion à RENATER, dont le point de présence est sur le campus de Saint-Martin-d'Hères, se fait via le réseau métropolitain Metronet. Fin septembre 2012, le réseau du LPSC est passé de 1 à 5 Gbits/s. Par la suite un VLAN dédié a été obtenu pour la grille de calcul qui a permis d'atteindre un taux de transfert de 10 Gbits/s. Ceci a permis de connecter le nœud de grille du LPSC au réseau LHCONe qui donne des accès privilégiés aux autres sites de WLCG (la figure 2 montre l'évolution très nette des transferts réseaux au moment du passage à 5 Gbits/s).

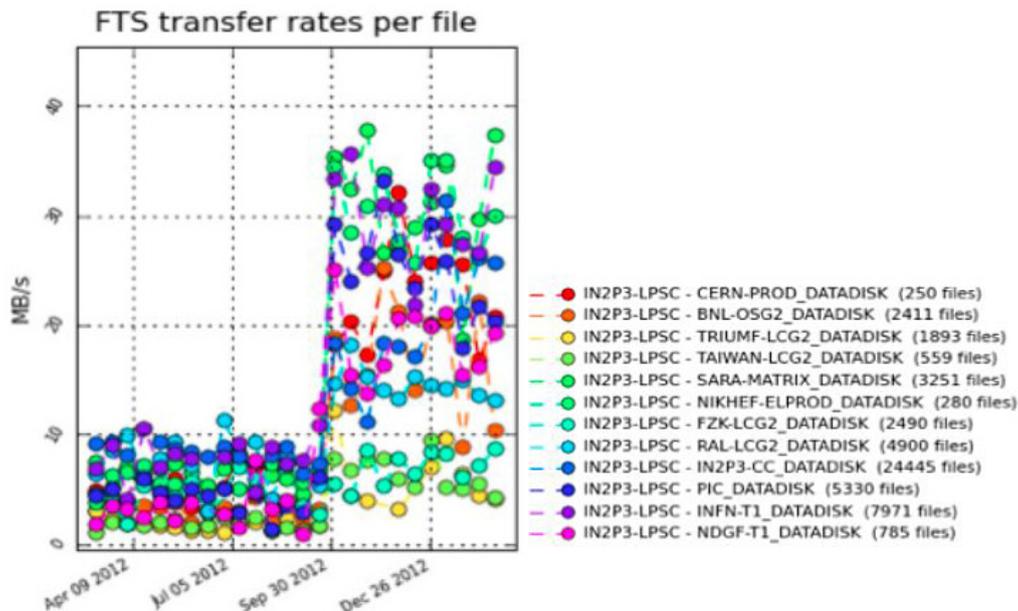


Fig. 2: Évolution des taux de transfert du LPSC vers les Tier-1 d'ATLAS, mesuré par ATLAS pour des fichiers de plus de 1 Go, au moment du passage à 5 Gbits/s.

Le personnel

Les activités du LPSC étant structurées sous forme de projet, la plateforme technique du Tier-2 du LPSC possède une responsable scientifique, S. Crépé-Reinaudin, et une responsable technique, C. Gondrand. Parmi les membres du service informatique qui permettent le bon fonctionnement du site, on notera que trois ingénieurs travaillent quotidiennement sur le projet pour l'équivalent d'un temps plein. L'activité principale du site étant le calcul LHC, un physicien pour chacun des groupes LHC du laboratoire fait le lien entre le site et les besoins des groupes ALICE et ATLAS.

Les activités du site

Le site du LPSC est principalement utilisé pour le calcul LHC. Les premières Organisations Virtuelles (VO) à y être installées ont donc été, outre les VO Ops et dteam permettant de tester le bon fonctionnement du site, les VO ATLAS et ALICE. Les activités grille de ces deux expériences sont décrites respectivement dans les parties *Hadrons et Noyaux* et *Quarks et Leptons* de ce rapport.

Depuis, le site s'est ouvert à d'autres disciplines, qu'elles soient nationales (VO France-Grille, et formation France-Grille) régionales (VO Rhône-Alpes, EU-MED pour les pays méditerranéens), ou qu'elles correspondent à des besoins d'équipes de recherche du LPSC (VO MURE dédiée à la simulation de réacteur nucléaire, VO Biomed pour l'imagerie médicale).

Une collaboration s'est engagée autour des grilles de calcul et de l'informatique verte entre le service informatique du LPSC et le groupement de laboratoire pour le calcul intensif CIMENT¹¹. CIMENT vise au développement de projets de calcul de type méso-centre au sein des universités grenobloises. Les thématiques scientifiques de CIMENT regroupent des domaines variés tels que la climatologie, la chimie, éloignés de ceux du LPSC. CIMENT a déployé une grille de calcul exploitée via l'intergiciel CIGRI qui permet de fédérer plusieurs sites. Sur cette grille les sites sont exploités en mode opportuniste, permettant ainsi une meilleure utilisation des ressources.

Pendant la période 2011-2013 le LPSC a eu plusieurs projets qui ont bénéficié des ressources de la grille CIMENT dans ce mode. Ainsi il a été possible d'utiliser jusqu'à 700 cœurs en simultané sur des courtes périodes et 200 cœurs en moyenne pour une production de 6 mois. L'objectif principal de la collaboration entre le LPSC et CIMENT est de créer une synergie entre le nœud EGI du LPSC et la grille CIMENT et de fournir aux utilisateurs de nouvelles ressources. En 2013, la capacité de calcul de CIMENT est passée de 3500 à 5700 cœurs grâce à l'acquisition d'un ordinateur haute performance (HPC) ce qui ouvre des perspectives de développement importantes pour le LPSC.

L'évolution de l'utilisation du site du LPSC en termes de CPU depuis sa création est montrée sur la figure 3. Comme il a été déjà mentionné, la figure indique clairement que le site est majoritairement utilisé par les expériences LHC, ATLAS et ALICE.

IN2P3-LPSC : normalized CPU time in HEPspec06 by VO and date

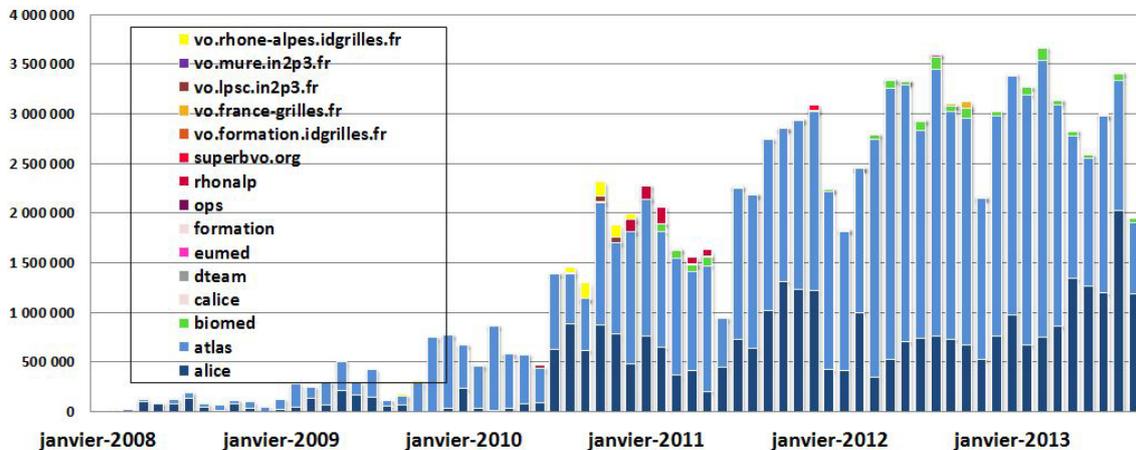


Fig. 3: Évolution mois par mois du temps de calcul normalisé utilisé par les différentes VO supportées par le LPSC depuis la mise en production du site jusqu'à mi-septembre 2013.

La contribution du site du LPSC relative à celle de l'ensemble des Tier-2 de LCG France est de 4% pour la période 2012-2013. Coté stockage la contribution du LPSC est passée de 7 à 8% pendant la même période.

Perspectives

Le nœud de grille du LPSC est un Tier-2 de LCG depuis l'été 2011. Le passage du niveau Tier-3 à Tier-2 a entraîné une augmentation de l'utilisation du site tant du côté des transferts de données, de l'utilisation du stockage que de la puissance de calcul. Depuis son passage Tier-2, le LPSC a réussi à maintenir une bonne fiabilité

¹¹ <https://ciment.ujf-grenoble.fr>

conforme aux exigences pour cette catégorie comme le montre la figure 4. Il a également tenu ses engagements en termes de ressources de calcul et de stockage.

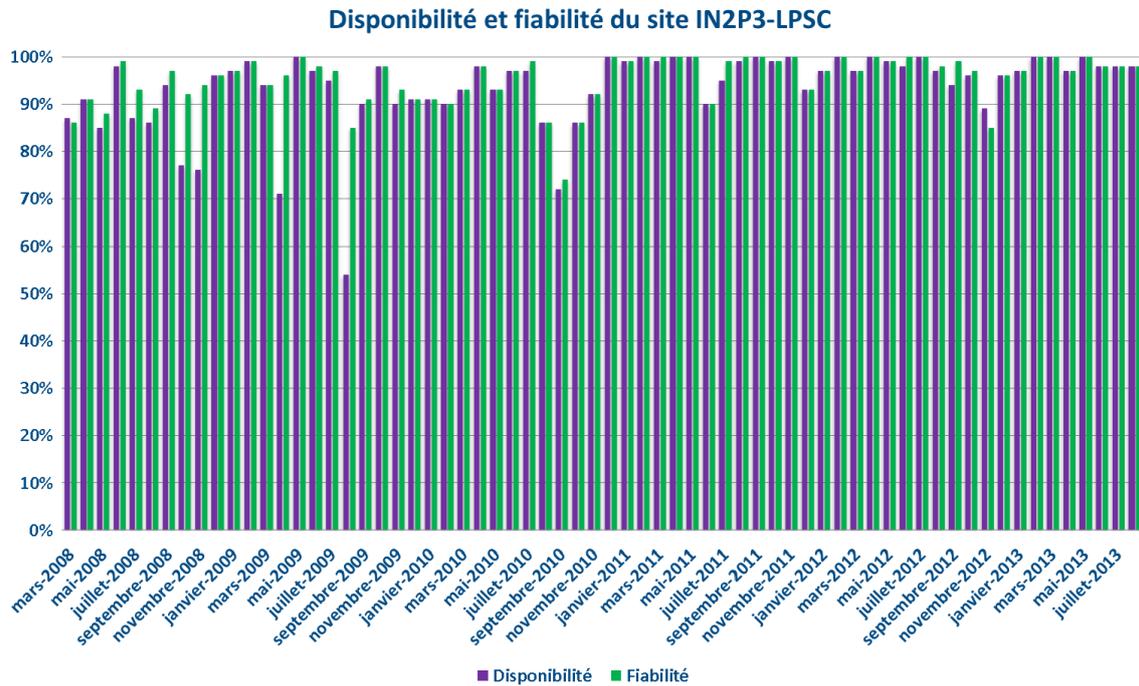


Fig 4: Disponibilité et fiabilité du site IN2P3-LPSC de 2008 à 2013.

Le LHC a terminé sa première phase de prises de données début 2013. Après une pause de 18 mois il délivrera à nouveau des collisions aux expériences mais à plus grande luminosité. Les activités grille devront augmenter en conséquence. Les engagements pour 2014 devraient être atteignables mais en 2015 les besoins des expériences LHC vont augmenter de l'ordre de 30% pour le stockage. La croissance du site à un tel niveau restera liée à la possibilité de trouver des financements autres que ceux de WLCG, ceux-ci ne permettant que de renouveler une partie du matériel obsolète.

Les autres enjeux concernent notre capacité à suivre les évolutions technologiques telles que l'arrivée du Cloud et des GPU qui seront nécessaires pour le modèle de calcul des expériences et à suivre les évolutions rapides du middleware de la grille EGI.

La collaboration avec CIMENT va se poursuivre avec un développement pour l'expérience ATLAS qui concerne des calculs d'erreurs systématiques pour la recherche de nouvelles particules.

Enfin 2014 devrait voir le début des développements dans le cadre de l'Equipex BEDOFIH¹² pour le portage de leur application sur la grille.

Pour en savoir plus

Site web du nœud de grille du LPSC : <http://lpsc.in2p3.fr/informatique/tier2.html>.

Demande de passage à un nœud de type Tier-2 de WLCG pour le nœud de grille du Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie de Grenoble, LPSC11280.

¹² <http://www.upmf-grenoble.fr/equipex-bedofih-155109.htm>

Soutien aux activités de recherche

Le soutien aux activités de recherche du laboratoire est assuré par des services administratifs et techniques. Ces services assurent :

- Des activités de support général :
 - Fonctionnement du laboratoire.
 - Mise en place et maintenance des infrastructures du laboratoire et de ses plateformes expérimentales ou d'enseignement.
- Des activités au sein de projets :
 - Support technique aux projets scientifiques dans lesquels les groupes de recherche du laboratoire sont impliqués.
 - Développement de projets transversaux.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les services administratifs et techniques en termes de compétences et de ressources humaines ainsi que le support général qu'ils assurent (hors plateformes).

Afin d'éviter toute redondance la présentation des activités au sein des projets est succincte :

- Les contributions techniques aux projets sont présentées en détail à l'intérieur même des projets scientifiques dans les chapitres par thématique scientifique.
- Les contributions techniques aux projets transversaux sont présentées dans les chapitres *Pôle accélérateurs et sources d'ions*, *Plateformes* et *Valorisation et Transferts de Technologies*.

Depuis de nombreuses années le LPSC s'est doté d'une organisation centrée sur les projets. Ainsi les services techniques travaillent sur des projets qui sont identifiés et validés par le biais des acteurs décrits ci-après. Un pourcentage des ressources humaines de chaque service technique est consacré à une activité de R&D propre.

Les équipes projet font intervenir des physiciens et des personnels des services techniques. On distingue différents acteurs dans les projets ; les porteurs : responsable scientifique et coordinateurs techniques des projets ; les décideurs : direction du laboratoire, DAS, DSA et direction de l'IN2P3 ; les acteurs : groupes de physique et services techniques ; les conseils : Conseil Scientifique, Conseil d'Unité, Cellule de Revue Technique de Projet (CRTP).

Les projets sont structurés et ils sont documentés aux différentes étapes de leur avancement : faisabilité, définition préliminaire et détaillée, production. Des revues techniques sont organisées par la CRTP pour examiner l'impact technique des projets à leur lancement et à chaque étape importante.

Les projets les plus importants, du fait de leur envergure, de l'implication de plusieurs services dans le projet ou de contrainte de planification importante, sont dotés d'un coordinateur de l'activité des personnels techniques affectés au projet, assurant le suivi du planning et des ressources du projet.

La plupart des services du laboratoire sont dotés d'un comité technique piloté par un membre du conseil d'unité. Ils se réunissent pour discuter des évolutions des activités des services (en particulier à l'arrivée de nouveaux projets) et permettent de faire remonter les besoins des services auprès du conseil d'unité et de la direction.

Service Détecteurs et Instrumentation

P. Stassi, C. Bernard, M. Chala, F. Collovati, R. Faure, O. Guillaudin, M. Heusch, M. Marton, M. Migliore, J.-F. Muraz, A. Nicolet, A. Pelissier, O. Zimmermann

The Detectors and Instrumentation Department (SDI), is a team of engineers and technicians with various and different skills and experiences. The department has two objectives :

- To construct detection and instrumentation systems for laboratory projects;*
- To study and test new detection techniques.*

The SDI participated to all the projects listed below, sometimes collaborating with other technical departments of the laboratory.

Missions et organisation

Le Service Détecteurs et Instrumentation (SDI) a été créé en 1998 au LPSC. Ses missions principales sont :

- Le développement, la mise en œuvre et la maintenance d'ensembles de détection et d'instrumentation pour les groupes de recherche du laboratoire, sur les expériences du LPSC.
- Le développement de nouveaux détecteurs en R&D et dans le cadre de nouvelles expériences.
- L'assistance logistique au fonctionnement des expériences.

Pour en savoir plus :

<http://lpsc.in2p3.fr/index.php/fr/support-aux-activites-scientifiques/service-detecteurs-et-instrumentation-sdi>.

Chacune des personnes du service est impliquée dans un ou plusieurs projets à différents niveaux de responsabilité. En 2012 et 2013, 4 personnes du SDI sont actuellement coordinateurs techniques des projets suivants : ALICE, Auger, LSST, MIMAC et Planck.

Le service est actuellement constitué de 12 personnes : 3 T, 3 AI, 3 IE et 3 IR.

Pour en savoir plus :

<http://lpsc.in2p3.fr/index.php/fr/support-aux-activites-scientifiques/service-detecteurs-et-instrumentation-sdi/sdi-membre-du-service>.

Un membre du service est élu au Conseil d'unité, deux membres font partie du CHS, deux membres de la CPL, un membre du CTA et un membre est président de la CRTP.

Répartition des RH sur les projets

Durant ces deux dernières années, le SDI a contribué à plus de 15 projets du laboratoire, avec un niveau d'implication technique plus ou moins important.

Pendant les années 2012 et 2013 le SDI a été impliqué, entre autres, dans les activités suivantes :

ALICE – Calorimètre électromagnétique, EMCAL-DCAL

- Coordination technique du projet au LPSC.
- Définition, conception et suivi de réalisation des outillages de montage des SuperModules.

- Conception, réalisation et participation à l'exploitation du banc cosmique de calibration des Supermodules.
- Prise en charge des opérations de logistique pour l'installation sur site.
- Participation aux phases d'intégration des Supermodules au CERN.

DAMe

- Conception, élaboration et tests des prototypes de profileurs de faisceau en radiothérapie conformationnelle.
- Application LabVIEW « DameFast » : acquisition PXI, visualisation et export de données.
- Coauteur des brevets.

FFFER

- Conception et mise en place du contrôle-commande (instruments, matériel et logiciel) de la boucle nominale (sels fondus) et de la boucle prototype (eau).
- Application LabVIEW « AquaDrive » : mesures et pilotage (Compact FieldPoint) de la boucle en eau.
- Étude de la mesure de vélocimétrie par ultrason.
- Étude de l'isolation thermique de la boucle de sel fondu de l'expérience FFFER.
- Fabrication des lingots de FLiNaK.

GRANIT

- Mise en place et adaptation du matériel et logiciel de contrôle-commande et de l'instrumentation.

LBA

- Analyse de radioéléments d'origine naturelle et de nappes phréatiques pour des entreprises privées comme CEZUS-AREVA.
- Mesure de matériaux de construction pour le CTMNC.
- Maintenance du laboratoire (voir chapitre *Valorisation et transfert de technologies*).

LOHENGRIN

- Maintenance et entretien des détecteurs gazeux.

LSST-CCOB

- Coordination technique du projet au LPSC.
- Définition des besoins instrumentaux pour la calibration de la caméra CCD du LSST.
- Phase de R&D pour la mise en forme du faisceau large : définition des besoins instrumentaux, développement d'un banc de caractérisation du faisceau, analyses des données.
- Automatisation du banc de caractérisation par LabVIEW.
- Mise en œuvre du banc de test optique avec système de contrôle-commande.

MIMAC - CoMIMAC

- Coordination du projet au LPSC.
- Mise à jour d'un module bi-chambre de μ TPC et installation au LSM pour une campagne de mesures de longue durée.
- Réalisation et livraison à l'IRSN d'une μ TPC destinée à la métrologie des neutrons

- Validation et livraison à l'IRSN d'une source d'ion miniature (CoMIMAC) destinée à l'étalonnage d'une μ TPC.
- Conception et réalisation d'une boucle de circulation et de filtration des gaz pour les détecteurs gazeux.
- Prise en charge des opérations de logistique pour les campagnes de mesures hors site (LSM et IRSN).
- Développements et tests de nouvelles structures de détecteurs Micromegas (Piggy Back).

MONODIAM - Banc de test de diamants monocristallins

- Conception et mise au point du dispositif de test.
- Développement du système d'acquisition.

NOY

- Modification et amélioration sur site de l'ensemble de détection de gerbes atmosphériques.
- Mise en œuvre de la télémétrie 3G.

Observatoire Pierre Auger, EASIER - Radiodétection

- Coordination technique du projet au LPSC.
- Participation à l'élaboration du programme de radio détections des rayons cosmiques sur le site d'AUGER en Argentine, installation et fabrication d'antennes.
- Participation à la définition des projets d'upgrade du détecteur de surface.

PEPPO - Polarimètre à photons

- Coordination technique du projet au LPSC.
- Conception, réalisation et test du polarimètre à photons de l'expérience.
- Prise en charge des opérations de logistique.
- Installation du polarimètre sur le site de l'expérience. (JLab).

Planck

- Co-coordination technique du projet au LPSC.
- Participation à la modification du logiciel embarqué pour le pilotage de la cryogénie 20 K.
- Participation aux tests au sol sur les bolomètres du type de l'instrument HFI de Planck.

PEREN

- Réalisation d'expériences en boîtes à gants dans le cadre de collaborations diverses.
- Maintenance du laboratoire PEREN Chimie.

AXION-UCN

- Suivi de l'élaboration de l'application de contrôle et commande pour les mesures sur He3 polarisé.

SPIRAL2

- Application LabVIEW « Phoenix » : contrôle-commande de la source d'ions lourds Phoenix V2 au LPSC, supervision de la Ligne Basse Énergie de l'injecteur, passerelle LabVIEW-EPICS.
- Suivi Qualité, et mesures de caractérisation sur les coupleurs de puissance.

- Architecture préliminaire du contrôle-commande EPICS pour le booster de charge et la ligne n+.
- Conditionnement des coupleurs haute-fréquences.

Fiche de compétences et moyens matériels spécifiques

Les compétences des agents du SDI sont diverses et variées, en fonction des besoins de chaque projet, elles sont rassemblées dans les domaines suivants :

Détecteurs

- R & D, conception et fabrication, choix, achat et tests.
- Instrumentation.
- Choix, achat et mise en œuvre de solutions instrumentales, électroniques et informatiques.

Contrôle et commande

- Conception et développement de systèmes automatiques (matériel et logiciel).
- Conception et développement de systèmes d'acquisition, traitement de données, contrôle et interfaces homme-machine.
- Conception et développement de systèmes embarqués, distribués ou autonomes.

Mécanique et Optique

- Développement, conception, réalisation et montage de pièces et d'ensembles.

Spatial

- Assurance produits et documentation spatial.
- Tests unitaires de logiciels embarqués.
- Intégration spatiale.

Chimie et matériaux

Gestion logistique et assistance aux expériences

De plus, le SDI assure des activités en dehors des projets, telles que listée ci-dessous :

Ressources techniques & infrastructures LPSC

- Mesures basses activités (LBA, voir chapitre correspondant).
- Maintenance et suivi salles blanches.
- Circuits imprimés (fin d'activité en 2012).
- Microphotographies.
- Banc de tissage chambres à fils.
- Administration EDMS (gestion électronique documentaire) pour le LPSC.

Valorisation

- Fabrication de détecteurs gazeux.
- Partenariat avec des industriels (EDF/DTG) pour le développement de systèmes de mesures.

Enseignement, formations

- Enseignements UJF et INPG en Acquisition de données.
- Encadrement des stages d'observation (collégiens et lycéens) au LPSC.

- Activités pédagogiques envers les lycées.
- Gestion technique du pool de TP et formations.
- Formations gestion de projets.
- Formations LabVIEW niveau débutants et avancé, pour l'INPG et le CNRS.
- Animation du réseau d'utilisateurs LabVIEW, «AlpesVIEW».

Activités de R&D

Les activités de recherche et développement du service Détecteurs et Instrumentation sont toutes liées à des projets du laboratoire. Elles se déclinent selon trois thématiques majeures :

- **Détecteur**, qui rassemble toutes les activités de R & D sur les études de nouveaux systèmes de détection des particules, mais également sur les nouveaux concepts qui utilisent des techniques de détections déjà éprouvées. Les études de nouveaux moyens de caractérisation des détecteurs font également partie de cette thématique.
- **Contrôle et Commande**, qui étudie les moyens modernes de pilotage des expériences, que ce soit matériel ou logiciel, incluant le développement d'interfaces appropriées aux instruments de pointe.
- **Matériaux**, qui rassemble les activités de recherche sur la mise en œuvre des nouveaux matériaux utilisés pour les diverses instrumentations des expériences incluant les études sur leur usinage, collage, moulage, etc.

R&D Détecteurs

- Conception et tests de Micromegas pixélisées pour les basses pressions
- Conception et tests de μ TPC pour la détection de noyaux de recul.
- Système de purification et de contrôle de la qualité des gaz pour les détecteurs gazeux.
- Étude des caractéristiques (de mélanges gazeux pour μ TPC.

Ces activités sont reliées au projet MIMAC et sont assurées au SDI par O. Guillaudin et A. Pélissier.

- Caractérisation du faisceau (faisceau large pour le « flat field » et faisceau fin) : analyse du profil du faisceau afin d'assurer une bonne homogénéité, stabilité du faisceau sur les CCD du Plan Focal de la caméra.

Cette activité est reliée au projet LSST et est assurée au SDI par M. Migliore et R. Faure.

- Étude des capacités d'une μ TPC pour la détection de neutrons ultra froids.

Cette activité est reliée au projet GRANIT et est assurée au SDI par O. Guillaudin et A. Pélissier.

- Conception et fabrication de polariseurs HF (polarimètre K/Cu 58 μ m).

Cette activité est reliée au projet NIKA et est assurée au SDI par O. Guillaudin et A. Pélissier.

- Profileur faisceau en radiothérapie, détecteurs pixélisés, fenêtres mylar et mylar/Al, nid d'abeille, grille Cu/Ht, électronique, mécanique Alu.

Cette activité est reliée au projet DAME et est assurée au SDI par O. Guillaudin et A. Pélissier.

- Étude et conception d'un SFAD (Scintillator Fiber Array Detector), matrice 900 pixels (60 mm x 15 mm) constituée de fibres scintillantes 1 mm x 1 mm x 1 mm et d'un PM anodes croisées (résolution 300 μ m).

Cette activité est reliée aux projets de Structure Nucléaire et est assurée au SDI par J.-F. Muraz et A. Pélissier.

- Études d'antennes large bande pour la radio détection des rayons cosmiques de très haute énergie par le principe du bremsstrahlung moléculaire dans la gamme de fréquence autour du GHz. Design, simulation, conception de prototypes et tests.

Cette activité est reliée au projet EASIER(Observatoire Pierre Auger) et est assurée au SDI par P. Stassi et M. Marton.

- Étude d'un système de mesure de flux de gaz par ultrason dans le FLiNaK. Design, conception et tests d'un nouveau transducteur adapté à la problématique particulière du FLiNaK.

Cette activité est reliée au projet FFFER et est assurée au SDI par P. Stassi, M. Heusch et R. Faure.

R&D Contrôle et Commande

- Étude de la communication LabVIEW/JMS (Java Message Service). LabVIEW contrôle et commande à bas niveau les instruments, capteurs, source, etc., du CCOB alors que le CCS (Camera Control System), écrit en Java, contrôle le CCOB et la caméra à haut niveau.

Cette activité est reliée au projet LSST et est assurée au SDI par R. Faure et M. Migliore.

- Étude et développement d'une interface LabVIEW générique pour le pilotage par module USB de sources d'ions ECR.

Cette activité est reliée au projet MIMAC (COMIMAC) et est assurée au SDI par O. Guillaudin, R. Faure et O. Zimmermann.

- Étude et développement de l'interfaçage du système EPICS (supervision et contrôle-commande temps-réel distribué pour les grands instruments scientifiques) avec LabVIEW dans le cas des architectures composites.

Cette activité est reliée au projet SPIRAL 2 (N+) et est assurée au SDI par O. Zimmermann et R. Faure.

R&D Matériaux

- Étude, développement et fabrication d'isolants thermiques en matériaux réfractaires spéciaux. Fabrication de moules complexes et outillages spécifiques associés.

Cette activité est reliée au projet FFFER et est assurée au SDI par M. Heusch.

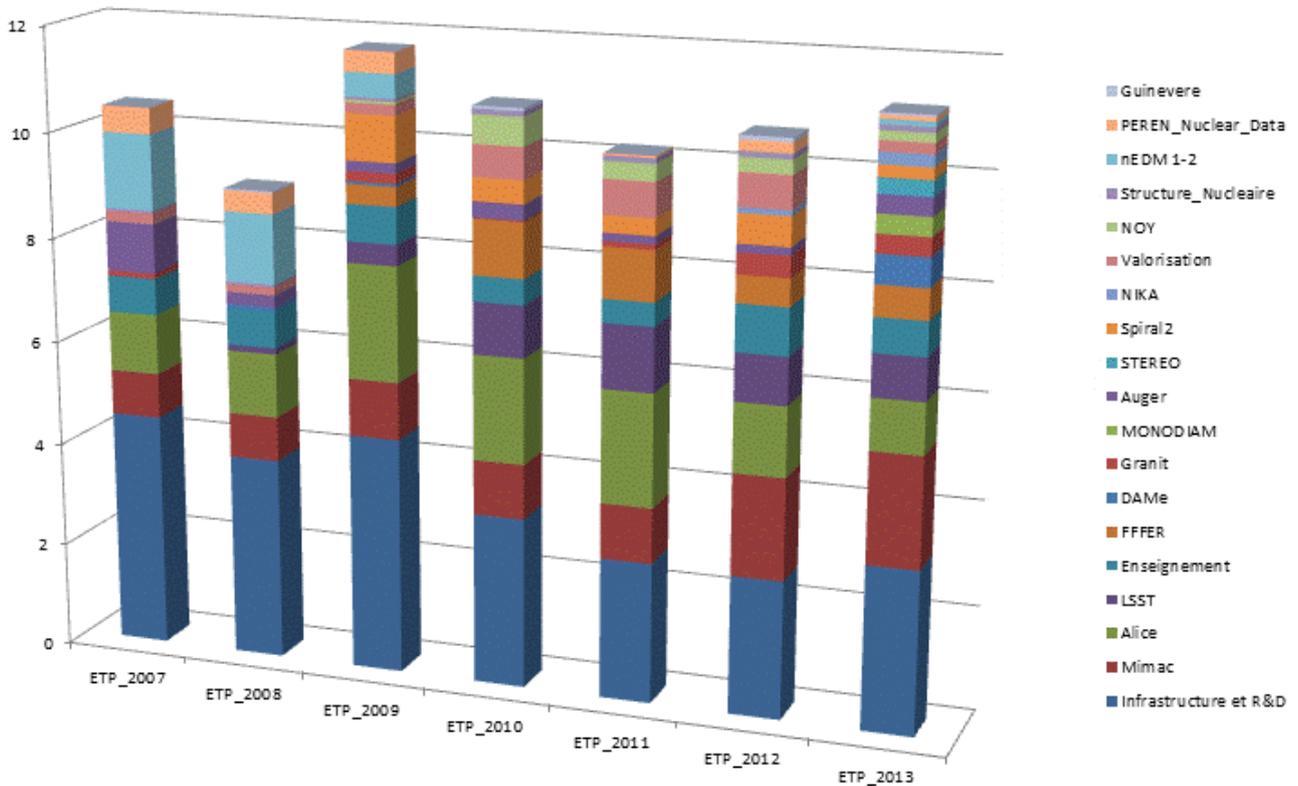
Faits marquants en 2012 et 2013

Plusieurs faits marquant relatifs aux projets dans lesquels le SDI est impliqué on jalonnés les activités de ces deux dernières années.

- ALICE, fin de la construction du calorimètre électromagnétique.
- CoMIMAC, livraison d'une source d'ions miniature (50 keV) et d'une μ TPC associée à son système d'acquisition pour l'IRSN de Cadarache.

- DAME, détecteur version V3- A optimisé et fonctionnel au CHU.
- GRANIT, Système de contrôle et commande opérationnel.
- MIMAC, fabrication et exploitation d'un module bi-chambre de μ TP.
- PEPPo, installation et exploitation du polarimètre de l'expérience.

DETECTEURS & INSTRUMENTATION



Répartitions annuelles des ressources humaines du SDI sur les projets du laboratoire

Service Études et Réalisations Mécaniques

D. Grondin, D. Bondoux, Y. Carcagno, G. Damieux-Verdeau, D. Fombaron, C. Fourel, G. Freche, C. Geraci, J. Giraud, M. Legrand, J.-C. Malacour, D. Marchand, J. Menu, E. Perbet, S. Roni, S. Roudier, F. Vezzu

This service is in charge of design, manufacturing and assembly of mechanical and cryogenic systems. Its experienced people make use of modern design and simulation software and of numerous machining tools.

Missions et organisation

Le Service Études et Réalisations Mécaniques du LPSC (SERM) assure pour les expériences de physique les différentes phases de faisabilité, conception, réalisation, mise au point et montage sur site d'ensembles mécaniques, cryogéniques et pour le vide.

Le service propose également aux autres laboratoires et instituts de recherche des prestations d'étude et de calcul, de réalisation de pièces et ensembles mécaniques.

Fin 2013, le service est constitué de 15 agents: Bureau d'études: 3 IR, 2 IE, 3 AI - Atelier: 1 AI, 3 T, 2 ATRF - Montage & Vide-cryogénie: 1 T.

Le service est représenté dans les instances du laboratoire: au Conseil d'Unité, au CHS, à la CPL, à la CRTP et au CTI (comité technique informatique). Il compte aussi le responsable technique du laboratoire ainsi que le responsable des moyens CAO.

Accueil de stagiaires DUT, BTS, Ingénieurs et Masters.

Répartition des RH sur les projets

Pendant les années 2012 et 2013 le SERM a été impliqué à différents niveaux dans la majorité des projets techniques du LPSC, depuis les choix technologiques, la conception mécanique, le calcul, la réalisation (atelier ou suivi de prestataires), le montage sur site et la mise en route des expériences, jusqu'à la conception et réalisation complète d'instruments.

Le service assure aussi des activités de coordination technique pour 4 projets: GRANIT, FFFER, MYRRHA-LEBT et LSST-chargeur, ainsi que les coordinations mécaniques de 4 projets: IBL, ILC, ALICE ITS et SPIRAL2 ligne n+ Analyse Booster.

Fiche de compétences et moyens matériels spécifiques

Compétences en études, conception et calcul

- Études et réalisations d'ensembles mécaniques pour grands instruments, sources d'ions et accélérateurs. Ensembles utilisant des matériaux spécifiques, des traitements de surface particuliers, des usinages 3D élaborés, des structures mécano-soudés, des installations hydrauliques et pneumatiques.
- Techniques du vide (primaire, secondaire et ultravide), modules de vide et

cryogénie, chambres sous pression, mécanismes sous vide, basse température, environnements spéciaux.

- Composites : préimprégné carbone-époxy, développement de pièces structurales.
- Gestion de projets, coordination technique, assurance produit, documentation (coordination nationale IN2P3 de SMARTEAM), analyse des risques, gestion complète de la sous-traitance.
- Mise en œuvre de systèmes d'acquisition de données (thermique, pression, température...).
- Simulation/calcul (RDM, calculs par éléments finis). Études thermiques et thermomécaniques, systèmes de thermalisation, optimisation, vibrations, vide, cryogénie, hydraulique.
- Mise en œuvre de systèmes automatisés, contrôle commande et interface homme-machine.
- CAO (CATIA V5) - Installations et support au LPSC.

Compétences en réalisations, fabrication, usinage, montage

Atelier Mécanique

- Prestations allant du soutien à la prise en charge de réalisations complexes, incluant la gestion de la sous-traitance. Moyens permettant la réalisation, le montage et le contrôle dimensionnel d'ensembles de mécanique générale, de chaudronnerie et de mécano-soudure (chambres sous pression, mécanismes sous vide, basse température et environnements spéciaux, installations hydrauliques, systèmes de thermalisation, usinages 3D élaborés sous CFAO, structures métalliques).

Montage/assemblage/câblage

- Le SERM assure le montage, l'assemblage et les tests des expériences complètes sur site : montage d'ensembles mécaniques, de tuyauteries, de systèmes cryogéniques, câblage de sondes, alignement.
- Gestion logistique et transport d'expériences, assistance aux expériences sur site.
- Maintenance des installations et des machines atelier, upgrade expériences.

Compétences en formation

- Le SERM organise plusieurs formations au laboratoire : en CAO/Calcul (CATIA, SMARTEAM, calcul Éléments Finis), en usinage et dans le domaine du vide (détection de fuites).
- Co-animation du réseau calcul mécanique IN2P3.

Moyens spécifiques au SERM

Conception

- CAO : CATIA V5-R21, *EUCLID*, *AUTOCAD*, sur des stations de travail CAO 64 bits.
- Gestion de documentation technique : SMARTEAM, EDMS, et connexion à CDN (CERN).
- Simulation/calcul : ANSYS Workbench-V14.5, SAMCEF, SAMCEF Field.

