



a observatory

SLB 0277

SLB 0898

oculus

École Polytechnique
7^e Division

Cours de Physique
Tome II

M. Sébastien Ringuet
Professeur

RAPPORT D'ACTIVITE

2014-2018

LABORATOIRE LEPRINCE RINGUET



RAPPORT

D'ACTIVITE LLR

2014-2018

Mot du directeur

Présentation du LLR

Organigramme (novembre 2018)

Faits marquants

LA RECHERCHE

LA PHYSIQUE DES PARTICULES AU LHC :

- CMS au collisionneur pp LHC
- CALICE en collisionneurs e^+e^-
- BABAR au collisionneurs e^+e^- PEP II

L'ASTRONOMIE GAMMA :

- L'expérience HESS
- L'expérience FERMI
- L'expérience CTA
- L'expérience HARPO
- L'expérience TeVCat

LA PHYSIQUE DES NEUTRINOS :

- Les expériences T2K et SK

LES APPLICATIONS MEDICALES :

- PEPITES
- GEANT4

LA PHYSIQUE DES IONS LOURDS :

- Analyses des données AA dans CMS
- Analyses des données «SMOG» dans LHCb
- Théorie

L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET LA
FORMATION PAR LA RECHERCHE

ENSEIGNEMENT ACADEMIQUE

THESES

STAGES ET ECOLES THEMATIQUES

FORMATION PERMANENTE

LES EXPERTISES ET LES RÉALISATIONS
TECHNIQUES

ELECTRONIQUE & INSTRUMENTATION

INFORMATIQUE

MECANIQUE

LE FONCTIONNEMENT DU
LABORATOIRE

SERVICE ADMINISTRATIF

RESSOURCES HUMAINES

COMPTES ET ACHATS

MISSIONS

L'ANIMATION SCIENTIFIQUE et
COMMUNICATION

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

MOT DU DIRECTEUR

Le Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR) est un laboratoire de recherche fondamentale impliqué dans des projets internationaux sur des infrastructures de très grandes tailles (« big science ») en physique des particules et en astrophysique des particules. À ce titre il est immergé dans un « monde global » soumis à une très forte compétition. Ce positionnement particulier est unique sur le centre de recherche de l'École polytechnique. Par son impact et ses collaborations, il offre une visibilité de l'École polytechnique dans le monde académique et de la recherche des plus grands instituts de la planète. Les physiciens du LLR ont une expertise de très haut niveau dans les domaines de sciences fondamentales qui s'appuie sur les mathématiques les plus avancées, la mécanique quantique relativiste, et les techniques d'analyse de très grands ensemble de données. Les ingénieurs sont à la pointe des techniques en mécanique, en électronique, et en informatique. Le LLR contribue donc tout naturellement à l'enseignement à l'École polytechnique, que ce soit via les concours ou les cours autant pour le cycle ingénieur que pour le cycle Bachelor ou les travaux expérimentaux dirigés. Les relations proches avec les élèves polytechniciens et les étudiants du master PHE, offrent au laboratoire des relations privilégiées avec des jeunes étudiants d'une qualité exceptionnelle.

Les principaux objectifs :

- ✦ Maintenir au plus haut niveau la technicité de nos services ;
- ✦ Valoriser nos savoir-faire, aussi bien pour des grandes expériences (Upgrade LHC) que pour des applications sociétales (Instrumentation médicale). Le dépôt de brevet de PEPITES est un exemple que nous souhaitons répéter dans le futur ;
- ✦ Pousser à une prise de responsabilité plus grande des jeunes chercheurs. L'excellence des physiciens du laboratoire s'est concrétisée par des médailles d'argent du CNRS, des présentations plénières en grande conférence (ICHEP, EPS-HEP, QM), des prix de l'Académie des sciences, etc. ;
- ✦ Avoir une meilleure place et visibilité nationale et internationale, par effet de masse critique. Un projet de fédération se met en place regroupant le LLR et les laboratoires IN2P3 de l'Île-de-France, hors Paris-Saclay, c.-à-d. le LPNHE (Sorbonne Université) et APC (Paris 7).

La stratégie scientifique repose donc sur l'originalité de notre positionnement, sur l'excellence et l'expertise technique et scientifique. Elle s'inscrit, lorsque cela est possible, dans la stratégie nationale de l'IN2P3 et internationale, même s'il arrive que nos projets soient quelque peu en « avance de phase ». Notre stratégie a bien évidemment dû être adaptée à cette situation particulière. Il s'agit de :

- ✦ Proposer aux jeunes physiciens des sujets de thèses sur des projets exceptionnels, très en amont des financements et soutiens institutionnels
- ✦ « Avoir raison avant les autres » sur les grandes thématiques scientifiques. On peut citer le lancement de l'astronomie gamma de hautes énergies en France, y compris sur des satellites de la NASA-FERMI, le lancement de la reconstruction des collisions par la méthode du « Particle Flow », le lancement et les premières études des calorimètres à haute granularité, le soutien et la participation aux études pour une machine e+e- entre 250 et 500 GeV, et plus récemment l'investissement dans le programme d'ions lourds de CMS.



Nous avons ainsi démarré très tôt nos participations à CTA et aux upgrades de CMS pour les très hautes luminosités du futur HL-LHC, avant que ces projets ne soient adoués par le ministère de la recherche avec chacun un financement TGIR. Cette implication forte dès le démarrage, nous permet d'avoir une contribution forte dans ces grands projets scientifiques. Il faudra porter toutefois une attention particulière au maintien d'une taille critique pour ces deux équipes qui devront à la fois participer à ces TGIR et maintenir, faire fonctionner et effectuer des mesures sur les instruments existants HESS, FERMI et CMS. Cette situation difficile devra être suivie de très près par la direction du laboratoire et je pense nécessitera un effort de soutien de la direction de l'IN2P3.

Au cours de la période couverte par ce rapport d'activité, le groupe CMS pp a poursuivi avec succès des analyses de caractérisation du boson de Higgs auprès du LHC et observé pour la première fois les couplages directs aux fermions tau ainsi qu'aux quarks bottom et top. Il a par ailleurs co-initié le projet de calorimétrie haute granularité HG-CAL au sein de CMS. L'expérience HESS, dans sa version II, a poursuivi sa moisson de données avec une exploration complète du plan galactique pour les sources de rayons gamma de très haute énergie. Un point très positif à noter pour CTA est la cohérence de l'approche entre les différents laboratoires proches (de l'UPS et de la fédération) au travers du projet NectarCam. Les investissements réalisés depuis 15 ans sur le projet ILC devront être valorisés si le projet démarre en 2020. Dans le cas contraire, il conviendra de finaliser ces R&D instrumentales et de passer à autre chose. Pour l'équipe Neutrinos, après les investissements sur T2K, nous avons rejoint la prestigieuse expérience SuperKamiokande, et bien sûr, il y aura une participation futurs grands projets de ce domaine (LBNE) qui émergent, soit au Japon (HK), soit aux USA (DUNE).

La physique des ions lourds a été un succès historique au LLR et, malgré une certaine dispersion, le futur proche semble clair. Cependant, à plus long terme, la question est ouverte.

Dans les domaines « applications et pluridisciplinaire », il conviendra de valoriser les succès de l'équipe d'instrumentation médicale et de se porter au-delà du brevet, vers l'ensemble des tests permettant une bonne définition « industrielle » de ce profileur de faisceau unique en son genre. Enfin, du côté de l'accélération par interaction laser-plasma, après l'aventure du projet CILEX-APOLON

10Pw et d'indéniables succès sur les contrats Européen (EuPraXia et autres), il faudra investir le champ scientifique et apporter notre vision à ce domaine. L'IN2P3 devra résoudre cependant le problème que constitue le trop faible nombre de physiciens permanents sur ce domaine au laboratoire et qui risque à terme de fragiliser ce domaine d'étude.

L'ensemble de nos projets scientifiques couvrent les points « chauds » de la physique des deux infinis, mais malgré l'excellence du laboratoire, reconnue par exemple par la présence de trois physiciens récipiendaires de la médaille d'argent du CNRS, cela ne s'est pas traduit dans les faits du point de vue RH. Nos contributions techniques ont été malheureusement réduites faute d'un support suffisant de l'IN2P3 dans la période 2012- 2019. En effet, les effectifs CNRS dans les postes techniques du laboratoire ont fondu de 30%. C'est un « chantier » crucial pour la survie du laboratoire.

Le second chantier concernera le nombre bien trop



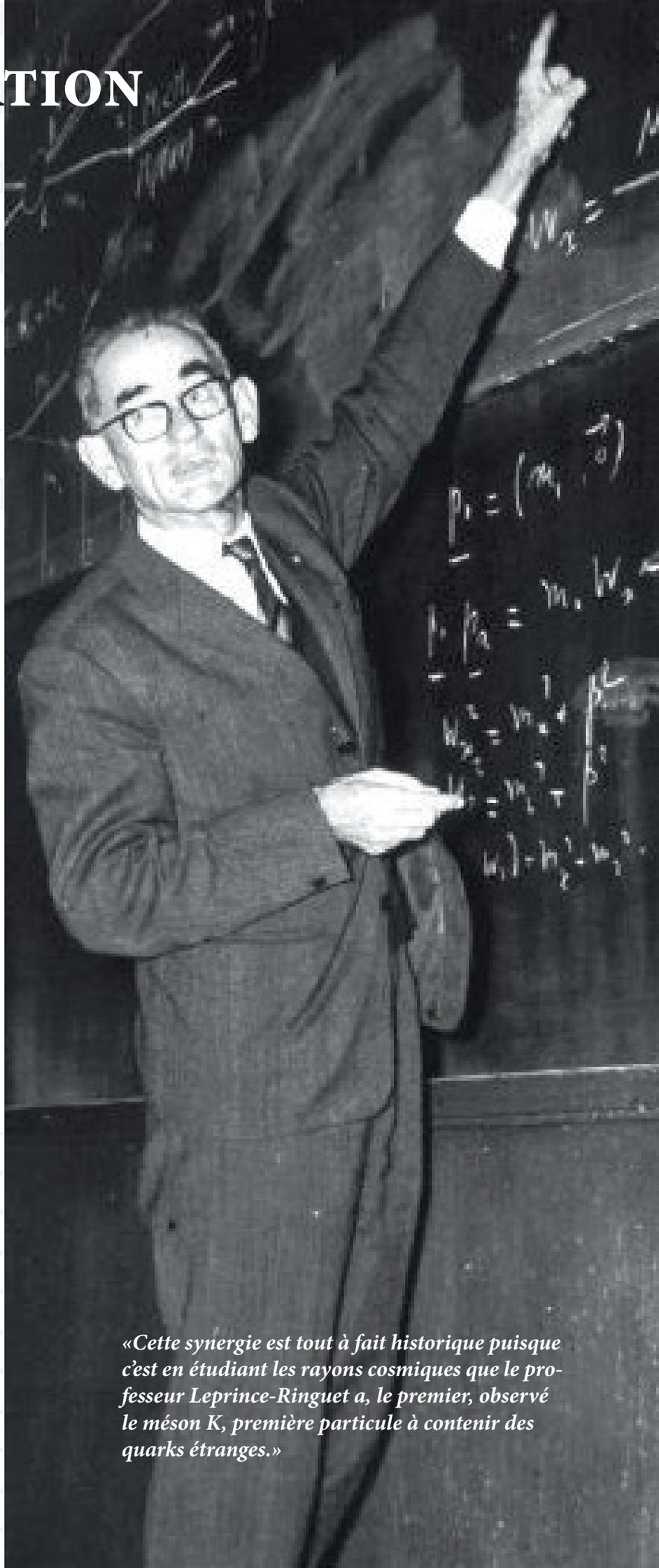
faible de financements de thèse et de postdoc au laboratoire. L'École devra comprendre qu'elle ne peut pas s'abstenir d'un soutien fort d'un domaine trop fondamental pour accéder aux financements par les industriels et autres appels d'offres tournés vers l'économie et la société. Ce sera à ce prix que l'École continuera d'avoir une aura scientifique pour une école d'ingénieur. Ce soutien sera sans aucun doute indispensable pour un positionnement correct de l'Institut Polytechnique de Paris.

PRÉSENTATION DU LLR

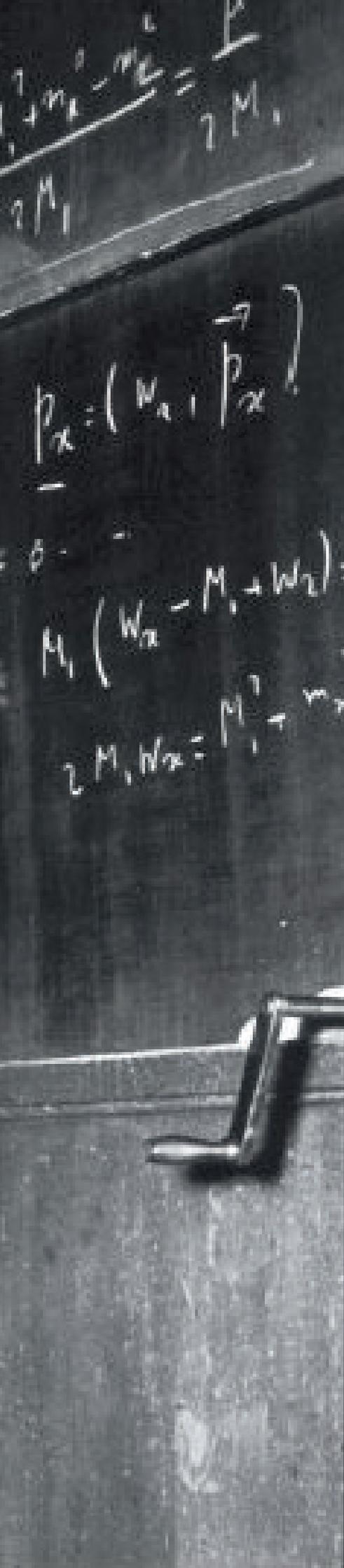
Introduction

Le Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR) est le plus ancien laboratoire du centre de recherche de l'École polytechnique. Il porte le nom de son illustre fondateur. Ses thèmes sont décrits par la dénomination «**physique des deux infinis et leurs applications**». Cela s'explique par les études de l'infiniment petit, c'est à dire la physique des particules et par les études reliées à l'infiniment grand, au travers de l'astronomie gamma, caractéristique de phénomènes violents dans l'univers. Ces deux thèmes se recouvrent aussi bien par les techniques de détection que par les implications théoriques des uns sur les autres, par exemple sur la recherche de matière «noire». Cette synergie est tout à fait historique puisque c'est en étudiant les rayons cosmiques que le professeur Leprince-Ringuet a, le premier, observé le méson K, première particule à contenir des quarks étranges.