Fabrication/usinage

- Un atelier mécanique (usinage traditionnel, CN avec liaisons CFAO, électroérosion à fil, contrôle dimensionnel), un atelier de chaudronnerie soudure.

Montage

- Salle dédiée au montage mécanique, salle de nettoyage, atelier équipé.

Vide/cryogénie

- Systèmes d'analyse et de détection de fuite, banc de pompage pour étalonnage jauges à vide primaire, étuve à vide programmable, ensemble de nettoyage - étuvage/vide.

Activités de R&D

Fortes collaborations et développements communs avec les autres services (pôle accélérateurs & sources d'ions), partenariat étroit avec l'ILL, le LNCMI et d'autres organismes (CEA, CERN, etc.).

R&D sur un système de refroidissement global de grand détecteur :

- Définition, montage et tests d'un système de circulation fluide sous-atmosphérique « leakless » (h=13 m), étude de l'installation globale et du système de supervision. Tests de systèmes diphasiques (caloducs) et liaisons sur circuits de refroidissement de grands détecteurs.
- Programme de R&D sur le refroidissement par μ -dissipateurs thermiques : moules et réalisation de plaques refroidisseurs en composite incorporant des mini tubes polyimides.

Développement sur les composites préimprégnés :

- Développement et réalisation de structures alvéolaires composite multi matériaux (préimprégnés carbone-époxy/tungstène).
- Conception et réalisation de pièces structurelles en matériaux composites (HexMC, LONZA) avec moules haute pression chauffant.

Prestations extérieures

Réalisation de pièces mécaniques sur centres d'usinage à CN pour d'autres laboratoires et organismes de recherche (CEA, Institut Néel, INFM, etc.).

Prestations d'études et de calcul pour le LNCMI et l'ESRF, sur la caisse d'aimants splittés et le dimensionnement mécanique de prototypes de source ECR à haute fréquence (technologie Poly Hélix).

Faits marquants en 2012 et 2013

Mise à niveau des infrastructures : CAO et atelier

- CAO : l'installation continue de stations de travail 64 bits pour la conception de grands ensembles. Déploiement de CATIA V5-R21.
- Calcul : déploiement du logiciel ANSYS.
- Intégration au réseau R&D mécanique IN2P3 sur les 3 thèmes retenus : R&D Matériaux (composites), Système de refroidissement, Intégration systèmes (mécatronique-automatisme).
- Atelier : possibilités d'usinage accrues avec le perfectionnement des agents dans l'utilisation de la machine CN à électroérosion par fil et la mise en œuvre de la CFAO.

ALICE ITS - WP9 (Mechanics & Cooling Working Package)

- Réalisation de 4 moules prototypes pour le moulage des « cooling panel » composite (ép. 0,16 mm) pour les couches internes et externes du « silicon tracking detector ».

DAMe

- Conception et réalisation des interfaces d'adaptation et de verrouillage mécanique des prototypes de détecteurs en transmission sur les accélérateurs de radiothérapie à faisceau de photons modulés (IMRT) du CHU de Grenoble.

EXOGAM

- Modification, étude, fabrication et montage du système de supportage du multi-détecteur de rayonnement EXOGAM. Assemblage au LPSC à l'été 2012 et transfert sur une ligne de l'Institut Laue Langevin en septembre.
- Début 2013 le SERM a fait évoluer la structure de supportage pour permettre in situ le remplacement de 8 détecteurs germanium par 16 scintillateurs en bromure de lanthane (LaBr3).

FFFER

Coordination technique du projet.

Responsabilité de l'étude et de la fabrication du four et de la boucle à sels fondus fluorés (RSF) pour l'étude du dégazage par bullage.

- Optimisation et tests du bouchon froid (organe de sécurité passive).
- Développement, fabrication et montage final du circuit comprenant le circulateur et le séparateur, fonctionnant à des températures élevées (600°C).

GENEPI 2

- Maintenance de l'installation et upgrade GENEPI 2 (plateforme PEREN).
- Upgrade du système de pompage du banc de fabrication des filaments pour les accélérateurs GENEPI.

GRANIT

Coordination technique de la collaboration.

Suite de la construction et des tests du spectromètre installé à l'Institut Laue Langevin.

- Système d'extraction et de transport des neutrons, système de transition résonnante.
- Conception et intégration de la liaison source UCN / spectromètre. Amélioration du cryostat-source.
- Optimisation de la puissance de la cryo-source - stabilisation de la température à 0,8 K.
- Connexion de la source au spectromètre et installation des miroirs.

IBL : (ATLAS Upgrade) Insertable B Layer - WG3 (Integration & Installation Working Group)

La table d'insertion/extraction, les 2 tables intermédiaires ainsi que 4 châssis/conteneurs des différents éléments de l'opération de changement de Beam Pipe supportant l'IBL dans ATLAS, sont opérationnels au CERN.

Conception et intégration complète du système d'insertion automatique de l'IBL dans le détecteur.

- Tests mécaniques et automatisation process, opérations de training au hall 180 au CERN pour l'opération d'insertion d'IBL en caverne dans le détecteur Pixel.

ILC CALICE (International Linear Collider)

R&D sur la conception du calorimètre électromagnétique (EM) à échantillonnage, silicium-tungstène (Si/W) : réalisation de structures alvéolaires composites (2,5 m en pré-imprégné) et de systèmes de refroidissement du détecteur (environ 83 millions de voies). Responsabilité des End-cap du ECAL (2 x 25,3 t). Simulations numériques et tests de cisaillement des structures. Conception et chaudronnerie de l'outillage lourd de manutention/positionnement des modules (1,5 t à 2,6 t).

- **EUDET** - upgrade de l'échangeur thermique et du système de refroidissement connectable au démonstrateur.
- **AIDA** - développement du système opérationnel de thermalisation de l'électronique embarquée. Construction de la centrale pour la boucle sous-atmosphérique prototype. Design d'un système optimisé d'accrochage des modules.

LSST Chargeur de filtres

Coordination technique du projet.

Chargeur de filtres manuel du télescope : conception et réalisation d'un système de translation motorisé permettant le chargement et le déchargement des filtres à l'intérieur de la caméra (mécanique, automatisme, plans de tests). Participation au groupe système.

- Design avancé du système de verrouillage des filtres.
- Conception du container et du chariot de transport.
- Définition du contrôle-commande.
- Premier prototype de fonctionnement des clamps.

MIMAC et source COMIC

- Fabrication d'une Ligne de Quenching (ligne de calibration composée d'une source COMIMAC + détecteur Micromegas) pour l'IRSN.
- Fabrication de 2 ensembles chambre MicroMegs, réalisation et montage d'une chambre (470 x 470 x 540) accueillant un module bi-chambre de μ TPC.

MYRRHA-LEBT

Coordination technique du projet.

Étude détaillée et fabrication mécanique des premiers éléments de la Ligne Basse Énergie (2,5 m), premier tronçon de l'injecteur pour la future machine MYRRHA.

NIKA-1

- Réalisation d'un ensemble polariseur 120 mm motorisé avec lame demi onde, implanté au MCBT-Institut Néel. Cet ensemble est utilisé pour tester les technologies à intégrer dans le développement d'une caméra (prototype 2.3' FOV) à base de matrices de MKIDs (Microwave Kinetic Inductance Detectors) pour des observations dans le domaine millimétrique avec le télescope de 30 m de l'IRAM.

NIKA-2

- Réalisations mécaniques de certaines parties du cryostat final (miroirs M6 et M7 du 50 K - support lentille dans le 1 K - ensemble rehausse dans le 100 mK) réalisé en accord avec le groupe cryogénique de l'Institut Néel pour l'instrument plus important 6.5' FOV.
- Réalisation des supports de filtres thermiques (2 x 6 paires).

PLASMA

Fabrication d'un ensemble multi-cibles V2 pour réacteur.

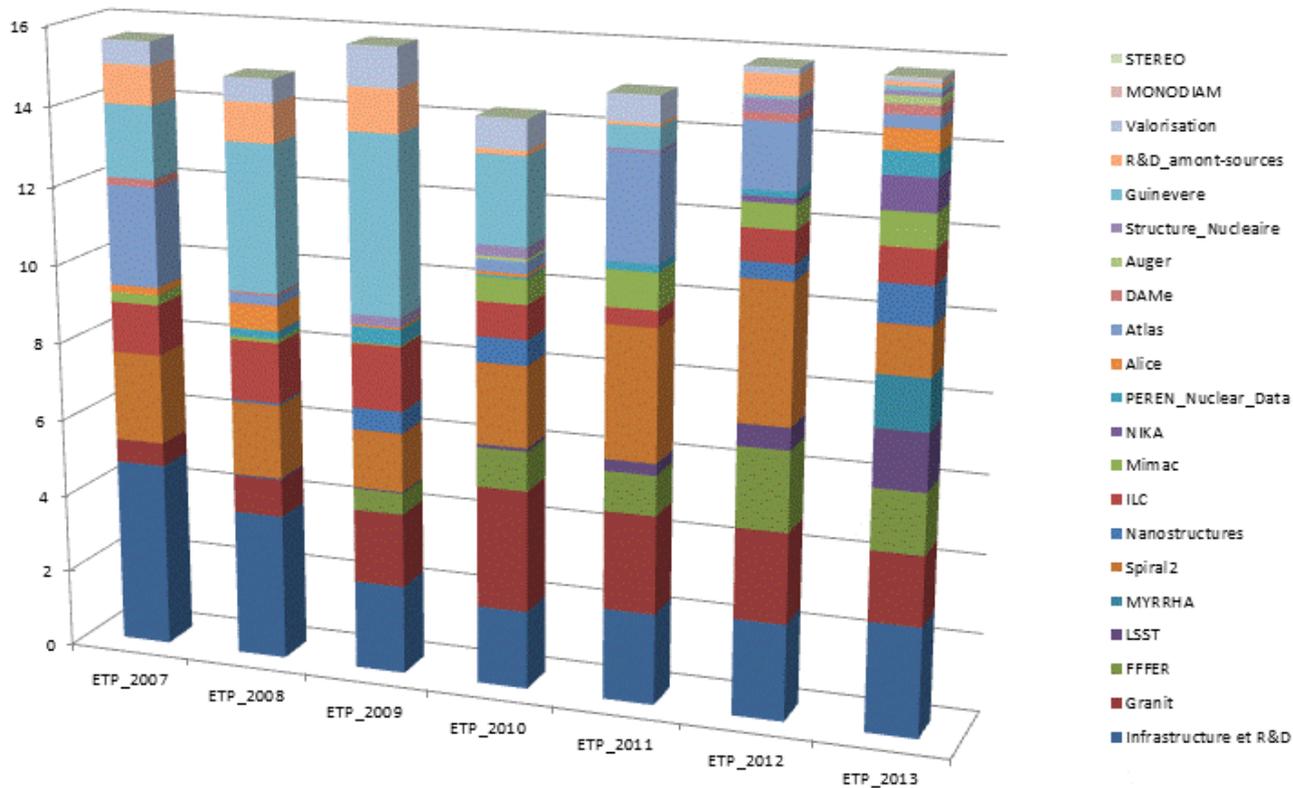
SPIRAL2/Sources d'ions

- **Booster de charge nucléarisé** - conception et phase des études détaillées.
- **Éléments standards pour les lignes de SPIRAL2** - conception d'un propulseur.
- **Ligne n+ Analyse-Booster** - Conception avancée - Études de la ligne n+ composée d'un tronçon horizontal de 4,50 m et d'un tronçon vertical de 6 m, en environnement confiné.
- **SPIRAL2 PHOENIX V2** - adaptations pour la source.
- **SPIRAL2 PHOENIX V3** - développement mécanique de la source.

Sources d'ions

- **Source ECR 60 GHz** - fabrication & montage avec le SSI au LNCMI.
- **Ligne Haute Intensité et source 5,8 GHz** - fabrication de l'ensemble source.
- **Booster SPES** - lancement de la conception mécanique avancée.

ETUDES & REALISATIONS MECANIQUES



Répartitions annuelles des RH du SERM sur les projets du laboratoire.

Service Informatique

B. Bouterin, S. Albrand, C. Biscarat, G. Dargaud, T. Descombes, J. Fulachier, C. Gondrand, G. Humbert, F. Lambert, F. Melot, P. Meyrand, J. Mirasolo, J. Odier, J. Piarulli

The service has two principal roles :

- The administration and maintenance of the computing infrastructures, in particular the network, the various servers and the operation of a Tier-2 EGI computing grid.*
- The development of software applications for high energy physics, and the support of software development for research groups.*

Missions et organisation

Le service Informatique a deux missions principales :

- Mission d'exploitation des infrastructures informatiques du laboratoire : réseaux, serveurs de données, serveurs de calcul, et nœud Tier-2 de grille de calcul.
- Mission de conception, de développement et d'exploitation de systèmes informatisés au bénéfice des expériences de physique.

Le service Informatique est sous la responsabilité d'un Ingénieur de Recherche également chargé de mission « datacentres » pour le groupement de services (GDS) Ecoinfo.

Répartition des RH sur les projets

Pendant les années 2012 et 2013 le service Informatique a été impliqué dans les activités suivantes :

- L'exploitation des infrastructures informatiques du laboratoire (voir ci-après).
- Les projets AMI et TagCollector de développement pour l'expérience ATLAS au CERN (cf. chap. « Quarks, Leptons, Interactions Fondamentales »).
- Le contrôle commande et le système d'acquisition de l'expérience GUINEVERE à Mol (cf. chap. Physique des Réacteurs).
- La mise en place de ressources de calcul et de stockage sur la grille en particulier pour les expériences du LHC (cf. chap. Quarks, Leptons, Interactions Fondamentales).
- Des développements pour les expériences Planck et Auger sud ainsi que pour le groupe AMS (cf. chap. Astroparticules et Cosmologie observationnelle).
- Le développement de l'acquisition du projet NIKA (cf. chap. Astroparticules et Cosmologie observationnelle).
- Le contrôle commande pour nEDM (cf. chap. Quarks, Leptons, Interactions Fondamentales) et de l'expérience NOY (cf. chap. Astroparticules et Cosmologie observationnelle).
- Le développement du projet ZNeTS de surveillance réseau.

Fiche de compétences et moyens matériels spécifiques

Compétences systèmes

Infrastructure

Expérience de la climatisation d'une salle informatique en free-cooling à air direct.

Systemes et reseaux

- Quattor pour le déploiement de systèmes Linux.
- Active Directory pour la gestion des postes Windows et l'authentification centralisée de tous les postes (Windows et Linux).
- Expérience de la mise à disposition de ressources importantes (plusieurs racks 42U) de calcul et de stockage.
- Expérience de la mise en place d'un nœud de calcul de type Tier-2 pour le calcul LHC.
- Administration exploitation et surveillance de services (messagerie, Web, bases de données, etc.).
- Cloisonnement, filtrage, surveillance du réseau.
- Sécurité informatique.

Compétences en développement d'applications

Langages de programmation

- Principalement C, C++, Java, Python, PHP, AJAX, SQL XML, XSLT. Mais aussi divers assembleurs et FORTRAN.

Bases de Données

- ORACLE, MySQL, PostgreSQL.

Techniques particulières

- Programmation parallèle, web services, systèmes embarqués, temps réel, programmation système linux (drivers, gestion d'interruption), interfaces homme machine.

Outils de collaboration

- Contrôle de version : SVN ; CMS JOOMLA ; IDE : Lab Windows/CVI, Eclipse.

Outils méthodologiques

- UML, Agile.
- Management de projets et bug tracking : TRAC, MANTIS, REDMINE (forge in2p3).
- Principes d'assurance qualité de logiciel : organisation de revues, rédaction de documents

Exploitation des infrastructures informatiques du laboratoire

Le service Informatique met en œuvre les infrastructures informatiques répondant aux besoins d'environ 230 utilisateurs. Parmi nos missions on peut noter : la bonne marche des serveurs et des services du réseau, l'administration d'un Tier-2 pour le calcul LHC, l'exploitation quotidienne d'un parc de plus de 500 machines, le conseil et l'assistance aux utilisateurs et l'administration du réseau local.

Services

Pendant la période 2012-2013, l'effort de consolidation des services offerts à l'intérieur et à l'extérieur du laboratoire a été soutenu, de nombreux services ont été migrés sous VMWARE comme cela avait été initialisé en 2011. En 2013 un deuxième système de virtualisation basé sur VMWARE a été mis en place pour regrouper les services de la grille sur une plateforme matérielle de 3 serveurs.

Début 2012 le service informatique a supervisé le transfert du site Web du

laboratoire sous le CMS Joomla. Cette opération a permis d'impliquer près d'une centaine d'agents du laboratoire dans la mise à jour du site pour une nette amélioration du contenu éditorial. En 2013 la version anglaise a été mise en place et l'intranet a également été transféré sous Joomla.

Amélioration qualité dans la gestion des postes de travail et le support aux utilisateurs

Depuis 2001 les acquisitions de postes de travail s'effectuent dans le cadre de campagnes d'achat afin d'assurer une meilleure qualité dans la gestion du parc. En 2012 un site Web pour définir les configurations a été mis en place.

Depuis 2012 deux agents du service sont formés aux bonnes pratiques ITIL et des actions qualité ont été mises en place telles que : la gestion des priorités des tickets, l'amélioration de la communication avec les utilisateurs grâce aux cafés informatiques et Joomla.

Activités de R&D

Développement de ZNeTS, un outil de supervision, d'analyse et de gestion des traces de trafic pour les laboratoires. Voir chapitre *Valorisation et transferts de technologie*.

Faits marquants en 2012 et 2013

Tier-2

Le nœud de grille du LPSC a été mis en production en janvier 2008 comme Tier-3 puis comme Tier-2 à l'été 2011. Depuis sa création, ses capacités de calcul et de stockage ont régulièrement augmenté pour atteindre 8635 HEP-SPEC 06 et 732 To net de stockage fin 2013. Ceci lui permet d'assurer aujourd'hui environ 3% des tâches d'analyse et de production du nuage français d'ATLAS et 7% pour ALICE. Le site a démontré sa capacité à assurer un service de qualité aux expériences LHC auxquelles il participe en termes de disponibilité, de fiabilité et d'efficacité. Voir chap. Plateformes.

Collaborations avec les autres grilles régionales et nationales

Depuis 2011 la collaboration du LPSC avec CIMENT s'est renforcée. Dans ce cadre le LPSC a pu utiliser en production et de façon massive la grille de CIMENT avec, en pic, plus de 700 jobs indépendants monocœur en simultané sur cette grille (autant que la capacité du site grille du LPSC). Les résultats scientifiques obtenus grâce à ce travail concernent l'étude des erreurs systématiques de calcul de section efficace de processus rares et limites sur les paramètres d'un modèle exotique dans le cadre d'une thèse de doctorat au laboratoire (ATLAS); Une publication est en cours de rédaction.

Dans le cadre de la collaboration avec TIDRA nous avons mis en place des ressources de stockage communes avec le CC-IN2P3 pour la réplique de données médicales.

Enfin, dans le cadre de France-grilles, une instance nationale de grille de stockage basée sur l'intergiciel iRODS a été mise en place grâce à la collaboration du LPSC avec l'IPHC de Strasbourg et le pôle M3PEC de Bordeaux.

Serveurs et stockage

La période 2012-2013 a vu la consolidation du parc de serveurs de calcul et de la capacité de stockage du laboratoire avec une augmentation de la capacité et le renouvellement des serveurs les plus anciens. Pendant cette période, le nombre de cœurs de calcul disponibles est passé de 700 à près de 1000 tandis que l'espace de stockage progressait de 700 To à environ 1000 To brut.

Montée en puissance des services ATLAS: TagCollector et AMI

S. Albrand, J. Fulachier, F. Lambert, J. Odier, LPSC Grenoble

En collaboration avec Osman AIDEL CCIN2P3, Lyon

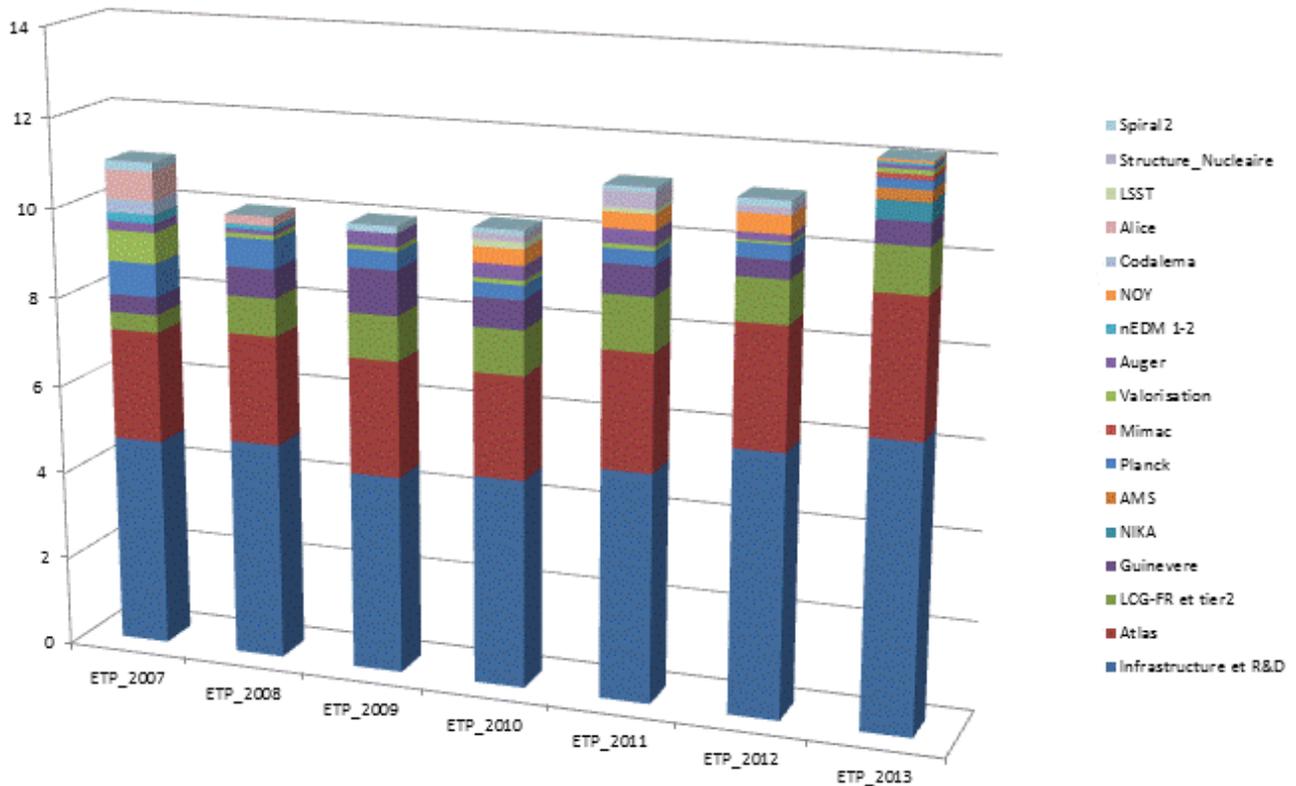
- Recrutement de J. Odier, Ingénieur de Recherche en CDD pour trois ans sur le projet AMI en septembre 2013.
- Depuis la restriction d'accès aux données AMI/ATLAS aux seuls utilisateurs ATLAS, authentification + autorisation AMI + VOMS, mise en production en octobre 2011, nous avons observé une croissance régulière de nombre d'utilisateurs observée. Actuellement il y a environ 2000 utilisateurs validés.
- Implémentation du « Hierarchical Dataset Browser ». Une recherche de données ou le choix se fait progressivement par sélection des valeurs des paramètres disponibles. À tout moment le nombre de datasets, fichiers et événements dans la sélection est mise à jour.
- Refonte de l'interface Web d'AMI « Dataset Discovery » - transfert du site sous JOOMLA et utilisation de framework modernes pour les interfaces, « JQuery » pour le javascript et « Bootstrap » pour les CSS. Utilisation de technologies Web 2.0 (AJAX, HTML5). Rationalisation des fonctions. Réécriture de la documentation.
- Refonte de pyAMI - passage à pyAMI version 4: amélioration de l'interface utilisateur, déploiement et documentation avec outils standard de python (avec collaboration de Noel Dawe, Simon Fraser University, Vancouver B.C. Canada et Asoka Da Silva, TRIUMF, Vancouver B.C. Canada).
- Amélioration du monitoring d'AMI (avec collaboration Haykuhi Musheghyan, Univ. De Göttingen, Allemagne).
- Modification du code de remplissage des bases de données AMI suite à l'introduction d'un nouveau système de production dans la collaboration ATLAS pendant le « Long Shutdown 1 ».
- Amélioration de l'environnement de travail par la mise en œuvre d'une suite d'outils cohérents et connexe. SVN, Eclipse, RedMine, Jenkins (ref. exposé de F. Lambert, Journées Informatiques IN2P3 2012 <https://indico.in2p3.fr/conferenceOtherViews.py?confId=6514&view=cdsagenda#16>).
- 2 nouveaux serveurs achetés fin 2012 afin de supporter l'augmentation de charge.

Autres développements

- Planck: contribution au développement de l'analyse de niveau 2 (L2), parallélisation MPI de modules.
- Auger: participation au développement de l'interface graphique de l'acquisition de données d'AERA (Auger Engineering Radio Array).

- AMS : développement d'un catalogue en ligne de mesures expérimentales de rayonnements cosmiques.
- Développement d'une compétence Linux embarqué pour le contrôle commande de GUINEVERE et de NOY.
- Réécriture complète du logiciel d'acquisition de données de l'expérience NIKA.

INFORMATIQUE



Répartitions annuelles des RH du service Informatique sur les projets du laboratoire.

Service Électronique

C. Vescovi, C. Barruel, S. Benaziza, G. Bosson, J.-L. Bouly, O. Bourrion, J. Bouvier, B. Boyer, P. Cavalli, D. Dzahini, L. Eraud, R. Foglio, L. Gallin-Martel, J-P. Girad, E. Lagorio, G. Marcotte, S. Muggeo, N. Ponchant, F. Rarbi, J.-P. Richer, J.-P. Scordilis, D. Tourres, M. Yamouni, M. Zeloufi

The Electronics Group is in charge of the design, manufacturing and the installation of various electronics equipments used by the LPSC research teams. We are a team of engineers and technicians with experiences in various electronics domains: microelectronics, analog front-end design, data acquisition, PCB design, embedded software, etc.

Missions et organisation

Le service électronique a pour principales missions la conception, la fabrication, la mise en œuvre et la maintenance des électroniques dédiées au fonctionnement des expériences de physique auxquelles le LPSC est associé. Le service électronique intervient dans différents domaines de l'électronique, de la conception d'ASIC au développement de systèmes électroniques complexes et de leurs logiciels embarqués.

Le service est actuellement composé de 21 agents permanents (6 IR, 7 IE, 2 AI, 6 T), de deux doctorants et d'un bénévole. Un groupe CAO Cartes au sein du service est plus particulièrement chargé de la maintenance des outils informatiques CAO ainsi que de la réalisation et du suivi de fabrication des cartes électroniques conçues au LPSC.

Répartition des RH sur les projets

Au cours des années 2012-2013, le service électronique a été impliqué dans la majorité des projets techniques du LPSC (plus de 15 projets en moyenne). La plupart du temps, cette implication, en concertation avec les groupes de physique, va de la phase de définition des fonctionnalités requises, en passant par les choix technologiques pour se poursuivre jusqu'à l'installation et la mise en route des expériences. Le service prend aussi part dans les activités de coordination technique des projets, au niveau local (Planck, NIKA, GUINEVERE, NOY) mais aussi au niveau national (LSST).

Fiche de compétences et moyens matériels spécifiques

De part la taille du service et la diversité des réalisations effectuées, les compétences du service électronique sont variées et en perpétuelles évolutions, citons les principales :

- **Électronique analogique** : électronique bas bruit, conditionnement de signaux, électronique RF, haute tension modules NIM et Camac, mise en œuvre de détecteurs (PMT, APD).
- **Électronique numérique** : FPGA, DSP, micro-contrôleurs, protocoles VME, USB, Ethernet, temps réel, systèmes embarqués
- **Microélectronique** : ASIC faible consommation, ASIC front-end faible bruit, convertisseurs de données (ADC et DAC).
- **CAO carte** : cartes haute densité, cartes rapides, ressource support IN2P3.
- **Montage, câblage** : Montage d'expérience sur site, montage de détecteurs,

câblage de racks et de baies électronique, travail en salle blanche, câblage haute tension, collage, potting, coating.

- **Achats**
- **Gestion de projet**
- **Compétences spécifiques** : techniques spatiales, chambres à étincelles, compatibilité électromagnétique
- **Moyens spécifiques au service** : stations de travail CAO carte et micro électronique, ateliers de câblage et de tests, moyens de tests électroniques (oscilloscopes, analyseurs logiques, etc.), moyens de programmation (EEPROM, FPGA, DSP, μ Contrôleurs), moyens de tests spécifiques ADC et DAC, enceinte thermostatique

Activités de R&D

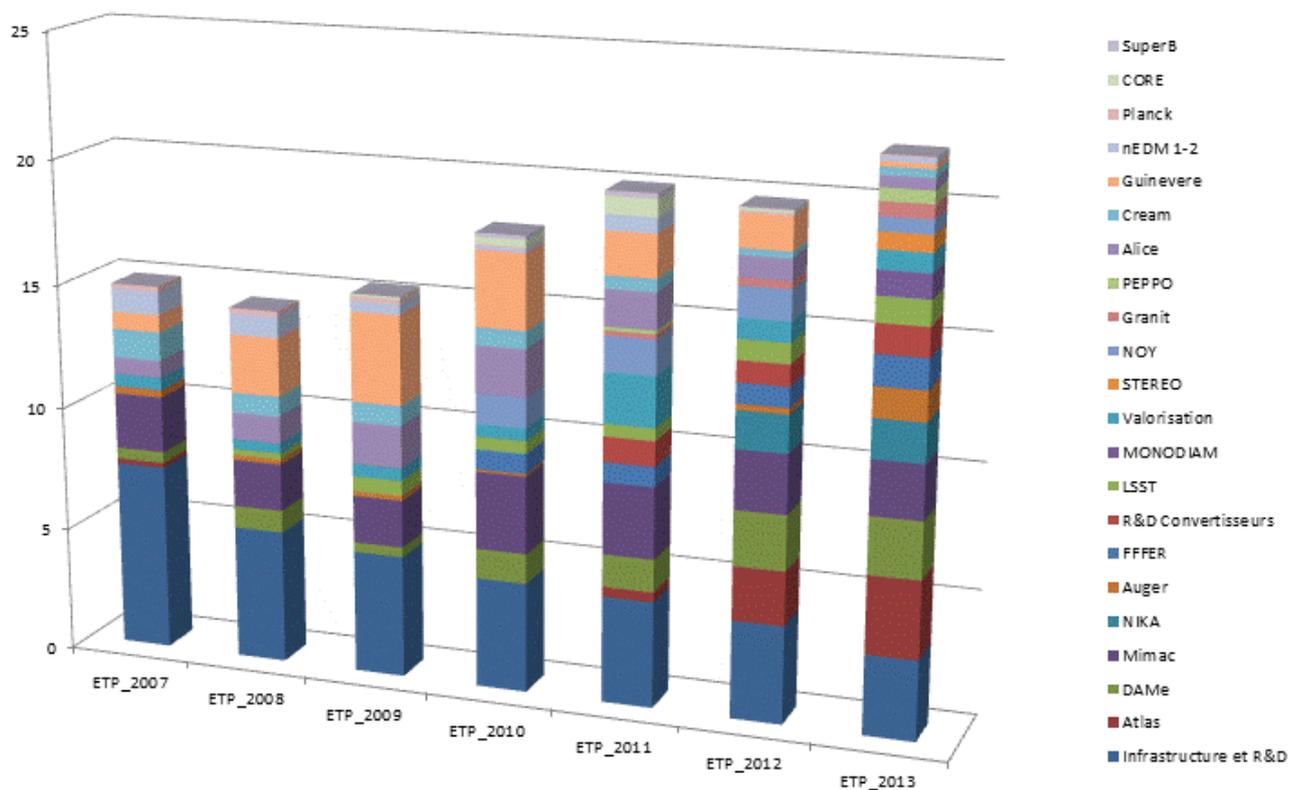
De part la spécificité des électroniques développées pour les expériences du LPSC, il y a peu d'activités de R&D à long terme en électronique système. Nous collaborons cependant avec d'autres laboratoires de la région Grenobloise ou de l'IN2P3 et proposons l'accès à nos moyens et compétences spécifiques lorsque cela est possible (Institut Néel, IPAG, etc.).

Dans le domaine de la microélectronique, le service électronique mène depuis maintenant plusieurs années une étude de fond sur la conception de convertisseurs analogiques numériques et numériques analogiques dédiés aux expériences de physique de particules. Les développements actuels d'ADC sont basés sur des structures pipeline et à approximations successives avec des résolutions cibles >12 bits et des vitesses d'encodage allant jusqu'à 50 MHz. La spécificité de ces convertisseurs est l'utilisation de technologies qui restent facilement accessibles tout en maintenant des gammes dynamique importantes et des consommations faibles (typiquement inférieur à 1 mW/MHz pour un 12 bits). Un autre axe de R&D dans ce domaine est le développement d'ADC colonnes pour l'imagerie, présentant une faible empreinte physique afin de les intégrer directement sur le détecteur.

Faits marquants en 2012 et 2013

- Planck : publication des premiers résultats.
- MIMAC : installation du démonstrateur au Laboratoire Souterrain de Modane.
- GUINEVERE : démarrage du programme scientifique à Mol (Belgique).
- AMS : premières publications sur les résultats d'AMS. Le service électronique était responsable de l'électronique bas niveau et du plan de détection du sous détecteur RICH.
- NIKA : premières campagnes de mesures avec l'électronique de lecture des KIDs développée au service électronique du LPSC.
- Valorisation : dépôts de brevets en microélectronique (R&D convertisseurs et Développement et Applications pour le Médical).

ELECTRONIQUE



Répartitions annuelles des RH du Service Électronique sur les projets du laboratoire.

Service Documentation et Communication

E. Vernay, C. Favro, J. Riffault.

The purpose of the Documentation and Communication department, composed of 3 members, is to provide support to promote research results, to organize internal events and facilitate access to information.

Missions et organisation

Le service a un rôle de support aux activités de communication du laboratoire et de son personnel. Son implication peut aller de l'organisation complète de l'opération à un simple rôle de conseil. Il intervient dans les actions de communication interne (rédaction de documents, organisation d'événements destinés aux personnels du LPSC...), de communication scientifique (organisation de conférences) et dans les actions destinées au grand public (organisation de la fête de la science, réalisation de flyers...). Un infographiste assure la création de visuels pour les différents supports de communication du laboratoire et de son personnel (plaquette du laboratoire, posters pour les conférences...).

L'activité documentation couvre la gestion des ressources documentaires, la fourniture de documents ainsi que le recensement des publications pour l'ensemble des personnels du laboratoire.

Le service est constitué de 3 personnes qui travaillent en collaboration avec un physicien assurant, avec le chef de service, le rôle de correspondant communication du laboratoire.

Faits marquants en 2012-2013

L'année 2013 aura vu la fin de la rédaction de la nouvelle plaquette de présentation du laboratoire. De plus, on notera durant ces deux années une implication croissante de tous les membres du service dans la mise en place et la mise à jour du site web du laboratoire.

Les actions de communication du laboratoire sont décrites au chapitre *Communication et diffusion des connaissances*.

Service Administratif

*C. Deslorieux, S. Benaïssa, A. Colas, L. Coppola, C. Martin, F. Petiot, N. Rico, B. Roisin,
C. Servoz-Gavin, C. Vannier, A. Vey*

Missions et organisation

Ce service assure en continu un rôle d'interface avec les trois établissements gestionnaires (CNRS, UJF et Grenoble INP) et un rôle d'assistance et de conseil auprès des responsables de groupes et de services et des personnels de l'unité.

Le service traite tous les problèmes administratifs, financiers et comptables liés à l'activité globale du laboratoire et est étroitement associé à l'activité contractuelle des groupes de physique.

Le service est constitué d'une équipe de 11 personnes, réparties en 3 pôles d'activités : le bureau du personnel, la gestion budgétaire, contractuelle et financière, l'accueil-conciergerie-logistique.

Le bureau du personnel

Il a pour mission de conseiller et informer les personnels sur leurs droits et leurs obligations. Il assure la gestion et le suivi des dossiers de carrière des personnels permanents et temporaires, la gestion de leurs congés, Compte Épargne Temps, et congés maladie. Il instruit et effectue le suivi administratif des dossiers de recrutement des contractuels rémunérés sur les ressources propres du laboratoire, des doctorants et des stagiaires (préparation du dossier administratif, engagement financier, formalités auprès des structures de contrôle). Il prend en charge l'accueil des personnels en leur apportant toutes les informations pour faciliter leur intégration dans le tissu local et au sein du laboratoire (gestion de l'annuaire du personnel, des badges d'accès au site, des cartes de restauration). Dans le cadre de ses attributions en matière de ressources humaines pour la tutelle UJF, il est chargé du suivi médical des agents relevant de l'université.

Le bureau du personnel assure également une veille réglementaire dans le domaine de la gestion du personnel et des ressources humaines et le suivi des demandes de postes.

La population gérée par le bureau du personnel en 2013 est de 225 membres dont 66 chercheurs et enseignants chercheurs, 93 ITA, 49 doctorants et post-doctorants. En 2013, le laboratoire a accueilli 2 nouveaux permanents (1 chercheur et 1 ITA), 10 nouveaux doctorants, 21 CDD, 54 stagiaires.

Le suivi des personnels nécessite un important travail de mise à jour de bases de données et de tableaux de bord multiples, pour être en capacité de répondre aux nombreuses enquêtes des différentes tutelles du laboratoire.

Le bureau du personnel gère par ailleurs le plan formation de l'unité (PFU) en liaison avec le correspondant formation du laboratoire. Il est chargé de sa mise en œuvre : diffusion des offres de formation, instruction des demandes d'inscription (251 demandes de formation exprimées au PFU en 2013, 108 demandes d'inscription gérées) et gestion des crédits du laboratoire affectés à la formation permanente.

La gestion budgétaire, contractuelle et financière

Le service administratif est chargé de l'élaboration et du suivi du budget annuel du LPSC : prise en charge des ressources, suivi et justification des contrats, échéanciers prévisionnels des ressources attendues (contrats pluriannuels); répartition suivant les critères LPSC de ces ressources; exécution des budgets dans les logiciels de chaque tutelle; réalisation à la demande des groupes et services de bilans financiers réguliers; suivi du budget consolidé des trois tutelles.

Il participe activement au montage de projets et de collaborations (coopérations internationales, projets européens, réseaux nationaux, projets régionaux, coopérations industrielles). Il met au service des chercheurs ses connaissances juridiques et administratives pour l'élaboration des dossiers, notamment par sa participation aux réunions de la cellule de revue technique de Projet.

Il travaille en collaboration avec le correspondant valorisation du laboratoire et avec les services correspondants des trois tutelles.

Une base de données des relations contractuelles, élaborée en 2010, permet d'avoir un suivi de l'ensemble des contrats du laboratoire, de la négociation à la fin d'exécution contractuelle.

Pour l'année 2013 le budget s'est élevé un peu plus de 13 M€ HT incluant la masse salariale dont 35% en provenance des ressources contractuelles (coopérations internationales, projets européens, réseaux nationaux, projets régionaux, collaborations industrielles). En 2013 le laboratoire a géré 6 contrats européens, 8 contrats institutionnels nationaux, 16 contrats de collaboration avec les industriels. Le LPSC est également partie prenante de 3 LABEx (ENIGMASS, FOCUS et PRIMES) et d'un EQUIPEX (BEDOFIH).

L'équipe des gestionnaires financiers assure l'exécution du budget. Elle traite dans le respect des règles en vigueur plus de 6000 actes administratifs par an se traduisant par l'engagement des dépenses (commandes, missions), la création des ordres de missions et les réservations de billetterie et d'hôtel, le calcul du montant des remboursements dus aux agents, la transmission des états de frais au paiement, la liquidation des factures, la gestion des immobilisations.

Pour mener à bien ces activités, les gestionnaires sont chargées d'un portefeuille de groupes et services dont les crédits sont composés de toutes les sources de financement. Jusqu'à fin 2011, les gestionnaires utilisaient trois outils de gestion différents (XLAB, SIFAC(s)).

L'équipe logistique

Elle a en charge l'accueil des visiteurs et l'accueil téléphonique, le gardiennage du site et la conciergerie, le vagemestre, la réception des colis et la gestion des véhicules administratifs.

Faits marquants en 2012 et 2013

Le service a connu de nombreux mouvements de personnel entre 2008 et 2013 (retraites, maladie, arrivées et départs de CDD, recrutements de titulaire). Le dernier mouvement a eu lieu en 2013, avec le recrutement par concours d'une nouvelle gestionnaire suite à départ en mobilité fin 2012.

Ces deux années ont été consacrées à la stabilisation de l'équipe des gestionnaires, à la mise en place de procédures et de méthodes de travail communes permettant de fiabiliser les actes de gestion et d'optimiser le temps de traitement. La capitalisation de cette phase de formation s'est concrétisée, en relation avec le responsable qualité du laboratoire, par la rédaction de procédures.

En 2012, les trois tutelles du laboratoire ont confié la gestion des crédits du laboratoire au CNRS par la signature d'une convention de délégation globale de gestion financière. Cette gestion centralisée des crédits auprès d'un seul établissement, avec l'utilisation d'un seul outil de gestion a permis d'optimiser l'organisation du pôle financier, de supprimer le recours au CDD et permettra à terme une consolidation plus aisée des ressources et des dépenses du laboratoire.

Mener à bien l'ensemble des missions dévolues au service administratif implique de chaque membre de l'équipe une grande capacité à travailler en équipe, une forte autonomie, une motivation individuelle importante, une expertise technique en croissance permanente, un intérêt pour l'apprentissage de nouveautés fonctionnelles ou techniques, une réactivité et une flexibilité importantes.

Service Sécurité- Radioprotection

W. Regairaz, Assistant de Prévention (AP), Personne Compétente en Radioprotection (PCR) du laboratoire, et gestionnaire des matières nucléaires.

This service ensures the management of safety and health at work, and the protection of the environment. Its purpose is to reduce the hazards, thanks to technical and human arrangements.

Missions et organisation

Sous la responsabilité du directeur, ce service met en place la gestion de la sécurité des personnes dans le laboratoire. Il s'agit notamment :

- De la sécurité liée aux activités scientifiques et aux infrastructures du laboratoire : prévention des risques (électriques, asphyxie, chimiques, laser, machines-outils, etc.).
- De la radioprotection et de la gestion des matières nucléaires : achat de sources radioactives, prêt, transport, évacuation, constitution de dossiers d'autorisation, réponses à des inspections des autorités.
- De l'élaboration avec les chefs de services du document d'évaluation des risques.
- De la préparation des demandes de financement d'actions de mises en sécurité transmises au CNRS ou à l'université.
- De la formation à la sécurité des personnels, notamment lors de leur arrivée.
- De l'établissement de plans de prévention avec les entreprises extérieures et les laboratoires accueillant des agents du LPSC.
- D'actions pour la protection de l'environnement (déclaration, gestion des déchets).
- Des situations d'urgence (secourisme, incendie) et de crise (risque nucléaire, grippe, etc.).

Faits marquants en 2012 et 2013

Gestion des déchets

Actions de recherches d'améliorations, de formalisation et d'information du personnel.

Gestion des matières nucléaires

Révision du Dossier d'Autorisation et de Contrôle.

Nomination d'un second agent pour garantir certaines contraintes réglementaires.

Identification d'un repreneur pour l'évacuation d'un lot pénalisant en termes de contrôles, et démarches utiles à sa réalisation.

Conditions de travail

Remplacement de nombreuses fenêtres pour un gain en confort auditif et thermique.

Autorisations

Dépôt à l'ASN (Autorité de Sureté Nucléaire) de dossiers de demande d'autorisation de mise en œuvre d'accélérateurs.

Service Patrimoine et Infrastructures

P. Roisin

Les 10 bâtiments construits en fin des années 60 représentent environ 20000 m² de bureaux sur 5 hectares d'emprise au sol et nécessitent un entretien permanent. Quatre réseaux d'eau, trois postes de transformateurs, 2 compresseurs alimentant près de 2 km de réseau d'air comprimé, 12 climatiseurs ou ventilo-convecteurs, trois chaudières...

Travaux réalisés

Infrastructures

- Réfection intégrale de l'entrée principale dans le cadre du projet GIANT (photo 1):
 - Aménagement paysager du parvis.
 - Création d'un accès pour handicapés.
 - Changement des baies vitrées.
- Réaménagement de 25 bureaux (peintures, électricité, faux plafonds).
- Création et pose d'un abri vélos de 50 places (dalle de béton désactivé, abris, supports) (photo 2).
- Remise en état des évacuations des eaux pluviales du bâtiment 4 (débouchage descentes, regards...).
- Création d'une plateforme béton en sous-sol et mise en place de 3 box grillagés.
- Création d'un local pour stocker les copeaux de machines-outils.
- Remplacement de 220 châssis fenêtres en rénovation.
- Pose de 440 stores vénitiens et rideaux extérieurs.
- Reprise de l'étanchéité de la façade du pignon est de l'atelier.
- Création d'une descente EP dans le hall B.

Électricité

- Deuxième et dernière phase de modernisation du système de téléphonie.
- Remplacement de l'éclairage du parvis et pose de candélabres à LED.
- Éclairage des abris vélos et pose de bornes de recharge pour les vélos à assistance électrique.
- Réfection de l'alimentation électrique de l'atelier maquette.
- Pose de résilles électriques pour l'accès parvis de l'entrée principale.
- Mise en place de résilles d'acheminement de l'entrée du bâtiment 1A.

Plomberie

- Mise en place d'une climatisation pour le projet FFFER.
- Changement des radiateurs du hall d'entrée du bâtiment 1A.
- Mise en place d'un ventilo-convecteur branché sur l'eau industrielle en remplacement de la climatisation en place.
- Changement de pompes de puits pour notre réseau d'eau industrielle.

Chauffage/climatisation

- Remplacement de 3 pompes de circulation.

- Remplacement d'une climatisation réversible pour l'expérience LLST.
- Étude d'un réseau de refroidissement pour la zone CAO.



Photo 1 : Le nouveau parvis de l'entrée principale du LPSC.



Photo 2 : Le nouvel abri vélos.

Valorisation et Transferts de technologie

La valorisation: une activité soutenue et une large ouverture

Le large spectre de compétences réunies au sein du LPSC permet une bonne ouverture du laboratoire en direction d'acteurs des domaines scientifiques et économiques.

Les collaborations utilisent la plupart des outils propres à la valorisation des travaux de recherche: cela va des simples contrats de collaboration de recherche, d'envergure très variable, aux projets soutenus par les structures de valorisation mutualisées (GRAIN 2, Floralis), aux transferts de savoir-faire, aux brevets et aux licences commerciales.

Ces dernières années ont vu se pérenniser les activités traditionnellement pourvoyeuses de valorisation comme les services de prestation en mécanique, les mesures de basse activité, les plasmas ou les sources d'ions, mais progressivement presque tous les domaines techniques du LPSC s'ouvrent à des actions extérieures ou bien sont sollicités par des entreprises et des laboratoires pour leur savoir-faire.

Le laboratoire des basses activités, outre ses liens déjà anciens avec les sociétés impliquées dans les matériaux pour le nucléaire, a rejoint le réseau Becquerel de l'IN2P3. Cela améliore sa visibilité et a permis le financement de nouveaux équipements.

Le CRPMN poursuit et élargit ses activités de valorisation en partenariat avec des industriels, aussi bien dans le domaine du développement de sources plasma micro-onde (IREIS, THALES), que dans le domaine des matériaux et traitement de surfaces (UGITECH, VALEO) à travers des projets de valorisation (FUI, bourses CIFRE). L'activité du groupe s'est matérialisée par la cession de deux licences non-exclusives à HEF et à SAIREM, et par le dépôt de 4 brevets. Au Service des Sources d'Ions, l'option du développement de micro-sources d'ions (projet GRAVIT I & II) permet l'ouverture de la technique des sources ECR à des domaines nouveaux comme les faisceaux ultra-focalisés (Orsay Physics), l'implantation en grande surface (BODYCOTE, VALEO), et désormais aussi le dépôt des couches minces grâce à une technologie totalement innovante (ILL, cibles de physique).

Le service accélérateurs met à disposition d'un industriel (PMB) des locaux adaptés aux tests de générateurs intenses de rayons X utilisant des accélérateurs linéaires compacts d'électrons.

L'électronique, à travers le projet MASSAR, là aussi soutenu par le pré-incubateur GRAVIT, s'engage dans un projet de nouveau type de convertisseur ADC de grande densité et de grande dynamique dédié, à terme, aux applications dans l'imagerie.

Un gros projet de collaboration de recherche (450 K€) avec l'IRSN/IRFU et utilisant les savoir-faire conjoint des groupes du détecteur MIMAC et sources d'ions a été finalisé en 2013 par la livraison d'une ligne de quenching portable.

L'équipe Développement et Application pour le Médical apporte ses compétences sur un large projet ISI/OSEO, réunissant laboratoires et industriels de l'informatique médicale. L'objectif est la mise au point d'un profileur de faisceau en radiothérapie, dans une géométrie protégée par un brevet LPSC.

Enfin un partenariat avec EDF a été mis en place pour le développement et la validation d'un nouveau capteur NRC (Nivomètre à Rayonnement Cosmique) destiné au renouvellement du parc actuel (40 balises autonomes dans les massifs français). Ce capteur NRC est destiné à la mesure de l'équivalent en eau du manteau neigeux pour estimer les réserves sous forme de neige et optimiser ensuite le remplissage des retenues d'eau au cours de l'année. Le principe du capteur, validé par le LPSC, repose sur la mesure de l'atténuation dans la couche de neige de la partie neutronique du rayonnement cosmique.

En parallèle de ces activités, désormais bien établies, des nouvelles pistes pourraient aussi s'ouvrir autour des physiciens des accélérateurs (accueil d'accélérateurs linéaires à électrons) ainsi que des possibilités de valorisation des actions faites autour de la boucle à sels fondus (Groupe Réacteurs).

L'année 2013 avec 5 brevets déposés, 1 en cours de dépôt et l'ensemble des projets cités est bien représentatif du dynamisme des actions de valorisation du LPSC.

Laboratoire de mesure des faibles radioactivités

R. Brissot, M. Heusch, O. Meplan, M. Ramdhane
Service Détecteurs et Instrumentation

The low-level radioactivity measurement facility of the LPSC laboratory performs analysis of gamma emitters on various types of samples, solids or liquids, for the needs of industrial clients, for fundamental research and environmental survey.

Les activités principales

Chaque année, le laboratoire de mesure des faibles radioactivités (LBA) analyse la radioactivité d'échantillons provenant pour la plupart d'entre eux de trois origines distinctes :

- L'industrie nucléaire et tout particulièrement la métallurgie du zirconium, des produits miniers au métal purifié, en passant par toutes les étapes de la chimie d'élaboration (zircon, tétrachlorure de zirconium, zircon déhafnié). La sélectivité chimique, spécifique de chaque étape du processus industriel, rend l'interprétation des spectres gamma particulièrement délicate, car elle détruit l'équilibre séculaire des chaînes radioactives naturelles.
- Mesure de la teneur en radioéléments des matériaux de construction pour le compte des industriels et des centres de recherche du bâtiment.
- Surveillance radiologique des nappes phréatiques aux environs immédiats des centres de stockage des déchets miniers, tests de lixiviation du radium sur ces mêmes déchets, avant stockage définitif.

Au cours de ces deux dernières années plus de 200 analyses ont été effectuées.

Amélioration et faits marquants

- Une simulation numérique de l'efficacité de détection des deux détecteurs au germanium a été développée à l'aide de deux codes stochastiques de transport de particules, MCNP d'une part et Geant4 d'autre part. En effet, dans la plupart des cas il n'est pas possible de disposer d'étalons ayant la même géométrie que l'échantillon mesuré. Les résultats obtenus avec ces codes sont associés aux résultats de campagne d'inter-calibration de l'IRSN, sur des échantillons d'activité connue. Cette procédure permet de tenir compte des changements de géométrie des différents échantillons et de tenir compte des variations de l'auto-absorption γ induites par les différences de composition chimique et de densité de l'échantillon.
- L'un des détecteurs de muons cosmiques situé sur la porte d'accès aux germaniums et fonctionnant en mode « veto », a été changé. La technologie basée sur la scintillation liquide a été abandonnée au profit d'un scintillateur solide lu par un photomultiplicateur ; la collection de lumière s'effectue par un cône réfléchissant, selon la technique développée par le Service Détecteurs et Instrumentation pour l'expérience Codalema.
- Le laboratoire de mesure du LPSC a rejoint en 2010 le réseau Becquerel, réseau qui fédère les potentialités de 7 laboratoires de l'IN2P3 (IPNL, IPNO,

CENBG, IPHC, LSM, Subatech et LPSC) dans le domaine des mesures de radioactivité dans l'environnement. Cette structure fédératrice doit améliorer dans le futur la visibilité du laboratoire au plan national. Le réseau a également permis en 2011 d'améliorer la capacité d'analyse du LBA en finançant en partie l'acquisition d'un nouveau détecteur de type BEGE (Broad Energy GERmanium) mieux adapté à la mesure d'échantillons de gros volume et plus performant en terme d'efficacité de détection gamma.



Fig. 1: Vue du dispositif de mesure entrouvert; sur la gauche le nouveau détecteur de muons et son cône de collection de lumière.

Service Électronique

D. Dzahini, L. Gallin-Martel, F. Rarbi

Projet MASSAR

MASSAR est une nouvelle architecture de convertisseur analogique numérique pour les chaînes de lecture comportant plusieurs centaines, voire des milliers, de voies à traiter en parallèle. Cette architecture a été brevetée. Un soutien financier du pré-incubateur GRAVIT a permis de réaliser le premier prototype utilisant ce concept.

L'architecture MASSAR a été déclinée dans une configuration de grande résolution (14 bits), et haut débit 0,5 MSPS/voie; la consommation pour chaque voie est seulement de 500 μ W.

La technologie MASSAR est particulièrement adaptée pour les nouvelles générations de photodétecteurs denses et de très haute résolution, les bolomètres infrarouges et jusqu'aux nouveaux imageurs grand public comme les DSC (Digital Still Camera). La figure 1 montre le premier prototype de 32 voies.

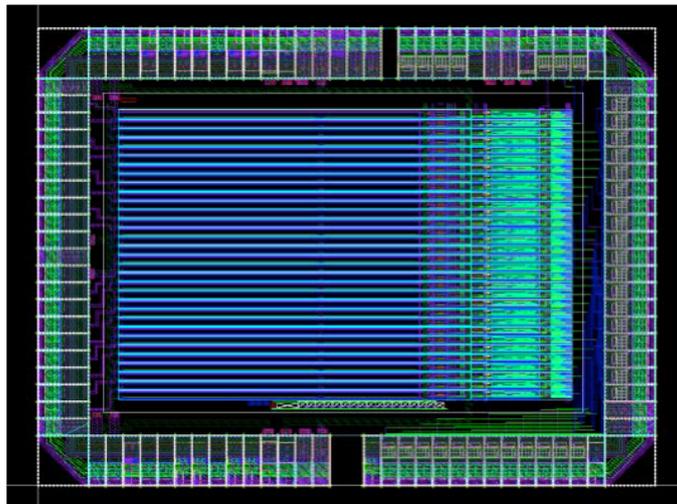


Fig. 1 : Premier prototype de convertisseur-colonnes de 32 voies MASSAR.

Les tests de ce circuit ont nécessité la mise en œuvre d'une technique « chip on board » pour réduire la longueur des fils reliant le circuit au boîtier. La figure 2 illustre la comparaison entre cette méthode et celle classique pour la mise en boîtier.

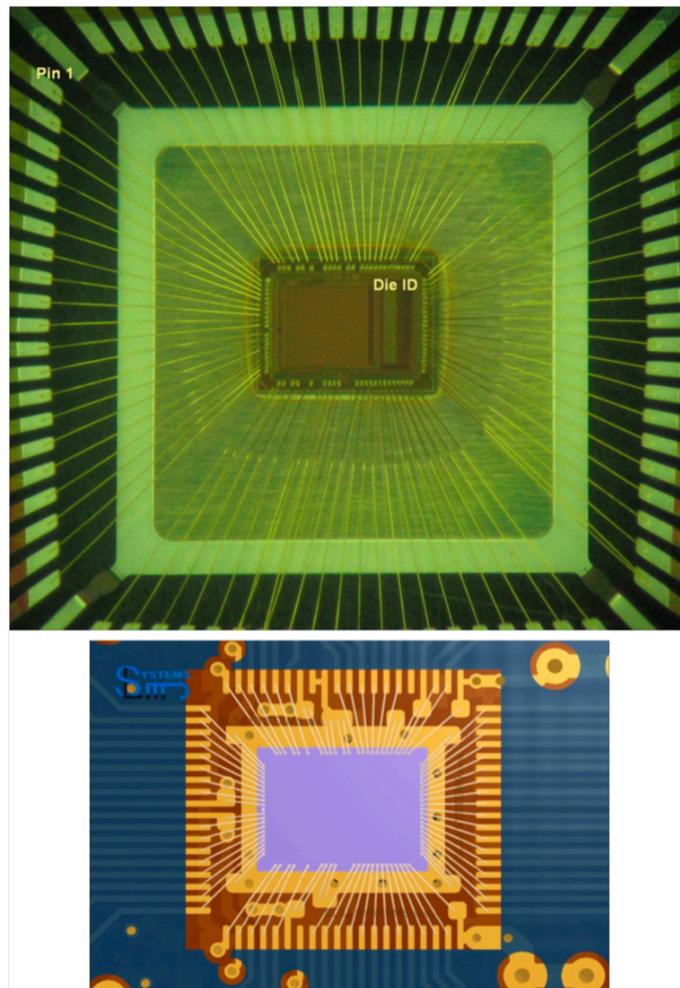


Fig.2: Circuit MASSAR à l'échelle: comparaison des fils de connection («bonding») pour le montage en boîte (en haut) et le montage «Chip On Board» (en bas).

Service Sources d'ions

T. Lamy, J. Angot, L. Bonny, S. Bouat, J. Jacob, P. Sole, P. Sortais

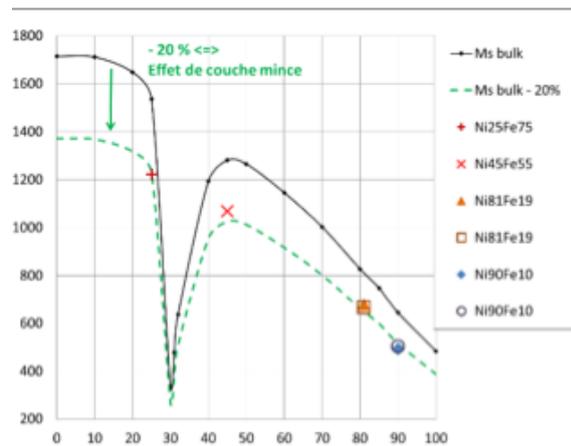
Machines multi-faisceaux MBS-20 et MBS-6



La machine de dépôt MBS-20 (Fig. ci-contre), fabriquée grâce à un financement GRAVIT en 2011, contient 20 sources d'ions COMIC et peut faire des dépôts d'épaisseur homogène sur de très grandes surfaces. Ces 20 sources peuvent tirer 20 faisceaux d'ions indépendants sur 20 matériaux cibles fixés sur un porte-cible. Dans ce cas c'est une zone de 200 à 300 mm de diamètre qui peut subir le dépôt. Avec l'aide de l'Institut Néel qui nous a permis d'utiliser tout son

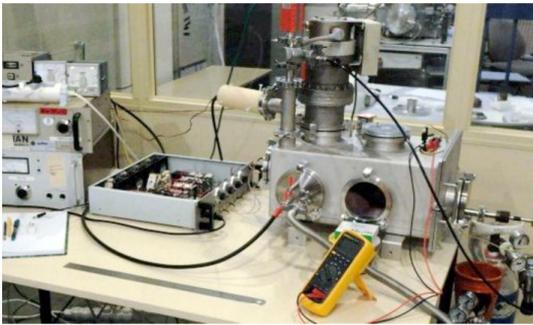
panel de méthodes de caractérisation (Diffraction de rayons X, mesures AFM, mesures supra au PPMS et mesures magnétiques au SQUID-VSM pour les principales), nous avons pu vérifier les bonnes propriétés des matériaux déposés avec cette nouvelle technique dite multi faisceaux :

- Très bon état de surface des couches déposées (rugosité quasi nulle).
- Maîtrise de dépôts supraconducteurs en couches ultrafines : nous avons déposé une couche NbN de 5 nm d'épaisseur qui présente une température critique de 7,15 K ainsi que des multicouches NbN-AlN qui sont actuellement en cours de caractérisation.
- Maîtrise de la composition lors de dépôt d'alliages : la figure ci-contre (from R.M. Bozorth, Ferromagnetism, 1964) présente (courbe noire) l'aimantation à saturation pour les alliages magnétiques de nickel-fer (utilisés dans la fabrication des mémoires magnétiques) en fonction du pourcentage de nickel dans le fer. Dans le cas des couches minces les valeurs sont diminuées de 20% (courbe verte). Nous avons réalisé des dépôts de différentes stœchiométries en réglant l'intensité des faisceaux d'ions sur chaque cible dans le même rapport que pour la composition souhaitée (Ni₂₅Fe₇₅, Ni₄₅Fe₅₅, Ni₈₁Fe₁₉, Ni₉₀Fe₁₀).



L'image du système en fonctionnement pour les 3 premiers rapports d'intensité est montrée en dessous du graphe. Les aimantations à saturation des échantillons obtenus ont été mesurées et reportées sur le graphe, on constate

un parfait accord entre la courbe théorique et nos points de mesure. Ceci montre que le simple réglage de l'intensité des faisceaux sur les cibles permet de contrôler exactement la stœchiométrie des dépôts obtenus par la machine MBS.



Une seconde machine plus simple, de type « table-top » a été développée avec l'Institut Laue Langevin. Elle est dédiée au fonctionnement en boîte à gants pour des dépôts sur substrats contaminants (Fig. ci-contre). Celle-ci est caractérisée par une très bonne accessibilité du porte-substrat et un environnement technique simplifié (pas de refroidissement, pas de

composant extérieur à l'enceinte à vide à la haute tension, pompage réduit).

Un exemple d'utilisation est le dépôt de platine comme couche d'accroche pour des cibles de physique nucléaire (Fig. ci-contre). Deux sources seulement ont été sollicitées afin de définir une zone de dépôt de 2 par 9 cm quasi uniforme et adaptée à la forme des cibles appelées à recevoir ultérieurement une couche de matériaux transuraniens par voie chimique. Dans le cas de l'utilisation des 6 sources d'ions et cibles simultanément, c'est alors une zone d'environ 10 cm de diamètre qui pourrait être traitée.



Service Accélérateurs

M. Baylac

Essais d'accélérateurs industriels au LPSC

Depuis 2012, l'équipe des accélérateurs du LPSC met à disposition des locaux pour les essais de mise en service d'accélérateurs linéaires intenses d'électrons conçus par un industriel (PMB). Ces machines sont dédiées à la génération de hautes doses de rayons X (jusqu'à 30 Gy/min). La mise en œuvre de ces machines requiert donc un important niveau de blindage qui n'est, à l'heure actuelle, pas disponible auprès de la société développant ces accélérateurs.

La casemate du cyclotron de SARA, accélérateur à l'arrêt depuis 1997, fournit des locaux parfaitement adaptés en termes de blindage au fonctionnement de ces accélérateurs intenses. La casemate a été aménagée pour permettre l'installation et la mise en œuvre de ces machines. Depuis, plusieurs machines ont été accueillies pour des essais de mise en service.



Fig. 1 : Accélérateurs linéaires à électrons en tests dans la casemate du cyclotron SARA.

Groupe Astroparticules

D. Santos, P. Sortais, J. Médard

O. Guillaudin, M. Marton, J.-F. Muraz, Service Détecteurs et Instrumentation

D. Fombaron, S. Roudier, Service Études et Réalisations Mécaniques

J.-P. Scordilis, Service Électronique

Projet COMIMAC

La détection directe de matière sombre non-baryonique par le projet MIMAC demande la détermination de la part en ionisation de l'énergie du recul nucléaire qui a subi une interaction avec une particule exotique de notre halo galactique. Cette détermination quantitative signifie avoir mesuré ce que l'on appelle le facteur de « quenching » en ionisation (IQF).

Ces mesures se font régulièrement au LPSC depuis 5 ans sur une ligne expérimentale spécialement conçue et développée par le Service des Sources d'Ions du laboratoire.

Afin de pouvoir réaliser ce type de mesures sur les sites expérimentaux du détecteur MIMAC (Modane, Cadarache), le LPSC a développé une ligne de quenching portable (LQP). La LQP permet de produire des faisceaux d'ions et d'électrons à des énergies pouvant atteindre 50 keV. Ce développement a été rendu possible en partie grâce à la miniaturisation des sources ECR (sources COMIC). La LQP a été couplée à une chambre d'ionisation par l'intermédiaire d'une interface adaptée pour l'injection des ions dans le volume de détection et permettant de minimiser le straggling subi par les ions à l'entrée de la chambre. Un filtre de Wien, spécialement dimensionné à la géométrie de la LQP, permet de sélectionner en q/m les différentes espèces.

Au cours de ces deux dernières années, deux lignes de quenching portables ont été construites au LPSC dont l'une a fait l'objet d'une action de valorisation auprès de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). La première LQP a été livrée et mise en fonctionnement à l'IRSN au cours du mois de mars 2013 tandis que la deuxième est actuellement en cours de validation au LPSC.

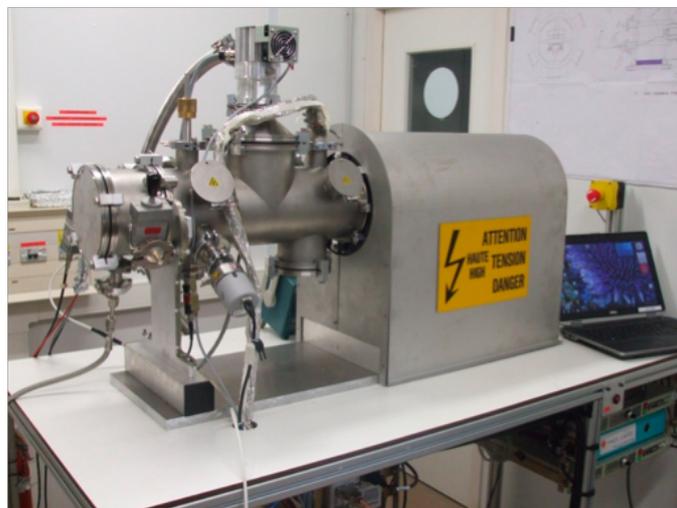


Fig. 1 : Ligne de Quenching Portable (COMIMAC) couplée à une chambre d'ionisation.

Groupe Développements et Applications pour le Médical

Y. Arnoud, I. Fonteille, M.-L. Gallin-Martel, O. Rossetto
O. Guillaudin, A. Pelissier, Service Détecteurs et Instrumentation
B. Boyer, L. Gallin-Martel, Service Électronique

Profileur pour la mesure en ligne des faisceaux de radiothérapie

La mise en œuvre de nouvelles techniques d'irradiation en radiothérapie comme le masquage dynamique du faisceau (Intensity Modulated RadioTherapy et Volumetric Modulated ArcTherapy) permet un dépôt de dose plus précis au niveau des tissus à traiter, tout en préservant les organes à risques. Ces techniques nécessitent la mise en place de nouveaux systèmes de contrôle, qui ne sont pas actuellement présents sur les machines commerciales.

Un partenariat avec le service de radiothérapie du CHU de Grenoble a été initié pour le développement d'un profileur de faisceau. Des mesures régulières sous les faisceaux des accélérateurs médicaux du CHU ont dès à présent permis de mesurer localement la forme du faisceau, et l'évolution temporelle de ses caractéristiques, à l'aide de deux prototypes développés au LPSC. L'électronique analogique nécessaire à la lecture des signaux a été développée spécifiquement par le service électronique, alors que le Service Détecteurs et Instrumentation a assuré l'intégration des éléments issus de la phase de R&D. Un troisième prototype va être réalisé, permettant une mesure 2D et en temps réel des faisceaux au cours de l'irradiation. Après réduction des données, les signaux de ce détecteur seront transmis en ligne à une console de décision, afin d'arrêter l'irradiation dans le cas où une anomalie serait mise en évidence, par rapport au plan de traitement initialement établi.

Ce projet fait partie d'un programme ISI¹, financé par la banque publique d'investissement Bpifrance, pour l'augmentation de la sûreté en radiothérapie (projet INSPIRA). Les prototypes développés au LPSC ont fait appel à des technologies innovantes (dépôt de brevet FR N° 11/53254). Un contact avec la société IBA² a été établi, en vue d'une commercialisation du produit dans les années à venir.

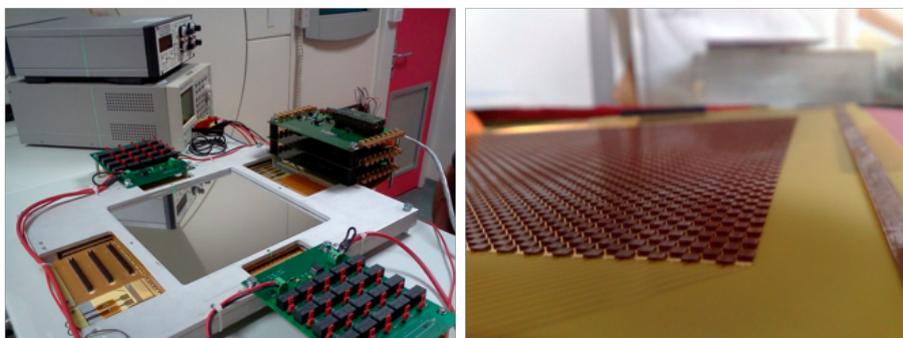


Fig. 1 : (Gauche) Le 2e prototype prêt à enregistrer des données sous le faisceau de radiothérapie. (Droite) Détails sur la structure innovante à base de piliers en polyimide de hauteur 500 µm afin de réduire la diaphonie.

1 Innovation Stratégique Industrielle

2 Ion Beam Applications

Centre de Recherche Plasmas- Matériaux-Nanostructures

A. Lacoste, S. Béchu, A. Bès, L. Bonny, M. Coste, H. Le Quoc, J. Pelletier, T. L. Phan, C. Prahoveanu, A. Todoran

Partenariat de valorisation

La valorisation des activités du groupe se traduit par le transfert, aussi bien au niveau académique qu'au niveau industriel, de technologie basée sur des sources plasma étudiées et développées au LPSC. Au niveau académique, plusieurs laboratoires (LSPM Villetaneuse, LPCI Le Mans, LAPLACE Toulouse, Université de Patras Grèce), se sont dotés de réacteurs équipés de ce type de sources commercialisées par Boréal-Plasmas (filiale de HEF). Au niveau industriel, il est à noter l'achat de licences non-exclusives conclu avec SAIREM (2012) et avec HEF (2013) pour différentes familles de brevets CNRS-UJF.

Dans ce contexte de développement de sources plasma micro-onde distribuées, quatre nouveaux brevets ont été déposés en 2013: deux UJF/CNRS, et deux autres TED/UJF/CNRS. Ces deux derniers ont été déposés par TED (Thales Electron Devices) et résultent de la collaboration LPSC-TED mettant à profit des savoir-faire complémentaires (hyperfréquences-TED et plasma-LPSC). Cette collaboration, démarrée en 2007, a été renforcée par une première thèse CIFRE (2009-2011) et se poursuit avec une deuxième thèse CIFRE (2011-2014) et un projet FUI-GMP DLC2 (2012-2015).

Un autre volet important de l'activité de valorisation du groupe porte sur l'une des principales applications de ces technologies qui est celle d'élaboration de matériaux en couches minces et de traitement de surface. Les contrats avec différents partenaires permettent de valoriser la technique de co-pulvérisation assistée par plasma (réactif ou non) pour la réalisation des matériaux complexes à composition ou à fonctionnalité bien définies (VALEO – thèse 2012-2015, CAR-NOT-Energies du Futur – thèse 2013-2016). L'expertise du groupe en la matière a également conduit à un contrat avec UGITECH (thèse CIFRE, 2011-2014).

Projets ANR Valorisation

La valorisation des technologies plasma micro-onde développées par le groupe au sein du LPSC a été soutenue par l'ANR Emergence (appel à projet 2010) sous forme de financement du projet APANAGE (2011-2013) portant sur la réalisation d'une chambre de gravure plasma à hautes performances adaptable sur plateformes existantes. Le principal objectif de ce projet stratégique est d'accéder au marché de la micro-électronique.