Aujourd'hui, la physique des particules porte entre autres sur l'étude du modèle standard, la théorie décrivant les interactions des particules élémentaires et cela a conduit à la **découverte du boson de Higgs en 2012 et au prix Nobel** pour les théoriciens à l'origine de l'introduction de ce boson dans notre cadre théorique. L'équipe du laboratoire travaillant sur l'expérience CMS auprès du collisionneur LHC du CERN a été en pointe sur cette découverte, en particulier dans la désintégration du Higgs en 4 leptons. Après la découverte du boson de Higgs, cette équipe a été fortement impliquée dans l'observation du couplage du nouveau boson aux fermions et continue son exploration du secteur scalaire, que ce soit par l'étude des proprié-



«Cette synergie est tout à fait historique puisque c'est en étudiant les rayons cosmiques que le professeur Leprince-Ringuet a, le premier, observé le méson K, première particule à contenir des quarks étranges.»



tés du boson (mesure précise de la masse, contraintes sur sa largeur totale, intensité des couplages aux champs fondamentaux) ou la recherche d'autres bosons d'un secteur étendu. Pour améliorer la précision sur ces mesures, accéder à la désintégration rare du boson H en paires de muons ainsi qu'à la production de paires HH sensible à l'auto-couplage et poursuivre les recherches au-delà du modèle standard, il est prévu de très fortement augmenter le nombre de collisions au LHC. Cette phase haute luminosité (HL) du LHC est prévue au-delà de 2025, mais les modifications du détecteur CMS sont déjà en cours d'études et le groupe CMS y est fortement impliqué. Une des particularités de ces modifications est l'usage du concept de calorimètre «ultra-granulaire» qui améliore les performances du détecteur avec l'usage du concept dit de «Particle Flow», ces deux concepts étant originaires du laboratoire, dans l'équipe d'étude des collisions $e+e-$. Ces concepts maintenant largement utilisés dans tous les domaines de notre science, ont conduit le laboratoire à une renommée et une visibilité internationale sans pareil dans notre communauté. Cette équipe a travaillé de longue date sur ces concepts et pris des responsabilités sur un possible détecteur sur un projet de machine linéaire à 250 GeV au Japon (ILC).

Toujours du côté de la physique des particules, l'ensemble des études des propriétés des neutrinos ont conduit à **l'observation d'oscillation entre les neutrinos** des différentes familles de particules. L'équipe «neutrinos» du laboratoire participe à l'expérience T2K au Japon, qui mesure les propriétés des neutrinos proches de la zone de production et nous avons rejoint récemment la collaboration «SuperKamiokande», dont le détecteur est situé à 300 km de la zone de production. Compte tenu de la faible probabilité d'interaction des neutrinos dans la matière, ces expériences sont des études de long terme, avec l'objectif de mesurer la violation de la symétrie matière-antimatière dans le secteur leptonique, qui expliquerait l'absence d'antimatière dans l'univers.

En parallèle, mais proche de ces grands projets de physique des particules, la physique des interactions d'ions lourds, c'est-à-dire de la matière nucléaire à haute densité et/ou température, étudie le plasma de quarks et gluons, état de la matière prédit par la QCD, dans lequel était l'univers pendant les premières microsecondes après le big-bang et qui pourrait également résider au cœur des étoiles à neutrons les plus denses. Ces études sont poursuivies au laboratoire aussi bien du point de vue théorique qu'expérimental dans les cadres des expériences CMS et LHCb.

Du côté de l'infiniment grand, notre domaine est l'astronomie des photons de hautes énergies. Au-delà de notre participation à la construction et de l'exploitation de l'expérience HESS en Namibie, l'équipe d'astronomie gamma du LLR a fortement investi le projet d'observatoire CTA, constitué de plusieurs dizaines de télescopes de tailles comparables avec ceux de HESS. Il s'agit d'obtenir une grande statistique sur les phénomènes violents dans l'univers, qui pourrait permettre de les catégoriser par la constitution d'un diagramme «à la

Herzprung-Russel». L'objectif est aussi de faire systématiquement des mesures multi-messagers, en concomitance avec l'observation des ondes gravitationnelles et un signal en neutrinos. En parallèle, l'équipe continue l'exploitation des données du satellite FERMI de la NASA et des R&D instrumentales pour un satellite d'observation des photons dans la gamme du MeV, zone en énergie intéressante, car décisive sur les différents modèles d'explosion de supernova, mais aussi difficiles à l'observation.

À la frontière des technologies, notre participation historique aux études d'accélération par ondes plasma a conduit un physicien du laboratoire à participer au projet CILEX, un laser de puissance à 10 PetaW, financé par une EQUIPEX sur le plateau de Saclay, mais aussi à participer à plusieurs contrats Européens en collaboration avec le CERN, DESY ou encore le laboratoire italien de Frascati.

Enfin, après des travaux précurseurs sur des profileurs de faisceau pour des machines de hadronthérapie en Italie et en Autriche, l'équipe d'instrumentation médicale s'est intéressée aux profileurs de faisceau pour des machines de protonthérapie, beaucoup plus nombreuses mais avec des contraintes plus difficiles. Après des périodes de test en faisceau qui ont validé le concept, un brevet a été déposé et un prototype industriel va être réalisé.



ORGANIGRAMME (NOV 2018)

Effectif total : 101 pers.

Chercheurs permanents :	29
* Chercheurs émérites :	3
CDD chercheurs :	13
Doctorants :	17
IT permanents :	36
CDD IT :	4
Apprentis :	1
Stagiaires :	1

DIRECTION

Directeur : J.C. Brient

Directeur adjoint : P. Paganini

Directeur Technique : M. Anduze

Responsable Administrative : T. Bizat

LA PHYSIQUE

PCR : T. Mueller

Physique des particules au LHC-pp (CMS)

Resp. **Y. Sirois**

F. Beaudette
P. Busson
C. Charlot
C. Ochando
R. Salerno (Cern)
J.B. Savant
A. Zabi (Cern)
A. Zghiche (Cern)
P. Mine*
A. Lobanov
G. Ortona
C. Amendola
M. Bonanomi
D. Giljanovic
C. Martin-Perez
M. Prvan
J. Rembser
T. Sculac

Physique des ions lourds-LHC (CMS & LHCb)

Resp. **F. Fleuret ;
R. G. de Cassagnac**

F. Arléo
V. Balagura
M. Nguyen
E. Gonzalez
I. Kucher
J. Martin-Blanco
E. Maurice
B. Diab
G. Falmagne
F. Garcia
A. Stahl Leiton

Collisionneurs e+e-

Resp. **V. Boudry**

V. Balagura
J.C. Brient
H. Videau*
A. Lobanov
O. Korostyshevskiy

Astronomie Gamma

Resp. **S. Fegan**

D. Bernard
P. Bruel
D. Horan
M. de Naurois
G. Fontaine*
S. Caroff
C. Trichard
J. Muller
J. Valverde

Physique des neutrinos

Resp. **M. Gonin**

O. Drapier
B.A. Marguerite
T. Mueller
P. Paganini
S. Dolan
S. El Hedri
A. Coffani
Q. Huang
O. Volcy

QUALITE

S. Pavy

LES SERVICES TECHNIQUES

Correspondant Formation : F. Gastaldi

Correspondant Valorisation : T. Bizat

AP : M. Anduze / A. Khaled

Applications
BioMédicales
Geant4

Applications
laser plasma

Service
Administratif

Service
Informatique

Service
Mécanique

Service
Électronique &
Instrumentation

Resp. **M. Verderi**

C. Thiebaut
B. Boyer

Resp. **A. Specka**

M. Khojyan
F. Massomo
I. Zemzemi

Resp. **T. Bizat**

A. Bagayoko
S. Delhaye
M. Frayssinet
F. Jacquemin
S. Pieyre
M.T Théodora

Resp. **G. Grasseau**

E. Becheva
A. Beck
L. Bernardi
A. Chiron
P. Hennion
M. Lastes
F. Magniette
A. Sartirana
I. Semeniouk
F. Thiant
J. Tugler
T. Cottrel
P.A. Ferrer
L. Haouaoussa

Resp. **A. Cauchois**

M. Anduze
A. Bonnemaïson
E. Edy
G. Fayolle
O. Ferreira
H. Khaled
P. Manigot
T. Pierre-Émile
M. Roy

Resp. **F. Gastaldi**

Y. Geerebaert
M. Louzir
J. Nanni
T. Romanteau
R. Guillaumat
L. Pacheco

FAITS MARQUANTS

Janvier

Février

Mars

Avril

Mai

Juin

Dépôt brevet



Moniteur PEPITES

Médaille d'argent du CNRS



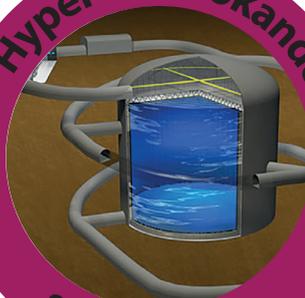
Mathieu de Naurois

Dipôle ultrafort 0 KWH



GALOP

Hyper-Kamiokande



sur les rails

Projet HIGHTEC



a P210 project by LLR, LAL and IRELL

LabEx P210

Projet HGCal-CMS



HL-LHC au CERN

Prix Nobel



Super-Kamiokande

Calorimétrie haute Granularité



lettre d'intention

Médaille d'argent du CNRS



Yves Sirois

2018
2017
2016
2015
2014

Juillet

Août

Septembre

Octobre

Novembre

Décembre

MAJ des photomultiplicateurs



SK

1ères simulations 3D HR



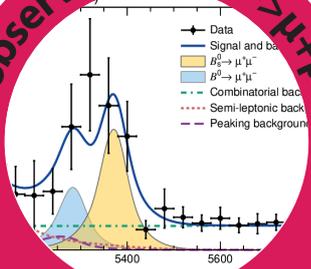
SMILEI

De nouveaux yeux pour



l'expérience H.E.S.S.

observation $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$



CMS & LHCb

Prix Lagarrigue



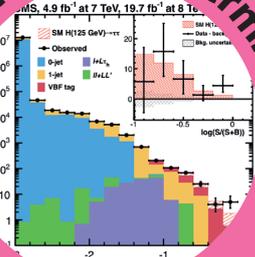
Bernard Degrange

Nouvelle carte électronique



GDICC - CALICE / ILC

Evidence de $H \rightarrow$ fermions



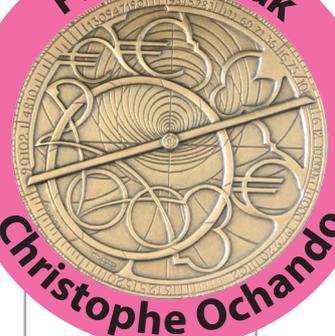
CMS

1er événement anti-neutrino



détecté par SK

Prix Charpak



Christophe Ochando

LA RECHERCHE



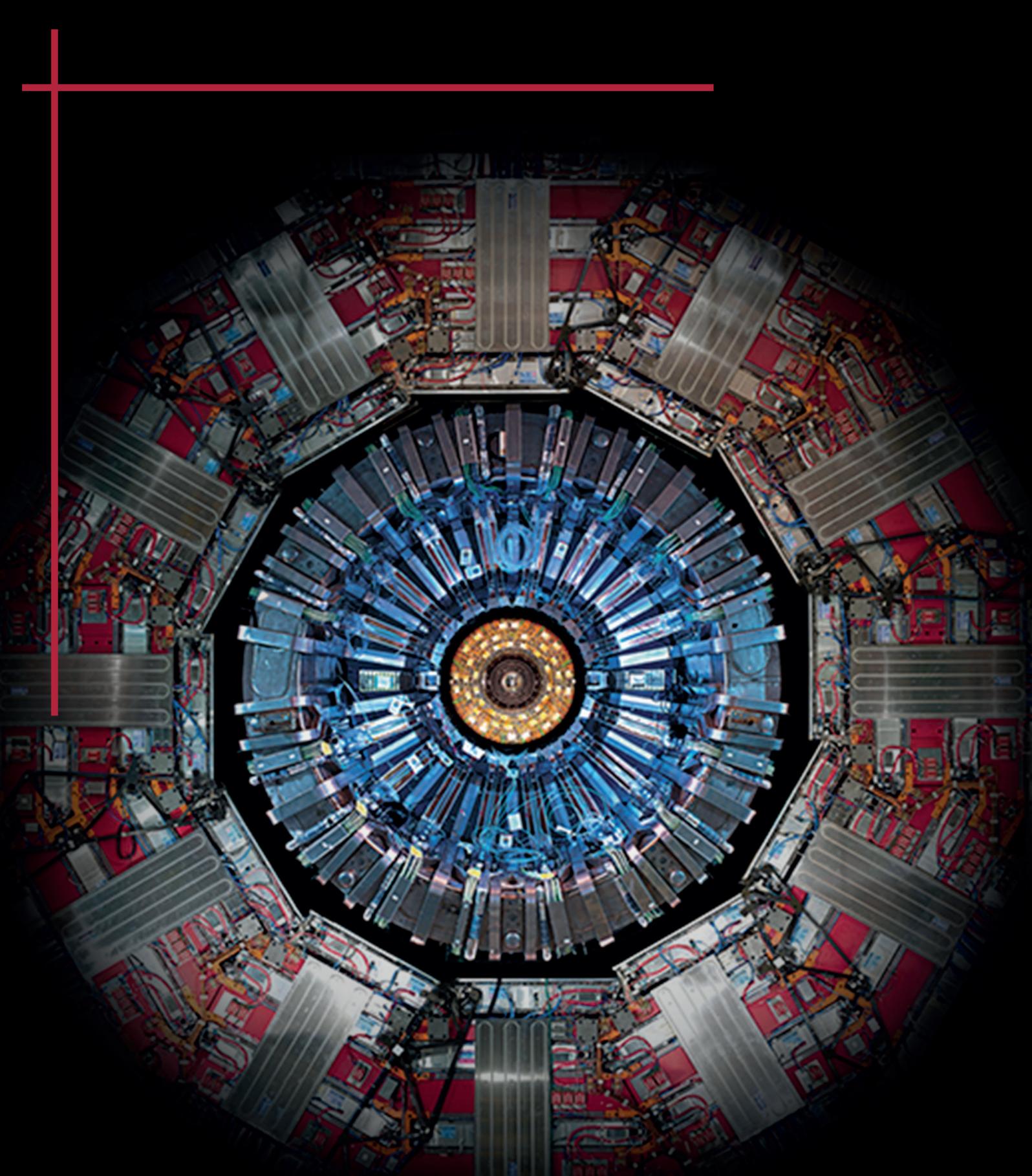
Nos programmes de recherche consistent à mettre des contraintes sur les modèles théoriques décrivant les lois universelles de l'extrêmement petit, au niveau des interactions fondamentales des particules, et les phénomènes violents de l'univers à grande échelle, l'infiniment grand, avec les modèles d'explosion de supernova et autres noyaux actifs de Galaxies. Pour cette raison, nous appelons notre domaine, la physique des deux infinis. La découverte du boson de Higgs en 2012 a été une avancée majeure dans la compréhension des interactions fondamentales des particules. Il reste cependant de nombreuses questions en suspens. On peut citer de manière non exhaustive : la question d'une physique possible au-delà du Higgs, la nature de la matière noire, l'absence observée d'antimatière à grande échelle, la nature des explosions de supernovas ou encore comment sont accélérés les jets de matières qui sont visibles aux abords des noyaux actifs de galaxie. Nous tentons au jour le jour de répondre à ces questions fondamentales en proposant des concepts innovants

d'instruments de physique et en les exploitant sur nos différents sites expérimentaux à travers le monde.

Et comme de la recherche fondamentale à la recherche appliquée, il n'y a qu'un pas, notre expérience dans les domaines de la détection de particules, de la mesure de leur énergie, de leur position, nous permet aujourd'hui de pouvoir proposer des solutions innovantes, pouvant répondre positivement à des problématiques fondamentales de suivi de faisceau, indispensables par exemple pour les traitements d'hadron thérapie. Aujourd'hui, le laboratoire poursuit et étend ses activités de profileurs pour des faisceaux de proton thérapie, en proposant une nouvelle gamme d'instruments, basés sur une

technologie innovante, les rendant encore plus simple d'utilisation mais aussi avec une meilleure tenue aux radiations. Cela augmente considérablement leurs champs d'application.

Nous menons en parallèle à ces activités médicales, une recherche dans le domaine de l'intelligence artificielle, en développant de nouveaux algorithmes de traitement des données basés sur des concepts de Machine Learning. En effet, les futurs projets de collisionneurs, tels que le LHC à haute luminosité au CERN, nécessiteront des détecteurs



CMS

L'EXPÉRIENCE CMS

Le groupe CMS du Laboratoire Leprince-Ringuet fait partie des groupes fondateurs de l'expérience CMS auprès du grand collisionneur de hadrons LHC à Genève. L'expérience a été conçue de 1992 à 1999, puis développée dans ses multiples facettes. Le groupe a pris, dès les origines, des responsabilités majeures pour la mécanique et l'électronique de déclenchement du calorimètre électromagnétique (ECAL) de CMS. La construction de l'expérience s'est achevée en 2008. Les premières collisions proton-proton pour la physique furent enregistrées en 2009. Une première campagne de prise de données (Run I) avec des collisions proton-proton à 7 et 8 TeV d'énergie dans le centre de masse fut complétée en 2012. Elle fut marquée par la découverte du boson de Higgs (H), à une masse de 125 GeV, pour laquelle le groupe a été un des principaux protagonistes avec le déclenchement électron, la reconstruction et l'identification des leptons, et l'analyse centrale de découverte dans le canal $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ leptons. L'expérience a ensuite profité d'une montée en luminosité instantanée et en énergie de collisions du LHC. Une deuxième campagne de prise de données (Run II) avec des collisions à 13 TeV a débuté en 2015. Elle devrait s'achever en 2018 avec une collecte de plus de 100 fb⁻¹ de luminosité intégrée.

Depuis 2013, le groupe a partagé ses activités entre les analyses de données, les développements, les innovations techniques pour les upgrades, la maintenance et le fonctionnement du détecteur pour les prises de données. L'emphase a été mise en 2013 et 2014 sur la détermination des propriétés du boson H et sur les analyses de ses divers modes de production et de désintégration. En parallèle à ces activités

d'analyse, le groupe a apporté une contribution majeure aux upgrades dits de «phase 1» pour les plus hautes luminosités prévues à partir du Run II en 2015. Il a été responsable de la refonte complète et de l'optimisation des algorithmes de déclenchement destinés aux circuits intégrés programmables (FPGA) de la nouvelle architecture de déclenchement. Il a de plus procédé à une réécriture des micro-logiciels embarqués («firmware») du système de déclenchement du ECAL pour l'adapter à la nouvelle architecture et automatiser le suivi de ses performances. Avec les données à 13 TeV, la sensibilité de l'expérience à la physique à l'échelle du TeV a été considérablement améliorée. Ces données ont permis d'atteindre un seuil d'observation dans de nouveaux modes de production ou de désintégration du boson H, d'étendre fortement les contraintes sur le secteur scalaire de nouvelles théories telle la supersymétrie (SUSY), d'étudier la diffusion de bosons faibles et d'explorer pour la première fois la production double de boson H sensible à l'auto-couplage.

Le groupe a apporté des contributions majeures à ces analyses. Le groupe a par ailleurs été parmi les pionniers au sein de CMS pour un projet de calorimétrie



haute granularité en vue de la très haute luminosité du LHC (HL-LHC). Les questions de brisure de symétrie électrofaible et d'unitarité de la théorie standard seront, avec la recherche de matière noire, des sujets majeurs de physique à HL-LHC.

Le groupe est constitué de 20 à 25 personnes, dont actuellement 10 physiciens permanents CNRS. Deux permanents ont quitté CMS au cours de la période 2013-2017 : S. Baffioni, et P. Paganini. Le groupe compte en moyenne entre 3 et 6 doctorants et des post-doctorants financés par diverses sources (CNRS, LabEx P2IO, ANR, ERC, Bourse Marie-Curie, bourse de l'Ecole polytechnique, etc.). Le groupe est signataire pour la période 2013 à 2017 de plus de 500 publications de la Collaboration CMS, dont plus de 90 où des membres du groupe ont apporté une contribution directe en tant qu'auteurs, éditeurs, ou présidents de comité de revue de l'expérience. Les $\frac{3}{4}$ environ concernent des analyses en collisions proton-proton, et $\frac{1}{4}$ environ pour des analyses en collisions proton-noyau ou noyau-noyau. Au cours de la même période, des membres du groupe ont présenté des résultats à plus de 100 conférences internationales, dont environ le tiers avec publication d'actes. Ils ont de plus participé à l'organisation d'une cinquantaine de Conférences, Workshop ou Ecole de Physique au niveau international.

Analyses de données du Run I

Après avoir été directement impliqué dans la découverte du boson H, le groupe a contribué, dont un membre en tant que co-éditeur, à l'article détaillé de 2013

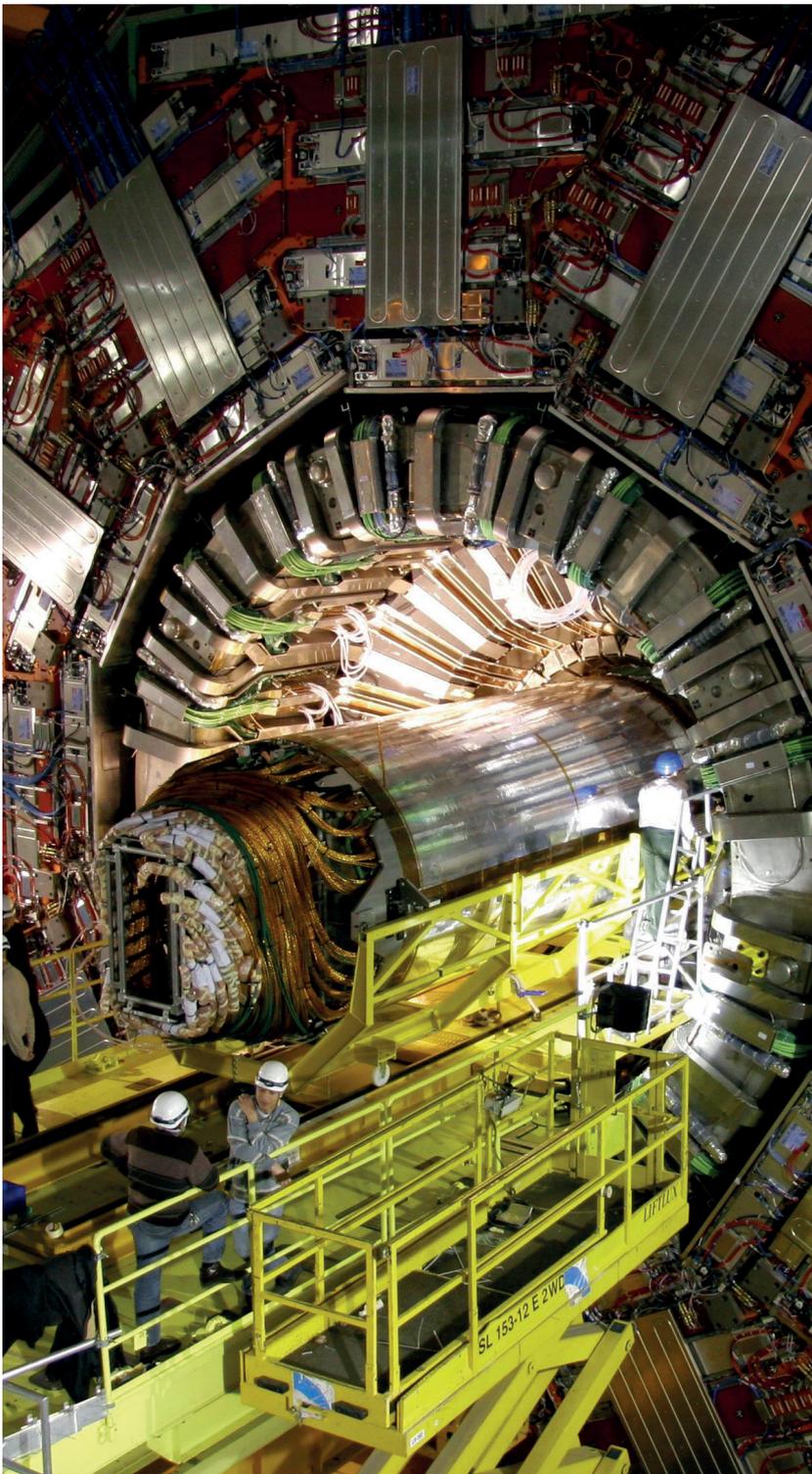
concernant la découverte [JHEP 1306 (2013) 081] qui s'enorgueillit aujourd'hui de près de 10 000 citations ! Il a de plus réalisé et publié la première mesure au LHC des propriétés de spin et de parité du nouveau boson [PRL 110 (2013) 081803]. Le groupe s'est ensuite concentré sur l'analyse de l'ensemble des données de 2012 et 2013 à des énergies de collisions de 7 et 8 TeV. Il a réalisé la publication des résultats dans le canal $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ pour les conférences de 2013 et pour l'article final en 2014 [PRD 89 (2014) 092007]. Le canal $4l$ s'est avéré le principal canal d'observation du boson de Higgs avec une sensibilité à 125 GeV de plus de 7σ , une précision relative de la mesure de masse meilleure que le demi-pour-cent et une discrimination à plus de 3σ des différentes hypothèses d'états de spin-parité. L'hypothèse $0+$ est favorisée et conforme à la prédiction pour le boson de H du modèle standard. Des membres du groupe ont été fortement impliqués en tant qu'auteur et éditeur de la première détermination au LHC d'une contrainte sur la largeur intrinsèque du boson de Higgs exploitant la production hors couche de masse [PLB 736 (2014) 64-85]. Le groupe s'est aussi consacré à la publication définitive de CMS concernant les performances et la stratégie de reconstruction des électrons [JINST 10 (2015) P06005].

Le groupe s'est par ailleurs investi sur l'analyse du canal de désintégration $H \rightarrow \tau\tau$ et s'est affirmé en 2013-2014 comme un groupe majeur de la collaboration pour ce canal de recherche. Il a contribué à développer la stratégie d'analyse, les



outils de discrimination du bruit de fond et de reconstruction de leptons tau [JINST 11 (2016) P01019] ainsi que pour la masse invariante $\tau\tau$. Il a produit des résultats utilisant l'ensemble des données du Run I, et combinant des catégories d'événements choisis pour optimiser la sensibilité aux divers modes de production. Il a ainsi obtenu, au printemps 2013, la première mise en évidence d'un signal $H \rightarrow ZZ$ et publié le résultat final en 2014 [JHEP 1405 (2014) 104]. Le travail d'analyse des données du

Run I s'est ensuite poursuivi pour le groupe avec une participation à la combinaison finale des données LHC du Run I de ATLAS+CMS pour la mesure de masse [PRL 114 (2015) 191803], les contraintes sur les couplages de CMS [EPJ C75 (2015) 212] et de ATLAS+CMS [JHEP 1608 (2016) 045], la mesure par CMS des sections efficaces différentielles



et intégrales [JHEP 1604 (2016) 005] et la largeur intrinsèque du boson H [JHEP 1609 (2016) 051].