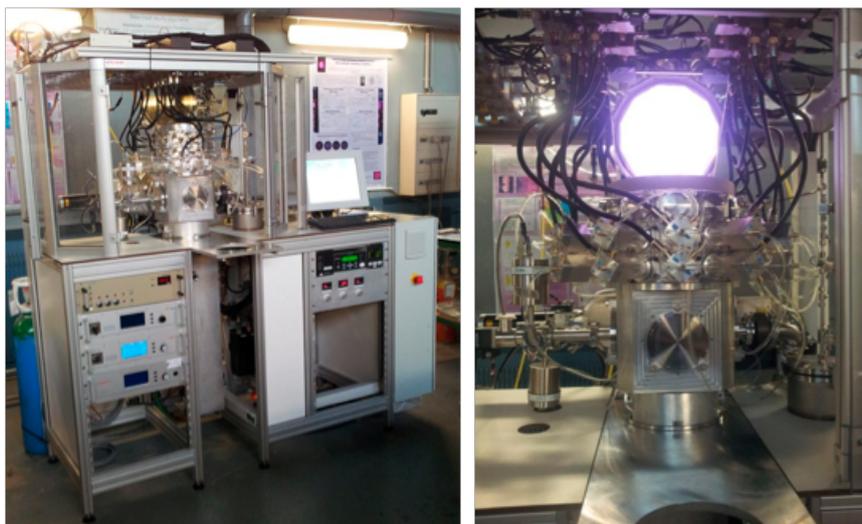


Fig. 1 et 2 : Réacteur conçu et développé au LPSC avec financement ANR Emergence (2011-2013).

Formations par et pour la recherche et formations professionnalisantes

Le LPSC compte actuellement 29 enseignants-chercheurs dont 21 de l'Université Joseph Fourier et 8 à Grenoble INP. De plus, on compte en moyenne entre 5 et 10 moniteurs parmi nos doctorants et 2 à 3 ATER par an.

Les membres du laboratoire, enseignants-chercheurs, ATER et moniteurs sont très impliqués dans les formations et dans la vie universitaire. Cette implication est importante dans de nombreuses filières de l'enseignement supérieur : licence, master recherche et professionnalisant, école d'ingénieur, IUT et recouvre l'ensemble des domaines présents dans le laboratoire, depuis la formation à la recherche en physique expérimentale et théorique à la recherche appliquée et aux formations professionnalisantes.

Le laboratoire est aussi un site important d'enseignement sur le polygone scientifique avec de nombreux enseignements (au niveau Master) sur le site et la présence au sein du laboratoire de la plateforme de travaux pratiques nucléaire qui est l'unique centre de formation expérimentale en physique nucléaire sur Grenoble et sa région.

L'ensemble des thématiques scientifiques du laboratoire est représenté dans les enseignements : physique nucléaire - énergie nucléaire - physique des particules - astroparticules et cosmologie - physique médicale. Le laboratoire a notamment une place centrale dans la formation nucléaire à travers l'école d'ingénieur Phelma¹ et le master ITDD².

L'intégration de ces formations au sein du LPSC permet de susciter la participation de l'ensemble du laboratoire et on peut en particulier noter la participation aux enseignements du personnel CNRS et le soutien technique du laboratoire à la plateforme de travaux pratiques.

Master PSA

Le master PSA³ entend dispenser une formation de haut niveau pour de futurs chercheurs, théoriciens ou expérimentateurs, avec de larges connaissances en physique fondamentale.

Le spectre des disciplines enseignées couvre la physique des particules élémentaires et des interactions fondamentales, la théorie quantique des champs et la mécanique quantique relativiste, la physique hadronique et nucléaire, la relativité générale et la cosmologie, les astroparticules, la physique au-delà du modèle standard, ainsi que les techniques expérimentales et les méthodes de détection associées.

À l'issue de ces enseignements, un stage de 4 mois au sein d'un laboratoire de recherche est prévu. Il constitue une part importante de la formation.

¹ Physique, Électronique, Matériaux

² Ingénierie, Traçabilité, Développement Durable

³ Physique Subatomique et Astroparticules

Les anciens étudiants de ce master ont obtenu ces dernières années d'excellents résultats aux concours du CNRS (chargés de recherche) et des universités (maîtres de conférence).

Le programme comporte trois parcours distincts : *Particules et Univers, Noyaux et particules* et *Physique des accélérateurs*. De plus, suite à la labellisation « internationale », deux cours dans chaque filière sont donnés en anglais.

Le nombre d'étudiants est de 10 à 15 par an. Ils proviennent du M1 de physique de l'UJF, de l'école d'ingénieur Phelma, d'autres universités et écoles françaises et de formations étrangères.

Master EEATS spécialité NENT

La spécialité NENT⁴ est une des options du master EEATS⁵ de l'UJF et Grenoble INP.

L'objectif du parcours recherche de la spécialité NENT est de former des futurs chercheurs se destinant aux domaines de la microélectronique, depuis les nano composants et nanotechnologies jusqu'à la conception de systèmes sur puces. Elle représente sur Grenoble une des spécialités les plus importantes en termes de nombre de doctorants.

Le parcours professionnel de la spécialité NENT a, lui, été créé pour répondre à une forte demande de la part des industriels de la région en conception de circuits. L'objectif de ce parcours est de former des spécialistes dans le domaine de la conception des systèmes intégrés numériques, analogiques et radiofréquence. L'architecture des systèmes, les méthodologies de conception, la conception de systèmes numériques et la conception de systèmes analogiques sont en particulier étudiés, permettant la maîtrise globale de la conception de systèmes en tirant parti des technologies les plus avancées.

Les différentes filières proposées dans la spécialité sont :

- Conception de systèmes intégrés numériques.
- Conception de systèmes intégrés RF & Télécoms.
- Physique des semiconducteurs pour la nanoélectronique et l'énergie.
- Plasma - matériaux, énergie, environnement (resp. A. Lacoste).

Une partie importante des enseignements est mutualisée entre les deux spécialités. Plusieurs permanents UJF et CNRS du laboratoire interviennent dans ces formations. Des étudiants en microélectronique, issus du master EEATS-NENT, sont régulièrement accueillis en tant que stagiaires au laboratoire. Des doctorants de la spécialité effectuent leur thèse au laboratoire.

Master physique médicale

Le master 2 physique médicale forme les étudiants physiciens (école d'ingénieurs, master 1 physique fondamentale ou appliquée, etc.) au métier de Personne Spécialisée en Radio-Physique Médicale.

Le master 2 physique médicale de Grenoble est habilité pour l'accès au concours d'entrée au DQPRM⁶, qui permet d'exercer en milieu hospitalier après 2 années

⁴ Nano Électronique et Nano Technologies

⁵ Électronique Électrotechnique Automatique Traitement du Signal

⁶ Diplôme de Qualification en Physique Radiologique et Médicale

supplémentaires de formation, incluant cours théoriques et applications pratiques en service de radiothérapie, de médecine nucléaire et d'imagerie X.

Le physicien médical a pour mission principale de garantir la qualité et la sécurité dans l'utilisation médicale des rayonnements ionisants dans le traitement des cancers, mais aussi en appui au geste opératoire en chirurgie interventionnelle ou encore lors d'examens type scanner ou imagerie par émission de positrons. L'utilisation de matériel de plus en plus complexe et la précision des traitements nécessite des qualités d'adaptabilité, d'initiative, d'analyse, et aussi de modélisation.

Les étudiants ayant suivi la formation ont aussi la possibilité d'effectuer une thèse : la formation permet à la fois des débouchés dans la recherche et dans le milieu professionnel.

L'environnement grenoblois permet de bénéficier d'intervenants de l'hôpital Michalon et de chercheurs (Grenoble Institut Neurosciences, ESRF, LPSC, etc.) tous impliqués dans le traitement du cancer.

Le LPSC fait partie du directoire de la formation et assure depuis le début de la formation en 2006 les enseignements de l'interaction des rayonnements avec la matière, ainsi que la modélisation et la simulation de la propagation des photons dans la matière et des dépôts d'énergie associés.

École ESIPAP

Dans le cadre du labex ENIGMASS, la nouvelle école de physique pour l'instrumentation ESIPAP⁷ a été créée. Cette école reprend le modèle de l'école de physique et de technologie des accélérateurs de particules JUAS⁸, fondée en 1994, sous le patronage conjoint du CERN et de CLUSTER (réseau européen des universités technologiques). Comme JUAS, ESIPAP est basée sur le Technoparc d'Archamps en Haute-Savoie et elle est organisée dans le cadre de l'institut ESI⁹.

L'école va former des étudiants au niveau master et thèse dans le monde entier mais aussi des professionnels cherchant une formation continue dans l'instrumentation.

ESIPAP est organisée autour de deux modules d'un mois chacun, ces modules peuvent être préparés la même année ou séparément.

Tous les cours se termineront par une évaluation des connaissances appropriées des étudiants. En conséquence, ESIPAP délivrera des crédits ECTS¹⁰ qui peuvent être reconnus dans les programmes de formation universitaires européens.

Comme JUAS, ESIPAP cherche à développer des partenariats avec des universités européennes. C'est déjà le cas avec les universités de Strasbourg, Grenoble, Savoie et Grenoble INP. Des discussions sont en cours avec d'autres organisations, en particulier avec le CERN, où des séances de laboratoire seront organisées.

La première session de ESIPAP aura lieu du 20 janvier au 15 mars 2014. Pour plus d'informations, consulter le site web www.cern.ch/esipap.

⁷ *European School of Instrumentation in Particle and Astroparticle Physics*

⁸ *Joint Universities Accelerator School*

⁹ *European Scientific Institute*

¹⁰ *European Credits Transfert System*

Formation continue traitements de surfaces par plasma

Introduction à l'interaction particules surface

Depuis 1986, un stage annuel de formation continue en plasma est organisé conjointement par le LPSC et l'Institut National Polytechnique de Grenoble (Grenoble INP). Il permet aux ingénieurs, doctorants, cadres, et techniciens supérieurs d'acquérir des notions de base sur :

- La production et la caractérisation des plasmas froids.
- Les mécanismes d'interaction plasma-surface.
- Les procédés de gravure et de dépôt par plasma.

Ce stage, d'une durée de 5 jours, se déroule dans les locaux de l'INP Grenoble et, depuis 2005, pour partie au LPSC (13 heures de formations pratiques). Les intervenants sont des enseignants-chercheurs, chercheurs et ingénieurs du LPSC, ainsi que des industriels (Jobin Yvon, HEF R&D, Tokyo Electron, ST Plasmas, AREVA), professeurs ou ingénieurs extérieurs spécialistes des matières dispensées.

Depuis l'origine, 292 stagiaires se sont inscrits à cette formation, avec une répartition presque égale entre industriels et universitaires. Parmi ces industriels, la part du CEA Grenoble (LETI principalement) représente le quart des effectifs formés.

Ces dernières années, la forte demande de formation venant de l'industrie s'est concrétisée par des demandes de formation spécifiques « à la carte » notamment pour les laboratoires IMEP-LAHC, CEA-LETI et les sociétés SOITEC et 40-30.

Secteur de l'énergie et de la physique nucléaire

Formation d'ingénieurs à Grenoble INP

L'école de physique de Grenoble INP (connue maintenant sous le nom de Phelma), membre de l'ENEN¹¹, propose actuellement un choix de dix filières de formation initiale. La filière GEN¹² forme 45 à 50 ingénieurs par an, spécialisés majoritairement dans la physique du cœur du réacteur (neutronique, thermohydraulique, sûreté et matériaux). Cette formation est la première de France en termes de formation initiale d'ingénieurs nucléaires. Le nombre d'ingénieurs formés est de fait limité par le potentiel enseignant et par les moyens expérimentaux en instrumentation nucléaire. En complément de cette filière, l'école Phelma gère le master 2 EP¹³, (co-habilité Grenoble INP-UJF) qui compte entre 20 et 30 étudiants. La filière GEN et le master EP, qui offre également un parcours de formation aux énergies renouvelables, sont tous les deux gérés par les enseignants du LPSC.

Actuellement, à ce flux de 50 élèves-ingénieurs en génie énergétique et nucléaire, viennent s'ajouter dans le cadre de l'école Phelma :

- Les étudiants du master international en métallurgie nucléaire, ouvert en collaboration avec l'université de Mac Master (Canada), EDF et le CEA.
- L'accueil d'étudiants chinois de l'université NCEPU (Pékin) au niveau « Bachelor » (5 à 20 par an depuis 2008).

¹¹ European Nuclear Education Network

¹² Génie Énergétique et Nucléaire

¹³ Énergétique Physique

Par ailleurs, 25 élèves-ingénieurs sont formés au sein de la filière IEN¹⁴ de l'école E3¹⁵ regroupant les écoles actuelles d'hydraulique et d'électricité, plus spécialisées autour des circuits secondaires et de conversion, en thermohydraulique et contrôle-commande.

École d'ingénieurs du nucléaire en Chine

En 2008, suite à une demande de l'université Sun Yat Sen de Canton, l'INP Grenoble a été missionné par le gouvernement français, pour mettre sur pied dans la province de Canton, une école du nucléaire, IFCEN¹⁶ sur le modèle des grandes écoles françaises. L'enseignement, en français, a commencé par deux années généralistes, analogues à nos classes préparatoires, et se poursuit actuellement par trois années d'études pour arriver au niveau équivalent de la deuxième année de master. La demande chinoise est formatée pour un flux de sortie annuel de 150 ingénieurs. Face à une telle demande, l'INP a fédéré autour de ce projet un consortium de 5 écoles ou universités : outre l'INP, on retrouve l'école des mines de Nantes, l'école Centrale de Paris, l'INSTN¹⁷, l'école de chimie et de physique de Paris et l'école de chimie de Montpellier. Ces établissements mettent à disposition de cette école une part importante des enseignants intervenant tout au long des trois dernières années de formation. Le démarrage de la formation au niveau bac+1 est intervenu à la rentrée 2011.

Master ITDD

Le master mention ITDD (<http://lpsc.in2p3.fr/MasterITDD/>) est un master professionnel qui se déroule sur deux ans et comporte trois spécialités liées à l'aval du cycle et à la sûreté nucléaire :

- Gestion Scientifique et Technologique des Déchets Radioactifs (GeDéRa).
- Assainissement, Démantèlement des Installations Nucléaires (ADIN).
- Sûreté Nucléaire (SN).

Les enseignements ont lieu à Valence, au centre Drôme-Ardèche de l'UJF.

L'effectif total pour ces trois spécialités est de 50 à 60 étudiants par an. Le master 1, ouvert en 2008, a un effectif d'environ 30 étudiants.

La caractéristique principale du master ITDD est une très forte liaison avec le milieu industriel, se traduisant par 4 à 6 mois de stage en industrie en M1, une formation en alternance en M2 (18 semaines en formation et 34 en entreprise) depuis la rentrée 2008, une forte proportion d'intervenants industriels dans la formation et différentes conventions de partenariat. Cette formation s'appuie sur le potentiel scientifique universitaire et sur les compétences de grands acteurs industriels français dans le secteur du nucléaire, de la chimie et de l'environnement industriel.

La formation proposée dans le master 1 ITDD comporte un volet important de physique nucléaire (structure nucléaire, radioactivité, réacteurs nucléaires, neutronique), de chimie (chimie du cycle du combustible, chimie des lanthanides) et de génie mécanique pour le nucléaire. Cela permet de se préparer au mieux aux spécialités de M2. L'accent est mis sur l'applicabilité des notions à des cas concrets avec une part importante d'enseignement expérimental.

14 Ingénierie de l'Énergie Nucléaire

15 Eau Énergie Environnement

16 Institut Français de Canton pour l'Énergie Nucléaire

17 Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires

L'insertion professionnelle des diplômés est excellente : la durée d'attente moyenne avant l'obtention d'un CDI dans le monde industriel est actuellement inférieure à 2 semaines. Environ 1/3 des diplômés sont recrutés par les grands donneurs d'ordre (AREVA, EDF, CEA). Les 2/3 restants sont recrutés par des sociétés d'ingénierie prestataires (ONET Technologies, Millennium, Spie Nucléaire...).

Partenariats :

- Institut national des sciences et techniques nucléaires - Commissariat à l'énergie atomique (INSTN - CEA) (Co- habilitation pour les spécialités GeDéRa & ADIN).
- EDF, Centre ingénierie déconstruction environnement.
- Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA).
- Groupe AREVA NC, AREVA NP, AREVA TA, SGN, STMI, FBFC, EURODIF productions...
- Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).
- Autorité de sûreté nucléaire (ASN).
- Groupe ONET : ONECTRA, SOGEDEC, Techman Industrie...

Plateforme de physique nucléaire

La plateforme de physique nucléaire est le centre unique de formation en physique expérimentale nucléaire sur le pôle grenoblois, elle a donc un rôle central dans l'ensemble des formations les utilisant. Cette installation est présentée dans le chapitre 9 de ce rapport.

Accueil de stagiaires au LPSC

Le laboratoire accueille environ 60 stagiaires par an pour des périodes au moins supérieures à une semaine. Les étudiants viennent principalement des établissements universitaires (L2 à M2 - DUT - Élèves-ingénieurs) de l'académie mais aussi d'autres établissements universitaires français ou étrangers. Tous les stagiaires sont accueillis dans les locaux du laboratoire qui leur assure la mise à disposition de l'environnement (bureau-informatique...) leur permettant de travailler dans les meilleures conditions. Au niveau de l'UFR de physique de l'université de Grenoble, les stagiaires accueillis au LPSC constituent l'un des contingents les plus élevés comparé à ceux des autres laboratoires associés à l'UFR.

Dans certaines équipes, le nombre de stagiaires accueillis dépasse largement le nombre de permanents. La plupart des stages (environ 80%) s'échelonnent sur la période mars à juin. Les stagiaires accueillis préparent un diplôme dont l'évaluation prend en compte le travail de stage.

Notons enfin que le laboratoire accueille également chaque année une petite vingtaine de collégiens de classe de 3e qui, pour quelques jours, viennent rêver de physique subatomique, d'astroparticules et de cosmologie et peut être choisir de rejoindre demain nos services techniques ou les équipes de recherche dans ces domaines.

Responsabilités

Les membres du laboratoire jouent un rôle très actif dans la vie des établissements universitaires en assurant diverses responsabilités au sein de leur composante.

Responsabilités au niveau de l'université de Grenoble :

- Vice-président du conseil d'administration de l'UJF (K. Protasov).
- Directeur de l'école doctorale de physique (J. Collot).

Responsabilités PHITEM :

- Directeur adjoint, en charge de la formation (C. Furget).
- Directeur de l'école doctorale de physique (J. Collot).
- Chargé de mission plateformes expérimentales (L. Derome).

Coordination et responsabilités des formations au niveau licence :

- Responsable licence mention physique et génie électrique (C. Furget).
- Responsable L3 mention physique (B. Clément).

Coordination et responsabilités des spécialités au niveau master et ingénieurs :

- M2R physique subatomique et astroparticules (A. Barrau).
- M2R énergétique physique (E. Merle-Lucotte).
- M1 ingénierie, traçabilité et développement durable (F. Mayet).
- M2P ingénierie, traçabilité et développement durable (E. Liatard).
- M2P conception systèmes intégrés numériques et analogiques (O. Rossetto).
- Responsable de la formation ingénieur génie énergétique et nucléaire à Phelma/ Grenoble INP (E. Merle-Lucotte).
- Responsable des stages de l'IUT mesures physiques (J.-M. De Conto).

Responsabilités formations complémentaires :

- Responsable du magistère de physique L3 à M2 (L. Derome).
- European School of Instrumentation in Particle and Astroparticle Physics (J. Collot).
- Correspondant Grenoble INP pour l' IFCEN (A. Bidaud).
- Formation continue : traitement des surfaces par plasma (S. Béchu).

Autres responsabilités :

- Responsable de la plateforme expérimentale de physique nucléaire et subatomique (L. Derome (UJF), C. Sage, E. Merle-Lucotte (Grenoble INP)).
- Responsable radioprotection auprès de la Licence (Y. Arnoud).
- Membre du directoire de la formation du master physique médicale (Y. Arnoud).

Communication et diffusion des connaissances

Les activités de communication recouvrent un grand nombre d'actions fort disparates qui ont pour objectif de favoriser la recherche scientifique, la diffusion des connaissances dans la société, d'améliorer le fonctionnement du laboratoire et de le mettre en valeur. Ainsi, elles sont destinées à la communauté scientifique, au grand public et aux membres du laboratoire. Elles sont très souvent dues à l'initiative du personnel du LPSC. Il n'est pas envisageable d'être exhaustif dans les quelques lignes qui vont suivre, mais la communication étant fortement liée à l'actualité, un grand nombre d'actions de communication menées durant ces deux années ont porté sur les thématiques suivantes : la découverte du boson de Higgs, la mission satellite Planck et ses résultats, le centenaire des rayons cosmiques.

Communication interne

Festivités, animation scientifique

Les cérémonies de remise des distinctions CNRS (cristal du CNRS pour Maud Baylac et médaille de bronze du CNRS pour Guillaume Pignol) ainsi que les traditionnels événements festifs du laboratoire (barbecue, repas de Noël) et de façon plus ciblée la journée d'accueil des nouveaux entrants au LPSC, ont été l'occasion renouvelée de réunir les personnels du laboratoire tous services et groupes confondus. Les diffusions, de plus en plus nombreuses, par webcast d'annonces, d'événements scientifiques ou d'événements de communication liés aux thématiques de recherche du laboratoire (la découverte du boson de Higgs ainsi que les résultats de l'expérience Planck plus particulièrement), ont été de l'occasion de rassembler les personnels qui le souhaitent autour d'une retransmission sur grand écran ou via un système de vidéo-conférence.

Diffusion de l'information

Des actions visant à développer la diffusion de l'information, les bonnes pratiques et une certaine cohésion au sein du laboratoire ont été renouvelées ou mises en œuvre durant ces deux années. On citera la mise à jour annuelle du guide pratique ainsi que la mise à disposition de modèles de documents (lettres, rapports, fax, cartons de correspondance) avec un nouveau graphisme. La mise en place d'un site Web en intranet durant l'été 2013, a permis de repenser l'accès aux informations et aux données du site en fonction de l'appartenance ou pas de l'internaute au LPSC. Ce nouvel outil permettant de diffuser des informations ciblées et pratiques à destination du personnel du laboratoire et favorisant ainsi la communication et l'autonomie.

Communication scientifique

Séminaires

Différentes sortes de séminaires scientifiques, durant lesquels un chercheur extérieur au LPSC vient présenter ses travaux, sont régulièrement organisés dans le laboratoire : les séminaires hebdomadaires de physique ; les séminaires de

physique théorique qui ont lieu une à deux fois par mois ; les séminaires qui permettent aux doctorants du LPSC de présenter leurs recherches et plus occasionnellement, des colloquium portant sur une thématique plus transversale et donc susceptible de toucher un public plus large ainsi que des conférences de la Société Française de Physique. Vous trouverez la liste des séminaires et notamment ceux donnés par les personnels du LPSC dans des instituts et laboratoires dans le chapitre Séminaires & Publications.

Congrès et conférences pour la communauté scientifique

Le laboratoire organise ou participe à l'organisation de congrès, conférences, ateliers et formations. Ces événements, destinés à la communauté scientifique, sont à l'initiative des personnels du laboratoire. Liste des manifestations qui se sont déroulées en 2012 et 2013 :

- Workshop "Implication of a 125 GeV Higgs boson", LPSC, 30 janvier - 2 février 2012.
- École Énergies & Recherche, station biologique de Roscoff, 18-23 mars 2012.
- SPRING 2012 AFTERMeeting: A Fixed-Target Experiment using the LHC beams, LPSC, 10-11 mai 2012.
- Journées de Physique Théorique, LPSC Grenoble, 24-25 mai 2012.
- IN2P3 School of Statistics 2012, Autrans, 28 mai - 1er juin 2012.
- Réunion FATIMA, LPSC Grenoble, 19-20 juillet 2012.
- Workshop "Nuclear Physics for Galactic Cosmic Rays in the AMS-02 Experiment", LPSC, 3-4 décembre 2012.
- Rencontres de Physique des Particules 2013 (RPP2013), LPSC, 16-18 janvier 2013.
- Implications of the 125 GeV Higgs Boson, LPSC, 18-22 mars, 2013.
- 4th RFTECH Workshop, Annecy, 25-26 mars, 2013.
- ESS Science Symposium on Neutron Particle Physics at Long Pulse Spallation Sources, LPSC, 25-27 mars 2013.
- Single Top Workshop, LPSC Grenoble, 2-3 mai 2013.
- Rencontres françaises sur la physique des hautes énergies au Large Hadron Collider (LHC France 2013), Annecy, 2-6 avril 2013.
- 9th International Workshop on High-pT Physics at LHC, LPSC Grenoble, 25-28 septembre 2013.
- 16th International Conference on RF Superconductivity (SRF2013), Paris, 23-27 septembre 2013.

Communication tous publics

Communication en direction du système éducatif

De nombreuses actions s'adressant aux scolaires et même aux professeurs sont menées par des personnels du laboratoire. On notera la participation au festival Remue-Méninges à destination des écoles primaires, le parrainage d'élèves de lycées dans le cadre de l'opération « 100 parrains pour 100 classes », le soutien actif apporté aux élèves du lycée Marie Reynoard pour leur participation au concours C-génial et aux Olympiades de Physique France dans lesquelles ils ont

été récompensés par le prix Edelweiss, la forte participation à l'organisation et au déroulement de Gephy 2013 (Grenoble École de Physique), école destinée aux professeurs de Physique et Chimie qui avait pour thématique la relativité.

Évènementiel

Durant ces deux années, un grand nombre de personnels du laboratoire a participé à des événements de communication destinés au grand public. Sans chercher à être exhaustif, on peut citer :

- La participation à Oufs d'Astro 2013, biennale du ciel et de l'espace organisée par le planétarium de Vaux en Velin sur la thématique du temps et de son rapport à l'espace et durant laquelle les cosmologistes et astrophysiciens du laboratoire ont été très impliqués.
- La fête de la science et tout particulièrement la forte mobilisation en 2012 qui a permis au LPSC d'être présent au village des Sciences qui avait lieu au centre commercial Grand'Place de Grenoble. Cet événement a été l'occasion de décliner notre échelle des grandeurs dans une nouvelle version : l'échelle des masses.



- Une occurrence à Grenoble de la « nuit des deux Infinis » organisée par le laboratoire d'Excellence P2IO, soirée mêlant débat, conférences, animations, théâtre, spectacle de danse, etc.

Interventions dans les médias, conférences

De nombreux chercheurs et enseignants-chercheurs sont intervenus dans les médias durant ces deux années pour informer, faire partager leur savoir, leur enthousiasme et leurs interrogations. Le nombre de participations à des émissions de radio est en forte augmentation. On recense une quarantaine de conférences données durant cette période. Les thématiques sont essentiellement issues de l'actualité scientifique (le satellite Planck, l'Univers, la découverte du boson de Higgs, le centenaire des rayons cosmiques en 2012) et des thématiques plus proches de la société (les réacteurs nucléaires). Le LPSC a participé à la réalisation, par l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules, d'une exposition sur les rayons cosmiques. Cette exposition a été mise en place dans des lycées, diffusion qui a été couplée avec des conférences.

Visibilité du laboratoire

La réalisation de marque-pages sur les thématiques ou expériences du laboratoire a continué avec la création de modèles pour les thématiques plasmas, réacteurs nucléaires et rayons cosmiques. De plus, ces deux années ont vu la finalisation de la nouvelle plaquette de présentation du laboratoire. Ces documents sont distribués lors d'évènements de communication grand public ou scientifiques. On notera cependant qu'avant même la réalisation papier de la nouvelle plaquette, le contenu du document a été utilisé pour la présentation générale du laboratoire sur le site Web dans les versions françaises et anglaises. En effet la mise en œuvre en avril 2013, par le service informatique, d'un nouveau module dans notre logiciel de gestion de contenu (Content Management System) Joomla permet aux différents webmasters du laboratoire de créer leurs pages en anglais. Le travail de traduction permettant à terme d'augmenter la visibilité du laboratoire.

Séminaires

Séminaires donnés par les personnels LPSC

2012

- J. Stark - Precision electroweak measurements at hadron colliders - Université de Göttingen, Allemagne, 6 janvier
- C. Biscarat - L'informatique au service de la physique des hautes énergies : morceaux choisis - LPC, Clermont-Ferrand, 20 janvier
- G. Pignol - Niveaux quantiques du neutron bondissant dans le champ de pesanteur - Laboratoire Collisions Agrégats Réactivité, Toulouse, 20 janvier
- J. Billard - Détection directionnelle de Matière Sombre avec MIMAC - CPPM, Marseille, 23 janvier
- G. Pignol - Probing dark energy models with bouncing ultracold neutrons - ILL, Grenoble, 7 février
- J. Stark - Measurement of the W boson mass at DØ using 5 fb⁻¹ of data, séminaire Wine & Cheese de Fermilab - Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois, États-Unis, 1^{er} mars
- D. Heuer - Le thorium et le nucléaire du futur - Ormes des Merisiers, Saclay, France, 15 mars
- T. Stavreva - Prompt photon and heavy quark production in p-p, p-A and A-A collisions - Santiago de Compostela, Espagne, 24 mars
- I. Schienbein - Global analysis of nuclear PDF - WWU Münster, Allemagne, 2 avril
- D. Heuer - Que s'est-il passé à Fukushima Daïchi - Laboratoire SIMAP, Grenoble, 3 avril
- I. Schienbein - Global analysis of nuclear PDF - SMU Dallas, États-Unis, 23 avril
- J. Stark - Measurement of the W boson mass at the Tevatron - LPNHE, Paris, 7 juin
- G. Pignol - Probing dark energy models with bouncing ultracold neutrons - Atom-institut, Vienne, Autriche, 22 juin
- A. Wingerter - A minimal model of neutrino flavor - Galileo Galilei Institute, Florence, Italie, 12 juillet
- A. Bidaud - Interdisciplinary study of future reactor technology shift - Culham Center for Fusion Energy, Oxford, Royaume-Uni, 27 juillet
- A. Wingerter - A minimal model of neutrino flavor - Ohio State University, Columbus, OH, États-Unis, 2 août
- D. Heuer - Une autre conception du nucléaire de fission est possible – Les jeudis du CNRS, Marseille, 6 septembre
- C. Combet - Galaxy clusters and gamma-rays from dark matter annihilation or decay - LPNHE, Paris, 13 septembre
- E. Voutier - Deeply virtual scattering off nuclei at Jefferson Lab - University of Perugia, Perugia, Italie, 21 novembre

J. Stark - Zum Ursprung der Masse: die neuesten LHC-Ergebnisse über das Higgs-Boson inklusive der November-Updates von ATLAS und CMS - Université de Tübingen Allemagne, 28 novembre

2013

C. Smith - Baryon and lepton numbers: where do we stand? - LPSC, Grenoble, 24 janvier

P. Sortais - The multi beam sputtering: a new thin film deposition approach - CRETA, Grenoble, 24 janvier

C. Biscarat - Aspects opérationnels dans le centre de calcul mutualisé de l'IN2P3 et dans la grille EGI, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Grenoble, 1^{er} février

K. Louedec - Ultra-high energy cosmic rays: recent results and challenges for the next years - APC, Paris, 13 février

K. Louedec - Ultra-high energy cosmic rays: recent results and challenges for the next years - Subatech, Nantes, 14 février

D. Heuer - Incidence du choix des sels fondus sur la conception et le fonctionnement d'un réacteur à sels fondus - Séminaires « Fluides caloporteurs pour réacteurs à neutrons rapides » 19-20 février, Académie des Sciences, Paris, 20 février

V. Ghetta - Technologie de mise en œuvre du sel comme fluide combustible et caloporteur: pompes, purge, nettoyage du sel, capteurs et maintenance - Séminaires « Fluides caloporteurs pour réacteurs à neutrons rapides » 19-20 février, Académie des Sciences, Paris, 20 février

A. Wingerter - SO(10) meets LHC - University of Liverpool, Angleterre, 27 février

D. Heuer - Le MSFR (Molten Salt Fast Reactor) et les matériaux - Collège de France, Paris, 8 mars

M. Brinet - Calculs de précision en QCD sur réseau - IDRIS, Orsay, 27 mars

K. Louedec - Ultra-high energy cosmic rays: recent results and challenges for the next years - LAPP, Annecy, 29 mars

E. Voutier - The proof-of-principle experiment PEPPo - Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Sofia, Bulgarie, 10 avril

P. Sortais - The multi beam sputtering: a new thin film deposition approach - Institut Néel, Grenoble, 14 avril

M.-H. Genest - Supersymmetry Searches at the LHC - LPNHE, Paris, 16 mai

E. Voutier - Polarized positrons for physics - Johannes Gutenberg Universität, Mainz, Allemagne, 22 mai

M.-H. Genest - Supersymmetry and dark matter at the LHC - LPTMS, Orsay, 28 mai

M.-H. Genest - Supersymmetry Searches at the LHC - Séminaires de Physique des Hautes Énergies à Montréal, Université de Montréal, Canada, 22 avril

G. Pignol - Probing dark energy models with bouncing ultracold neutrons - CEA, Saclay, 12 juin

P. Sortais - Introduction aux principes de fonctionnement des sources d'ions - Valeo, Bobigny, 27 juin

I. Schienbein - PDFs: strange, charm & bottom - SPhN CEA, Saclay, 28 juin

F. Lyonnet - PyR@TE: Python RGEs at two loop - Ohio State University, Columbus, États-Unis, 18 juillet

C. Combet - Planck: mission overview and 2013 cosmological results - LPNHE, Paris, 12 septembre

T. Thuillier - Les sources d'ions ECR supraconductrices de 3ème génération: technologie, performances et application à Spiral2 - CEA/IRFU, Saclay, 26 septembre

F. Ledroit - Latest news from the LHC on Exotics direct searches - LPNHE, Paris, 26 septembre

E. Voutier - Polarized positrons for physics - Institut de Physique Nucléaire, Orsay, 27 septembre

C. Combet - Planck: mission overview and 2013 cosmological results - CENBG, Bordeaux, 4 octobre

C. Combet - Dark matter indirect detection: status and prospects from dSph galaxies and galaxy clusters - IPNL, Lyon, 29 octobre

E. Merle-Lucotte - The concept of fast spectrum Molten Salt Reactor (MSFR) - French-Swedish seminar on future nuclear systems - KTH, Stockholm, Suède, 3 décembre

Analyse des publications et taux de citations

Les données sont extraites de la base Web of Science (janvier 2014)

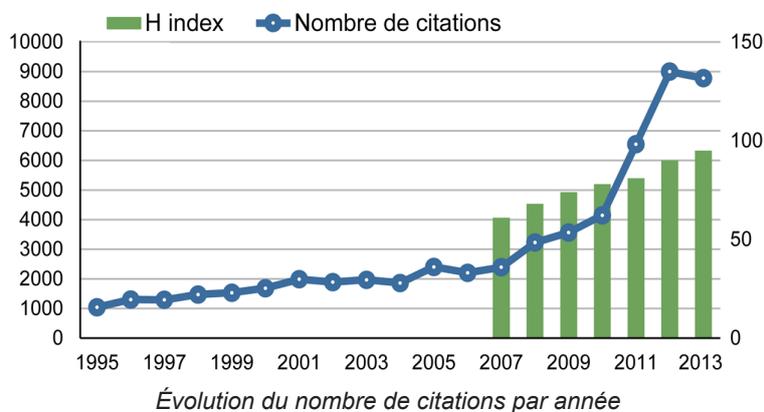
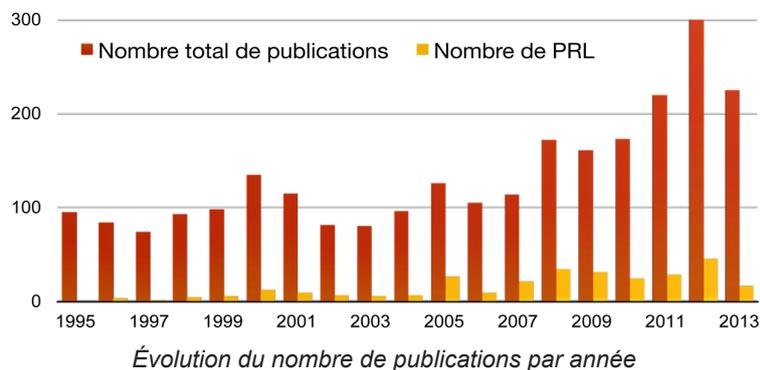
Pour l'année 2013

Nombre de publications du LPSC : 225

Nombre de publications dans Physical Review Letters : 16

Nombre de citations des publications du LPSC : 8777

H-index : 95



La production scientifique du LPSC a augmenté de façon significative ces dernières années avec un taux de citation important comme l'indiquent ces graphiques. Au delà de cette constatation, on peut signaler que si les publications liées à l'effet LHC (avec les expériences ATLAS et ALICE) ainsi qu'à la mission Planck, ont influencé fortement les résultats de ces dernières années, un examen des 18 articles du Top250+ (plus de 250 citations au 1/02/2014) montre la vraie richesse scientifique du LPSC puisqu'ils concernent plusieurs thématiques du laboratoire et sont issus de plus de 10 expériences différentes.