Upgrades de

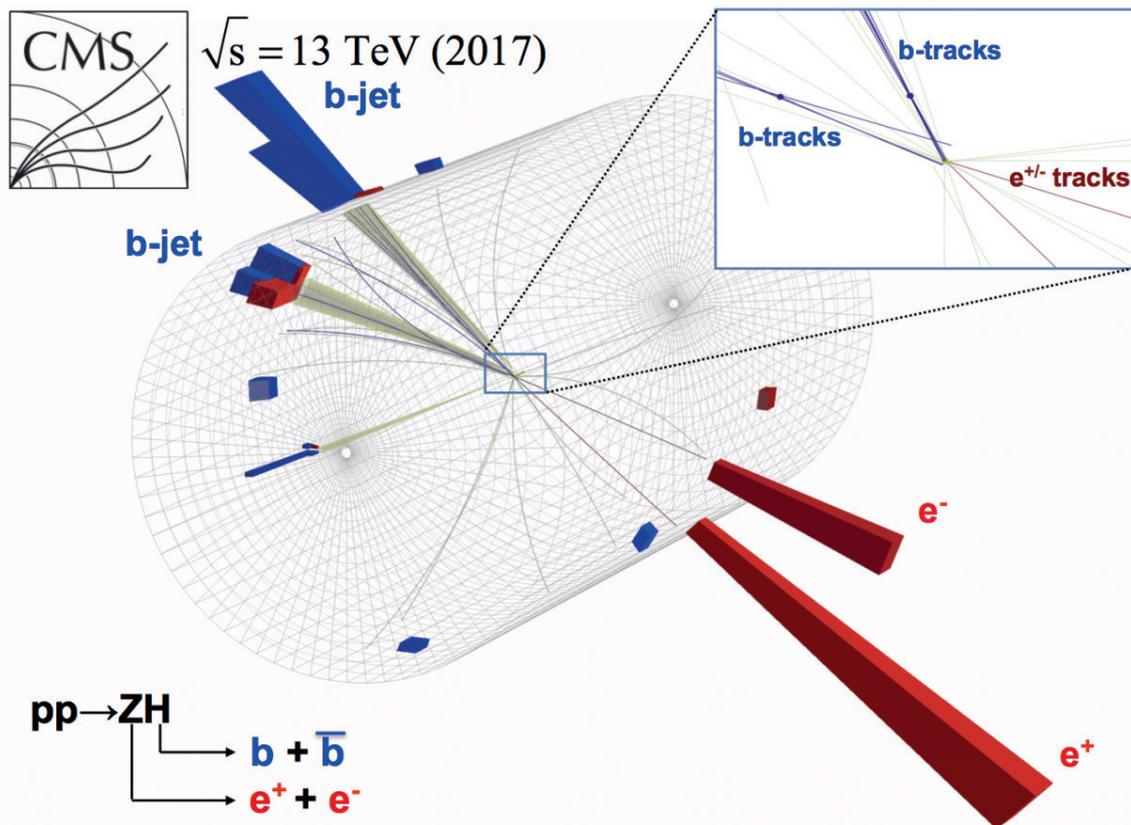
Phase 1

(Run II et III)

Avec une énergie de collision à 13 TeV au Run II et une augmenta-

tion de la luminosité instantanée devant atteindre $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, au-delà des spécifications initiales de CMS, une refonte de l'architecture de déclenchement devenait nécessaire. L'objectif était de profiter de l'arrêt machine en 2013 et 2014 pour remplacer une grande partie de l'électronique de niveau 1 ainsi que le système d'horloge et de contrôle de la chaîne d'acquisition. Les cartes de concentrateur de déclenchement «TCC» construites au LLR ainsi que les micro-logiciels embarqués devaient aussi être modifiés afin de permettre le déploiement d'une technologie plus récente pour le déclenchement central, en aval de la chaîne de déclenchement ECAL.

Pour la consolidation des TCC, il s'agissait de remplacer les interconnexions électriques, vers l'étage en aval, par des liens optiques de haut-débit (4.8 Gb/s au lieu de 1.2 Gb/s). Ces changements ont impliqué le remplacement des cartes mezzanines de synchronisation par des cartes optiques



Événement candidat enregistré par CMS pour une désintégration du boson de Higgs (H) en deux quarks b, associée à une désintégration d'un boson Z en un électron (e⁻) et un antiélectron (e⁺). (Image : CMS/CERN)

(«optical Synchronization and Link Board (oSLB)»), ainsi que des restructurations importantes du logiciel de configuration et de programmation des cartes TCC. Cette consolidation a été effective dès les premières collisions à 13 TeV en 2015. Des améliorations ont été apportées depuis pour traiter le cas de canaux défectueux ou bruyants et pour mieux prendre en compte les corrections obtenues par le système laser à la réponse des cristaux de PbWO_4 .

La nouvelle architecture de déclenchement de CMS dite de «Timing Multiplexing Trigger (TMT)» permet un traitement des données plus rapide ainsi qu'un accès direct à toute l'information des calorimètres. La nouvelle plateforme μTCA permet la mise en œuvre de processeurs puissants. Les données des TCC provenant du ECAL et du calorimètre hadronique (HCAL) sont envoyées à une première couche de 18 processeurs, les «CTP7» pour «calorimeter Trigger». Une fois préparées et formatées, les données sont envoyées à des cartes MP7 pour «Master Processor 7» construites à l'Imperial College de Londres, qui sont des cartes de processeur de flux de données tout-optique à haute performance équipées de FPGA Virtex7. Le groupe du LLR a pris des responsabilités majeures dans le développement et l'écriture des algorithmes embarqués sur ces FPGA pour la sélection des électrons, des photons et des leptons tau. Le groupe a contribué au «Technical Design Report» pour les upgrades trigger de phase 1 [CERN-LHCC-2013-011]. Il a pu s'appuyer entre autres sur un soutien financier du LabEx P2IO de Paris-Saclay pour installer dès 2014 un banc de tests complet au LLR. Les nouveaux algorithmes de déclenchement développés au LLR, nettement plus sophistiqués que ceux utilisés précédemment, ont permis d'enregistrer efficacement les 45 fb^{-1} de données accumulées en 2016, malgré un empilement de 55 événements en moyenne par croisement. Parmi ces nouveaux algorithmes, plusieurs premières réalisées par CMS LLR dont l'agrégation dynamique de la réponse des cellules associées aux électrons et photon, de suppression dynamique de l'empilement, la reconstruction, l'identification et l'isolation des leptons tau. Ces algorithmes ont joués un rôle déterminant par exemple dans la première observation à plus de 5σ au LHC de la désintégration $H \rightarrow \tau+\tau^-$ présentée aux conférences de l'été 2017 [Phys.Lett. B779 (2018) 283-316].

Analyses de données du Run II

Avec les nouvelles données du LHC à 13 TeV à partir de 2015, le groupe a introduit une catégorisation plus détaillée des différents modes de production du boson H et amélioré la sélection et l'identification des leptons pour l'analyse $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$. Le groupe a produit les analyses publiées par CMS pour les conférences internationales de printemps puis d'été 2016, ainsi que du printemps 2017. Un ensemble complet de résultats, comprenant une nouvelle mesure de la masse, des contraintes de spin-parité, d'intensité de signal et de sections efficaces différentielles, a finalement été publié à l'été 2017 [JHEP 1711 (2017) 047]. Le groupe s'est par ailleurs impliqué dans de nouvelles analyses liées à la problématique de la brisure spontanée de symétrie électrofaible (EWSB) avec la recherche de la production associée $t\bar{t}H$, les premières recherches de la production de paires HH et l'étude de la diffusion de bosons vecteurs (VBS) à l'échelle du TeV.

Après la EWSB, le modèle standard prédit que le boson de Higgs se couple en proportion de la masse des fermions. Le couplage exceptionnellement élevé du quark top au boson H pourrait signifier que le quark top joue un rôle tout aussi exceptionnel dans le mécanisme de brisure de symétrie. La production $t\bar{t}H$ permet d'accéder au couplage direct avec le quark top. Le groupe a introduit, pour la première fois dans ce canal de production associée, une technique d'analyse par éléments de matrice optimisée pour la désintégration $H \rightarrow \tau+\tau^-$. Les résultats sont intégrés dans une publication couvrant 35.9 fb^{-1} de données de 2016 à 13 TeV pour la production $t\bar{t}H$ avec un état final comprenant des leptons, et qui permet une mise en évidence à 3σ . Une combinaison des données du Run I et du Run II [PRL 120 (2018) 231801] a permis d'atteindre le niveau d'observation à 5σ .

La recherche de production de di-Higgs

en voie non-résonante est motivée à terme par la mesure de l'auto-couplage du boson de Higgs. L'auto-couplage est fondamentalement lié au potentiel du champ de Higgs responsable de l'EWSB par le mécanisme de Brout-Englert-Higgs. Les hautes luminosités du LHC permettent déjà au Run II d'obtenir des contraintes significatives. La mesure de l'auto-couplage est un objectif majeur pour les très hautes luminosités (HL-LHC). La recherche de production en voie résonante est motivée par des modèles de physique au-delà du modèle standard, telle la SUSY. Le groupe a développé une nouvelle chaîne complète d'analyse pour la recherche de production non-résonantes et résonantes de paires de bosons de Higgs observés dans l'état final en deux quarks b et deux leptons tau ($pp \rightarrow HH + X \rightarrow bb \tau\tau + X$). L'analyse a démontré pour la première fois au LHC, l'intérêt du canal $bb \tau\tau$, en particulier pour le cas où les deux leptons tau se désintègrent de façon semi-leptonique, donnant lieu à des jets partiellement hadroniques. Le groupe a été responsable des publications en conférences utilisant les données de 2015 puis de la publication CMS en 2017 exploitant les 35.9 fb-1 de données à 13 TeV [PLB 778 (2018) 101-127].

En plus de son rôle pour la EWSB, le boson de Higgs est présumé permettre l'unitarisation exacte de la théorie standard à l'échelle du TeV. En son absence, l'amplitude de diffusion de bosons vectoriels polarisés longitudinalement violerait l'unitarité à cette échelle. La fusion de bosons vecteurs (VBS) permet de sonder la structure non-Abélienne de l'interaction faible. Toute déviation des couplages du modèle standard pourrait perturber l'équilibre délicat provenant des interférences entre les contributions VBS et celles impliquant le boson H. Le groupe s'est impliqué dans l'étude de la diffusion VBS et pris en charge une analyse dans le canal $ZZjj$. L'analyse pu-

bliée à l'été 2017 [Phys.Lett. B774 (2017) 682-705] a permis d'obtenir un premier signal significatif (2.7σ) et des contraintes sur les couplages quartiques anormaux exprimés en termes de paramètres d'une théorie effective.

Upgrades de Phase 2 HGCal au HL-LHC

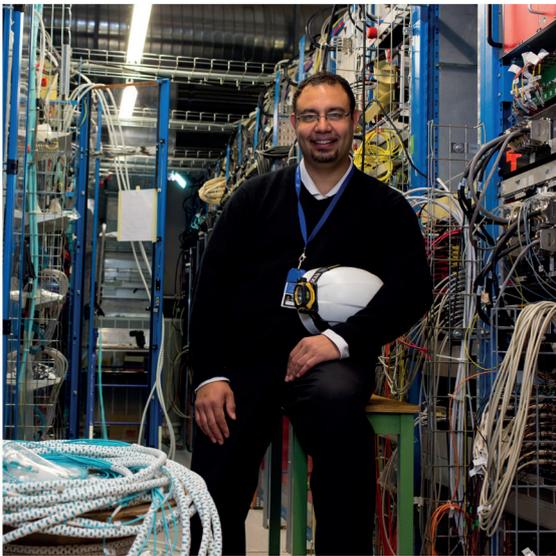
Le programme de physique du LHC prévoit la poursuite des prises de données dans la configuration actuelle de la machine jusqu'à atteindre une luminosité intégrée de plus de 300 fb-1 vers 2023. A ce stade, certains détecteurs et aimants soumis à des doses de radiations importantes seront en fin de vie. Un programme d'adaptation du collisionneur et des détecteurs est donc essentiel pour aller au-delà et envisager de collecter encore 10 fois plus de données de collisions. Le projet de Haute Luminosité du LHC (HL-LHC) vise une collecte d'au moins 3000 fb-1 sur une période de 10 ans à partir de 2026. Les principaux défis technologiques consistent à préserver les performances pour la physique du boson H et ses désintégrations rares, tout en améliorant la sensibilité pour la physique à l'échelle du TeV, dans un environnement hostile, avec des collisions de paquets de protons se croisant toutes les 25ns générant jusqu'à 200 collisions quasi-simultanées et des doses intégrées de radiation pouvant atteindre 10^{16} neutrons/cm².

Les groupes CMS de l'IN2P3 dont le groupe CMS au LLR ont développé des programmes de R&D à partir de 2013 dans le cadre des upgrades de Phase 2 (HL-LHC). Le LLR a été parmi les pionniers au sein de CMS (avec le CERN, IC London, U.C. Santa Barbara, et U. Minnesota) pour une proposition en 2014 de nouveau calorimètre Haute Granularité (HGCal) concernant les bases avant et arrière du détecteur cylindrique de CMS. Il s'agit d'une technologie inspirée des développements effectués dans la collaboration CALICE pour un futur collisionneur, qui a été adaptée pour un collisionneur hadronique et étendue pour permettre à la fois une calibration avec des particules pénétrantes, au minimum d'ionisation et la mesure en temps de vol des électrons et photons à une précision de l'ordre de une ou deux dizaines de picosecondes.