Conférences données à l'invitation du comité d'organisation dans un congrès national ou international

Liste des communications effectuées par les personnels du LPSC ou pour lesquelles, au minimum, l'un des auteurs est affilié au laboratoire.

Le nom de la personne ayant fait la communication est souligné.

Les noms des personnes affiliées au LPSC sont en caractères gras.

Quarks, leptons et symétries fondamentales

ATLAS-ILC-DØ

36th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2012), Melbourne, Australia, July 4-11 2012

- **J. Stark** for the D0 collaboration – Measurement of the W boson mass with the D0 detector and combination of the CDF and D0 results for the W boson mass – *PoS (ICHEP2012) 094*

Calorimetry for the High Energy Frontier (CHEF 2013), Paris, France, 22-25 avril 2013

- **J. Stark** for the D0 collaboration – Precision calibration of the D0 liquid argon calorimeter and algorithms of electrons, photons and jet reconstruction – Proceedings of CHEF 2013 Calorimetry for the High Energy Frontier, Eds. J.-C. Brient et al. *ISBN 9782730216241 69-79*

2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPSHEP 2013), Stockholm, Sweden, July 18-24 2013

- **J. Stark** for the ATLAS, CDF, CMS, D0, LHCb Collaborations – Electroweak physics – *Proc. à paraître (PoS)*
- **F. Ledroit-Guillon** for the ATLAS, CDF, CMS, D0 Collaborations – Search for new resonances from BSM at Tevatron and LHC – *Proc. à paraître (PoS)*

Astroparticules et Cosmologie

AMS-CREAM-LSST

Reflections on Space, Time and their Quantum Nature, Golm, Germany, 26th-28th November 2012

- **A. Barrau** – From loop quantum cosmology to the multiverse

What are we learning from the gamma-ray sky?, Minneapolis, Minnesota, USA, October 10-12 2013

- **D. Maurin** – Dark matter indirect detection from dwarf spheroidal galaxies (dSphs) and galaxy clusters

Auger-CODALEMA

12th Pisa Meeting on Advanced Detectors “Frontier Detectors for Frontier Physics”, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, May 20-26 2012

- **C. Bérat** on behalf of the Pierre Auger Collaboration – Radio detection of extensive air showers at the Pierre Auger Observatory – *Nucl. Instrum. Meth. A 718 (2013) 471-474*

23rd European Cosmic Ray Symposium (ECRS 2012), Moscow, Russia, July 3-7 2012

- **K. Louedec** for the Pierre Auger Collaboration – Origin of atmospheric aerosols at the Pierre Auger Observatory using backward trajectory of air masses – *J. of Phys. Conf. Series 409 (2013) 012236*

4th Workshop on Air Shower Detection at High Altitude, Napoli, Italy, January 31 - February 1 2013

- **C. Bérat** for the Pierre Auger Collaboration – The Pierre Auger Observatory and its performance

22^{ème} Congrès Général de la Société Française de Physique, Marseille, France, 1-5 juillet 2013

- **K. Louedec** – Les rayons cosmiques d’ultra-haute énergie à l’Observatoire Pierre Auger

Planck-MIMAC

Journées Cryogénie et Supraconductivité, Aussois, France, 6 juin 2012

- **C. Renault** pour la collaboration Planck – Planck et Herschel: deux satellites à la recherche des origines

XLVIIIth Rencontres de Moriond Very High Energy Phenomena in the Universe, La Thuile, Italy, March 9-16 2013

- **D. Santos** – Dark Matter Directional Detection – *Proc. à paraître*

15th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD15), Pasadena, California, USA, June 24-28 2013

- **A. Monfardini** et al. – Latest NIKA results and the NIKA-2 project

European Week of Astronomy and Space Science (EWASS 2013), Turku, Finland, July 8-12 2013

- **J. Macias-Perez** – Measuring the thermal Sunyaev-Zeldovich (tSZ) with Planck

Physique hadronique et Matière nucléaire

ALICE-JLab

13th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU 2013), Rome, Italy, September 30 - October 4 2013

- **E. Voutier** – Physics perspectives at JLab with a polarized positron beam PEP-Po @ JLab – *Proc. à paraître (EPJ Web of Conferences)*

Physique des réacteurs

3rd International Workshop on Nuclear Data Evaluation for Reactor Applications (WONDER 2012), Aix-en-Provence, France, 25-28 septembre 2012

- **G. Kessedjian** et al. – Development of a gas filled magnet spectrometer coupled with the Lohengrin spectrometer for fission studies – *EPJ Web of Conferences 42 (2013) 01007*

Colloque National des Jeunes Sociétaires SFEN « Les Énergies de Demain », Lyon, France, 11-13 avril 2013

- **D. Heuer** – Les réacteurs du futur

American Nuclear Society 2013 Annual Meeting, Atlanta, Georgia, USA, June 16-20 2013

- **M. Brovchenko** et al. – Molten Salt Fast Reactor transient analyses with the COUPLE code – *Proc. à paraître*

Thorium Energy Conference 2013 (ThEC13), CERN, Geneva, Switzerland, October 27-31 2013

- **E. Merle-Lucotte** – Introduction to the physics of the molten salt fast reactor – *Proc. à paraître (Springer)*

French-Swedish Seminar on Future Nuclear Systems, Stockholm, Sweden, December 3 2013

- **E. Merle-Lucotte** – The concept of fast spectrum Molten Salt Reactor (MSFR)

Théorie et phénoménologie

Cracow Epiphany Conference on Present and Future of B-Physics, Cracow, Poland, January 9-11 2012

- **T. Stavreva** et al. – Heavy quark production in the ACOT scheme beyond NLO – *Acta Phys. Pol. B 43 (2012) 1607-1622*

Workshop “What is u ”, The Galileo Galilei Institute, Florence, Italy, June 11 - July 14 2012

- **A. Wingerter** – A minimal model of neutrino flavor

Workshop on Flavor Symmetries (FLASY12), Dortmund, Germany, June 30 - July 4 2012

- C. Luhn et al. – A minimal model of neutrino flavor – *Proc on Arxiv 1210.1197*

International Workshop on Discovery Physics at the LHC (KRUGER 2012), Kruger Gate, South Africa, December 3-7 2012

- **S. Kraml** – Implications of LHC Higgs results for supersymmetry – *J. of Phys. Conf. Series 455 (2013) 012053*

Pôle accélérateur et sources d'ions

ECOS 2012: Advances and challenges in nuclear physics with high intensity stable beams, Como Lake, Italy, June 18-21 2012

- **T. Lamy** – Status and perspectives of high power ion sources

2nd International Workshop on Technology and Components of Accelerator-driven Systems (TCADS-2), Nantes, France, 21-23 mai 2013

- **M. Baylac** et al. – Operation of the accelerator driving the VENUS-F core for the low power ADS experiments Guinevere and FREYA at SCK-CEN – *Proc. à paraître*

16th International Conference on RF Superconductivity (SRF2013), Paris, France, 23-27 septembre 2013

- **R. Ferdinand** et al. – Status and challenges of Spiral2 SRF linac – *Proc. on Line JACoW (à paraître)*

Les Journées Accélérateurs de la SFP, Roscoff, France, 13-16 octobre 2013

- **T. Thuillier** – Les sources d'ions ECR supraconductrices de 3^{ème} génération: technologie, performances et limitations

- **J. Angot** – Recherche et développement sur le booster de charges PHOENIX au LPSC

- **J.-M. De Conto** – L'opération de l'accélérateur GENEPI-3C dans le programme GUINEVERE

Interdisciplinaire

VIIIth International Workshop on Microwave Discharges: Fundamentals and Applications, Zvenigorod, Russia, September 10-14 2012

- **A. Lacoste** et al. – Coupling modes of microwave plasma sources with localized power absorption – *VIIIth International Workshop on Microwave Discharges: Fundamentals and Applications Proceedings*, Ed. by Yu.A. Lebedev, (2012) ISBN 9785803705703 19-24

16th International Conference on Plasma Physics and Applications (CPPA2013), Bucharest, Romania, June 20-25 2013

- **P. Baele** et al. – Elementary microwave plasma sources with extended operating parameters: concept, design and performance. Examples of applications in the very low and low pressure range – *Proc. à paraître*

Cours donnés à l'invitation du comité d'organisation dans une école nationale ou internationale

Quarks, leptons et symétries fondamentales

ATLAS-ILC-DØ

IN2P3 School of Statistics (SOS2012), Autrans, France, 28 mai -1^{er} juin 2012

- **B. Clément** – Probability and statistics – *EPJ Web of Conferences 55 (2013) 01001*, EDP Sciences 9782759810321

School on High Energy Physics Tools and Computing, Oran, Algérie, May 29 - June 3 2012

- **F. Malek** – La grille de calcul en physique des particules

Hadron Collider School (HASCO 2012), Göttingeng, Germany, July 15- 27 2012

- **B. Clément** – Electroweak physics

International Summer School and Conference on High Energy Physics: Standard Model and Beyond, Belek, Turkiye, August 28 - September 8 2012

- **M.-H. Genest** – Searches for physics beyond the standard model at the Large Hadron Collider

Hadron Collider School (HASCO 2013), Göttingeng, Germany, July 7-19 2013

- **B. Clément** – Hadron collider physics

Pôle accélérateur et sources d'ions

Cern Accelerator School "Ions Sources", Senec, Slovakia, May 29 - June 8 2012

- **T. Thuillier** – Electron Cyclotron Resonance Ion Sources

- **T. Thuillier** – Technological aspects: magnetic system design

- **P. Sortais** – Other ion sources

- **P. Sortais** – Industrial applications

Communication avec actes dans un congrès international

Quarks, leptons et symétries fondamentales

ATLAS-ILC

Hadron Collider Physics Symposium (HCP2012), Kyoto, Japan, November 12-16 2012

- **A. Lleres** on behalf of the ATLAS collaboration – Single top-quark production measurements with ATLAS at the LHC – *EPJ Web of Conference 49 (2013) 17012*

Calorimetry for the High Energy Frontier (CHEF 2013), Paris, France, 22-25 avril 2013

- **Q. Buat** for the ATLAS collaboration – ATLAS detector performances for electrons and photons – *Proceedings of CHEF 2013 Calorimetry for the High Energy Frontier, Eds. J.-C. Brient et al. ISBN 9782730216241 8-15*

DØ

The XLVIIth Rencontres de Moriond ElectroWeak Interactions and Unified Theories 2012, La Thuile, Italy, March 3-10 2012

- **H. Li** on the behalf of the D0 collaboration – Measurement of the W boson mass with 4.3 fb^{-1} of D0 Run II data – *2012 Electroweak Interactions and Unified Theories ARISF (2012) E. Augé et al. ed 75-82*

Astroparticules et Cosmologie

AMS-CREAM-LSST

39th COSPAR, Mysore, India, July 14-22 2012

- **B. Coste** for CREAM III – B, C, N and O fluxes reconstruction with the CREAM-III experiment – *Proc. à paraître (Advances in Space Research)*

13th Marcel Grossmann Meeting (MG13), Stockholm, Sweeden, July 1-7 2012

- **T. Cailleteau** et al. – Observational consequences of loop quantum cosmology – *Proc. à paraître*
- **F. Vidotto** – Spinfoam cosmology – *Proc. à paraître*
- **F. Vidotto** – Spinfoam for cosmologists – *Proc. à paraître*

20th International Conference in General Relativity and Gravitation and 10th Amaldi Conference on Gravitational Waves (GR20 Amaldi 10), Warsaw, Poland, July 7-13 2013

- **L. Linsefors, A. Barrau** – Duration of inflation as a prediction of effective LQC – *Proc. à paraître*

International Conference on Quantum Gravity (LOOPS 2013), Toronto, Canada, July 22-25 2013

- **A. Barrau** – Some possible ways to observe consequences of loop quantum gravity – *Proc. à paraître*
- **L. Linsefors** – Duration of inflation as a prediction of effective LQC – *Proc. à paraître*

Rencontres du Vietnam. Cosmology in the Planck Era, Quy Nhon, Vietnam, July 28 – August 3 2013

- **W. Gillard** – AMS results – *Proc. à paraître*
- **F. Villa** – Calibration techniques for the LSST camera – *Proc. à paraître*

Auger-CODALEMA

XLVIIIth Rencontres de Moriond Very High Energy Phenomena in the Universe, La Thuile, Italy, March 9-16 2013

- **M. Tartare** for the Pierre Auger collaboration – Search for ultra-high energy photons and neutrinos at the Pierre Auger Observatory telescope – *Proc. à paraître*

International Workshop on Atmospheric Monitoring for High-Energy Astroparticle Detectors (AtmoHEAD), Saclay, France, 10-12 juin 2013

- **J. Colombi, K. Louedec** – Monte Carlo simulation of multiple scattered light in the atmosphere – *Proc. à paraître*

Planck-MIMAC

10th Symposium on Sources and Detection of Dark Matter and Dark Energy in the Universe (UCLA Dark Matter 2012), Los Angeles, California, USA, February 22-24 2012

- **F. Mayet** et al. – Directional detection of galactic dark matter – *Springer Proceedings in Physics 148 (2013) 117-121*

SPIE Astronomical Telescope + Instrumentation 2012, Amsterdam, Netherlands, July 1-6 2012

- M. Calvo et al. – The NIKA 2011 run: results and perspectives towards a permanent camera for the Pico Veleta observatory – *Proc. of SPIE 8452 (2012) 845203*

6th Symposium on Large TPCs for Low Energy Rare Event Detection, Paris, France, 17-19 décembre 2012

- **D. Santos** et al. – MIMAC: A micro-tpc matrix for dark matter directional detection – *Journal of Physics: Conference Series 460 (2013) 012007*

XLVIIIth Rencontres de Moriond Very High Energy Phenomena in the Universe, La Thuile, Italy, March 9-16 2013

- **Q. Riffard** et al. – Dark Matter directional detection with MIMAC – *Proc. à paraître*

SnowCLUSTER 2013. Physics of Galaxy Clusters, Snowbird, Utah, USA, March 24-29 2013

- **R. Adam** for the NIKA Collaboration – The first observation of galaxy clusters via the thermal SZ effect with Kinetic Inductance Detectors using the NIKA camera – *Proc. à paraître*

The 24th International Symposium on Space Terahertz Technology (ISSTT 2013), Groningen, The Netherlands, April 8-10 2013

- **A. D'Addabbo** et al. – The NIKA instrument: results and perspectives towards a permanent KID based camera for the Pico Veleta observatory – *Proc. à paraître*

4th Workshop on Directional Detection of Dark Matter (CYGNUS2013), Toyama, Japan, June 10-12 2013

- **F. Mayet** et al. – Measurement of the electron drift velocity for directional Dark Matter detectors – *J. of Phys. Conf. Series 469 (2013) 012006*

- **F. Mayet, J. Billard** – A review on the discovery reach of Dark Matter directional detection masses – *J. of Phys. Conf. Series 469 (2013) 012013*

- **D. Santos** et al. – MIMAC: Micro-tpc MAtrix of Chambers for dark matter directional detection – *J. of Phys. Conf. Series* 469 (2013) 012002

15th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD15), Pasadena, California, USA, June 24-28 2013

- **A. Catalano** et al. – Characterization and physical origin of energetic particles on Planck HFI instrument – *Proc. à paraître (Journal of Low Temperature Physics)*

9th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs, Mainz, Germany, June 24-28 2013

- **J. Lamblin** for the MIMAC Collaboration – Directional detection of dark matter with MIMAC – *Proc. à paraître*

Physique hadronique et Matière nucléaire

ALICE-JLab

Quark Matter 2012 International Conference (QM2012), Washington D.C., USA, August 13-18 2012

- **N. Arbor** for the ALICE collaboration – Isolated photon-hadron correlations in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ALICE experiment – *Nuclear Physics A* 904-905 (2013) 697c-700c

XXI International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS 2013), Marseille, France, 22-26 avril 2013

- **E. Voutier** – Helium Compton form factor measurements at CLAS – *Proc. à paraître (PoS)*

4th International Particle Accelerator Conference (IPAC 13), Shanghai, China, May 12-17 2013

- **E. Voutier** – The PEPPo concept for a polarized positron source – *Proc. on Line JACoW IPAC2013 WEOAB203 2088-2090*

1st Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP 13), Barcelona, Spain, May 13-18 2013

- **N. Arbor** for the Alice collaboration – Recent photon physics results from the ALICE experiment at LHC – *EPJ Web of Conferences* 60 (2013) 13011

19th International Workshop on High-pT Physics at LHC, Grenoble, France, 24-28 septembre 2013

- **G. Conesa-Balbastre** – Recent photon physics results from the ALICE experiment at LHC – *Proc. à paraître (Journal of Physics Conference Series)*

- **C. Silvestre** – Isolated photons/pi0 and charged hadrons correlations in pp collisions with the ALICE experiment – *Proc. à paraître (Journal of Physics Conference Series)*

Structure Nucléaire

Zakopane Conference on Nuclear Physics, Zakopane, Poland, August 27 – September 2 2012

- **C. Petrone** et al. – Gamma spectroscopy of low-energy isomeric states in neutron-rich nucleos: $^{75}\text{Cu}^*$ – *Acta Physica Polonica B* 44 (2013) 637-641

International Symposium on Exotic Nuclei (EXON2012), Vladivostok, Fédération de Russie, October 1-6 2012

- M. Stanoiu et al. – Study of exotic nuclei through conversion electron spectroscopy – *Exotic Nuclei EXON-2012 Proc. of the International Symposium World Scientific (2013) 45-50*

5th International Workshop on Nuclear Fission and Fission-Product Spectroscopy (FISSION2013), Caen, France, 28-31 mai 2013

- A. Vancraeynest et al. – Prompt γ -ray spectroscopy of neutron-rich ^{124}Cd – *EPJ Web of Conferences 62 (2013) 01004*
- A. Blanc et al. – Spectroscopy of neutron rich nuclei using cold neutron induced fission of actinide targets at the ILL: the EXILL campaign – *EPJ Web of Conferences 62 (2013) 01001*
- T. Konstantinopoulos al. – γ -ray spectroscopy of fission fragments from the cold-neutron ^{235}U induced fission with EXILL – *EPJ Web of Conferences 62 (2013) 01006*
- H. Faust et al. – Principles of a gas filled magnetic spectrometer for fission studies – *EPJ Web of Conferences 62 (2013) 05004*
- C. Amouroux et al. – Measurement of fission yields from the $^{241}\text{Am}(2n_{\text{th}},f)$ reaction at the Lohengrin Spectrometer – *EPJ Web of Conferences 62 (2013) 06002*

International Nuclear Physics Conference (INPC 2013), Firenze, Italy, June 2-7 2013

- A. Blanc et al. – Spectroscopy of neutron rich nuclei using cold neutron induced fission of actinide targets at the ILL: the EXILL campaign – *Proc. à paraître*

Physique des réacteurs

Physics in Reactors Topical Meeting (PHYSOR 2012), Knoxville, Tennessee, USA, April 15-20 2012

- M. Brovchenko et al. – Design-Related Studies for the Preliminary Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor – *Nuclear Science and Engineering 175 (2013) 329-339, PHYSOR 2012 Advances in Reactor Physics CD-ROM, American Nuclear Society (2012) 12p.*
- T. Ivanova et al. – OECD/NEA expert group on uncertainty analysis for critical safety assessment: results of benchmark on sensitivity calculation (phase III) – *PHYSOR 2012 Advances in Reactor Physics CD-ROM, American Nuclear Society (2012) 19p.*
- W. Uyttenhove et al. – Detector positioning for the initial subcriticality level determination in Accelerator-Driven Systems – *PHYSOR 2012 Advances in Reactor Physics CD-ROM, American Nuclear Society (2012) 13p.*
- P. Sabouri et al. – Proposal for the utilization of the total cross section covariances and its correlations with channel reactions for sensitivity and uncertainty analysis – *PHYSOR 2012 Advances in Reactor Physics CD-ROM, American Nuclear Society (2012) 9p.*

2012 International Congress on the Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP'12), Chicago, IL, USA, June 24-28 2012

- H.-E. Thyebault et al. – The GUINEVERE Experiment: first PNS measure-

ments in a lead moderated sub-critical fast core – *2012 International Congress on the Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP'12) Proceedings (ANS) ISBN 9780894480911 CD-ROM*

3rd International Workshop on Nuclear Data Evaluation for Reactor Applications (WONDER 2012), Aix-en-Provence, France, 25-28 septembre 2012

- C. Amouroux et al. – Measurement of mass yields from the $^{241}\text{Am}(2n_{\text{th}},f)$ reaction at the Lohengrin spectrometer – *EPJ Web of Conferences 42 (2013) 01006*
- H. Faust et al. – Evaluation of excitation energy and spin in fission fragments using the statistical model, and the FIPPS project – *EPJ Web of Conferences 42 (2013) 06004*

2nd Generation IV International Forum (GIF) Symposium, San Diego, California, USA, November 14-15 2012

- H. Boussier et al. – The molten salt reactor (MSR) in Generation IV: overview and perspectives – *GIF Symposium Proceedings, San Diego, California, USA, November 14-15 2012 – 2012 Annual Report OECD (2013) NEA n° 7141 95-107*

European Nuclear Conference (ENC 2012), Manchester, United Kingdom, December 9-12 2012

E. Merle-Lucotte et al. – Preliminary design assessment of the molten salt fast reactor – *ENC 2012 Transactions Advanced Reactors ENS (2012) On-line ISBN 978-92-950641410 17-26*

International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (ND2013), New York, USA, March 4-8 2013

- F. Ferragut et al. – Propagation of nuclear data uncertainties in deterministic calculations: application of generalized perturbation theory and the total Monte Carlo method to a PWR burnup pin-cell – *Proc. à paraître (Nuclear Data Sheets)*
- I. Companis et al. – Measurement of the $^{233}\text{U}_{(n,g)}$ and $^{233}\text{U}_{(n,f)}$ cross sections in the resonance region – *Proc. à paraître (Nuclear Data Sheets)*
- H. Faust et al. – Verification of the thermodynamic model in nuclear fission: the new spectrometer FIPPS – *Proc. à paraître (Nuclear Data Sheets)*
- O. Serot et al. – Fission activities around the Lohengrin mass spectrometer – *Proc. à paraître (Nuclear Data Sheets)*
- **F. Martin** et al. – Measurements of the mass and isotopic yields of the $^{233}\text{U}(n_{\text{th}},f)$ reaction at the Lohengrin spectrometer – *Proc. à paraître (Nuclear Data Sheets)*

International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles: Safe Technologies and Sustainable Scenarios (FR13), Paris, France, 4-7 mars 2013

- **E. Merle-Lucotte** et al. – Recommendations for a demonstrator of Molten Salt Fast Reactor – *Proc. à paraître*

2nd International Workshop on Technology and Components of Accelerator-driven Systems (TCADS-2), Nantes, France, 21-23 mai 2013

- A. Kochetkov et al. – Current progress and future plans of the FREYA Project – *Proc. à paraître*
- N. Marie et al. – Reactivity monitoring using the area method for the subcritical VENUS-F core within the framework of the FREYA Project – *Proc. à paraître*

- **S. Chabod** et al. – Analysis of prompt decay experiments for ADS reactivity monitoring at VENUS-F GUINEVERE facility – *Proc. à paraître*

International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA 2013), Marseille, France, 23-27 juin 2013

- A. Kochetkov et al. – An alternative source jerk method implementation for the subcriticality estimation of the Venus-F subcritical core in the Freya project upgrade – *Proc. à paraître (IEEE)*

Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications + Monte Carlo (SNA & MC 2013), Paris, France, 27-31 octobre 2013

- **A. Nuttin** et al. – Facing challenges for the Monte Carlo analysis of full PWR cores : towards optimal detail level for neutronics and proper diffusion constants for kinetics – *Proc. à paraître*

- **A. Laureau** et al. – Coupled neutronics and thermal-hydraulics numerical simulations of a Molten Salt Fast Reactor (MSFR) – *Proc. à paraître*

Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications + Monte Carlo (SNA & MC 2013) Workshop “Monte Carlo Computational Performance Benchmark”, Paris, France, 27-31 octobre 2013

- **N. Capellan** – Validation methodologies for detailed local power calculation using external combination of tallies – *Proc. à paraître*

ANS National Meeting 2013 Winter Meeting and Technology Expo, Washington, Columbia, USA, November 10-14 2013

- **P.R. Rubiolo** et al. – Core thermal-hydraulics analyses of the Molten Salt Fast Reactor (MSFR) in nominal conditions – *Proc. à paraître*

Théorie et phénoménologie

3rd Linear Collider Forum, DESY, Hamburg, Germany, 7-9 January 2012

- **S. Kraml** – Implications of the 125 GeV Higgs for Supersymmetry – *Helmholtz Alliance Linear Collider Forum Proc. of the Workshops Hamburg, Munich, Hamburg 2010-2012 Germany DESY 12-123H DESY-PROC-2013-02 ISBN 978-3-935702-73-7 366-375*

The XLVIIth Rencontres de Moriond ElectroWeak Interactions and Unified Theories 2012, La Thuile, Italy, March 3-10 2012

- **S. Kulkarni** – Effective couplings approach to neutralino dark matter relic density – *2012 Electroweak Interactions and Unified Theories ARISF (2012) E. Augé et al. ed 483-486*

- **S. Kraml** – SUSY status after one year of LHC – *2012 Electroweak Interactions and Unified Theories ARISF (2012) E. Augé et al. ed 139-146*

The XLVIIth Rencontres de Moriond QCD and High Energy Interactions 2012, La Thuile, Italy, March 10-17 2012

- **T. Stavreva** – Heavy quark structure functions in the ACOT scheme – *XLVIIth Rencontres de Moriond (2012) ARISF 281-284*

XX International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS 2012), Bonn, Germany, March 26-30 2012

- K. Kovarik, **T. Stavreva** – Constraining the intrinsic heavy quark PDF via direct photon production in association with a heavy quark jet – *DESY-PROC2012-02* 815-818
 - **T. Stavreva** et al. – Heavy quark production in the ACOT scheme beyond NLO – *DESY-PROC2012-02* 243-246
- 16th International Conference in Quantum Chromodynamics (QCD12), Montpellier, France, 2-6 juillet 2012
- B. Blossier et al. – Lattice measurement of α_s with a realistic charm quark – *Nuclear Physics B – Proc. Suppl.* 234 (2013) 217-220
- 36th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2012), Melbourne, Australia, July 4-11 2012
- J.P. Lansberg et al. – Prospectives for A Fixed-Target Experiment at the LHC: AFTER@LHC – *PoS (ICHEP2012)* 547
- International Conference on Heavy Ion Collisions in the LHC Era, Quy Nhon, Vietnam, July 16-20 2012
- F. Arleo et al. – Probing nuclear parton densities (and more) from $\gamma + Q$ production in p–A and A–A collisions – *J. of Phys. Conf. Series* 422 (2013) 012011
- Quark Matter 2012 International Conference (QM2012), Washington D.C., USA, August 13-18 2012
- A. Rakotozafindrabe et al. – Ultra-relativistic heavy-ion physics with AFTER@LHC – *Nuclear Physics A* 904-905 (2013) 957c-960c
- 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB20), Fukuoka, Japan, August 20-25 2012
- J. Vijande et al. – Stability of multiquarks in an improved flip-flop model of confinement – *Few-Body Systems* 54 (2013) 1015-1018
- International Workshop on Diffraction in High-Energy Physics (DIFFRACTION 2012), Puerto del Carmen, Lanzarote, Spain, September 10-15 2012
- C. Lorcé et al. – Spin and diffractive physics with A Fixed-Target Experiment at the LHC (AFTER@LHC) – *AIP Conf. Proc.* 1523 (2013) 149-152
- 12th Hellenic School and Workshop on Elementary Particle Physics and Gravity. TR33 - Summer Institute: Particles and the Universe, Corfu, Greece, September 16-22 2012
- J. Harz et al. – Impact of SUSY-QCD corrections on neutralino-stop co-annihilation and the neutralino relic density – *PoS (Corfu2012)* 075
- Xth Quark Confinement and the Hadron Spectrum Conference, Munich, Germany, October 8-12 2012
- K. Petrov et al. – Testing OPE for ghosts, gluons and α_s – *PoS (Confinement X)* 043
- Hadron Collider Physics Symposium (HCP2012), Kyoto, Japan, November 12-16 2012
- **Z. Pan** – NNLO mixed QCD-EW corrections to the Drell-Yan production of Z and W bosons – *Proc. à paraître (EPJ web of conference)*

20th International Symposium on Spin Physics (SPIN2012), Dubna, Russia, September 17-22 2012

- A. Rakotozafindrabe et al. – Spin physics at A Fixed-Target Experiment at the LHC (AFTER@LHC) – *Phys. Part. Nuclei 45 (2014) 336-337*

XLVIIIth Rencontres de Moriond QCD and High Energy Interactions, La Thuile, Italy, March 9-16 2013

- B. Dumont – Higgs couplings after Moriond – *Proc. à paraître*

XXI International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS 2013), Marseille, France, 22-26 avril 2013

- T. Stavreva – Probing the intrinsic heavy quark content of the nucleon through direct photon & heavy quark production – *Proc. à paraître (PoS)*
- K. Kovarik et al. – CTEQ nuclear parton distribution functions – *Proc. à paraître (PoS)*
- A. Rakotozafindrabe et al. – Studying the high x frontier with A Fixed-Target Experiment at the LHC – *Proc. à paraître (PoS)*

31st International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE 2013), Mainz, Germany, July 29 - August 3 2013

- A. Abdel-Rehim et al. – A first look at maximally twisted mass lattice QCD calculations at the *physical* point – *Proc. à paraître (PoS)*

19th International Workshop on High-pT Physics at LHC, Grenoble, France, 24-28 septembre 2013

- I. Schienbein – The production of a photon in association with a heavy quark jet in pA and AA collisions – *Proc. à paraître (Journal of Physics Conference Series)*

Pôle accélérateurs et sources d'ions

20th International Workshop on Electron Cyclotron Resonance Ion Sources (ECRIS-2012), Sydney, Australia, September 25-28 2012

- M. Marie-Jeanne et al. – Status of the SEISM experiment – *Proc. à paraître (JACoW)*
- T. Thuillier et al. – Recent results of PHOENIX V2 and new prospects with PHOENIX V3 – *Proc. à paraître (JACoW)*
- J. Angot et al. – LPSC PHOENIX ECR charge breeder beam optics and efficiencies – *Proc. à paraître (JACoW)*
- P. Jardin et al. – ECRISs at GANIL today and tomorrow – *Proc. à paraître (JACoW)*

2nd International Workshop on Technology and Components of Accelerator-driven Systems (TCADS-2), Nantes, France, 21-23 mai 2013

- R. Salemme et al. – The R&D@UCL program in support of the MYRRHA linear accelerator – *Proc. à paraître*

11th International Topical Meeting on Nuclear Applications of Accelerators (AccApp2013), Bruges, Belgium, August 5-8 2013

- E. Froidefond et al. – Operation of the GENEPI-3C accelerator for the ADS mock-up GUINEVERE – *Proc. à paraître*

15th International Conference on Ion Sources (ICIS'13), Chiba, Japan, September 9-13 2013

- **P. Sortais** – Frequency scaling with miniature COMIC ion sources – *Proc. à paraître (Review of Scientific Instruments)*
- **L. Maunoury et al.** – Future carbon beams at SPIRAL1 facility: Which method is the most efficient? – *Rev. Sci. Instrum.* 85 (2014) 02A504
- **C. Lyneis et al.** – A mode converter to generate a Gaussian-like mode for injection into the VENUS electron cyclotron resonance ion source – *Rev. Sci. Instrum.* 85 (2014) 02A932
- **C. Barué et al.** – Metallic Beam Developments for the SPIRAL 2 Project – *Rev. Sci. Instrum.* 85 (2014) 02A946

Thorium Energy Conference 2013 (ThEC13), CERN, Geneva, Switzerland, October 27-31 2013

- **F. Bouly, J.-L. Biarrotte** – Euratom MAX project. The MYRRHA Accelerator eXperiment R&D programme – *Proc. à paraître (Springer)*

Interdisciplinaire

Imagerie médicale – Services Techniques – Développements technologiques

Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2012), New-York, USA, May 21-25 2012

- **D. Malon et al.** – A programmatic view of metadata, metadata services, and metadata flow in ATLAS – *J. of Phys. Conf. Series* 396 (2012) 052052

SPIE Astronomical Telescope + Instrumentation 2012, Amsterdam, Netherlands, July 1-6 2012

- **O. Bourrion et al.** – Electronics and data acquisition for kilopixels kinetic inductance camera – *Proc. of SPIE* 8452 (2012) 845200

Topical Workshop on Electronics for Particle physics (TWEPP 2012), Oxford, United Kingdom, September 17-21 2012

- **O. Bourrion et al.** – The ALICE EMCal L1 trigger first year of operation experience – *JINST* 8 (2013) C01013

IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS 2012), Seville, Espagne, December 9-12 2012

- **A. Salazar et al.** – CMOS active column sensor for biodetection applications based on surface plasmon resonance – *Analog Integrated Circuits and Signal Processing* 77 (2013) 365-372 *selected paper (ICECS 2012)*, *Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*, 2012 19th IEEE International Conference on (IEEE) 821-824

International Workshop on New Photon-detectors (PhotoDet 2012), Orsay, France, 13-15 juin 2012

- **C.L. Naumann et al.** – NECTAR: New Electronics for the Cherenkov Telescope Array – *PoS (PhotoDet2012)* 030

SPIE Photonics West 2013 OPTO, San Francisco, California, USA, February 2-7 2013

- **A. Salazar et al.** – Electromagnetic modeling of surface plasmon resonance with

Kretschmann configuration for biosensing applications in a CMOS-compatible interface – *Proc. SPIE 8619 (2013) 86190V*

Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP-13), Perugia, Italy, September 23-27 2013

- **O. Bourrion** et al. – High speed readout electronics development for frequency-multiplexed kinetic inductance detector design optimization – *JINST 8 (2013) C12006*

20th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2013), Amsterdam, Netherlands, October 14-18 2013

- **J. Fulachier** et al. on behalf of the ATLAS Collaboration – Looking back on 10 years of the ATLAS Metadata Interface: reflections on architecture, code design and development methods – *Proc. à paraître (Journal of Physics: Conference Series)*
- **E. Gallas** et al. on behalf of the ATLAS Collaboration – Utility of collecting meta-data to manage a large scale conditions database in ATLAS methods – *Proc. à paraître (Journal of Physics: Conference Series)*

Communication avec actes dans un congrès national

Quarks, leptons et symétries fondamentales

UCN

Journées de Rencontre Jeunes Chercheurs 2013, Barbaste, France, 1-7 décembre 2013

- **M. Guigue** et al. – À la recherche de particules légères avec l'Helium 3 polarisé – *Proc. à paraître*

Astroparticules et Cosmologie

AMS-CREAM-LSST

Journées Jeunes Chercheurs 2012 (JJC 2012), Munster, France, 2-8 décembre 2012

- **F. Villa** – Introduction au contexte cosmologique – *Journées Jeunes Chercheurs 2012 (2012) 184-186*

Auger-CODALEMA

Journées Prospective IN2P3-IRFU, Giens, France, 2-5 avril 2012

- **F. Montanet** et al. – Neutrinos et rayons cosmiques chargés

Planck-MIMAC

Semaine de l'Astrophysique Française (SF2A 2013), Montpellier, France, 4-7 juin 2013

- **B. Comis** et al. – Detection of the TSZ effect with the NIKA camera – *Proc. on Line (Proceedings SF2A 2013 - Scientific highlights, ADS 2013sf2a.conf..331C) 331-335*

Journées de Rencontre Jeunes Chercheurs 2013, Barbaste, France, 1-7 décembre 2013

- **Q. Riffard** – Dark Matter directional detection with MIMAC – *Proc. à paraître*
- **R. Adam** – First observation of the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect with Ki-

netic Inductance Detectors – *Proc. à paraître*

Interdisciplinaire

Imagerie médicale – Services Techniques – Développements technologiques

10^{èmes} Journées Réseaux, Montpellier, France, 10-13 décembre 2013

- **B. Bouterin** – Refroidir sans gaspiller – *Proc. online à paraître*

Communications orales sans actes dans un congrès international ou national

Quarks, leptons et symétries fondamentales

ATLAS-ILC

5th France China Particle Physics Laboratory (FCPPL) Workshop, Orsay, France, 21-24 mars 2012

- **B. Clément** et al. – ATLAS single top studies

4th Fermion Generation and Single-Top Production 2012, Leinsweiler, Germany, March 26-28 2012

- **X. Sun** on behalf of the ATLAS Collaboration – Search for single top FCNC @ ATLAS

Dark Forces at Accelerators (DARK2012), Rome, Italy, October 16-19 2012

- **J. Stark** – Search for invisible particle production in monojet and monophoton events with missing transverse momentum with the ATLAS detector

8^{ème} Journées Informatiques de l'IN2P3-IRFU, La Londe Les Maures, France, 22-25 octobre 2012

- **F. Malek** – Le off-line vu du physicien

Rencontres de Physique des Particules 2013 (RPP2013), Grenoble, France, 16-18 janvier 2013

- **M.-H. Genest** – SUSY searches at the LHC (review)

Workshop top LHC-France 2013, Lyon, France, 21-22 mars 2013

- **X. Sun** pour les collaborations ATLAS et CMS – Indirect searches in single top from ATLAS and CMS

Rencontres Françaises sur la Physique des Hautes Energies au LHC (LHC France 2013), Annecy, France, 2-6 avril 2013

- **M.-H. Genest** – Overview of super-Symmetry searches at LHC
- **X. Sun** – Top/W polarization in single Top production, ATLAS+CMS
- **Q. Buat** – NP search in 2 photons final states in ATLAS
- **B. Dechenaux** – Search for $t\bar{t}\bar{t}$ resonances in ATLAS

Grenoble École de Physique (GePhy 2013), Grenoble, France, 8-9 juillet 2013

- **J. Collot** – Champ et boson de Higgs : la masse sans masse

Higgs Hunting 2013, Orsay, France, 25-27 juillet 2013

- **A. Madsen** pour la collaboration ATLAS – Charged Higgs searches in ATLAS

LQC

21st International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (SUSY 2013), Trieste, Italy, August 26-31 2013

- **M.-H. Genest** – Searches for single object and missing transverse energy with the ATLAS detector

Workshop Science et Philosophie : regards croisés sur les simulations numériques, S^t Martin d'Hères, France, 28 novembre, 10-11 décembre 2013

- **S. Crépe-Renaudin** – Monte-Carlo simulations in particle physics

UCN

Journées Prospective IN2P3-IRFU, Giens, France, 2-5 avril 2012

- **D. Rebreyend** – nEDM

DØ

Standard Model @ LHC 2012, Copenhagen, Denmark, April 10-13 2012

- **H. Li** – Recent electroweak results from the Tevatron (including W mass)

Astroparticules et Cosmologie

AMS-CREAM-LSST

Nuclear Physics for Galactic Cosmic Rays in the AMS-02 Era, LPSC, Grenoble, France, 3-4 décembre 2012

- **D. Maurin** – Nuclear fragmentation and galactic cosmic rays phenomenology
- **L. Derome** – CREAM balloon: fragmentation in the residual atmosphere
- **D. Maurin** – Neutron monitor data to monitor galactic cosmic rays data

International School of Physics "Enrico Fermi". New Horizons for Observational Cosmology, Varenna, Italy, June 30 – July 6 2013

- **A. Choyer** – Photometric reconstruction with LSST

Grenoble École de Physique (GePhy 2013), Grenoble, France, 8-9 juillet 2013

- **A. Barrau** – Les fondements de la relativité
- **A. Barrau** – Conséquences de la relativité restreinte et rudiments de relativité générale

45^{ème} École de GIF Le Rayonnement Cosmique de Haute Énergie: Messenger du Cosmos, Annecy-le-Vieux, France, 16-20 septembre 2013

- **L. Derome** – Principes et méthodes de detection: particules chargées dans l'espace

Auger-CODALEMA

Nuclear Physics for Galactic Cosmic Rays in the AMS-02 Era, LPSC, Grenoble, France, 3-4 décembre 2012

- **K. Louedec** – Galactic cosmic rays monitoring at Auger site

Planck-MIMAC

7th Astronomical Data Analysis Conference (ADA-VII), Cargèse, France, 14-18 mai 2012

- **L. Perotto** et al. – Reconstructing the CMB lensing on Planck - like temperature maps

47th ESLAB Symposium The Universe as seen by Planck, Noordwijk, The Netherlands, April 2-5 2013

- **B. Comis** – Detection of diffuse SZ with Planck: implications for cosmology and galaxy cluster physics
- **C. Combet** – Galactic CO emission as seen by Planck
- **L. Perotto** – Planck CMB lensing reconstruction on foregrounds cleaned maps
- **J. Macias-Perez** – All-sky Planck Compton parameter map and cosmological interpretation

9th International Conference Identification of Dark Matter (IDM2012), Chicago, USA, July 23-27 2012

- **D. Santos** – Directional detection of dark matter with MIMAC

International School of Physics “Enrico Fermi”. New Horizons for Observational Cosmology, Varenna, Italy, June 30 - July 6 2013

- **R. Adam** – First observation of the thermal Sunyaev-Zel’Dovich effect with Kinetic Inductance Detectors

Physique hadronique et Matière nucléaire

ALICE-JLab

7th International Workshop on High- p_T Physics at LHC, Frankfurt, Germany, March 26-29 2012

- **N. Arbor** – Photon physics with the ALICE detector at LHC

American Physical Society April Meeting 2012, Atlanta, Georgia, USA, March 31 - April 3 2012

- **E. Voutier** – Deeply virtual Compton scattering off helium
- **E. Fanchini** – Polarized electrons for polarized positrons

XIV Workshop on Nuclear Physics (XIV WONP) - VII International Symposium on Nuclear and Related Techniques (VIII NURT), Havana, Cuba, February 5-8 2013

- **G. Cones Balbastre** for the Alice Collaboration – Isolated photons and correlation with hadrons measurement in pp collisions with ALICE

Rencontres Françaises sur la physique des hautes énergies au LHC (LHC France 2013), Annecy, France, 2-6 avril 2013

- **N. Arbor** – Toward jet tomography of QGP in ALICE

Physique des réacteurs

2012 French-Taiwanese Workshop on Energy Management, Tainan, Taiwan, May 16-19 2012

- **A. Bidaud** – The futures of nuclear electricity

NEA Nuclear Data Week JEFF Project (Joint Evaluated Fission and Fusion File), Issy-les-Moulineaux, France, 23-27 avril 2012

- **A. Bidaud** – Proposal for the utilization of the total cross section covariances and its correlations with channel reactions for sensitivity and uncertainty analysis Lohengrin

WPRS Workshop on Uncertainty Analysis in Modelling, Karlsruhe, Germany, May 10 2012

- **P. Sabouri** et al. – General perturbation theory with DRAGON

All Party Parliament Group, Thorium Energy, London, United Kingdom, July 10 2012

- **M. Brovchenko** – Molten Salt Fast Reactor concept operating in thorium fuel cycle

Rencontres de Physique de l'Infiniment Grand à l'Infiniment Petit, Orsay, France, 16-27 juillet 2012

- **A. Bidaud** – Maîtriser l'énergie de l'atome

Seventh Workshop OECD Benchmark for Uncertainty Analysis in Best-Estimate Modelling (UAM) for Design, Operation and Safety Analysis of LWRs – (UAM-7), Issy-les-Moulineaux, France, 10-12 avril 2013

- **P. Sabouri** et al. – Nuclear Data Uncertainty Propagation with DRAGON: Application of Generalized Perturbation Theory Methods using the Collision Probability Technique

Rencontres de Physique de l'Infiniment Grand à l'Infiniment Petit 2013, Orsay, France, 15-26 juillet 2013

- **A. Bidaud** – Maîtriser l'énergie de l'atome

JEFF-NEEDS Workshop on Nuclear Data Measurements, NEA Nuclear Data Week, Issy-les-Moulineaux, France, 25-29 novembre 2013

- **A. Chebboubi** et al. – Development of a gas filled magnet spectrometer at the ILL for fission studies

Théorie et phénoménologie

LHCPhenoNet Winter School 2012, Ascona, Switzerland, January 22-29 2012

- **F. Lyonnet** et al. – New resonances at the Pierre Auger observatory

3rd Linear Collider Forum, DESY, Hamburg, Germany, January 7-9 2012

- H. Dreiner et al. – Probing slepton CP phases at LHC and ILC

SPRING 2012 AFTER Meeting: A Fixed-Target ExpeRiment using the LHC beams, Grenoble, France, 10-11 mai 2012

- **I. Schienbein** – nPDF extraction with hadron beams

Rencontres de Physique des Particules (RPP2012), Montpellier, France, 14-16 mai 2012

- **T. Jezo** et al. – LHC phenomenology of general $SU(2) \times SU(2) \times U(1)$ models

- **Q. Lehoucq'h** et al. – Neutralino relic density with next to leading order (co)annihilation cross section

- **B. Dumont** et al. – Mixed sneutrino dark matter in light of recent experimental results

- **A. Wingerter** et al. – A minimal model of neutrino flavor

Journées de Physique Théorique, Grenoble, France, 24-25 mai 2012

- **T. Stavreva** – Parton distribution functions

- **A. Wingerter** – Physics beyond the Standard Model

- **S. Kulkarni** – The life and times of Supersymmetry

20th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (SUSY 2012), Beijing, China, August 13-18 2012

- **S. Kulkarni** – Natural SUSY-GUTs in the light of recent LHC results

International School Cargese 2012: Across the TeV Frontier with the LHC, Cargese, France, 20 août – 1^{er} septembre 2012

- **B. Dumont** – Mixed sneutrino dark matter in light of recent experimental results
- **F. Lyonnet, T. Jezo** – New resonances at the Pierre Auger Observatory

Rencontres de Physique des Particules 2013 (RPP2013), Grenoble, France, 16-18 janvier 2013

- **Q. Le'Boulch** et al. – Phenomenology of neutralino-stop coannihilation at one loop
- **T. Stavreva** – Probing heavy quark energy loss through photon + Q production
- **B. Dumont** et al. – Higgs couplings at the end of 2012
- **A. Wingerter** – Physics beyond the standard model (review)

Workshop “Likelihoods for the LHC Searches”, Geneva, Switzerland, January 21-23 2013

- **B. Dumont** et al. – Interpreting the LHC Higgs results

Workshop Physics at A Fixed Target Experiment (AFTER) using the LHC beams, Villazzano, Italy, February 3-13 2013

- **I. Schienbein** – Working group summary: quarkonia, heavy-flavour...
- **T. Stavreva** – Photon + heavy-quark production in pp collisions

6th workshop of the France China Particle Physics Laboratory (FCPPL), Nanjing, China, March 27-30 2013

- **Z. Pan** – Mixed NNLO QCD-EW radiative corrections to Drell-Yan production of a vector bosons

HEFTI Higgs Workshop “The LHC Higgs Signal: Characterization, Interpretation and BSM Model Implications”, Davis, California, USA, April 22-26 2013

- **S. Kraml** – (Nearly) degenerate Higgs bosons. Theory motivations and questions
- **S. Kraml** – SUSY after the Higgs. Implications of LHC Higgs results for supersymmetry
- **B. Dumont** – Higgs coupling after Moriond

16th International Conference from the Planck Scale to the Electroweak Scale (Planck13), Bonn, Germany, May 20-24 2013

- **B. Dumont** – Higgs couplings after Moriond 2013
- **F. Lyonnet** – Automatized generation of non-SUSY RGEs for a general gauge field theory
- **S. Kraml** – SUSY after the Higgs
- **S. Kulkarni** – Using top polarization for improving third generation squark searches
- **Q. Le Boulc'h** – SUSY-QCD corrections to neutralino-stop co-annihilation
- **A. Wingerter** – SO(10) meets LHC

19th International Symposium on Particles, Strings and Cosmology (PASCOS 2013), Taipei, Taiwan, November 20-26 2013

- **S. Kulkarni** – Introducing SModelS: a tool for testing LHC results using simplified models

Pôle accélérateurs et sources d'ions

39th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF), San Diego, California, USA, April 23-27 2012

- **P. Sortais, J. Médard** – The multi beam sputtering: a new thin film deposition approach

24th Joint Russian-German Meeting on ECRH and Gyrotrons, Nizhny Novgorod, Russia, June 11-15 2012

- **M.I. Bakulin** et al. – 60 GHz pulsed gyrotron complex for plasma creation in ECR multicharged ion source of new generation

Journées Prospective IN2P3-IRFU, Giens, France, 2-5 avril 2012

- **M. Baylac** – Perspectives accélérateurs pour les applications en santé et énergie

Interdisciplinaire

DAMe

52^{ème} Journées Scientifiques- Société Française de Physique Médicale, Nice, France, 5-7 juin 2013

- **I. Fonteille** et al. – Développement d'un détecteur transparent 2D (TraDeRa: Transparent Detector for Radiotherapy) pour le contrôle en ligne des faisceaux d'IMRT : étude d'optimisation par simulation Monte-Carlo

3rd Conference on Medical Physics and Biomedical Engineering, Skopje, Republic of Macedonia, October 18-19 2013

- **Y. Arnoud** – PET developments and prospects, image registration

Plasmas-Matériaux-Nanostructures

Journées du Réseau des Plasmas Froids, La Rochelle, France, 14-17 octobre 2013

- **A. Bès** – Optimisation d'un procédé d'élaboration de matériaux en couches minces pour le stockage d'hydrogène par plasma pulsé

Services Techniques – développements technologiques

Journées Prospective IN2P3-IRFU, Giens, France, 2-5 avril 2012

- **C. Biscarat** pour le groupe de travail « Calcul » – Calcul pour la physique des particules

Rencontres de Physique de l'Infiniment Grand à l'Infiniment Petit, Orsay, France, 16-27 juillet 2012

- **C. Biscarat** – Enregistrer et analyser pour découvrir

HEPiX Fall 2012 Workshop – The High Energy Physics Unix Information Exchange, Beijing, China, October 15-19 2012

- **T. Descombes** – ZNeTS: log your network traffic!

Journée Instrumentation, Paris, France, 27 novembre 2012

- **P. Stassi** – Radio détection

8^{ème} Journées Informatiques de l'IN2P3-IRFU, La Londe Les Maures, France, 22-25 octobre 2012

- **C. Biscarat** – Synergie entre le mésocentre grenoblois CIMENT et le LPSC
- **F. Lambert** – Exemples d'outils pour faciliter les développements d'applications LPSC

Rencontres de Physique de l'Infiniment Grand à l'Infiniment Petit 2013, Orsay, France, 15-26 juillet 2013

- **C. Biscarat** – Enregistrer et analyser pour découvrir

Rencontres Scientifiques des Utilisateurs de Calcul Intensif, de Cloud Et de Stockage (Journées SUCCES 2013), Paris, France, 13-14 novembre 2013

- D. Benaben et al. – Mise en place d'un gestionnaire de données léger, pluridisciplinaire et national pour les données scientifiques

Journée Instrumentation, Paris, France, 25 novembre 2013

- **P. Stassi** – Radio détection

Communications par affiche dans un congrès international ou national

Quarks, leptons et symétries fondamentales

ATLAS-ILC

Rencontres Françaises sur la physique des hautes énergies au LHC (LHC France 2013), Annecy, France, 2-6 avril 2013

- **C. Monini** – Search for single-top production in the s-channel at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector
- **J. Brown** – Qualité des données du point de vue du calorimètre à argon liquide d'ATLAS

1st Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP 13), Barcelona, Spain, May 13-18 2013

- **B. Dechenaux** – A search for $t\bar{t}$ resonance in the lepton plus jets channel with ATLAS using 14 fb^{-1} of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV – *EPJ Web of Conferences 60 (2013) 20044*

2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPSHEP 2013), Stockholm, Sweden, July 18-24 2013

- J.M. Brown et al. – The Monodiam-HE project: monocristalline diamond for HL-LHC pixel detectors – *Proc. à paraître (PoS)*

UCN

Physics of Fundamental Symmetries and Interactions (PSI2013), Villigen, Switzerland, September 9-12 2013

- **M. Guigue** – Probing sub-eV particles with 3He detector

Astroparticules et Cosmologie

AMS-CREAM-LSST

The XLVIIth Rencontres de Moriond Cosmology 2012, La Thuile, Italy, March 10-17 2012

- **J.-S. Ricol** – Probing dark energy with the Large Synoptic Survey Telescope (LSST)

International Conference on Quantum Gravity (LOOPS 2013), Toronto, Canada, July 22-25 2013

- **B. Bolliet, A. Barrau** – Primordial tensor power spectrum and B-modes of the CMB in loop quantum cosmology

International School for Astroparticle Physics. Dark Matter Composition and Detection (ISAPP 2013), Djurönäset, Sweden, July 29 - August 6 2013

- **V. Bonnivard** – Indirect detection of dark matter in the gamma-ray channel in dwarf spheroidal galaxies

LSST@Europe: The Path to Science, Cambridge, United Kingdom, September 9-12 2013

- **J.-S. Ricol** – A new method to improve photometric redshift reconstruction

Auger-CODALEMA

23rd European Cosmic Ray Symposium (ECRS 2012), Moscow, Russia, July 3-7 2012

- **K. Louedec, M. Will** – Atmospheric considerations for CTA site search using global models – *J. of Phys. Conf. Series 409 (2013) 012121*

Cargese School 2013 Cosmic Accelerators, Cargese, France, April 29 - May 8 2013

- **S. Le Coz** – Microwave detection of extensive air shower at the Pierre Auger Observatory

International Workshop on Atmospheric Monitoring for High-Energy Astroparticle Detectors (AtmoHEAD), Saclay, France, 10-12 juin 2013

- M.I. Micheletti al. – Aerosol concentration measurements and analysis of air mass backward trajectories at the Pierre Auger Observatory – *Proc. à paraître*

2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPSHEP 2013), Stockholm, Sweden, July 18-24 2013

- **K. Louedec** for the Pierre Auger Collaboration – Radio-detection of extensive air showers at the Pierre Auger Observatory - Results and enhancements – *Proc. à paraître (PoS)*

- J. Alvarez-Muniz et al. for the AMY Collaboration – The Air Microwave Yield (AMY) experiment - A laboratory measurement of the microwave emission from extensive air showers – *Proc. à paraître (PoS)*

Planck-MIMAC

Doctoriales 2012, Autrans, France, 25-30 mars 2012

- **G. Hurier** – Étude de la toile cosmique via l'effet Sunyaev Zel'dovich

47th ESLAB Symposium The Universe as seen by Planck, Noordwijk, The Netherlands, April 2-5 2013

- **L. Sanselme** – Assessing the robustness of the Planck HFI data at the ring level

Neutron and Ion Dosimetry Symposium (NEUDOS12), Aix en Provence, France, 3-7 juin 2013

- D. Maire et al. – Development of a μ TPC detector as a standard instrument for low energy neutron field characterization – *Proc. à paraître (Radiation Protection Dosimetry)*

Physique hadronique et Matière nucléaire

ALICE-JLab

Rencontres Françaises sur la physique des hautes énergies au LHC (LHC France 2013), Annecy, France, 2-6 avril 2013

- G. Conesa-Balbastre – Neutral meson production in pp and Pb-Pb collisions at the LHC measured with ALICE

4th International Particle Accelerator Conference (IPAC 13), Shanghai, China, May 12-17 2013

- A.H. Adeyemi, **E. Voutier** – The calibration of the PEPPo polarimeter for electrons and positrons source – *Proc. on Line JACoW IPAC2013 861-863*

Structure Nucléaire

École Joliot-Curie 2012 Nuclei through the looking glass, Fréjus, France, 30 septembre - 5 octobre 2012

- A. Vancraeynest – Gamma ray spectroscopy of neutron rich nuclei in the vicinity of ^{132}Sn produced by fission reaction
- F. Drouet – Mesures de gamma prompts en provenance des expériences avec des détecteurs germanium. Étude des noyaux exotiques

5th International Workshop on Nuclear Fission and Fission-Product Spectroscopy (FISSION2013), Caen, France, 28-31 mai 2013

- F. Drouet et al. – Prompt γ -ray spectroscopy of N=50 fission fragments – *EPJ Web of Conferences 62 (2013) 01005*
- I. Companis et al. – Development of an experimental set-up for the measurement of neutron-induced fission and capture cross sections of radioactive fissile nuclei – *EPJ Web of Conferences 62 (2013) 05007*

International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA 2013), Marseille, France, 23-27 juin 2013

- P. Mutti et al. – A trigger-less acquisition system for the EXILL large Ge detectors arrays – *Proc. à paraître (IEEE)*

Physique des réacteurs

International Conference on Translational Research in Radiation Oncology Physics for Health Care in Europe (ICTR-PHE 2012), Geneva, Swiss, February 27 - March 2 2012

- I. Fonteille – TraDeRa - Development of a Transparent Detector for Radiotherapy on-line beam monitoring: a simulation study

Rôle accélérateur et sources d'ions

International Particle Accelerator Conference (IPAC'12), New Orleans, Louisiana, USA, May 20-25 2012

- S. Guiducci et al. – Baseline design of the SuperB factory injection system – *Proc on line Jacow IPAC2012 2032-2034*

- E.H.M. Wildner et al. – Beta beams for precision measurement of neutrino oscillation parameters – *Proc on line Jacow IPAC2012 3939-3941*

12th International Conference on Heavy Ion Accelerator Technology (HIAT 2012), Chicago, IL, USA, June 18-21 2012

- D. Boutin et al. – The RIB dynamics of the SPIRAL 2 transfer line – *Proc on line JACoW HIAT2012 PO03 54-57*

4th International Particle Accelerator Conference (IPAC 13), Shanghai, China, May 12-17 2013

- P.E. Bernaudin et al. – Assembling, Testing and Installing the SPIRAL2 Superconducting LINAC – *Proc. on Line JACoW IPAC2013 3752-3754*

- O. Dadoun et al. – Characterization of the Analyzing Target of the PEPPo Experiment source – *Proc. on Line JACoW IPAC2013 864-866*

International Nuclear Physics Conference (INPC 2013), Firenze, Italy, June 2-7 2013

- G. Bisoffi et al. – ALPI Setup as the SPES Accelerator of Exotic Beams – *Proc. à paraître*

15th International Conference on Ion Sources (ICIS'13), Chiba, Japan, September 9-13 2013

- A. Galatà et al. – The charge breeder beam line for the selective production of exotic species project at INFN-Legnaro National Laboratories – *Rev. Sci. Instrum. 85 (2014) 02B905*

- O. Tarvainen et al. – Ionization efficiency studies with charge breeder and conventional electron cyclotron resonance ion source – *Rev. Sci. Instrum. 85 (2014) 02B917*

16th International Conference on RF Superconductivity (SRF2013), Paris, France, 23-27 septembre 2013

- G. Olry et al. – Spiral2 cryomodules B tests results – *Proc. on Line JACoW à paraître*

- Y. Gomez Martinez et al. – Last Spiral 2 couplers preparation and RF conditioning – *Proc. on Line JACoW à paraître*

Interdisciplinaire

DAMe

52^{èmes} Journées Scientifiques - Société Française de Physique Médicale, Nice, France, 5-7 juin 2013

- L. Weber et al. – Development of a transparent detector for the online monitoring of IMRT beams

Plasmas – Matériaux - Nanostructures

XXI Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases (ESCAMPIG), Viana do Castelo, Portugal, July 10-14 2012

- S. Béchu et al – Surface mechanisms investigation for negative ion production – *Proc. on line EPS ECA 36A ISBN 2914771746*

- A. Lacoste et al. – Top-to-tail microwave plasma sources with extended operating conditions – *Proc. on line EPS ECA 36A ISBN 2914771746*

- A. Soum-Glaude et al. – H atom density measurement using a combination of optical emission spectroscopy and Langmuir probes diagnostics – *Proc. on line EPS ECA 36A ISBN 2914771746*

VIIIth International Workshop on Microwave Discharges: Fundamentals and Applications, Zvenigorod, Russia, September 10-14 2012

- **P. Baele** et al. – Design and performance head-to-head microwave plasma sources – *VIIIth International Workshop on Microwave Discharges: Fundamentals and Applications Proceedings, Ed. by Yu.A. Lebedev, (2012) ISBN 9785803705703 147-150*

Services Techniques – développements technologiques

International Symposium on Future Directions on UHECR Physics (UHECR 2012), CERN, Geneva, Switzerland, February 13-16 2012

- **F. Sarazin** et al. – The Pierre Auger Research and Development Array (RDA) in southeastern Colorado – R&D for a giant ground array – *EPJ Web of Conferences 53 (2013) 08017*

Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2012), New-York, USA, May 21-25 2012

- **E.J. Gallas** et al. – Conditions and configuration metadata for the ATLAS experiment – *J. of Phys. Conf. Series 396 (2012) 052033*
- **E.J. Gallas** et al. on behalf of the ATLAS Collaboration – ATLAS file and dataset metadata collection and use – *J. of Phys. Conf. Series 396 (2012) 052005*
- D. Rousseau et al. – Monitoring of computing resource utilization of the ATLAS experiment – *J. of Phys. Conf. Series 396 (2012) 032112*

5th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy (Gamma2012), Heidelberg, Germany, July 9-13 2012

- **C. Naumann** et al. – Nectar: New electronics for the Cherenkov Telescope Array – *AIP Conf. Proc. 1505 (2012) 785-788*

2012 Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference & Workshop on Room-Temperature Semiconductor X-Ray and Gamma-Ray Detectors (2012 IEEE NSS/MIC/RTSD), Anaheim, California, États-Unis, October 29 - November 3 2012

- **F. Rarbi** et al. – A low cross-talk 3-channel analog multiplexer with a 12-bit 25-MS/s pipelined ADC – *Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2012 IEEE 886 - 889*

International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA 2013), Marseille, France, 23-27 juin 2013

- **D. Maire** et al. – Measurement of a 127 keV neutron field with the future standard spectrometer μ -TPC – *Proc. à paraître (IEEE)*

Journées Nationales du Développement Logiciel (JDEV2013), Palaiseau, France, 4-6 septembre 2013

- **O. Zimmermann, R. Faure** – LABVIEW au laboratoire - l'impact vertueux de SVN

Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP-13), Perugia, Italy, September 23-27 2013

- **L. Eraud** et al. – The high voltage power supplies of the CREAM experiment – *Proc. à paraître (JINST)*

20th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2013), Amsterdam, Netherlands, October 14-18 2013

- **C. Biscarat**, B. Bzeznik – Synergy between the CIMENT tier-2 HPC centre in Grenoble (France) and the HEP community at LPSC (“Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie”) methods – *Proc. à paraître (Journal of Physics: Conference Series)*

2013 IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference & Workshop on Room-Temperature Semiconductor X-Ray and Gamma-Ray Detectors (2013 IEEE NSS/MIC/RTSD), Seoul, Korea, October 27 – November 2 2013

- **D. Dzahini** on behalf of the Atlas Liquid Argon Calorimeter Group – PEALL: a 12-Bit, 40-MSPS, Power Efficient and Low Latency SAR AD – *Proc. à paraître*

Publications

Articles publiés dans des revues scientifiques

Quarks, leptons et symétries fondamentales

DELPHI Collaboration

- S. Schael et al. The ALEPH, DELPHI, L3, OPAL Collaboration, The LEP Electroweak Working Group – Electroweak measurements in electron-positron collisions at W-boson-pair energies at LEP – *Phys. Rep.* 532 (2013) 119-244

ATLAS Collaboration

G. Aad et al. The ATLAS Collaboration

- Performance of the ATLAS Trigger System in 2010 – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 1849
- Measurement of the pseudorapidity and transverse momentum dependence of the elliptic flow of charged particles in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 707 (2012) 330-348
- Measurement of the centrality dependence of the charged particle pseudorapidity distribution in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 363-382
- Performance of missing transverse momentum reconstruction in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ATLAS – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 1844
- A study of the material in the ATLAS inner detector using secondary hadronic interactions – *JINST* 7 (2012) P01013
- Measurements of the electron and muon inclusive cross-sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 707 (2012) 438-458
- Electron performance measurements with the ATLAS detector using the 2010 LHC proton-proton collision data – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 1909
- Search for a heavy Standard Model Higgs boson in the channel $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+ l^- q \bar{q}$ using the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 707 (2012) 27-45
- Measurement of the $W \rightarrow \tau \nu_\tau$ cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS experiment – *Phys. Lett. B* 706 (2012) 276-294
- Search for supersymmetry in final states with jets, missing transverse momentum and one isolated lepton in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions using 1 fb^{-1} of ATLAS data – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 012006
- Search for displaced vertices arising from decays of new heavy particles in 7 TeV pp collisions at ATLAS – *Phys. Lett. B* 707 (2012) 478-496
- Measurement of the transverse momentum distribution of W bosons in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 012005
- Search for new phenomena in $t\bar{t}$ events with large missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 041805
- Search for new physics in the dijet mass distribution using 1 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ TeV collected by the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 708 (2012) 37-54

- Measurement of the cross-section for b-jets produced in association with a Z boson at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 706 (2012) 295-313
- Measurement of the production cross section for Z/γ^* in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 032009
- Searches for supersymmetry with the ATLAS detector using final states with two leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions – *Phys. Lett. B* 709 (2012) 137-157
- Search for squarks and gluinos using final states with jets and missing transverse momentum with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 67-85
- Measurement of the top quark pair production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV in dilepton final states with ATLAS collisions – *Phys. Lett. B* 707 (2012) 459-477
- Measurement of the cross section for the production of a W boson in association with b-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 707 (2012) 418-437
- Search for decays of stopped, long-lived particles from 7 TeV pp collisions with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 1965
- Search for diphoton events with large missing transverse momentum in 1 fb⁻¹ of 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 519-537
- Publisher’s Note: Search for supersymmetry in final states with jets, missing transverse momentum and one isolated lepton in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions using 1 fb⁻¹ of ATLAS data [*Phys. Rev. D* 85 012006 (2012)] – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 099903(E)
- Jet energy measurement with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2304
- K_S^0 and Λ production in pp interactions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV measured with the ATLAS detector at the LHC – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 012001
- Measurement of the ZZ production cross section and limits on anomalous neutral triple gauge couplings in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 041804
- Search for strong gravity signatures in same-sign dimuon final states using the ATLAS detector at the LHC – *Phys. Lett. B* 709 (2012) 322-340
- Measurement of the isolated di-photon cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 012003
- Search for anomalous production of prompt like-sign muon pairs and constraints on physics beyond the Standard Model with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 032004
- Measurement of the $W\pm Z$ production cross section and limits on anomalous triple gauge couplings in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 709 (2012) 341-357
- Search for the Higgs boson in the $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l^+ \nu l^- \bar{\nu}$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 111802

- Study of jets produced in association with a W boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 092002
- Search for production of resonant states in the photon-jet mass distribution using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV collected by the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 211802
- A measurement of the ratio of the W and Z cross sections with exactly one associated jet in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ATLAS – *Phys. Lett. B* 708 (2012) 721-740
- Measurement of the inclusive W^\pm and Z/γ^* cross sections in the e and μ decay channels in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 072004
- Search for anomaly-mediated supersymmetry breaking with the ATLAS detector based on a disappearing-track signature in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 1993
- Search for first generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 709 (2012) 158-176
- Erratum to “Search for first generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector” [*Phys. Lett. B* 709 (2012) 158] – *Phys. Lett. B.* 711 (2012) 442-455
- Rapidity gap cross sections measured with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 1926
- Search for extra dimensions using diphoton events in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector ATLAS Collaboration – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 538-556
- Observation of a new state in χ_b radiative transitions $\Upsilon(1S)$ to $\Upsilon(2S)$ and at ATLAS – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 152001
- Search for excited leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 072003
- Search for scalar bottom quark pair production with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 181802
- Measurement of the polarisation of W bosons produced with large transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS experiment – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2001
- Measurement of the production cross section of an isolated photon associated with jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 092014
- Search for a light Higgs boson decaying to long-lived weakly-interacting particles in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 251801
- Measurement of the charge asymmetry in top quark pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2039
- Measurement of the top quark mass with the template method in the $t\bar{t} \rightarrow \text{lepton} + \text{jets}$ channel using ATLAS data – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2046
- Search for pair production of a heavy up-type quark decaying to a W Boson and a b quark in the lepton+jets channel with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 261802

- Search for contact interactions in dilepton events from pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 712 (2012) 40-58
- Search for heavy neutrinos and right-handed W bosons in events with two leptons and jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2056
- Determination of the strange quark density of the proton from ATLAS measurements of the $W \rightarrow l\nu$ and $Z \rightarrow ll$ cross sections – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 012001
- Search for new particles decaying to ZZ using final states with leptons and jets with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions – *Phys. Lett. B* 712 (2012) 331-350
- Search for FCNC single top-quark production at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 712 (2012) 351-369
- Search for down-type fourth generation quarks with the ATLAS detector in events with one lepton and high transverse momentum hadronically decaying W bosons in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 032001
- Search for pair-produced heavy quarks decaying to Wq in the two-lepton channel at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 012007
- Measurement of inclusive two-particle angular correlations in pp collisions with the ATLAS detector at the LHC – *JHEP* 05 (2012) 157
- Measurement of the cross section for top-quark pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector using final states with two high- p_T leptons – *JHEP* 05 (2012) 059
- Search for TeV-scale gravity signatures in final states with leptons and jets with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 716 (2012) 122-141
- Measurement of the azimuthal ordering of charged hadrons with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 052005
- Forward-backward correlations and charged-particle azimuthal distributions in pp interactions using the ATLAS detector – *JHEP* 07 (2012) 019
- Single hadron response measurement and calorimeter jet energy scale uncertainty with the ATLAS detector at the LHC – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2305
- Measurement of $D^{*\pm}$ meson production in jets from pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 052005
- Measurement of the top quark pair production cross-section with ATLAS in the single lepton channel – *Phys. Lett. B* 711 (2012) 244-263
- Measurement of inclusive jet and dijet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 014022
- Search for heavy vector-like quarks coupling to light quarks in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 712 (2012) 22-39
- Search for the standard model Higgs boson in the diphoton decay channel with 4.9 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ATLAS – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 111803
- Search for same-sign top-quark production and fourth-generation down-type quarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 04 (2012) 069
- Observation of spin correlation in $t\bar{t}$ events from pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 212001

- Search for the standard model Higgs boson in the decay channel $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$ with 4.8 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with ATLAS – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 383-402
- Combined search for the Standard Model Higgs boson using up to 4.9 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector at the LHC – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 49-66
- Search for resonant WZ production in the $WZ \rightarrow l \nu l' l'$ channel in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ pp collisions with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 112012
- Measurement of $t\bar{t}$ production with a veto on additional central jet activity in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ using the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2043
- Measurement of τ polarization in $W \rightarrow \tau \nu$ decays with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2062
- Search for supersymmetry in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ in final states with missing transverse momentum and b-jets with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 112006
- Measurement of the WW cross section in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ pp collisions with the ATLAS detector and limits on anomalous gauge couplings – *Phys. Lett. B* 712 (2012) 289-308
- Measurement of the azimuthal anisotropy for charged particle production in $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$ lead-lead collisions with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 014907
- Jet mass and substructure of inclusive jets in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ pp collisions with the ATLAS experiment – *JHEP* 05 (2012) 128
- Search for events with large missing transverse momentum, jets, and at least two tau leptons in 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 714 (2012) 180-196
- Search for gluinos in events with two same-sign leptons, jets and missing transverse momentum with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 241802
- Search for pair production of a new b' quark that decays to a Z boson and a bottom quark with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 071801
- Search for tb resonances in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 081801
- Search for second generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2151
- Search for supersymmetry with jets, missing transverse momentum and at least one hadronically decaying τ lepton in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 714 (2012) 197-214
- Measurement of the t-channel single top-quark production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 717 (2012) 330-350
- Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC – *Phys. Lett. B* 716 (2012) 1-29
- Measurement of $W^{\pm} Z$ Production in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS Detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2173