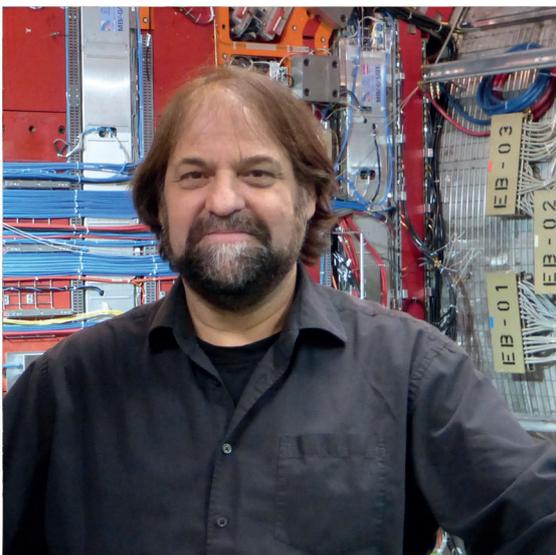
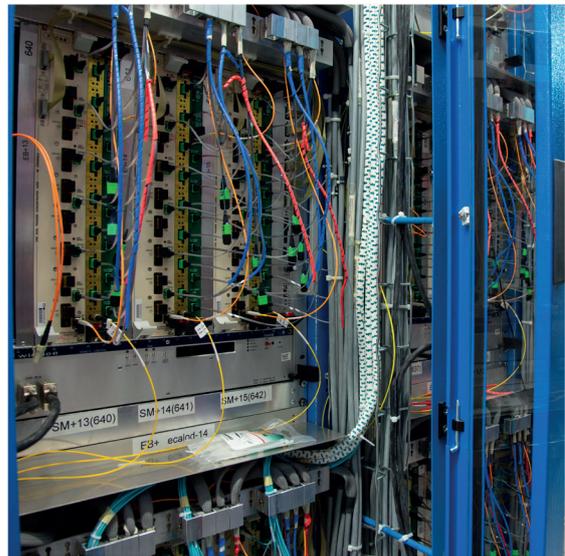
Le groupe du LLR a pris des responsabilités majeures pour la mécanique de la partie électromagnétique du HGCal ainsi que pour le système de déclenchement associé. Il est

par ailleurs impliqué dans la caractérisation des puces de l'électronique frontale produite au laboratoire OMEGA en vue de mesures en faisceau tests aux laboratoires du CERN (Genève) et de DESY (Hambourg), ainsi que dans le développement de nouvelles techniques de reconstruction et de «flux de particules» optimisées pour les très hautes granularités. La R&D au LLR a profité du soutien du LaBeX P2IO (depuis 2016) et du soutien obtenu en 2017 pour la période 2017-2026 d'un projet de TGIR («Très Grandes Infrastructures de Recherche») au niveau national. Le groupe a été

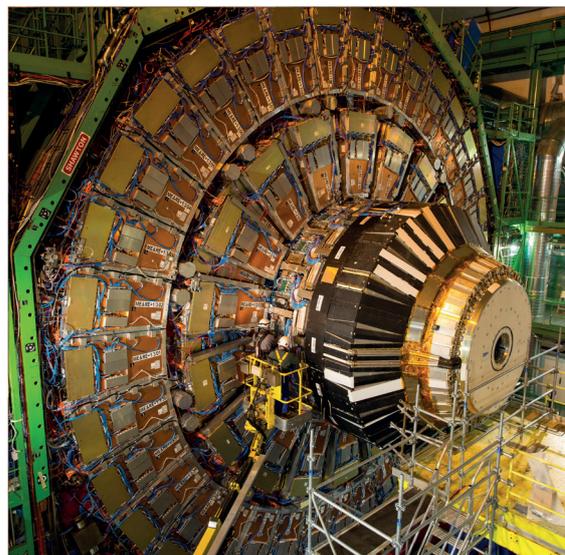
fortement impliqué dans la préparation du «Technical Proposal» pour CMS en 2015 [CERN-LHCC-2015-10] ainsi que pour le «Technical Design Report» concernant HGCal fin 2017 [CERN-LHCC-2017-023]. L'objectif est désormais de produire un «Engineering Report» avant fin 2018. Le nouveau détecteur devra être construit pour installation dans une fenêtre allant de 2024 à 2026.

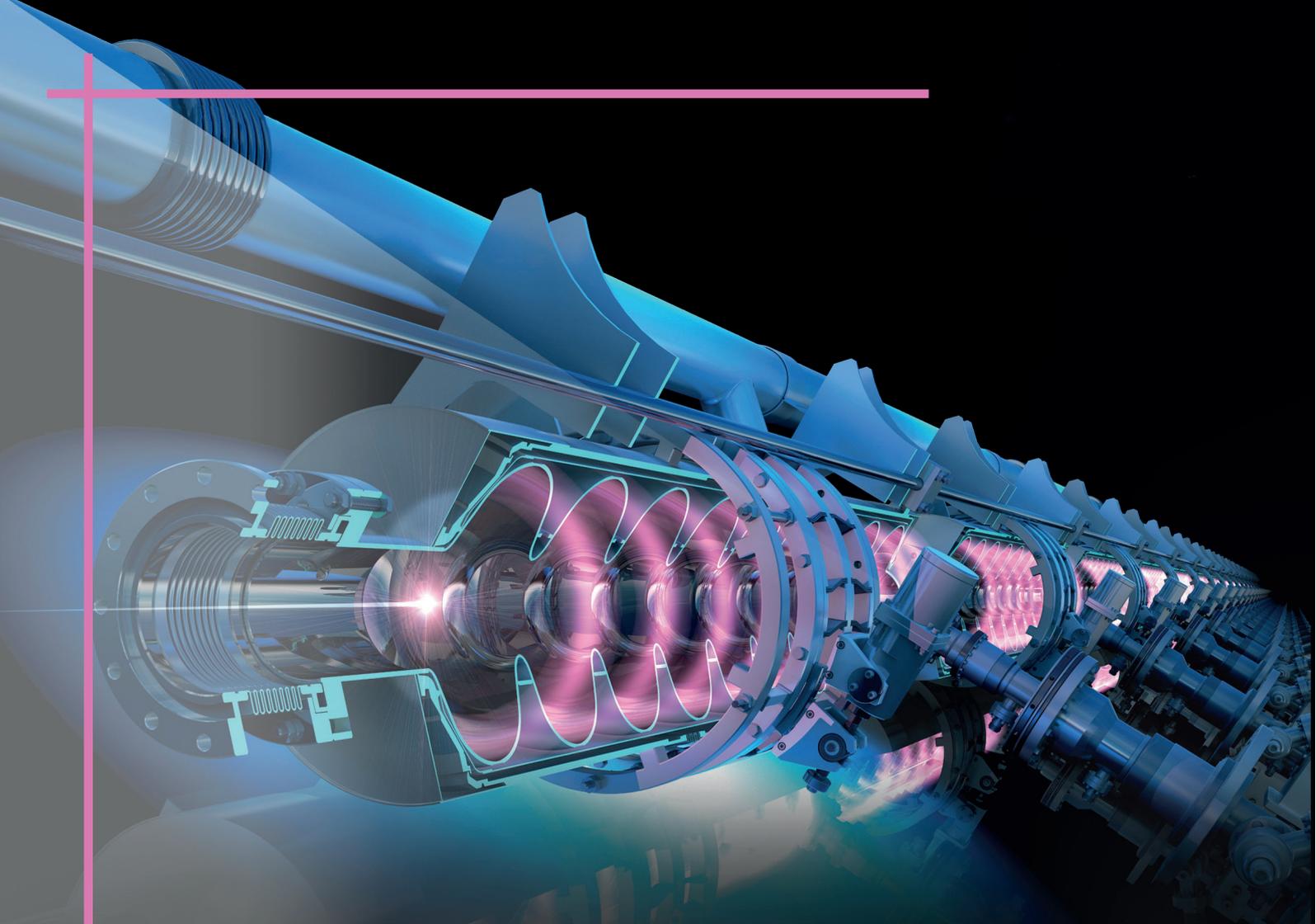


Alexandre Zabi (LLR)



Yves Sirois (LLR)





ILD

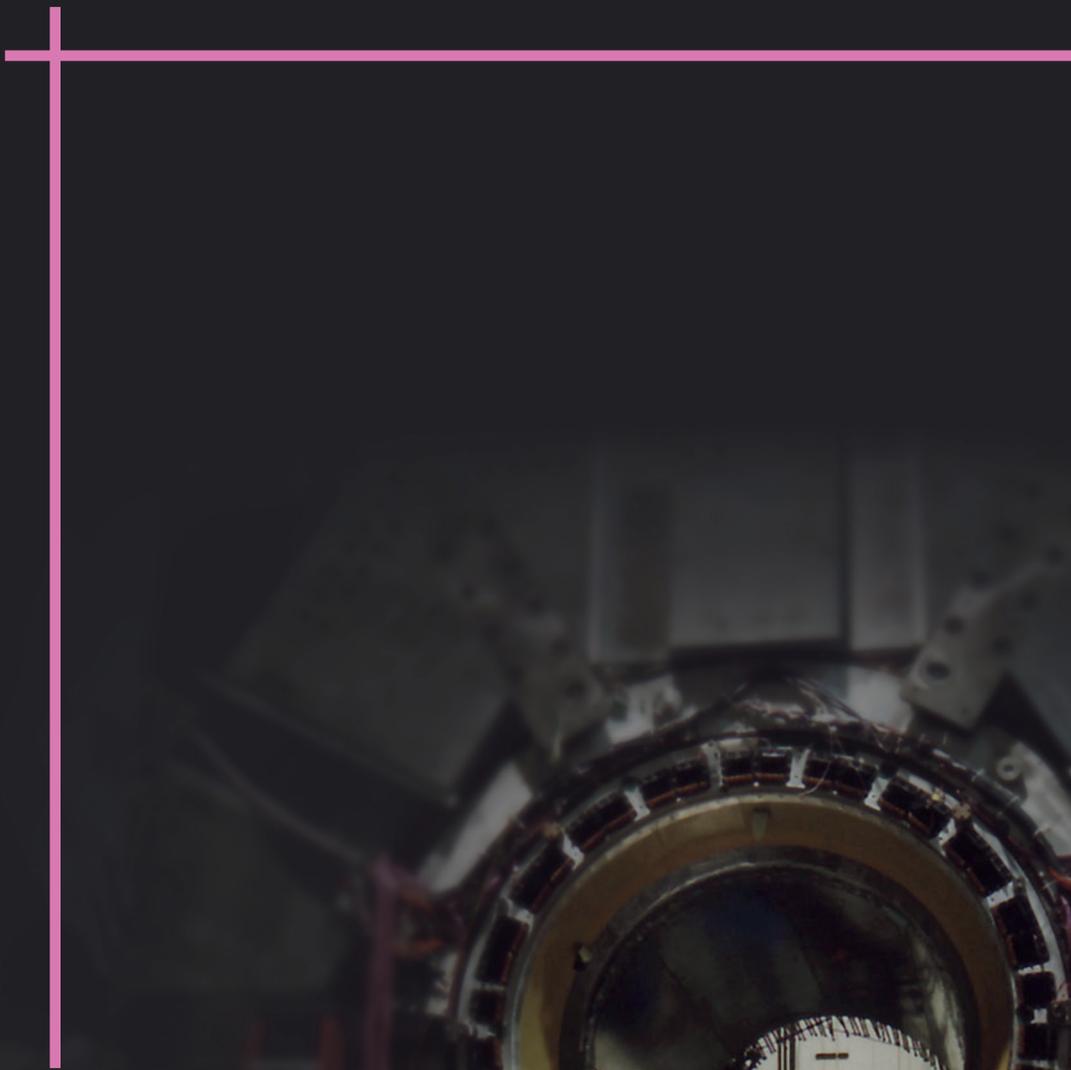
CALICE

L'EXPÉRIENCE ILD-CALICE

L' équipe ILD-CALICE étudie tous les aspects des détecteurs optimisés pour la reconstruction du flux de particule (PFA) auprès des futurs collisionneurs e^-e^+ , et plus particulièrement un Calorimètre Electromagnétique Silicium-Tungstène (SiW-ECAL). La collaboration CALICE est dédiée à la R&D sur les calorimètres très granulaires, à la construction de prototypes, à leurs tests et analyses. La proto-collaboration ILD vise à la construction d'un des détecteurs de l'ILC. Il existe un très fort recouvrement entre les 2 collaborations. Le LLR a eu un rôle séminal pour chacune et reste l'un des rares laboratoires ayant couvert à peu près l'ensemble des domaines d'expertise : design des modèles mécaniques orientés PFA, création des outils de simulations paramétriques (MOKKA), outils de reconstruction (ARBOR, GARLIC) et analyse des performances physique (Tau's). Une option SiW-ECAL fut envisagée pour des expériences ions lourds (PHENICS, CHIC, ALICE) mais ce seront le collisionneur e^-e^- Chinois CEPC et surtout la mise à niveau des bouchons de CMS pour la phase HL-LHC qui s'inspireront le plus du SiW-ECAL. Le détecteur principal du CEPC est une variante d'ILD, étudié avec la simulation paramétrique développée au LLR (Mokka) et d'ARBOR. La thèse d'une étudiante, soutenue en février 2018, en co-tutelle entre le LLR et IHEP, portait sur les outils de PFA et l'évaluation comparative des performances pour la détermination du rapport de branchement



du Higgs en Tau's au CEPC et à l'ILC et l'optimisation d'ILD. Le projet HGCAL de CMS est fortement inspiré des travaux de CALICE qui a servi de tremplin pour la mise en route rapide des premiers tests de CMS (don d'ASIC, partage de FW et de code). En retour, la R&D de CMS a bénéficié à ILDCALICE sur l'amélioration des performances (en CPU) des algorithmes de PFA, la réalisation du potentiel de la mesure de temps pour la reconstruction et l'identification et des synergies pratiques (test en faisceau, d'ASIC, financement avec le projet HGCFC/HGHTech du LABEX P2IO). Du point de vue technique, le groupe du LLR est à la pointe des R&D et reste la référence concernant l'expertise sur les ECAL ultra-granulaires. On peut rajouter que le groupe a pris des responsabilités dans les structures de décision et de coordinations de CALICE, ILDC et autres.