- Further search for supersymmetry at $\sqrt{s} = 7$ TeV in final states with jets, missing transverse momentum and isolated leptons with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 092002
- Search for diphoton events with large missing transverse momentum in 7 TeV proton–proton collision data with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 718 (2012) 411-430
- Search for direct slepton and gaugino production in final states with two leptons and missing transverse momentum with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 718 (2013) 879-901
- Search for contact interactions and large extra dimensions in dilepton events from pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 015010
- Search for dark matter candidates and large extra dimensions in events with a photon and missing transverse momentum in pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 011802
- Measurement of Z boson production in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 022301
- Search for pair production of heavy top-like quarks decaying to a high-pT W boson and a b quark in the lepton plus jets final state at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 718 (2013) 1284-1302
- ATLAS search for new phenomena in dijet mass and angular distributions using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *JHEP* 01 (2013) 029
- A particle consistent with the Higgs boson observed with the ATLAS detector at the Large Hadron Collider – *Science* 338/6114 (2012) 1576-1582
- Search for supersymmetry in events with large missing transverse momentum, jets, and at least one tau lepton in 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2215
- Search for light scalar top quark pair production in final states with two leptons with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton–proton collisions – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2237
- Search for doubly charged Higgs bosons in like-sign dilepton final states at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2244
- Search for pair production of massive particles decaying into three quarks with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions at the LHC – *JHEP* 12 (2012) 086
- Search for anomalous production of prompt like-sign lepton pairs at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 12 (2012) 007
- ATLAS search for a heavy gauge boson decaying to a charged lepton and a neutrino in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2241
- Search for displaced muonic lepton jets from light Higgs boson decay in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 721 (2013) 32-50
- A search for high-mass resonances decaying to $\tau^+\tau^-$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 719 (2013) 242-260
- Search for long-lived, heavy particles in final states with a muon and multi-track displaced vertex in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 719 (2013) 280-298

- Search for light top squark pair production in final states with leptons and b-jets with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton–proton collisions – *Phys. Lett. B* 720 (2013) 13-31
- Searches for heavy long-lived sleptons and R -hadrons with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 720 (2013) 277-308
- Measurement of the flavour composition of dijet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2301
- Search for direct chargino production in anomaly-mediated supersymmetry breaking models based on a disappearing-track signature in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 01 (2013) 131
- Search for extra dimensions in diphoton events from proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV in the ATLAS detector at the LHC – *New Journal of Physics* 15 (2013) 043007
- Measurement of W^+W^- production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector and limits on anomalous WWZ and $WW\gamma$ couplings – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 112001
- Erratum: Measurement of W^+W^- production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector and limits on anomalous WWZ and $WW\gamma$ couplings [*Phys. Rev. D* 87, 112001 (2013)] – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 079906(E)
- Search for pair-produced massive coloured scalars in four-jet final states with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2263
- Search for resonant diboson production in the $WW/WZ \rightarrow l\nu jj$ decay channels with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 112006
- Improved luminosity determination in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector at the LHC – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2518
- Search for dark matter candidates and large extra dimensions in events with a jet and missing transverse momentum with the ATLAS detector – *JHEP* 04 (2013) 075
- Search for supersymmetry in events with three leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 261804
- Search for the decay $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 387-407
- Evidence for the associated production of a W boson and a top quark in ATLAS at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 716 (2012) 142-159
- Search for a fermiophobic Higgs boson in the diphoton decay channel with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2157
- Search for charged Higgs bosons decaying via $H^* \rightarrow \tau\nu$ in $t\bar{t}$ events using pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 06 (2012) 039
- Underlying event characteristics and their dependence on jet size of charged-particle jet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 072004
- Hunt for new phenomena using large jet multiplicities and missing transverse momentum with ATLAS in 4.7 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions – *JHEP* 07 (2012) 167

- ATLAS measurements of the properties of jets for boosted particle searches – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 072006
- A search for $t\bar{t}$ resonances with the ATLAS detector in 2.05 fb⁻¹ of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2083
- Combined search for the Standard Model Higgs boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 032003
- Search for the Standard Model Higgs boson in the $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$ decay mode with 4.7 fb⁻¹ of ATLAS data at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 716 (2012) 62-81
- Measurement of the W boson polarization in top quark decays with the ATLAS detector – *JHEP* 06 (2012) 088
- Search for top and bottom squarks from gluino pair production in final states with missing transverse energy and at least three b-jets with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2174
- Measurement of the b-hadron production cross section using decays to $D^{*+} \mu^- X$ final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Nucl. Phys. B* 864 (2012) 341-381
- Search for a supersymmetric partner to the top quark in final states with jets and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 211802
- Search for direct top squark pair production in final states with one isolated lepton, jets, and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions using 4.7 fb⁻¹ of ATLAS data – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 211803
- Search for the Standard Model Higgs boson produced in association with a vector boson and decaying to a b-quark pair with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 718 (2012) 369-390
- Search for the Higgs boson in the $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$ decay channel at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 718 (2012) 391-410
- Search for resonant top quark plus jet production in $t\bar{t} + \text{jets}$ events with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 091103(R)
- Search for a Standard Model Higgs boson in the mass range 200–600 GeV in the $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-q\bar{q}$ decay channel with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 717 (2012) 70-88
- A search for $t\bar{t}$ resonances in lepton+jets events with highly boosted top quarks collected in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 09 (2012) 041
- Search for the Standard Model Higgs boson in the $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ decay mode in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with ATLAS – *JHEP* 09 (2012) 070
- Search for magnetic monopoles in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 261803
- Measurements of the pseudorapidity dependence of the total transverse energy in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ATLAS – *JHEP* 11 (2012) 033
- Measurement of event shapes at large momentum transfer with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2211
- Time-dependent angular analysis of the decay $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ and extraction of $\Delta\Gamma_s$ and the CP-violating weak phase Φ_s by ATLAS – *JHEP* 12 (2012) 072

- Search for direct production of charginos and neutralinos in events with three leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 718 (2013) 841-859
- Search for new phenomena in the $WW \rightarrow l\nu l'\nu'$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 718 (2013) 860-878
- Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using 4.7 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collision data searches – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 012008
- Measurement of the Λ_b^0 lifetime and mass in the ATLAS experiment – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 032002
- Measurement of the jet radius and transverse momentum dependence of inclusive jet suppression in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 719 (2013) 220-241
- Jet energy resolution in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV recorded in 2010 with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2306
- Measurements of top quark pair relative differential cross-sections with ATLAS in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2261
- Measurement of charged-particle event shape variables in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton interactions with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 032004
- Search for lepton flavour violation in the $e\mu$ continuum with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions at the LHC – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2040
- Search for scalar top quark pair production in natural gauge mediated supersymmetry models with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 715 (2012) 44-60
- Measurement of the top quark pair production cross section with ATLAS in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using final states with an electron or a muon and a hadronically decaying τ lepton – *Phys. Lett. B* 717 (2012) 89-108
- Measurement of $W\gamma$ and $Z\gamma$ production cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV and limits on anomalous triple gauge couplings with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 717 (2012) 49-69
- Search for a Standard Model Higgs boson in the $H \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$ decay channel using 4.7 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 7$ TeV data with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 717 (2012) 29-48
- A search for flavour changing neutral currents in top-quark decays in pp collision data collected with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *JHEP* 09 (2012) 139
- Search for high-mass resonances decaying to dilepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 11 (2012) 138
- Search for a heavy top-quark partner in final states with two leptons with the ATLAS detector at the LHC – *JHEP* 11 (2012) 094
- Search for R-parity-violating supersymmetry in events with four or more leptons in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector – *JHEP* 12 (2012) 124
- Search for resonances decaying into top-quark pairs using fully hadronic decays in pp collisions with ATLAS at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *JHEP* 01 (2013) 116
- A search for prompt lepton-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 719 (2013) 299-317
- Search for supersymmetry in events with photons, bottom quarks, and missing

- transverse momentum in proton-proton collisions at a centre-of-mass energy of 7 TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 719 (2013) 261-279
- Measurement of angular correlations in Drell–Yan lepton pairs to probe Z/γ^* boson transverse momentum at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 720 (2013) 32-51
 - Search for new phenomena in events with three charged leptons at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 052002
 - Measurement of Upsilon production in 7 TeV pp collisions at ATLAS – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 052004
 - Measurement of isolated-photon pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 01 (2013) 086
 - Search for single b^* -quark production with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 721 (2013) 171-189
 - Search for the neutral Higgs bosons of the Minimal Supersymmetric Standard Model in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 02 (2013) 095
 - Search for charged Higgs bosons through the violation of lepton universality in $t\bar{t}$ events using pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS experiment – *JHEP* 03 (2013) 076
 - Search for long-lived, multi-charged particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector TeV – *Phys. Lett. B* 722 (2013) 305-323
 - Search for a heavy narrow resonance decaying to $e\mu$, $e\tau$ or $\mu\tau$ with the ATLAS detector in ps $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions at the LHC – *Phys. Lett. B* 723 (2013) 15-32
 - Measurements of $W\gamma$ and $Z\gamma$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 112003
 - Measurement of ZZ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV and limits on anomalous ZZZ and $ZZ\gamma$ couplings with the ATLAS detector – *JHEP* 03 (2013) 128
 - Multi-channel search for squarks and gluinos in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector at the LHC – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2362
 - Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in the tau+jets channel using the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2328
 - Characterisation and mitigation of beam-induced backgrounds observed in the ATLAS detector during the 2011 proton-proton run – *JINST* 8 (2013) P07004
 - Search for a light charged Higgs boson in the decay channel $H^+ \rightarrow c\bar{s}$ in $t\bar{t}$ events using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2465
 - Measurement of the cross-section for W boson production in association with b-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 06 (2013) 084
 - Search for third generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 06 (2013) 033
 - Measurement of the inclusive jet cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV and comparison to the inclusive jet cross-section at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2509
 - Measurement of hard double-parton interactions in $W(\rightarrow l\nu) + 2$ -jet events at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *New Journal of Physics* 15 (2013) 033038

- Search for WH production with a light Higgs boson decaying to prompt electron-jets in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *New Journal of Physics* 15 (2013) 043009
- Observation of associated near-side and away-side long-range correlations in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV proton–lead collisions with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 182302
- Search for non-pointing photons in the diphoton and E_T^{miss} final state in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton–proton collisions using the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 012001
- Measurement with the ATLAS detector of multi-particle azimuthal correlations in p+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV – *Phys. Lett. B* 725 (2013) 60-78
- Measurement of the production cross section of jets in association with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 07 (2013) 032
- Measurement of the high-mass Drell-Yan differential cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Lett. B* 725 (2013) 223-242
- Dynamics of isolated-photon plus jet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Nucl. Phys. B* 875 (2013) 483-535
- Measurement of the differential cross-section of B⁺ meson production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV at ATLAS – *JHEP* 10 (2013) 042
- Performance of jet substructure techniques for large-R jets in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector – *JHEP* 10 (2013) 076
- Measurement of the top quark charge in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *JHEP* 11 (2013) 031
- Measurement of k_T splitting scales in $W \rightarrow l\nu$ events at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2432
- A search for $t\bar{t}$ resonances in the lepton plus jets final state with ATLAS using 4.7 fb⁻¹ of pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 012004
- Triggers for displaced decays of long-lived neutral particles in the ATLAS detector – *JINST* 8 (2013) P07015
- Search for excited electrons and muons in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton–proton collisions with the ATLAS detector – *New Journal of Physics* 15 (2013) 093011
- Measurements of Higgs boson production and couplings in diboson final states with the ATLAS detector at the LHC – *Phys. Lett. B* 726 (2013) 88-119
- Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using ATLAS data – *Phys. Lett. B* 726 (2013) 120-144
- Search for microscopic black holes in a like-sign dimuon final state using large track multiplicity with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 072001
- Search for long-lived stopped R-hadrons decaying out-of-time with pp collisions using the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 112003
- Measurement of top quark polarization in top–antitop events from proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 111 (2013) 232002
- Search for charginos nearly mass degenerate with the lightest neutralino based on a disappearing-track signature in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 112006

- Search for new phenomena in final states with large jet multiplicities and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions using the ATLAS experiment – *JHEP* 10 (2013) 130
- Measurement of the azimuthal angle dependence of inclusive jet yields in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector – *Phys. Rev. Lett.* 111 (2013) 152301
- Search for direct third-generation squark pair production in final states with missing transverse momentum and two b-jets in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector – *JHEP* 10 (2013) 189

J. Albert et al. The ATLAS IBL Collaboration

- Prototype ATLAS IBL modules using the FE-I4A front-end readout chip – *JINST* 7 (2012) P11010

DØ Collaboration

V.M. Abazov et al. The D0 Collaboration

- Search for doubly charged Higgs boson pair production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 021801
- Measurement of the relative branching ratio of $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ to $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 011103(R)
- Evidence for spin correlation in $t\bar{t}$ production – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 032004
- Search for Higgs bosons decaying to $\tau^+\tau^-$ pairs in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 707 (2012) 323-329
- Search for anomalous Wtb couplings in single top quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 708 (2012) 21-26
- $Z\gamma$ production and limits on anomalous $ZZ\gamma$ and $Z\gamma\gamma$ couplings in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 052001
- Search for a narrow $t\bar{t}$ resonance in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 051101(R)
- Measurement of the inclusive jet cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 052006
- A search for charged massive long-lived particles – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 121802
- Measurement of the CP-violating phase $\Phi_s^{J/\psi\phi}$ using the flavor-tagged decay $B_s^0 \rightarrow j/\psi\phi$ in 8 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 032006
- Measurements of WW and WZ production in $W+$ jets final states in $p\bar{p}$ collisions – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 181803
- Model independent search for new phenomena in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 092015
- Search for universal extra dimensions in $p\bar{p}$ collisions – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 131802
- Search for pair production of the scalar top quark in muon+tau final states – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 578-586
- Measurement of the W boson mass with the D0 detector – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 151804

- An improved determination of the width of the top quark – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 091104(R)
- Search for Higgs bosons of the minimal supersymmetric standard model in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 569-577
- Measurement of the Λ_b^0 lifetime in the exclusive decay $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi \Lambda^0$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 112003
- A measurement of the WZ and ZZ production cross sections using leptonic final states in 8.6 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 112005
- Search for violation of Lorentz invariance in top quark pair production and decay – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 261603
- Search for the standard model Higgs boson in tau lepton pair final states – *Phys. Lett. B* 714 (2012) 237-245
- Measurement of the differential cross section $d\sigma/dt$ in elastic pp scattering at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 012009
- Combination of searches for anomalous top quark couplings with 5.4 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions – *Phys. Lett. B* 713 (2012) 165-171
- Search for WH associated production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 032005
- Observation of a narrow mass state decaying into $Y(1S) + \gamma$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 031103(R)
- Search for Higgs boson production in oppositely charged dilepton and missing energy events in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 032010
- Measurement of the photon+b-jet production differential cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 714 (2012) 32-39
- Search for the standard model Higgs boson in the $ZH \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$ channel in 9.5 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 716 (2012) 285-293
- Combined search for the standard model Higgs boson decaying to $p\bar{p}$ using the D0 Run II data set – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 121802
- Search for the standard model Higgs boson in associated WH production in 9.7 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions with the D0 detector – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 121804
- Search for the standard model Higgs boson in $ZH \rightarrow l^+l^-b\bar{b}$ production with the D0 detector in 9.7 fb^{-1} of collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 121803
- Measurement of the top quark mass in $p\bar{p}$ collisions using events with two leptons – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 051103(R)
- Search for Z events with large missing transverse energy in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 071701(R)
- Measurement of the semileptonic charge asymmetry in B^0 meson mixing with the D0 detector – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 072009
- Measurement of angular correlations of jets at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV and determination of the strong coupling at high momentum transfers – *Phys. Lett. B* 718 (2012) 56-63
- Limits on anomalous trilinear gauge boson couplings from WW, W Z and Wy production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 718 (2012) 451-459
- Study of the decay $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_2'(1525) (1525)$ in $\mu^+\mu^-K^+K^-$ final states – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 092011

- Measurement of the semileptonic charge asymmetry using $B_s^0 \rightarrow D_s \mu X$ decays – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 011801
- Measurement of the $p\bar{p} \rightarrow W + b + X$ production cross section at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 718 (2013) 1314-1320
- Measurement of leptonic asymmetries and top quark polarization in $t\bar{t}$ production – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 011103R
- Measurement of differential γ + c-jet cross sections and the ratio of γ + c and γ + bcross sections in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 718 (2013) 354-361
- Measurement of the ratio of three-jet to two-jet cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 720 (2013) 6-12
- Search for charged massive long-lived particles at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 052011
- Search for the rare decay $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 072006
- Measurement of the combined rapidity and p_T dependence of dijet azimuthal decorrelations in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 721 (2013) 212-219
- Measurement of the ratio of differential cross sections $\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z+bjet)/\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z+jet)$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 092010
- Measurement of direct CP violation parameters in $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$ and $B^\pm \rightarrow J/\psi \pi^\pm$ decays with 10.4 fb^{-1} of Tevatron data – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 241801
- Measurement of the differential cross sections for isolated direct photon pair production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 725 (2013) 6-14
- Search for anomalous quartic $WW\gamma\gamma$ couplings in dielectron and missing energy final states in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 012005
- Measurement of the ZZ production cross section and search for the standard model Higgs boson in the four lepton final state in $p\bar{p}$ collisions – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 032008
- Search for the Higgs boson in lepton, tau and jets final states – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052005
- Search for Higgs boson production in oppositely charged dilepton and missing energy final states in 9.7 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052006
- Search for a Higgs boson in diphoton final states with the D0 detector in 9.6 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052007
- Search for the standard model Higgs boson in lv +jets final states in 9.7 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions with the D0 detector – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052008
- Search for Higgs boson production in trilepton and like-charge electron-muon final states with the D0 detector – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052009
- Search for $ZH \rightarrow l^+ l^- b\bar{b}$ production in 9.7 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions with the D0 detector – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052010
- Combined search for the Higgs boson with the D0 experiment – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052011
- Measurement of the differential cross section of photon plus jet production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 072008

- Evidence for s-channel single top quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Lett. B* 726 (2013) 656-664
- Studies of W boson plus jets production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 092001
- Measurement of the muon charge asymmetry in $p\bar{p} \rightarrow W + X \rightarrow \mu\nu + X$ events at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 091102(R)

T. Aaltonen et al. The CDF and D0 Collaborations

- Combination of CDF and D0 measurements of the W boson helicity in top quark Decays – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 071106(R)
- Evidence for a particle produced in association with weak bosons and decaying to a bottom-antibottom quark pair in Higgs boson searches at the Tevatron – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 071804
- Combination of the top-quark mass measurements from the Tevatron collider – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 092003
- Search for neutral Higgs bosons in events with multiple bottom quarks at the Tevatron – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 091101(R)
- Higgs boson studies at the Tevatron – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052014
- Combination of CDF and D0 W-boson mass measurements – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 052018
- Measurement of the asymmetry in angular distributions of leptons produced in dilepton $t\bar{t}$ final states in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 112002

Futures machines

C. Adloff et al. The CALICE Collaboration

- Construction and performance of a silicon photomultiplier/extruded scintillator tail-catcher and muon-tracker – *JINST* 7 (2012) P04015
- Hadronic energy resolution of a highly granular scintillator-steel hadron calorimeter using software compensation techniques – *JINST* 7 (2012) P09017
- Validation of GEANT4 Monte Carlo models with a highly granular scintillator-steel hadron calorimeter – *JINST* 8 (2013) P07005
- Track segments in hadronic showers in a highly granular scintillator-steel hadron calorimeter – *JINST* 8 (2013) P09001

Interactions fondamentales avec les UCN

- C. Codau et al. – Transitions between levels of a quantum bouncer induced by a noise-like perturbation – *Nucl. Instrum. Meth. A* 677 (2012) 10-13
- F.M. Piegsa, **G. Pignol** – Limits on the axial coupling constant of new light bosons – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 181801
- **G. Pignol**, S. Rocchia – Electric dipole moment searches: reexamination of frequency shifts for particles in traps – *Phys. Rev. A* 85 (2012) 042105
- M. Sarrazin et al. – Experimental limits on neutron disappearance into another braneworld – *Phys. Lett. B* 712 (2012) 213-218
- P. Brax et al. – Probing Strongly Coupled Chameleons with Slow Neutrons – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 083004

Astroparticules et Cosmologie

AMS - CREAM - LSST

- A. Charbonnier et al. – Clumpy: a code for γ -ray signals from dark matter structures – *Comput. Phys. Commun.* 183 (2012) 656-668
- **B. Coste** et al. – Constraining Galactic cosmic-ray parameters $Z \leq 2$ with nuclei – *Astron. Astrophys.* 539 (2012) A88
- **C. Combet** et al. – Decaying dark matter: a stacking analysis of galaxy clusters to improve on current limits – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 063517
- J. Mielczarek et al. – Anomaly-free vector perturbations with holonomy corrections in loop quantum cosmology – *Class. Quant. Grav.* 29 (2012) 085009
- **T. Cailleteau** et al. – Anomaly-free scalar perturbations with holonomy corrections in loop quantum cosmology – *Class. Quant. Grav.* 29 (2012) 095010
- E.F. Borja et al. – Learning about quantum gravity with a couple of nodes? – *SIGMA* 8 (2012) 015
- **T. Cailleteau, A. Barrau** – Gauge-invariance in loop quantum cosmology: Hamilton-Jacobi and Mukhanov-Sasaki equations for scalar perturbations – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 123534
- K. Perrett et al. – Evolution in the volumetric type Ia supernova rate from the supernova legacy survey – *Astronom. J.* 144 (2012) 59
- E. Nezri et al. – γ -rays from annihilating dark matter in galaxy clusters: stacking versus single source analysis – *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 425 (2012) 477-489
- **T. Cailleteau** et al. – Consistency of holonomy-corrected scalar, vector and tensor perturbations in loop quantum cosmology – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 087301
- **D. Maurin** et al. – Disentangling cosmic-ray and dark matter induced γ -rays in galaxy clusters? – *Astron. Astrophys.* 547 (2012) A16
- C. Power et al. – Feedback from high-mass X-ray binaries on the right-redshift intergalactic medium: model spectra – *Astrophys. J.* 764 (2013) 76
- M. Aguilar et al. – First result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: precision measurement of the positron fraction in primary cosmic rays of 0.5-350 GeV – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 141102
- **L. Linsefors** et al. – Primordial tensor power spectrum in holonomy corrected Ω loop quantum cosmology – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 107503
- **L. Linsefors, A. Barrau** – Duration of inflation and conditions at the bounce as a prediction of effective isotropic loop quantum cosmology – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 123509

Planck-MIMAC-NIKA

- **J. Billard** et al. – Assessing the discovery potential of directional detection of Dark Matter – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 035006
- D. Albornoz Vasquez et al. – Probing neutralino dark matter in the MSSM & the NMSSM with directional detection – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 055023
- V. Golabek et al. – A μ -TPC detector for the characterization of low energy neutron fields – *Nucl. Instrum. Meth. A* 678 (2012) 33-38
- **J. Billard** et al. – Three-dimensional track reconstruction for directional Dark Matter detection LHC – *J. Cosmol. Astropart. P.* 04 (2012) 006

- **J. Billard** et al. – Low energy electron/recoil discrimination for directional Dark Matter detection – *J. Cosmol. Astropart. Phys.* 07 (2012) 020
 - **L. Fauvet** et al. – Expected constraints on the Galactic magnetic field using Planck data – *Astron. Astrophys.* 540 (2012) A122
 - S. Plaszczynski et al. – A hybrid approach to cosmic microwave background lensing reconstruction from all-sky intensity maps – *Astron. Astrophys.* 544 (2012) A27
 - **L. Fauvet** et al. – Model of the polarized foreground diffuse galactic emissions from 33 to 353 GHz – *Astropart. Phys.* 36 (2012) 57-63
 - **J. Billard** et al. – Is a co-rotating dark disk a threat to dark matter directional detection? – *Phys. Lett. B* 718 (2013) 1171-1175
 - N. Boudou et al. – Kinetic inductance detectors for millimeter and submillimeter astronomy – *Comptes Rendus Physique* 13 (2012) 62-70
 - A. Monfardini et al. – The Néel IRAM KID Arrays (NIKA) – *J. Low Temp. Phys.* 167 (2012) 384-389
 - **O. Bourrion** et al. – NIKEL: Electronics and data acquisition for kilopixels kinetic inductance camera – *JINST* 7 (2012) P07014
- N. Aghanim et al. The Planck Collaboration
- Planck intermediate results. I. Further validation of new Planck clusters with XMM-Newton – *Astron. Astrophys.* 543 (2012) A102
- P.A.R. Ade et al. The Planck and AMI Collaboration
- Planck intermediate results II: Comparison of Sunyaev–Zeldovich measurements from Planck and from the Arcminute Microkelvin Imager for 11 galaxy clusters – *Astron. Astrophys.* 550 (2013) A128
- P.A.R. Ade et al. The Planck Collaboration
- Planck intermediate results. III. The relation between galaxy cluster mass and Sunyaev-Zeldovich signal – *Astron. Astrophys.* 550 (2013) A129
 - Planck intermediate results. IV. The XMM-Newton validation programme for new Planck galaxy clusters – *Astron. Astrophys.* 550 (2013) A130
 - Planck intermediate results. V. Pressure profiles of galaxy clusters from the Sunyaev-Zeldovich effect – *Astron. Astrophys.* 550 (2013) A131
 - Planck intermediate results. V. Pressure profiles of galaxy clusters from the Sunyaev-Zeldovich effect – *Astron. Astrophys.* 558 (2013) C2
 - Planck intermediate results. VI: The dynamical structure of PLCKG214.6+37.0, a Planck discovered triple system of galaxy Clusters – *Astron. Astrophys.* 550 (2013) A132
 - Planck intermediate results. VII. Statistical properties of infrared and radio extragalactic sources from the Planck early release compact source catalogue at frequencies between 100 and 857 GHz – *Astron. Astrophys.* 550 (2013) A133
 - Planck Intermediate Results. VIII. Filaments between interacting clusters – *Astron. Astrophys.* 550 (2013) A134
 - Planck intermediate results. IX. Detection of the galactic haze with Planck – *Astron. Astrophys.* 554 (2013) A139
 - Planck intermediate results. X. Physics of the hot gas in the Coma cluster – *Astron. Astrophys.* 554 (2013) A140

- Planck intermediate results. XI: The gas content of dark matter halos: the Sunyaev-Zeldovich-stellar mass relation for locally brightest galaxies – *Astron. Astrophys.* 557 (2013) A52
- Planck intermediate results. XII. Diffuse Galactic components in the Gould Belt System – *Astron. Astrophys.* 557 (2013) A53
- J. Delabrouille et al. – The pre-launch Planck Sky Model: a model of sky emission at submillimetre to centimetre wavelengths – *Astron. Astrophys.* 553 (2013) A96
- T.R. Jaffe et al. – Comparing polarized synchrotron and thermal dust emission in the galactic plane – *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 431 (2013) 683-694
- **G. Hurier** et al. – MILCA, a modified internal linear combination algorithm to extract astrophysical emissions from multifrequency sky maps – *Astron. Astrophys.* 558 (2013) A118
- **J.F. Macias-Pérez** et al. – A characterization of the diffuse Galactic emissions at large angular scales using the Tenerife data – *Adv. Astron.* (2013) 780407
- L. Fauvet et al. – A characterization of the diffuse galactic emissions in the anti-center of the Galaxy – *Adv. Astron.* (2013) 746020
- A. Gregorio et al. – In-flight calibration and verification of the Planck-LFI instrument – *JINST* 8 (2013) T07001

Auger - CODALEMA

PIERRE Auger collaboration

P. Abreu et al. The Pierre Auger collaboration

- Publisher’s note: Search for ultrahigh energy neutrinos in highly inclined events at the Pierre Auger Observatory [*Phys. Rev. D* 84 122005 (2011)] – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 029902(E)
- Search for signatures of magnetically-induced alignment in the arrival directions measured by the Pierre Auger Observatory – *Astropart. Phys.* 35 (2012) 354-361
- Erratum to “The Lateral Trigger Probability function for the Ultra-High Energy Cosmic Ray Showers detected by the Pierre Auger Observatory” [*Astroparticle Physics* 35 (2011) 266–276] – *Astropart. Phys.* 35 (2012) 681-684
- Description of atmospheric conditions at the Pierre Auger observatory using the Global Data Assimilation System (GDAS) – *Astropart. Phys.* 35 (2012) 591-607
- A search for anisotropy in the arrival directions of ultra high energy cosmic rays recorded at the Pierre Auger Observatory – *J. Cosmol. Astropart. P.* 04 (2012) 040
- Search for point-like sources of ultra-high energy neutrinos at the Pierre Auger observatory and improved limit on the diffuse flux of tau neutrinos – *Astrophys. J. Lett.* 755 (2012) L4
- Measurement of the proton-air cross-section at $\sqrt{s} = 57$ TeV with the Pierre Auger Observatory – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 062002
- The rapid atmospheric monitoring system of the Pierre Auger observatory – *JINST* 7 (2012) P09001
- Antennas for the detection of radio emission pulses from cosmic-ray induced air showers at the Pierre Auger Observatory – *JINST* 7 (2012) P10011
- A search for point sources of EeV neutrons – *Astrophys. J.* 760 (2012) 148
- Large-scale distribution of arrival directions of cosmic rays detected above 10^{18} eV at the Pierre Auger Observatory – *Astrophys. J. Suppl. S.* 203 (2012) 34

- Constraints on the origin of cosmic rays above 10^{18} eV from large-scale anisotropy searches in data of the Pierre Auger Observatory – *Astrophys. J. Lett.* 762 (2013) L13
- Ultrahigh Energy Neutrinos at the Pierre Auger Observatory – *Advances in High Energy Physics* 2013 (2013) 708680
- Bounds on the density of sources of ultra-high energy cosmic rays from the Pierre Auger Observatory – *J. Cosmol. Astropart. P.* 05 (2013) 009
- Results of a self-triggered prototype system for radio-detection of extensive air showers at the Pierre Auger Observatory – *JINST* 7 (2012) P11023
- Interpretation of the depths of maximum of extensive air showers measured by the Pierre Auger Observatory – *J. Cosmol. Astropart. P.* 02 (2013) 026
- Techniques for measuring aerosol attenuation using the central laser facility at the Pierre Auger Observatory – *JINST* 8 (2013) P04009
- Identifying clouds over the Pierre Auger Observatory using infrared satellite data – *Astropart. Phys.* 50-52 (2013) 92-101
- **M. Tartare** et al. – Influence of the photonuclear effect on electron-neutrino-induced electromagnetic cascades under the Landau-Pomeranchuk-Migdal regime in standard rock – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 033005
- **K. Louedec** for the Pierre Auger Collaboration et al. – Atmospheric aerosols at the Pierre Auger Observatory and environmental implications – *Eur. Phys. J. Plus* 127 (2012) 97
- **K. Louedec**, M. Urban – Ramsauer approach for light scattering on nonabsorbing spherical particles and application to the Henyey-Greenstein phase function – *Appl. Optics* 51 (2012) 7842-7852
- **J. Colombi**, **K. Louedec** – Monte Carlo simulation of light scattering in the atmosphere and effect of atmospheric aerosols on the point spread function – *J. Opt. Soc. Am. A* 30 (2013) 2244-2252

Physique hadronique et Matière nucléaire

ALICE - JLab

K. Aamodt et al. The Alice Collaboration

- Harmonic decomposition of two-particle angular correlations in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 708 (2012) 249-264
- Particle-yield modification in jetlike azimuthal dihadron correlations in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 092301
- Mid-rapidity anti-baryon to baryon ratios in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9, 2.76$ and 7 TeV measured by ALICE – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2496
- Erratum to “Rapidity and transverse momentum dependence of inclusive J/ψ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV” [*Phys. Lett. B* 704 (5) (2011) 442] – *Phys. Lett. B* 718 (2012) 692- 698

B. Abelev et al. The Alice Collaboration

- J/ψ polarization in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 082001
- Measurement of charm production at central rapidity in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *JHEP* 01 (2012) 128

- Heavy flavour decay muon production at forward rapidity in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 708 (2012) 265-275
- Light vector meson production in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 557-568
- J/ψ production as a function of charged particle multiplicity in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 709 (2012) 165-175
- Measurement of event background fluctuations for charged particle jet reconstruction in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *JHEP* 03 (2012) 053
- J/ψ suppression at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 072301
- Underlying event measurements in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV with the ALICE experiment at the LHC – *JHEP* 07 (2012) 116
- Neutral pion and η meson production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ TeV and $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 717 (2012) 162-172
- Multi-strange baryon production in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ALICE – *Phys. Lett. B* 712 (2012) 309-318
- Production of muons from heavy flavor decays at forward rapidity in *pp* and Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 112301
- Transverse sphericity of primary charged particles in minimum bias proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 0.9, 2.76$ and 7 TeV – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2124
- D_s^+ meson production at central rapidity in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 718 (2012) 279-294
- $K_s^0 K_s^0$ correlations in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV from the LHC ALICE – *Phys. Lett. B* 717 (2012) 151-161
- Production of $K^*(892)^0$ and $\Phi(1020)$ in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2183
- Pion, kaon, and proton production in central Pb–Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 252301
- Measurement of the cross section for electromagnetic dissociation with neutron emission in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 252302
- Measurement of electrons from semileptonic heavy-flavour hadron decays in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 112007
- Measurement of charm production at central rapidity in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV – *JHEP* 07 (2012) 191
- Measurement of prompt J/ψ and beauty hadron production cross sections at mid-rapidity in *pp* collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *JHEP* 11 (2012) 065
- Charge separation relative to the reaction plane in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 012301
- Coherent J/ψ photoproduction in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 718 (2013) 1273-1283
- Pseudorapidity density of charged particles in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 032301
- Anisotropic flow of charged hadrons, pions and (anti-)protons measured at high transverse momentum in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 719 (2013) 18-28

- Long-range angular correlations on the near and away side in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV – *Phys. Lett. B* 719 (2013) 29-41
- Transverse momentum distribution and nuclear modification factor of charged particles in p+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 082302
- Centrality dependence of charged particle production at large transverse momentum in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 720 (2013) 52-62
- Charged kaon femtoscopic correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 052016
- Measurement of electrons from beauty hadron decays in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV – *Phys. Lett. B* 721 (2013) 13-23
- Net-charge fluctuations in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 152301
- Measurement of the inclusive differential jet cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 722 (2013) 262-272
- Measurement of inelastic, single- and double-diffraction cross sections in proton–proton collisions at the LHC with ALICE – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2456
- D meson elliptic flow in non-central Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 111 (2013) 102301
- Centrality determination of Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with ALICE – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 044909
- Centrality dependence of π , K, p production in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 044910
- $K_S^0 K_S^0$ and Λ production in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 111 (2013) 222301
- Multiplicity dependence of the average transverse momentum in pp, p–Pb, and Pb–Pb collisions at the LHC – *Phys. Lett. B* 727 (2013) 371-380
- Charmonium and e^+e^- pair photoproduction at mid-rapidity in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2617
- Directed flow of charged particles at midrapidity relative to the spectator plane in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 111 (2013) 232302
- Multi-strange baryon production at mid-rapidity in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 728 (2013) 216-227
- Energy dependence of the transverse momentum distributions of charged particles in pp collisions measured by ALICE – *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2662
- Inclusive J/ψ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 718 (2012) 295-306
- Suppression of high transverse momentum D mesons in central Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *JHEP* 09 (2012) 112
- Charge correlations using the balance function in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 723 (2013) 267-279
- Long-range angular correlations of π , K and p in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV – *Phys. Lett. B* 726 (2013) 164-177
- Multiplicity dependence of two-particle azimuthal correlations in pp collisions at the LHC – *JHEP* 09 (2013) 049

E. Abbas et al. The Alice Collaboration

- Performance of the ALICE V0 system – *JINST* 8 (2013) P10016
- J/ψ elliptic flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Rev. Lett.* 111 (2013) 162301
- Centrality dependence of the pseudorapidity density distribution for charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV – *Phys. Lett. B* 726 (2013) 610-622

D. Androic et al. The G0 Collaboration – Measurement of the parity-violating asymmetry in inclusive electroproduction of π^- near the Δ^0 resonance – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 122002

H. Egiyan et al. The CLAS Collaboration – Upper limits for the photoproduction cross section for the $\Phi(1860)$ pentaquark state off the deuteron – *Phys. Rev. C* 85 (2012) 015205

D. Keller et al. The CLAS Collaboration – Branching ratio of the electromagnetic decay of the $\Sigma^+(1385)$ – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 052004

K. Park et al. The CLAS Collaboration – Measurement of the generalized form factors near threshold via $\gamma^*p \rightarrow n\pi^*$ at high Q^2 – *Phys. Rev. C* 85 (2012) 035208

D. Keller et al. The CLAS Collaboration – Publisher’s Note: Branching ratio of the electromagnetic decay of the $\Sigma^+(1385)$ *Phys. Rev. D* 85, 052004 (2012) – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 059903(E)

N. Baillie et al. The CLAS Collaboration – Measurement of the neutron F2 structure function via spectator tagging with CLAS – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 142001

H. Baghdasaryan et al. The CLAS Collaboration – Comparison of forward and backward pp pair knockout in ${}^3\text{He}(e, e'pp)n$ – *Phys. Rev. C* 85 (2012) 064318