BABAR

L'EXPÉRIENCE BABAR

L'expérience BaBar à SLAC a étudié principalement la désintégration des mésons beaux et la violation de la symétrie CP lors de ces désintégrations. Le groupe BaBar du LLR a contribué à la construction de l'identificateur de la nature des particules chargées Cerenkov de BaBar, le DIRC, et en particulier de son électronique. Nous avons ensuite effectué une exploration systématique des canaux de désintégration de méson beau en un méson étrange et un méson charmonium, tel que $B \rightarrow J/\psi K^*$, contribuant à la mesure de $\sin(2\beta)$ et publiant la première mesure de $\cos(2\beta)$, dont l'intérêt est la levée de l'ambiguïté sur son signe. Sur la période considérée 2013-2017, l'activité du groupe se situe au sein du comité éditorial (D. Bernard et M. Verderi).

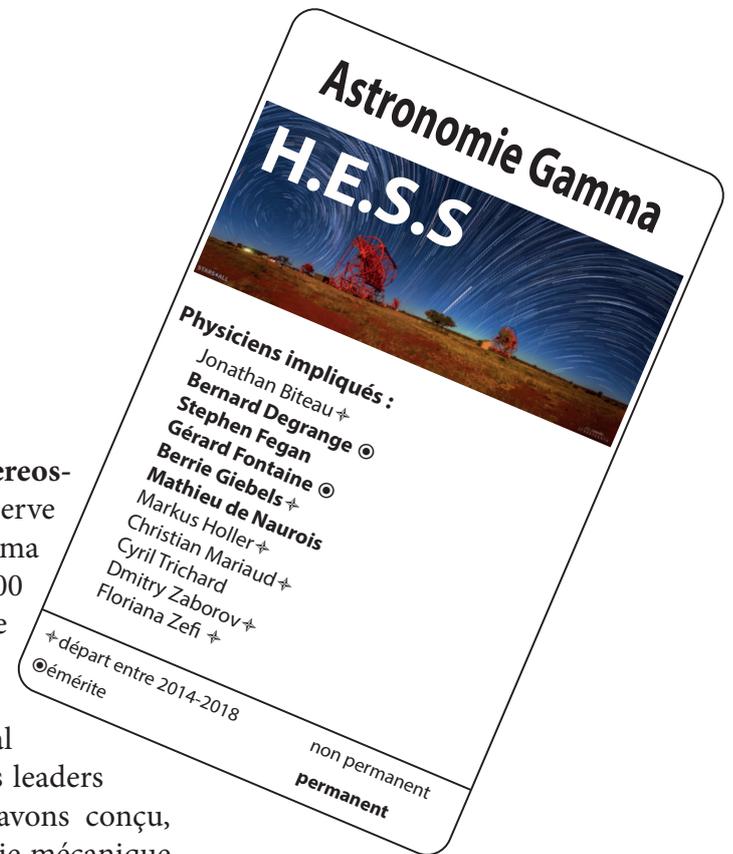


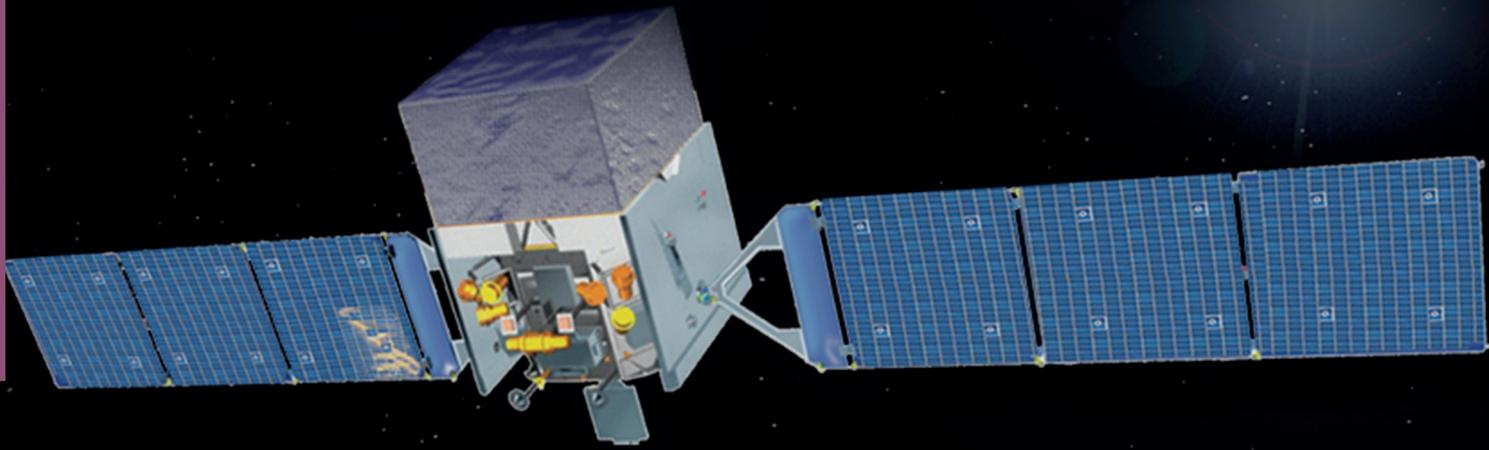
H.E.S.S.



L'EXPÉRIENCE HESS

Le réseau High Energy Stereoscopic System (HESS) observe les sources de rayons gamma d'énergie supérieure à 100 GeV (aussi nommé domaine du «TeV») avec des télescopes atmosphériques à effet Cherenkov. HESS scrute le ciel austral depuis 2001 en Namibie, et figure parmi les leaders mondiaux de l'astronomie au TeV. Nous avons conçu, fabriqué et assuré la maintenance de la partie mécanique des 4 caméras des télescopes de 13 m et de la caméra du grand télescope de 28 m (HESS-2) installé en septembre 2012. Le groupe contribue très activement aux calibrations, simulations et analyses de l'expérience HESS. Les méthodes de reconstruction très performantes élaborées et maintenues au LLR ont permis de détecter des sources de très faible intensité, telle la première galaxie à flambee d'étoiles NGC 253, ou le reste de supernova SN 1006. Parmi les responsabilités de membres du groupe au sein de la collaboration figure la direction de l'expérience (M. de Naurois, depuis janvier 2016) et «chair of the board». Le groupe participe également activement aux propositions d'observations, autant galactiques qu'extragalactiques

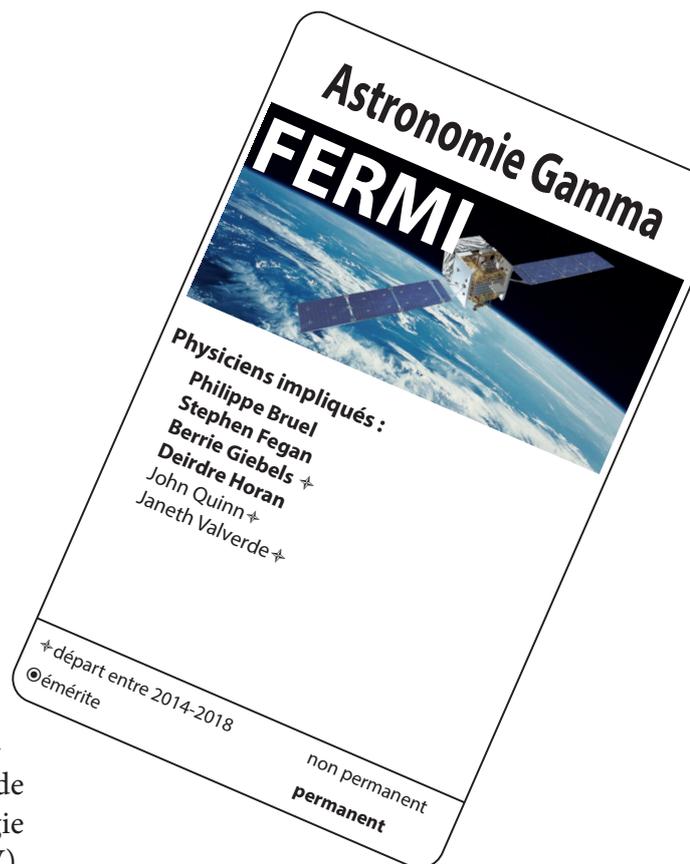




FERMI

L'EXPÉRIENCE FERMI

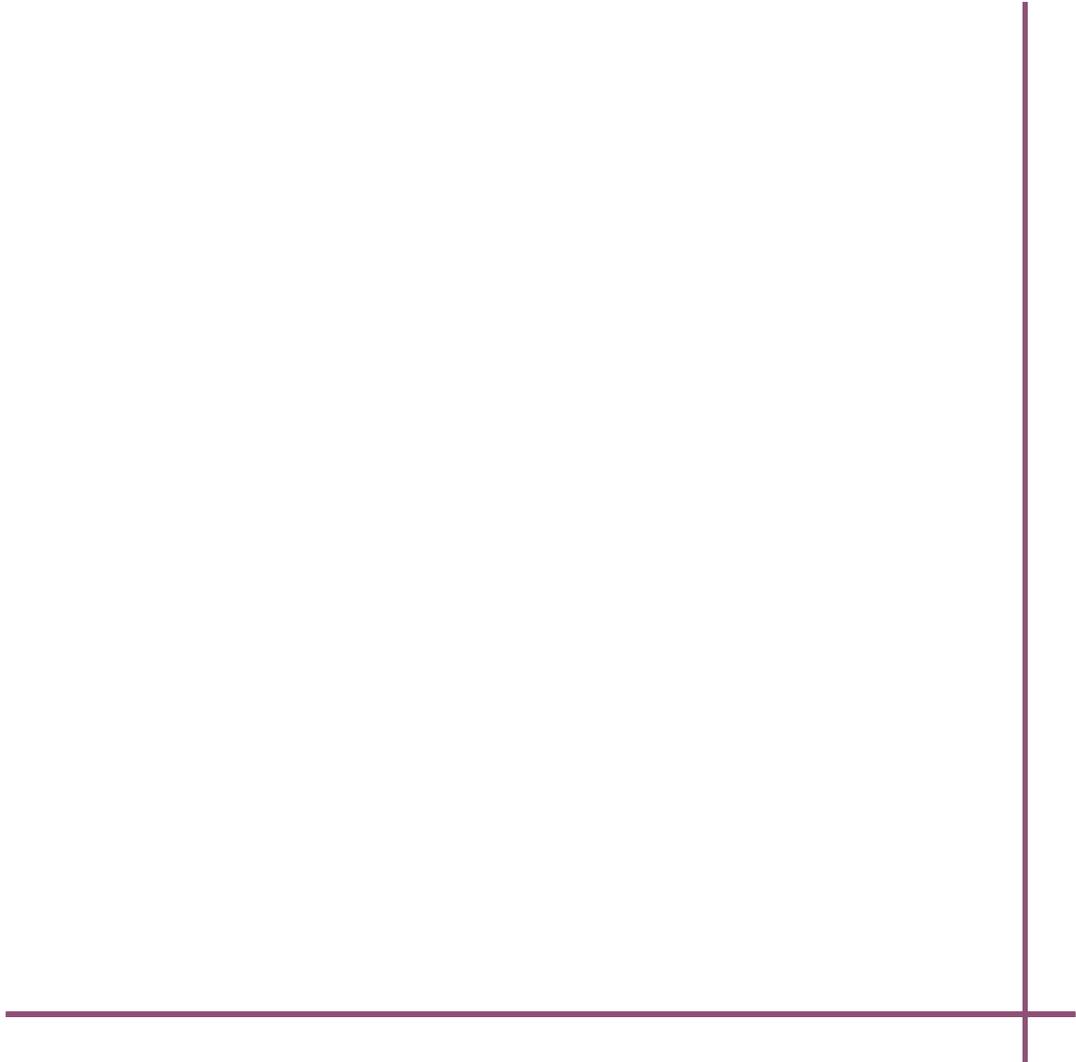
Lancé en juin 2008, le satellite Fermi et son détecteur principal le Large Area Telescope (LAT), ont obtenu d'importants résultats dans le domaine de l'astronomie gamma de haute énergie (de 50 MeV jusqu'à environ 300 GeV). Le LAT réalise une image du ciel entier toutes les 3 heures. L'expérience Fermi a reçu le Prix Bruno Rossi en 2011, décerné par la division «Astrophysique des hautes énergies» (High Energy Astrophysics Division) de l'American Astronomical Society (AAS) qui récompense les contributions significatives, originales, et innovantes. Le Senior Review Committee de la NASA d'avril 2016 a prolongé Fermi jusqu'en 2018 et a préconisé l'extension de la mission au-delà des 10 ans initialement prévus, sachant que les instruments continuent de fonctionner parfaitement. Ce même comité a insisté sur l'importance des observations avec Fermi des événements LIGO/VIRGO ainsi que sur l'intérêt d'un fonctionnement simultané de Fermi LAT et CTA, le futur Cherenkov Telescope Array. La détection par le GBM (autre instrument de Fermi) de la contrepartie gamma de l'onde gravitationnelle GW 170817 est un précieux argument pour la prolongation de la mission lors de la prochaine Senior Review en 2019. Il est donc très probable que Fermi soit prolongé jusqu'en 2022. Depuis le 24 juin 2015, toutes les données sont traitées et rendues publiques avec "Pass 8", une révision complète des logiciels de reconstruction et de sélection des données. Pass 8 permet d'améliorer grandement les performances de Fermi, avec un gain en sensibilité de 40%. Toutes les publications de la collaboration sont désormais basées sur les données Pass 8. La principale classe de photons (SOURCE) dans Pass 8 comportait initialement un bruit



de fond résiduel anisotrope de rayons cosmiques chargés. Au LLR, nous avons trouvé la cause de ce bruit de fond et réussi à l'éliminer sans perte d'acceptance. La nouvelle classe de photons est déjà utilisée pour la préparation du dernier catalogue de Fermi. Le LAT a été conçu comme un détecteur de rayons gamma, mais nous avons prouvé dès 2009 qu'il était possible de l'utiliser pour détecter les électrons et positrons au-dessus d'environ 10 GeV. Nous avons mis au point une nouvelle sélection des électrons pour profiter des données Pass 8. Grâce à de nombreuses améliorations (méthode de réjection du bruit de fond dû aux protons cosmiques, meilleur accord données/simulation, calibration de l'échelle absolue en énergie à partir de la mesure de la coupure géomagnétique), nous sommes parvenus à étendre la mesure jusqu'à 2 TeV et à diminuer très significativement l'incertitude systématique sur le spectre. La combinaison d'observations au sol et depuis l'espace est particulièrement riche

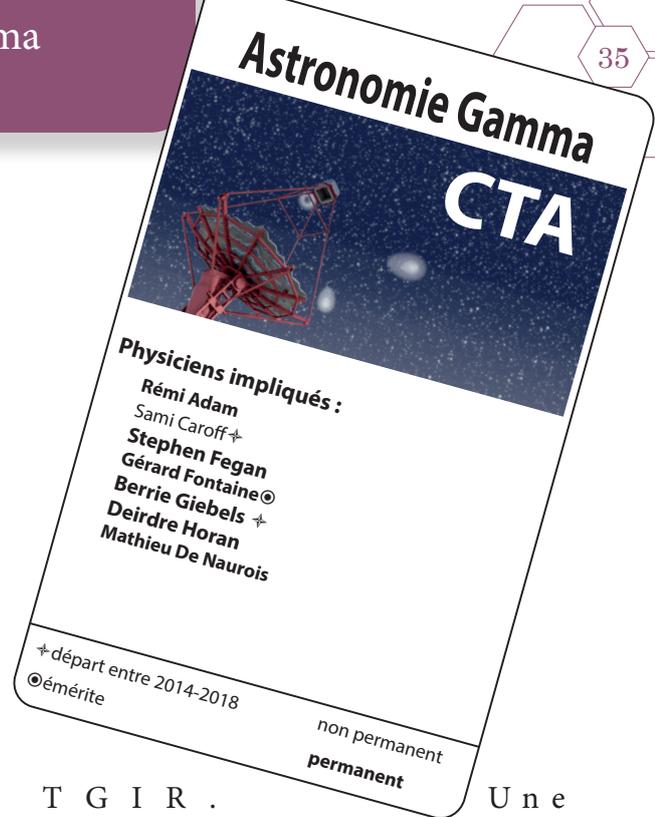
d'information lorsqu'il s'agit d'objets dont l'émission varie dans le temps. Il est alors nécessaire d'organiser des campagnes d'observations simultanées, afin d'avoir une image précise du spectre électromagnétique à un instant donné. Plusieurs de ces campagnes ont eu lieu entre Fermi et des observatoires TeV sur des AGN.

Le groupe travaille sur l'analyse des données GeV-TeV pour les blazars. Il poursuit une étude conjointe avec la collaboration VERITAS sur l'AGN H 1426+428 en collaboration avec University College Dublin. Nous travaillons également sur le blazar 1ES 1215+303 en collaboration avec le groupe VERITAS de Columbia University (New York).



CTA





L'EXPÉRIENCE CTA

Le projet Cherenkov Telescope Array (CTA) vise à construire la prochaine génération d'instruments pour l'astronomie gamma au sol. L'objectif est d'améliorer la sensibilité d'un facteur 5 à 10 dans la gamme d'énergie 100 GeV – 10 TeV, et d'étendre la fenêtre des énergies observables vers les plus basses et les plus hautes énergies, ce qui devrait permettre l'élaboration de cartographies plus complètes et d'études de variabilité à des échelles de temps plus rapides. L'observatoire devrait comporter un réseau dans chaque hémisphère, chaque réseau étant composé d'un assemblage de télescopes de grande, moyenne et petite taille. Étant un laboratoire pionnier dans le domaine de l'astronomie gamma au sol, le LLR s'est naturellement impliqué dans ce projet.

Nous participons aux efforts techniques, notamment mécaniques, de conception et de réalisation d'une caméra «NectarCAM» pour les télescopes dits de taille moyenne, ou «medium sized telescope » (MST) dont une quarantaine sont prévus. NectarCAM est constituée de 1855 «pixels» photomultiplicateurs organisés en 265 modules de 7 pixels, chaque module comportant une carte électronique de digitization et de déclenchement. Les modules sont hébergés dans une structure mécanique de 3m x 3m x 1,5m. En 2016, avec l'équipe NectarCAM de l'IRFU et de l'IP-NO, ce projet a reçu 710 k€ du labex P2IO pour réaliser un modèle de qualification (QM) équipé de 70 modules. En 2017, le Ministère de la recherche a donné son accord pour commencer un financement de CTA dans le cadre des

T G I R .

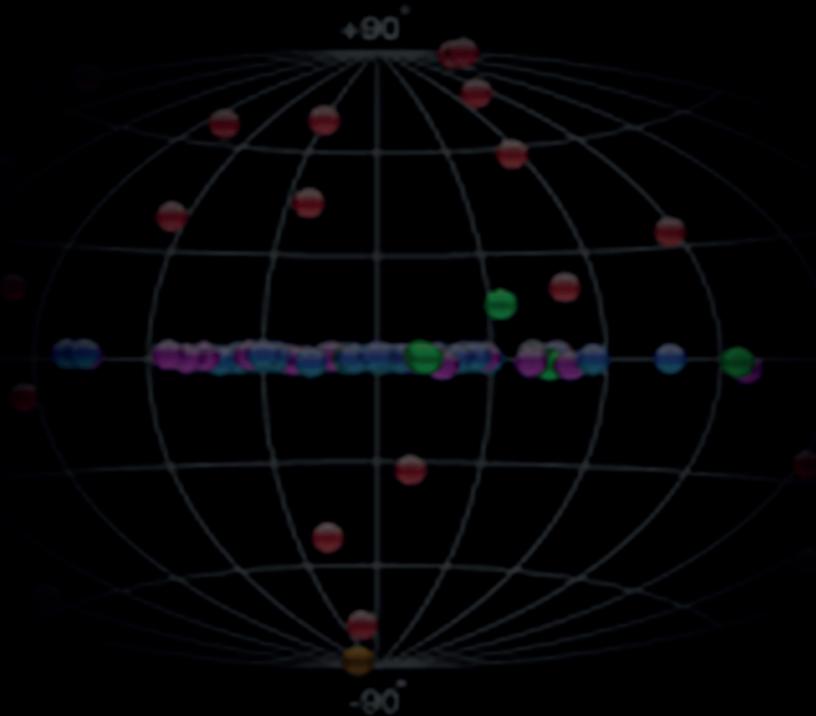
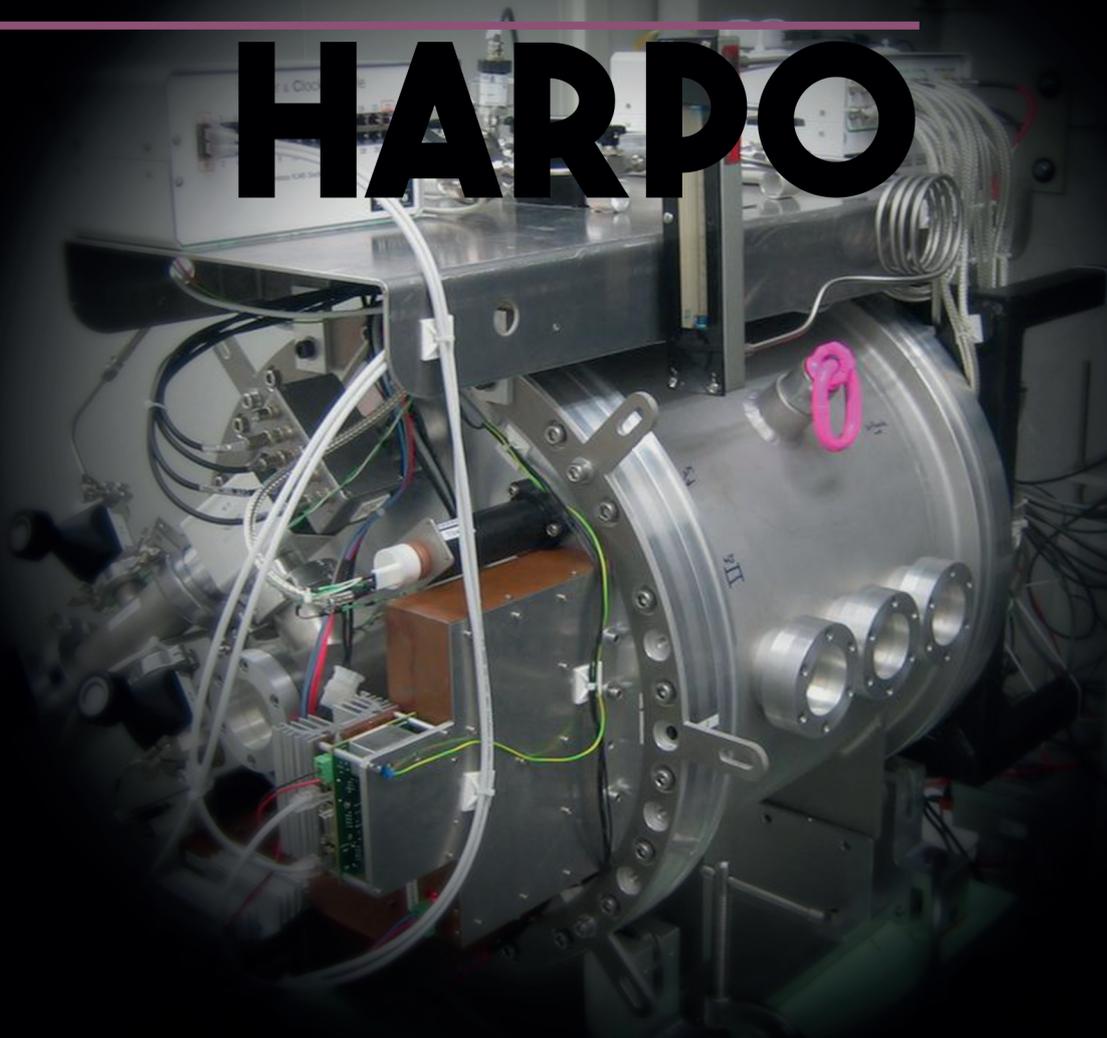
Une tranche initiale de 5M€ a été alloué au CNRS et au CEA, dont une partie importante servira à compléter le QM de NectarCAM en 2018 et 2019. L'enveloppe globale de la participation française n'est pas encore arrêtée mais pourrait être de l'ordre d'une cinquantaine de millions d'Euros.

Le groupe coordonne les efforts liés à la calibration de NectarCAM, y compris les équipements, les logiciels et les méthodes d'étalonnage. Pour ce travail, nous avons développé une chaîne d'analyse pour les données du banc test NectarCAM qui nous a permis de mettre en évidence des insuffisances dans les versions initiales des cartes d'acquisition et des cartes d'alimentation haute tension de NectarCAM, problèmes qui sont maintenant résolus dans les versions récentes utilisées dans le QM.

Nous assurons l'assurance qualité pour NectarCAM et sa coordination avec les homologues des télescopes MST et de l'observatoire CTA (CTAO). Cela concerne le suivi des modifications du design et organisation des revues préparatoires à la fabrication.

Enfin, nous participons aux activités des groupes de travail scientifiques "AGN", "Catalog" et "galactique".

HARPO



TEVCAT

L'EXPÉRIENCE HARPO

Nous avons formé une collaboration avec l'IRFU pour la construction et la validation d'un télescope et polarimètre prototype basé sur une TPC. Le LLR a tout d'abord démontré, par simulation, la pertinence de l'emploi d'une cible active gazeuse, par exemple une chambre à projection temporelle (TPC) pour la conception de télescopes gamma à conversion de paires ($\gamma \rightarrow e^+e^-$) dans la gamme d'énergie [1-100 MeV] pour laquelle la sensibilité des télescopes passés ou existants est très mauvaise. Nous avons démontré que la résolution angulaire pour chaque trace (l'électron ou le positron) atteint un niveau de qualité permettant, pour la 1ère fois, de mesurer la polarisation (fraction et direction) linéaire du rayonnement incident. Nous avons, par la suite, étendu la collaboration à des groupes Japonais (LASTI/U. of Hyôgo et SPring8/JASRI) pour caractériser notre prototype sur leur faisceau. Le groupe a effectué la 1ère - et la seule à ce jour - démonstration de la polarimétrie



d'un faisceau de gamma polarisé linéairement en régime de conversion de paires, dans la gamme en énergie <1GeV pour laquelle une telle mesure peut être envisagée pour des sources cosmiques.

HARPO a d'autre part écrit le premier générateur d'événement exact (5D) de conversion de paire par la méthode de MonteCarlo et en a fait don à la Collaboration Géant4.