L. El Fassi et al. The CLAS Collaboration – Evidence for the onset of color transparency in ρ^0 electroproduction off nuclei – *Phys. Lett. B* 712 (2012) 326-330

H. Fonvieille et al. The Jefferson Lab. Hall A Collaboration – Virtual compton scattering and the generalized polarizabilities of the proton at $Q^2 = 0.92$ and 1.76 GeV^2 – *Phys. Rev. C* 86 (2012) 015210

I. Bedlinskiy et al. The CLAS Collaboration – Measurement of exclusive π^0 electroproduction structure functions and their relationship to transverse generalized parton distributions – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 112001

V.I. Mokeev et al. The CLAS Collaboration – Experimental study of the P11(1440) and D13(1520) resonances from the CLAS data on $ep \rightarrow e'\pi^+\pi^-p'$ – *Phys. Rev. C* 86 (2012) 035203

S. Abrahamyan et al. – New measurements of the transverse beam asymmetry for elastic electron scattering from selected nuclei – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 192501

D.S. Carman et al. The CLAS Collaboration – Separated structure functions for exclusive $K^+\Lambda$ and $K^+\Sigma^0$ electroproduction at 5.5 GeV with CLAS – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 025204

K. Park et al. The CLAS Collaboration – Deep exclusive π^+ electroproduction off the proton at CLAS – *Eur. Phys. J. A* 49 (2013) 16

K. Moriya et al. The CLAS collaboration – Measurement of the $\Sigma\pi$ photoproduction line shapes near the $\Lambda(1405)$ – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 035206

P. Khetarpal et al. – Near threshold neutral pion electroproduction at high momentum transfers and generalized form factors – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 045205

C.S. Nepali et al. The CLAS collaboration – Transverse polarization of $\Sigma^+(1189)$ in photoproduction on a hydrogen target in CLAS – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 045206

O. Hen et al. The CLAS collaboration – Measurement of transparency ratios for protons from short-range correlated pairs – *Phys. Lett. B* 722 (2013) 63-68

I. Pomerantz et al. The CLAS and Hall-A collaborations – Hard Two-body Photo-disintegration of ^3He – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 242301

W. Tang, et al. The CLAS collaboration – Cross sections for the $\gamma p \rightarrow K^*$ and $\gamma p \rightarrow K^{*+}\Sigma^*$ reactions measured at CLAS – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 065204

M. Moteabbed et al. The CLAS Collaboration – Demonstration of a novel technique to measure two-photon exchange effects in elastic $e\pm p$ scattering – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 025210

M.B. Barbaro et al. – Lepton mass effects in the Bethe-Heitler process – *Phys. Lett. B* 726 (2013) 505-511

M.B. Barbaro et al. – Erratum to “Lepton mass effects in the Bethe-Heitler process” [*Phys. Lett. B* 726 (1-3) (2013) 505] – *Phys. Lett. B* 727 (2013) 573-574

K. Moriya et al. The CLAS Collaboration – Differential photoproduction cross sections of the $\Sigma^0(1385)$, $\Lambda(1405)$, and $\Lambda(1520)$ – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 045201

H.Y. Lu et al. The CLAS collaboration – First observation of the $\Lambda(1405)$ line shape in electroproduction – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 045202

K. Moriya et al. The CLAS Collaboration – Publisher’s note: Differential photoproduction cross Sections of the $\Sigma^0(1385)$, $\Lambda(1405)$, and $\Lambda(1520)$ [*Phys. Rev. C* 88, 045201 (2013)] – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 0499002(E)

M. Dugger et al. The CLAS Collaboration – Beam asymmetry Σ for π^+ and π^0 photoproduction on the proton for photon energies from 1.102 to 1.862 GeV – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 065203

Structure Nucléaire

C. Rodriguez Triguero et al. – Trap-assisted separation of nuclear states for gamma-ray spectroscopy: the example of ^{100}Nb – *J. Phys. G. Nucl. Partic.* 39 (2012) 015101

S. Akkoyun et al. – AGATA – Advanced Gamma Tracking Array – *Nucl. Instrum. Meth. A* 668 (2012) 26-58

W. Urban et al. – Isomeric levels in ^{92}Rb and the structure of neutron-rich 92,94Rb isotopes – *Phys. Rev. C* 85 (2012) 014329

M. Albers et al. – Evidence for a smooth onset of deformation in the neutron-rich Kr isotopes – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 062701

D. Sohler et al. – High-spin structure of ^{104}Pd – *Phys. Rev. C* 85 (2012) 044303

T. Malkiewicz et al. – Near-yrast structure of odd-A, neutron-rich Pr isotopes – *Phys. Rev. C* 85 (2012) 044314

T. Ohtsubo et al. – Magnetic dipole moment of the doubly-closed-shell plus one proton nucleus ^{49}Sc – *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 032504

- G. Lhersonneau et al. – Neutron production by stopping 55 MeV deuterons in carbon and heavy water – *Eur. Phys. J. A* 48 (2012) 116
- J. Kurpeta et al. – Low-spin excitations in the ^{109}Tc nucleus – *Phys. Rev. C* 86 (2012) 044306
- G. Thiamova** et al. – The relationship between the interacting boson model and the algebraic version of Bohr's collective model in its triaxial limit – *Nucl. Phys. A* 895 (2012) 20-32
- T. Rzaca-Urban et al. – Reflection symmetry of the near-yrast excitations in ^{145}Ba – *Phys. Rev. C* 86 (2012) 044324
- G. Thiamova** et al. – Examination of different strengths of octupole correlations in neutron-rich Pr and Pm isotopes – *Phys. Rev. C* 86 (2012) 044334
- G. Lhersonneau et al. – A facility for fast-neutron irradiations at Jyväskylä and its use for nuclide cross-section measurements in fission – *Nucl. Instrum. Meth. A* 698 (2013) 224-233
- M.M. Rajabali et al. – A dedicated decay-spectroscopy station for the collinear resonance ionization experiment at ISOLDE – *Nucl. Instrum. Meth. A* 707 (2013) 35-39
- M. Albers et al. – Shape dynamics in neutron-rich Kr isotopes: Coulomb excitation of ^{92}Kr , ^{94}Kr and ^{96}Kr – *Nucl. Phys. A* 899 (2013) 1-28
- S. Lalkovski et al. – Core-coupled states and split proton-neutron quasiparticle multiplets in $^{122-126}\text{Ag}$ – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 034308
- W. Urban et al. – 0^+_{2-} band in ^{102}Ru and the evolution of nuclear deformation in Ru isotopes – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 031304(R)
- W. Urban et al. – New instrumentation for precise (n,γ) measurements at ILL Grenoble – *JINST* 8 (2013) P03014
- I. Kuti et al. – Medium- and high-spin band structure of the chiral candidate ^{132}La – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 044323
- A. Vancraeynest** et al. – Identification of new transitions feeding the high-spin isomers in ^{139}Nd and ^{140}Nd nuclei – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 064303
- M. Rudigier et al. – Delayed γ -ray and conversion-electron spectroscopy of $A = 97$ fission fragments – *Phys. Rev. C* 87 (2013) 064317
- J.-M. Régis et al. – The generalized centroid difference method for picosecond sensitive determination of lifetimes of nuclear excited states using large fast-timing arrays – *Nucl. Instrum. Meth. A* 726 (2012) 191-202
- P.-A. Söderström et al. – Shape evolution in $^{116,118}\text{Ru}$: Triaxiality and transition between the $O(6)$ and $U(5)$ dynamical symmetries – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 024301
- B. Olaizola et al. – β^- decay of ^{65}Mn to ^{65}Fe – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 044306
- H. Watanabe et al. – Isomers in ^{128}Pd and ^{126}Pd : evidence for a robust shell closure at the neutron magic number 82 in exotic palladium isotopes – *Phys. Rev. Lett.* 111 (2013) 152501
- M. Czerwinski et al. – Yrast excitations in the neutron-rich $N = 52$ isotones – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 044314

J. Sauvage et al. – Decay of ^{185}Tl , $^{185\text{m}+g}\text{Hg}$, $^{189\text{m}+g}\text{Pb}$ and energy location of the $13/2^+$ isomeric states in ^{185}Hg , ^{189}Pb , ^{193}Po and ^{197}Rn – *Eur. Phys. J. A* 49 (2013) 109

J. Stanja et al. – Mass spectrometry and decay spectroscopy of isomers across the $Z = 82$ shell closure isotones – *Phys. Rev. C* 88 (2013) 054304

Physique des réacteurs

A. Nuttin et al. – Comparative analysis of high conversion achievable in thorium-fueled slightly modified CANDU and PWR reactors – *Ann. Nucl. Energy* 40 (2012) 171-189

S. Chabod – Neutron slowing-down time in matter – *Nucl. Instrum. Meth. A* 669 (2012) 32-46

G. Kessedjian et al. – ^{243}Am neutron-induced fission cross section in the fast neutron energy range – *Phys. Rev. C* 85 (2012) 044613

L. Flandinet et al. – Metals recovering from waste printed circuit boards (WPCBs) using molten salts – *J. Hazard. Mater.* 213-214 (2012) 485-490

W. Uyttenhove et al. – Experimental Results From the VENUS-F Critical Reference State for the GUINEVERE Accelerator Driven System Project – *IEEE T. Nucl. Sci.* 59 (2012) 3194-3200

A. Blanc et al. – Fission product prompt γ -ray spectrometer: development of an instrumented gas-filled magnetic spectrometer at the ILL – *Nucl. Instrum. Meth. B* 317 (2013) 333-337

Théorie et phénoménologie

F. Mahmoudi et al. – Flavour Les Houches Accord; interfacing flavour related codes – *Comput. Phys. Commun.* 183 (2012) 285-298

B. Blossier et al. – Ghost-gluon coupling, power corrections, and $\Lambda_{\overline{MS}}$ from lattice QCD with a dynamical charm – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 034503

H.P. Nilles et al. – The orbifolder: a tool to study the low energy effective theory of heterotic orbifolds – *Comput. Phys. Commun.* 183 (2012) 1363-1380

J.F. Gunion et al. – The constrained NMSSM and Higgs near 125 GeV – *Phys. Lett. B* 710 (2012) 454-459

S. Kraml (ed.) et al. – Searches for New Physics: Les Houches Recommendations for the Presentation of LHC Results – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 1976

F. de Soto, **J.-C. Anglès d'Auriac** – About the Yukawa model on a lattice in the quenched approximation – *Phys. Rev. E* 85 (2012) 041121

H. Baer et al. – WZ plus missing-ET signal from gaugino pair production at LHC7 – *JHEP* 03 (2012) 092

S. Sekmen et al. – Interpreting LHC SUSY searches in the phenomenological MSSM – *JHEP* 02 (2012) 075

A. Kusina et al. – Strange quark parton distribution functions and implications for Drell-Yan boson production at the LHC – *Phys. Rev. D* 85 (2012) 094028

T. Stavreva et al. – Heavy quark production in the Aivazis-Collins-Olness-Tung scheme at next-to-next-to-leading and next-to-next-to-next-to-leading order –

Phys. Rev. D 85 (2012)114014

B. Blossier et al. The ETM Collaboration – Strong running coupling at τ and Z_0 mass scales from lattice QCD – *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 262002

T. Jezo et al. – LHC phenomenology of general $SU(2)\times SU(2)\times U(1)$ models Results – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 035005

M. Klasen et al. – Associated production of charged Higgs bosons and top quarks with POWHEG – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2088

B. Dumont et al. – Mixed sneutrino dark matter in light of the 2011 XENON and LHC results – *J. Cosmol. Astropart. P.* 09 (2012) 013

J.F. Gunion et al. – Could two NMSSM Higgs bosons be present near 125 GeV? – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 071702(R)

A. Chatterjee et al. – Radiative corrections to the neutralino dark matter relic density - an effective coupling approach – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 105025

C. Alexandrou et al. – Strange and charm baryon masses with two flavors of dynamical twisted mass fermions – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 114501

F. Brümmer et al. – Anatomy of maximal stop mixing in the MSSM – *JHEP* 08 (2012) 089

S. Fichet – Quantified naturalness from Bayesian statistics – *Phys. Rev. D* 86 (2012) 125029

B.A. Kniehl et al. – Inclusive charmed-meson production at the CERN LHC – *Eur. Phys. J. C* 72 (2012) 2082

H. Baer et al. – Yukawa-unified natural supersymmetry – *JHEP* 12 (2012) 066

C. Luhn et al. – A minimal model of neutrino flavor – *JHEP* 12 (2012) 096

B. Silvestre-Brac et al. – The auxiliary field method in quantum mechanics – *J. Phys. Math.* 4 (2012) P120601

G. Bélanger et al. – Higgs Bosons at 98 and 125 GeV at LEP and the LHC – *JHEP* 01 (2013) 069

J.F. Gunion et al. – Diagnosing degenerate Higgs bosons at 125 GeV – *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 051801

A. Anandkrishnan et al. – Yukawa unification predictions for the LHC – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 055005

T. Stavreva et al. – Prompt photon in association with a heavy-quark jet in Pb-Pb collisions at the LHC – *JHEP* 02 (2013) 072

G. Belanger et al. – Higgs couplings at the end of 2012 – *JHEP* 02 (2013) 053

J. Harz et al. – Neutralino-stop co-annihilation into electroweak gauge and Higgs bosons at one loop – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 054031

G. Durieux et al. – Three-generation baryon and lepton number violation at the LHC – *Phys. Lett. B* 721 (2013) 82-85

B. Blossier et al. – Testing the operator product expansion Wilson coefficient for A^2 from lattice QCD with a dynamical charm – *Phys. Rev. D* 87 (2013) 074033

G. Bélanger, et al. – Status of invisible Higgs decays – *Phys. Lett. B* 723 (2013) 340-347

V. Bertone et al. The ETM Collaboration – Kaon mixing beyond the SM from $N_f = 2$ tmQCD and model independent constraints from the UTA – *JHEP* 03 (2013) 089

G. Bélanger et al. – Global fit to Higgs signal strengths and couplings and implications for extended Higgs sectors – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 075008

G. Bélanger et al. – LHC constraints on light neutralino dark matter in the MSSM – *Phys. Lett. B* 726 (2013) 773-780

A. Anandakrishnan et al. – LHC Phenomenology of SO(10) Models with Yukawa Unification – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 075002

A. Kusina et al. – Hybrid scheme for heavy flavors: merging the fixed flavor number scheme and variable flavor number scheme – *Phys. Rev. D* 88 (2013) 074032

G. Durieux, **C. Smith** – The same-sign top signature of R-parity violation – *JHEP* 10 (2013) 068

B. Dumont et al. – A Bayesian view of the Higgs sector with higher dimensional operators – *JHEP* 07 (2013) 065

A. Greljo et al. – Constraining Higgs mediated dark matter interactions – *JHEP* 11 (2013) 190

Pôle accélérateurs et sources d'ions

T.R. Edgecock et al. – High intensity neutrino oscillation facilities in Europe – *Phys. Rev. ST Accel. Beams* 16 (2013) 021002

Interdisciplinaire – Développement

O. Bourrion et al. – Development of a multifunction module for the neutron electric dipole moment experiment at PSI – *Nucl. Instrum. Meth. A* 701 (2013) 278-284

M. Calvo et al. – Improved mm-wave photometry for kinetic inductance detectors – *Astron. Astrophys.* 551 (2013) L12

A. Salazar et al. – Towards a SPR-based biosensing platform incorporating a CMOS active column sensor – *Analog Integrated Circuits and Signal Processing* 77 (2013) 365-372

Imagerie médicale

M.-L. Gallin-Martel et al. – Experimental results and first ^{22}Na source image reconstruction by two prototype modules in coincidence of a liquid xenon positron emission tomograph for small animal imaging – *Nucl. Instrum. Meth. A* 682 (2012) 66-74

Plasmas – Matériaux – Nanostructures

H. Le-Quoc et al. – Deposition of thin films of $\text{Mg}_2\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ solid solution by plasma-assisted co-sputtering – *J. Alloy Compd.* 538 (2012) 73-78

H. Le-Quoc et al. – Thermoelectric properties of thin films of Sb doped $\text{Mg}_2\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ solid solutions – *J. Alloy Compd.* 546 (2013) 138-144

S. Béchu et al. – Multi-dipolar microwave plasmas and their application to negative ion production – *Phys. Plasmas* 20 (2013) 101601

Articles dans des revues avec comité de lecture non répertoriées dans les bases de données internationales, sans comité de lecture, revues de vulgarisation, dans des rapports...

A. Monfardini et al. – GRB 121123A: NIKA (New IRAM KID arrays) millimetre observations at the 30-m pico veleta telescope – *GRB Coordinates Network, Circular Service*, 14088, 1 (2012)

A. Barrau – Notre univers est-il unique? – *Les Dossiers de La Recherche* 48 (2012) 40-43

A. Barrau – Multiplier les théories... raisonnablement – *La Recherche* 466 (2012) 78-80

D. Contardo, **F. Ledroit** – Les premiers résultats du LHC – *Images de la Physique* (2012) 44-51

A. Barrau, L. Derome – La traque d'antimatière dans l'espace – *Les Dossiers de La Recherche* 4 (2013) 56-59

S. Kox, J.-M. Le Goff – À la poursuite du spin manquant – *Les Dossiers de La Recherche* 4 (2013) 26-29

F. Malek – Nobel de Physique: une récompense aussi pour l'informatique du LHC – *La Lettre IN2P3 Informatique n°25 Octobre 2013*

F. Malek – Les pétaoctets du LHC – *Pour la Science* 433 (2013) 36-37

M. Brinet – PrecLQCD calculs de precision en QCD sur réseau – *Grands challenges GENCI – IDRIS 2012* 24-25

F. Berthoud et al. – Les moyens de réduire la consommation électriques des centres de données sont très importants – *La Revue Durable* 49 (2013) 33-36

Ouvrages scientifiques

B. Clément – Analyse de données en sciences expérimentales. Probabilités et statistiques, avec exemples en sciences physiques – *DUNOD (2012) ISBN: 9782100575695 Coll. Sciences Sup.*

M. Chatelier et al. (**D. Heuer**) – Nucléaire: quels scénarios pour le futur ? – *La Ville Brûle (2012) ISBN: 9782360120178 Collection 360*

M. Moisan, **J. Pelletier** – Physics of collisional plasmas. Introduction to high-frequency discharges – *Springer (2012) ISBN: 9789400745575*

B. Clément – Physique des particules. Cours et exercices corrigés – *DUNOD (2013) ISBN: 9782100589098 Coll. Sciences Sup.*

A. Barrau – Big bang et au-delà. Balade en cosmologie – *DUNOD (2013) ISBN: 9782100589166 Coll. Quai des Sciences*

Chapitres d'ouvrages

S. Delpech et al. (**E. Merle-lucotte, D. Heuer**) – Liquid Fuel for Nuclear Energy: The Molten Salt Fast Reactor (MSFR) Concept – *Liquid Fuels, D.A. Carasillo ed., Series Energy Science, Engineering and Technology, Nova Publishers (2012) 255-282*

A. Barrau – Théogonie. Hésiode. Et l'aède créa le monde... – Variations sur un même ciel, A. Barrau et al. – *La Ville Brûle (2012) 13-20*

A. Barrau – Manières de faire des mondes. Nelson Goodman. L'univers n'est plus donné: il est à construire et à multiplier – Variations sur un même ciel, A. Barrau et al. – *La Ville Brûle (2012) 301-310*

O. Méplan – Énergie et matière: radioactivité, fission, fusion – *L'énergie à découvert, R. Mosseri, C. Jeandel – CNRS éditions (2013) 44-45*

E. Merle-Lucotte – La filière thorium – *L'énergie à découvert, R. Mosseri, C. Jeandel – CNRS éditions (2013) 124-125*

A. Billebaud, S. David – De nouveaux réacteurs pour l'incinération des déchets nucléaires – *L'énergie à découvert, R. Mosseri, C. Jeandel – CNRS éditions (2013) p.126*

Directions d'ouvrages

F. Mayet, D. Santos (eds.) – CYGNUS 2011 – *EAS Publication Series 53 (2012)*

T. Delemontex, A. Lucotte (eds.) – Proceedings SOS 2012 IN2P3 School of Statistics – *The European Physical Journal EPJ Web of Conferences 55 (2013) EDP Sciences ISBN: 9782759810321*

Thèses

2012

J. Billard – Détection directionnelle de matière sombre avec MIMAC – 27 juin 2012 – Dir. F. Mayet

J. Wang – Mesure de la section efficace de production du single top en voie-t en utilisant des arbres de décision avec ATLAS $\sqrt{s} = 7$ TeV – 29 juin 2012 – Dir. A. Lleres

T. Cailleteau – Étude des perturbations cosmologiques et dérivation des observables en gravité quantique à boucles – 6 septembre 2012 – Dir. A. Barrau

B. Coste – Mesure et phénoménologie du rayonnement cosmique avec l'expérience CREAM – 3 octobre 2012 – Dir. L. Derome

T. Delemontex – Mesure de la section efficace de production électrofaible de quarks top dans le mode associé $W+t$ dans le canal dilepton auprès d'ATLAS au LHC – 5 octobre 2012 – Dir. A. Lucotte

E. Laisné – Performances du calorimètre électromagnétique et recherche de nouveaux bosons de jauge dans le canal diélectron auprès du détecteur ATLAS – 8 octobre 2012 – Dir. F. Ledroit-Guillon

Y. Perrin – Structure partonique du noyau d'hélium 4 – 19 octobre 2012 – Dir. E. Voutier

A. Jinaphanh – Études de la convergence d'un calcul Monte Carlo de criticité: utilisation d'un calcul déterministe et détection automatisée du transitoire – 3 décembre 2012 – Dir. A. Billebaud

G. Hurier – Étude des amas de galaxies avec l'expérience Planck via l'effet Sunyaev Zel'dovich – 10 décembre 2012 – Dir. J. Macias-Perez

2013

B.T. Le – Recherche de manifestations de dimensions supplémentaires dans le canal diphoton avec l'expérience ATLAS au LHC – 19 mars 2013 – Dir. J. Stark

Q. Buat – Recherche de nouveaux phénomènes dans les événements diphoton avec le détecteur ATLAS – 31 juillet 2013 – Dir. F. Malek, J. Stark

N. Arbor – Étude de la fragmentation des partons par la mesure de corrélations photon-hadron auprès de l'expérience ALICE au LHC – 19 septembre 2013 – Dir. C. Furget

N. Monseu – Calcul du champ invariant de spin à partir de l'intégration pas à pas de la trajectoire spin orbite – 20 septembre 2013 – Dir. J.-M. De Conto

L. Sanselme – Cosmologie observationnelle avec le satellite Planck : étude d'effets systématiques de l'instrument HFI et de l'ionisation de l'Univers – 20 septembre 2013 – Dir. C. Renault

Q. Le Boulc'h – Neutralino-stop coannihilation in the MSSM: flavor violation, radiative corrections and their impact on the dark matter relic density – 23 septembre 2013 – Dir. M. Klasen

T. Jezo – Z' and W' gauge bosons in SU(2)xSU(2)xU(1) models: Collider phenomenology at LO and NLO QCD – Z' and W' gauge bosons in SU(2)xSU(2)xU(1) models: Collider phenomenology at LO and NLO QCD – 25 septembre 2013 – Dir. I. Schienbein

M. Tartare – Étude des neutrinos d'ultra-haute énergie à l'observatoire Pierre Auger – 30 septembre 2013 – Dir. F. Montanet

X. Sun – Mesure de la polarisation dans la production électrofaible de quark top avec le détecteur ATLAS – 1er octobre 2013 – Dir. A. Lleres

B. Dechenaux – Recherche de résonances lourdes dans le spectre de masse invariante top-antitop auprès du détecteur ATLAS du LHC – 4 octobre 2013 – Dir. S. Crépe-Renaudin

Thành Long Phan – Étude fondamentale des mécanismes physico-chimiques de gravure plasma basés sur les effets stériques et de diffusion. Comportements prévisionnels de la gravure des éléments de la colonne IV et des composés III-V par les halogènes : lois de similitude – 23 octobre 2013 – Dir. A. Lacoste

Z. Pan – NNLO mixed QCD-electroweak corrections to the Drell-Yan production of Z and W bosons – 25 octobre 2013 – Dir. R. Bonciani

M. Brovchenko – Études préliminaires de sûreté du réacteur à sels fondus le MSFR – 25 octobre 2013 – Dir. A. Merle-Lucotte

P. Sabouri – Application of perturbation theory methods to nuclear data uncertainty propagation using the collision probability method – 28 octobre 2013 – Dir. A. Bidaud

A. Salazar – Conception et Implementation d'un imageur CMOS de colonne actif pour capteur basé sur SPR – 30 octobre 2013 – Dir. O. Rossetto, S. Martinez

F. Martin – Étude des distributions en masse, charge nucléaire et énergie cinétique des produits de fission de l' $^{233}\text{U}(\text{nth},\text{f})$ et du $^{241}\text{Pu}(\text{nth},\text{f})$ mesurées auprès du spectromètre de masse Lohengrin (ILL) – 18 décembre 2013 – Dir. O. Serot, G. Kessedjian

Habilitation à Diriger des Recherches

2012

A. Nuttin – Physique des réacteurs à eau lourde ou légère en cycle thorium : étude par simulation des performances de conversion et de sûreté – 19 juin 2012

B. Clément – Ajustements bayesiens et leur application à la physique du quark top au LHC 22 juin 2012

2013

J. Stark – Mise au point de la calorimétrie au Run II de l'expérience DØ et mesure de la masse du boson W – 19 février 2013

J. Lamblin – XENON100 et MIMAC, des détecteurs à la recherche de matière noire – 10 juillet 2013

S. Crépe-Renaudin – Outils et analyse en physique des particules : morceaux choisis. La grille de calcul et de stockage pour le LHC : de la mise en place d'un nœud de grille à l'utilisation de la grille par l'expérience ATLAS. Mesure de la section efficace de production top-antitop avec l'expérience DØ auprès du Tevatron – 15 juillet 2013

D. Maurin – Rayonnement cosmique et détection indirecte de matière noire - Cosmic rays and indirect dark matter detection – 31 octobre 2013

Distinctions

2012

Maud Baylac, lauréate 2012 du Cristal du CNRS

Aurélien Barrau, lauréat du prix Thibaud 2012

2013

Guillaume Pignol, lauréat 2013 de la médaille de bronze du CNRS

Julien Billard, lauréat du prix de thèse 2013 de l'Université de Grenoble

Personnel

Personnel au 1er janvier 2014

Rémi Adam (Doctorant)	Jonathan Brown (CDD CR)
Solveig Albrand (IP)	Thierry Cabanel (AI)
Spyridon Aleiferis (Doctorant)	Nicolas Capellan (MC)
Julien Angot (IE)	Yves Carcagno (AI)
Yannick Arnoud (MC)	Andrea Catalano (CR)
Michel Avenier (CR)	Pierre Cavalli (T)
Pierre Baele (Doctorant)	Sébastien Chabod (CR)
Gustavo Balbastre-Conesa (CR)	Mohammed Chala (T)
Aurélien Barrau (PR)	Guillaume Chalons (CDD CR)
Christian Barruel (T)	Abdelaziz Chebboubi (Doctorant)
Maud Baylac (IR)	Adeline Choyer (Doctorante)
Stéphane Béchu (CR)	Benoît Clément (MC)
Sassi Ben Aziza (Doctorant)	Audrey Colas (AI)
Sonia Benaïssa (T)	Johann Collot (PR)
Corinne Bérat (CR)	Florent Collovati (CDD T)
Christophe Bernard (T)	Céline Combet (CDD CR)
Jérémy Bernon (Doctorant)	Barbara Comis (CDD CR)
Alexandre Bès (IR)	Louis Coppola (T)
Adrien Bidaud (MC)	Marie Coste (Doctorante)
Annick Billebaud (DR)	Sabine Crépe Renaudin (CR)
Catherine Biscarat (IR)	Guillaume Dargaud (IR)
Patrick Boge (AI)	Jean-Marie De Conto (PR)
Dominique Bondoux (IR)	Pierre De Lamberterie (IE)
Vincent Bonnivard (Doctorant)	Rachel Delorme (CDD CR)
Laurent Bonny (T)	Pierre-Antoine Delsart (CR)
Germain Bosson (IE)	Laurent Derome (MC)
Jean Luc Bouly (IE)	Thierry Descombes (IE)
Frédéric Bouly (CR)	Colette Deslorieux (IR)
Olivier Bourrion (IR)	Adrien Deurveilher (CDD IR)
Bernard Bouterin (IR)	Floriane Drouet (Doctorante)
Joël Bouvier (IR)	Béranger Dumont (Doctorant)
Bernard Boyer (IE)	Daniel Dzahini (IR)

Ludovic Eraud (IE)
Julien Faivre (MC)
Rémi Faure (AI)
Christian Favro (T)
Robert Foglio (Bénévole)
Dominique Fombaron (T)
Isabelle Fonteille (Doctorante)
Christian Fourel (IE)
Guilhem Freche (AI)
Emmanuel Froidefond (IE)
Jérôme Fulachier (IR)
Christophe Furget (PR)
Carolina Gabaldon Ruiz (CDD CR)
Marie-Laure Gallin-Martel (CR)
Laurent Gallin-Martel (IE)
Marie-Hélène Genest (CR)
Calogero Geraci (ATRF)
Guillaume Gey (Doctorant)
Alexandre Ghelfi (Doctorant)
Véronique Ghetta (CR)
Jean Pierre Girard (T)
Julien Giraud (IE)
Yolanda Gómez-Martinez (IR)
Christine Gondrand (IR)
Joakim Gradin (Doctorant)
Denis Grondin (IR)
Rachid Guernane (CR)
Mathieu Guigue (Doctorant)
Olivier Guillaudin (IR)
Daniel Heuer (DR)
Murielle Heusch (IE)
Jean-Yves Hostachy (DR)
Gabriel Humbert (Apprenti)
Josua Jacob (AI)
Rabih Kazma (Doctorant)
Yoann Kermaidic (Doctorant)
Grégoire Kessedjian (MC)
Serge Kox (DR)
Sabine Kraml (DR)
Suchita Kulkarni (CDD CR)
Étienne Labussière (IE)
Ana Lacoste (PR)
Éric Lagorio (AI)
Fabian Lambert (IE)
Jacob Lamblin (MC)
Thierry Lamy (IR)
Axel Laureau (Doctorant)
Didier Lebrun (DR)
Sandra Lecoq (Doctorante)
Fabienne Ledroit-Guillon (DR)
Mickael Legrand (T)
Éric Liatard (PR)
Linda Linsefors (Doctorante)
Annick Lleres (DR)
Karim Louedec (CR)
Arnaud Lucotte (DR)
Florian Lyonnet (Doctorant)
Juan Macías-Perez (DR)
Alexander Madsen (Doctorant)
Jean-Claude Malacour (T)
Fairouz Malek (DR)
Marianne Mangin-Brinet (CR)
Galdric Marcotte (IGE)
Cécile Martin (T)
Marc Marton (AI)
Rémi Maurau (CDD CR)
David Maurin (CR)
Frédéric Mayet (MC)
Frédéric Melot (IR)
Johann Menu (AI)
Olivier Méplan (MC)
Elsa Merle-Lucotte (PR)

Pascal Meyrand (IE)
Roger Micoud (IE)
Myriam Migliore (IE)
Jean Mirasolo (AI)
Caterina Monini (Doctorante)
François Montanet (PR)
Savino Muggeo (T)
Jean-François Muraz (IR)
Fabrice Naraghi (MC)
Alexis Nuttin (MC)
Jérôme Odier (CDD IR)
Alain Pelissier (AI)
Jacques Pelletier (DREM)
Éric Perbet (AI)
Laurence Perotto (CR)
Françoise Petiot (T)
Patrick Petit (IE)
Joseph Piarulli (T)
Guillaume Pignol (MC)
Nicolas Ponchant (AI)
Codrin Prahoveanu (Doctorant)
Konstantin Protassov (PR)
Josselin Proudoum (Doctorant)
Mourad Ramdhane (PR)
Fatah Ellah Rarbi (IR)
Jean-Sébastien Réal (DR)
Dominique Rebreyend (DR)
William Regairaz (IR)
Cécile Renault (CR)
Solenne Rey (AI)
Jean-Pierre Richer (IP)
Nicolas Rico (ATRF)
Jean-Stéphane Ricol (CR)
Quentin Riffard (Doctorant)
Jocelyne Riffault (AI)
Alessia Ritacco (Doctorante)
Brigitte Roisin (ATRF)
Patrick Roisin (IE)
Samuel Roni (T)
Olivier Rossetto (MC)
Sébastien Roudier (AI)
Jérôme Rubert (CDD CR)
Pablo Rubiolo (PR)
Christophe Sage (MC)
Daniel Santos (DR)
Ingo Schienbein (MC)
Jean-Pierre Scordilis (T)
Christine Servoz-Gavin (AI)
Christopher Smith (CR)
Patrick Sole (AI)
Jan Stark (CR)
Patrick Stassi (IR)
Anne Stutz (CR)
Catherine Sylvestre-Tello (CR)
Gabriela Thiamova (MC)
Thomas Thuillier (IR)
Alexandru Todoran (Doctorant)
Nicola Tomassetti (CDD CR)
Damien Tourres (IE)
Benjamin Trocmé (CR)
Cécile Vannier (AI)
Emmanuelle Vernay (IE)
Christophe Vescovi (IR)
Annick Vey (T)
Francis Vezzu (IR)
Francesca Villa (IR)
Éric Voutier (DR)
Mengqing Wu (Doctorante)
Mahfoud Yamouni (T)
Mohamed Zeloufi (Doctorant)
Olivier Zimmermann (IE)
Stéphane Zoldos (Doctorant)

Départs 2012-2013

Marc Caterina (AI)
Michel Allibert (Bénévole)
Christian Angles D'Auriac (CR)
Nicolas Arbor (Doctorant)
Paul Balint (CDD CR)
Julien Billard (Doctorant)
Roberto Bonciani (CDD CR)
Sophie Bouat (CDD IR)
Chrystelle Bouland (CDD AI)
Roger Brissot (Bénévole)
Maryia Brovchenko (Doctorant)
Quentin Buat (Doctorant)
Michel Buenerd (DREM)
Thomas Cailleteau (Doctorant)
Jaume Carbonell (DR)
Denis Chapeau (T)
Joël Chauvin (Bénévole)
Marie Costarigot (CDD ATRF)
Benoit Coste (Doctorant)
Gérard Damieux-Verdeau (T)
Benjamin Dechenaux (Doctorant)
Thomas Delemontex (Doctorant)
Sébastien Dorval (Doctorant)
Xining Du (CDD CR)
Erica Fanchini (CDD CR)
William Gillard (CDD CR)
Guillaume Hurier (Doctorant)
Thomas Jezo (Doctorant)
Farid Kaced (CDD AI)
Fouad Kharab (CDD IE)
Dy-Holm Koang (Bénévole)
Emmanuel Laisne (Doctorant)
Bao Tran Le (Doctorant)
Quentin Leboulc'h (Doctorant)
Hengne Li (CDD CR)
Jean-Marie Loiseaux (Bénévole)
Marie-Louise Lombard (T)
Joany Manjarres Ramos (Doctorant)
Denis Marchand (IE)
Mélanie Marie-Jeanne (CDD CR)
Florence Martin (Doctorant)
Jérôme Médard (CDD IR)
Nicolas Monseu (Doctorant)
Alain Nicollet (T)
Zhaoting Pan (Doctorant)
Mauro Papinutto (CDD CR)
Johann Perrin (Doctorant)
Tan long Phan (Doctorant)
Alain Pinston (Bénévole)
Michel Planet (I2)
Claudine Rabatel (CDD T)
Pouya Sabouri (Doctorant)
Gérard Sajot (PR)
Lilian Sanselme (Doctorant)
Gary Simpson (CR)
Kristina Slavcheva (AI)
Pascal Sortais (IP)
Tzvetalina Stavreva (CDD CR)
Xiaohu Sun (Doctorant)
Mathieu Tartare (Doctorant)
Jean Thevenet (CDD IE)
Henry-Emmanuel Thiebault (Doctorant)
Aurélie Vancraeyenest (CDD ATER)
Francesca Vidotto (CDD ATER)
Jean-Louis Vieux-Rochaz (AI)
Jim Wang (Doctorant)
Akin Wingerter (CDD CR)
Ismael Zakari Toure (CDD AI)

Comité de rédaction

Coordination

Dominique Rebreyend

Comité de rédaction

Dominique Bondoux

Sébastien Chabod

Benoit Clément

Jean-Marie De Conto

Colette Delorieux

Laurent Derome

Christophe Furget

Serge Kox

Ana Lacoste

François Montanet

Olivier Rossetto

Christopher Smith

Emmanuelle Vernay

Édition et réalisation

Christian Favro

Date de réalisation : mars 2014