TEVCAT

En l'espace de 10 ans, le nombre de sources détectées au TeV est passé de 9 à 208. Le groupe a participé à la création et la maintenance du premier catalogue en ligne, nommé TeVCat, visant à communiquer des informations sur ces sources. Le catalogue contient une carte du ciel vu au TeV avec des informations détaillées

et des références pour chaque source. TeVCat a été consulté plus de 21 000 fois durant l'année 2017 et a été cité dans plus que 460 publications depuis sa création. En 2017, TeVCat a été incorporé par la NASA dans sa base de donnée "HEASARC".

LES NEUTRINOS



LA PHYSIQUE DES NEUTRINOS

En 1998, la collaboration Super-Kamiokande (SK) découvre les oscillations des neutrinos atmosphériques, suivie par la collaboration SNO qui découvre les oscillations des neutrinos solaires trois ans plus tard. En 2015, le prix Nobel pour la Physique a été attribué à Takaaki Kajita (SK) et Arthur McDonald (SNO) pour leur contribution majeure à «la découverte des oscillations des neutrinos». Malgré cet hommage extraordinaire, la quête n'est pas finie et sur les sept paramètres qui décrivent les oscillations des neutrinos, deux restent actuellement inconnus : la «hiérarchie des masses» des neutrinos (MH) et l'éventuelle phase de violation de CP (δCP). Depuis 2006, le LLR participe à cette quête en multipliant les efforts auprès de l'expérience T2K (Tokai to Kamioka) au Japon. Nous nous sommes également intéressés à la détermination de la MH des neutrinos, en rejoignant l'expérience JUNO en Chine entre 2014 et 2017. Nous sommes membres de la proto-collaboration Hyper-Kamiokande (HK) depuis 2015. Enfin, nous avons rejoint la célèbre collaboration Super-Kamiokande en Novembre 2016 pour son programme cosmologique.

T2K (Tokai to Kamioka) est une expérience dite «long-baseline» hors axe entre les détecteurs proche et lointain. Un faisceau





tubes photomultiplicateurs

composé principalement de neutrinos (ν) ou d'antineutrinos (anti- ν) muoniques, est produit par l'accélérateur JPARC, à Tokai, au nord de Tokyo. Les particules sont envoyées en direction du détecteur lointain SK, situé 295 km en aval. La ligne de visée, décalée de $2,5^\circ$, permet d'ajuster le spectre d'énergie des ν_μ pour maximiser la probabilité d'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ au niveau de SK, et autorise ainsi la détection directe de l'apparition des neutrinos (ou des antineutrinos) électroniques dans le faisceau de neutrinos (ou d'anti- ν) muoniques.

Un ensemble de détecteurs proches permet d'estimer le nombre d'interactions attendu dans SK en l'absence d'oscillation. D'abord, le détecteur sur axe INGRID (Interactive Neutrino GRID) permet de contrôler la stabilité du faisceau en flux et

en direction. En forme de croix, ce détecteur est constitué de 16 modules, faits d'une alternance de blocs de fer et de plans de scintillateurs. Au centre de la croix il est possible de rajouter des modules pour mieux caractériser les interactions des neutrinos : le «Module Proton», constitué de barres de scintillateur et le «Module Eau», décrit plus bas. Le LLR, avec la forte implication des services Mécanique et Electronique du laboratoire, a été l'un des protagonistes majeurs dans la construction du détecteur INGRID, installé en 2008-2009, du Module Proton, installé en 2010 et du «Module Eau», installé en 2016.

Ensuite, le détecteur proche ND280 hors axe ($2,5^\circ$) est composé principalement d'un détecteur de π^0 , d'un ensemble cible-trajectographe et d'un calorimètre. En particulier, la cible-trajectographe est constituée de deux détecteurs dits «Fine Grained Detectors» (FGD), qui consistent en des plans de barres de scintillateur plastique finement segmentés. Le deuxième FGD contient aussi des modules d'eau. Les FGD sont intercalés entre des TPC (Time Projection Chambers) qui permettent une identification précise de la charge, de

l'impulsion et du type de particule.

Enfin, le détecteur lointain SK, déjà à l'œuvre dans les travaux ayant conduit à l'attribution du Prix Nobel 2015, est un détecteur Cherenkov à eau, composé d'une cuve de 50 000 m³, équipée de plus de 10 000 tubes photomultiplicateurs (PM) de très grand diamètre (50 cm). Ce détecteur permet d'observer les neutrinos solaires, atmosphériques, de basse énergie produits lors de phénomènes cosmiques comme les explosions de supernovæ et les neutrinos d'accélérateur. Dans le cadre de T2K, les neutrinos (ou antineutrinos) interagissent majoritairement par interaction «quasi-élastique à courant chargé» (CCQE) sur les neutrons (protons) des noyaux d'oxygène de l'eau via la réaction : $\nu + \text{neutron (proton)} \rightarrow \text{lepton} + \text{proton(neutron)}$, le lepton chargé étant ensuite repéré par effet Cherenkov. Grâce au type d'anneau Cherenkov produit, il est possible de distinguer ν_μ et ν_e (anti- ν_μ et anti- ν_e). La comparaison entre l'oscillation des neutrinos et celle des antineutrinos permet de donner une indication sur la phase δCP .

En parallèle à nos activités sur T2K et HK, nous avons rejoint en 2014 l'expérience JUNO. Cette activité a été arrêtée dans notre groupe à la demande de l'IN2P3.

L'une des sources d'erreurs systématiques principales dans T2K, et dans les expériences similaires, est liée à la méconnaissance des sections efficaces des interactions neutrino-noyau, ingrédient fondamental pour extrapoler correctement le flux attendu au détecteur lointain à partir de celui mesuré dans le détecteur proche. En effet, alors que la description de l'interaction CCQE d'un neutrino sur un neutron libre est relativement simple, la modélisation se complique quand il faut tenir compte des effets nucléaires (effets multi-nucléons, interactions secondaires dans les états finaux, etc.). De plus, dans le cas de T2K, le détecteur proche est composé principalement de carbone et en petite partie d'eau avec une bonne acceptation pour les traces vers l'avant, alors que SK est un détecteur à eau disposant d'une acceptation de 4π .

Afin de réduire cette erreur systématique, le groupe s'est impliqué depuis 2015 dans l'expérience WAGASCI (Water Grid And SCIntillator), ayant pour but la mesure des diverses sections efficaces d'interaction des neutrinos par courants chargés sur l'eau, sur le plastique scintillant ainsi que leur rapport. Cette expérience est basée sur l'utilisation de détecteurs à plastiques scintillants formant une structure tridimensionnelle contenant de l'eau ainsi que trois calorimètres à muons (deux latéraux et un en aval), permettant d'obtenir une acceptation de 4π . Pour le détecteur WAGASCI,

le LLR, grâce à l'implication du groupe et des services techniques, a pris en charge toute l'activité de conception mécanique, les études de physique par Monte-Carlo, le design mécanique et le développement des procédures d'installation, ainsi que le développement de la chaîne d'acquisition basée sur le système mis au point au laboratoire pour d'autres expériences.

Un premier module WAGASCI, nommé «Module Eau», a été installé dans l'axe du faisceau de neutrinos du J-PARC à l'automne 2016 et collecte des données depuis lors. La première mesure hors axe (à 1,6° du faisceau de neutrinos) a débuté en Octobre 2017, en utilisant un second module WAGASCI associé avec le Module Proton comme cible de carbone et un module INGRID comme calorimètre à muon. La mesure à 4π avec le détecteur en configuration finale après l'ajout des calorimètres à muons, débutera à l'été 2018.

Dans ce même contexte, les mesures de sections efficaces sont devenues une priorité pour la compréhension profonde des interactions des neutrinos. Le groupe participe activement à ces analyses en exploitant à la fois les données du Module Proton, des Modules Eau de WAGASCI et des FGD. En particulier, trois analyses (dont deux sujets de thèse) sont en cours dans le groupe pour extraire les sections efficaces des interactions à courant chargé (sans ou avec un pion dans l'état final) sur l'eau et sur le carbone, ainsi que leur rapport.

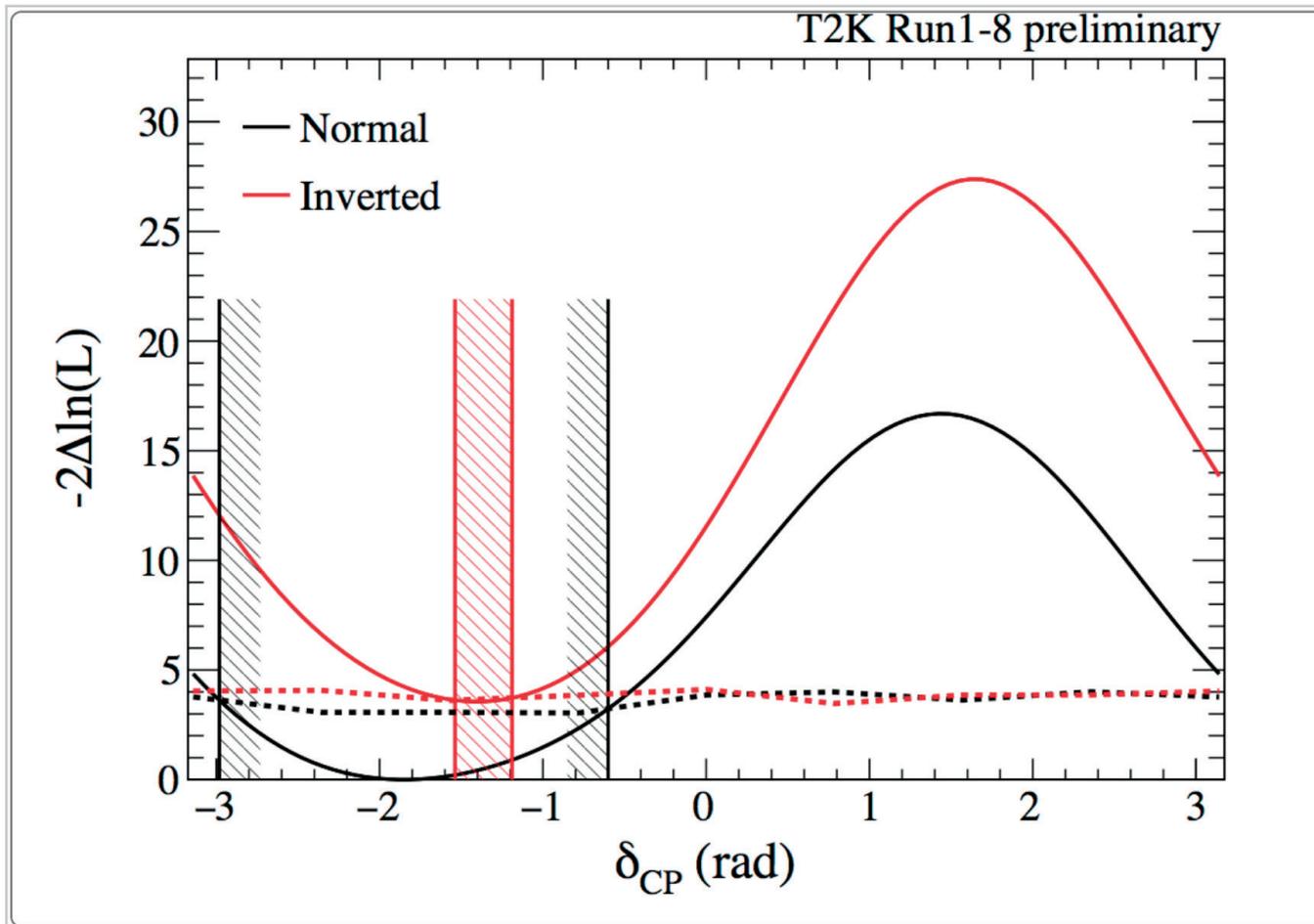
Nous avons également participé à l'analyse d'oscillation de T2K, en apportant des contributions majeures, notamment en développant l'une des trois analyses neutrinos/anti-neutrinos. Nous avons aussi été responsables de l'estimation et de l'évaluation des erreurs systématiques et l'un d'entre nous était membre du comité de pilotage des analyses de T2K.

La première observation d'apparition de neutrinos électroniques dans un faisceau de neutrinos muoniques a été récompensée en 2016 par le «Breakthrough Prize for Fundamental Physics» destiné à Koichiro Nishikawa et à toute la collaboration T2K.

Depuis 2014, des faisceaux de neutrinos et d'antineutrinos sont produits en alternance. L'analyse combinée des oscillations des neutrinos et des antineutrinos a permis en 2016 de donner une toute première indication sur la violation de CP, renforcée à l'été 2017 après avoir doublé la statistique (à peu près 30% du

total attendu d'ici 2021) et amélioré l'algorithme de reconstruction des interactions des ν_e et anti- ν_e dans SK. T2K a observé 89 événements d'apparition de ν_e dans le détecteur lointain, alors que seulement 67 étaient attendus sans violation de CP. Également 7 événements d'apparition d'antineutrinos électroniques ont été observés, au lieu de 9 attendus. Combinés avec les mesures faites par les expériences auprès des réacteurs, les résultats de T2K indiquent une violation non nulle de la symétrie CP avec un niveau de confiance de 95% (cf. figure ci-dessous).

Les excellents résultats de T2K ont motivé la proposition, aujourd'hui approuvée, d'une nouvelle phase de prise de données (T2K-2) de 2021 à 2026, qui pourrait établir la violation de la symétrie CP à 3 écarts-type. Nous continuons notre implication dans cette deuxième phase de l'expérience, notamment avec la mise en place de la configuration finale de WAGASCI, ainsi qu'en participant à l'optimisation du



$-2\Delta\ln L$ (équivalent au $\Delta\chi^2$) en fonction des valeurs de δ_{CP} en assumant que l'ordre des masses des neutrinos soit « normale » (noir) ou « inverse » (rouge). Les lignes verticales montrent les intervalles de confiance à 95%. Les valeurs correspondant à la conservation de la symétrie CP ($\delta_{CP} = 0$ and $\delta_{CP} = \pi$) sont en dehors de la région autorisée à 95 % de niveau de confiance.



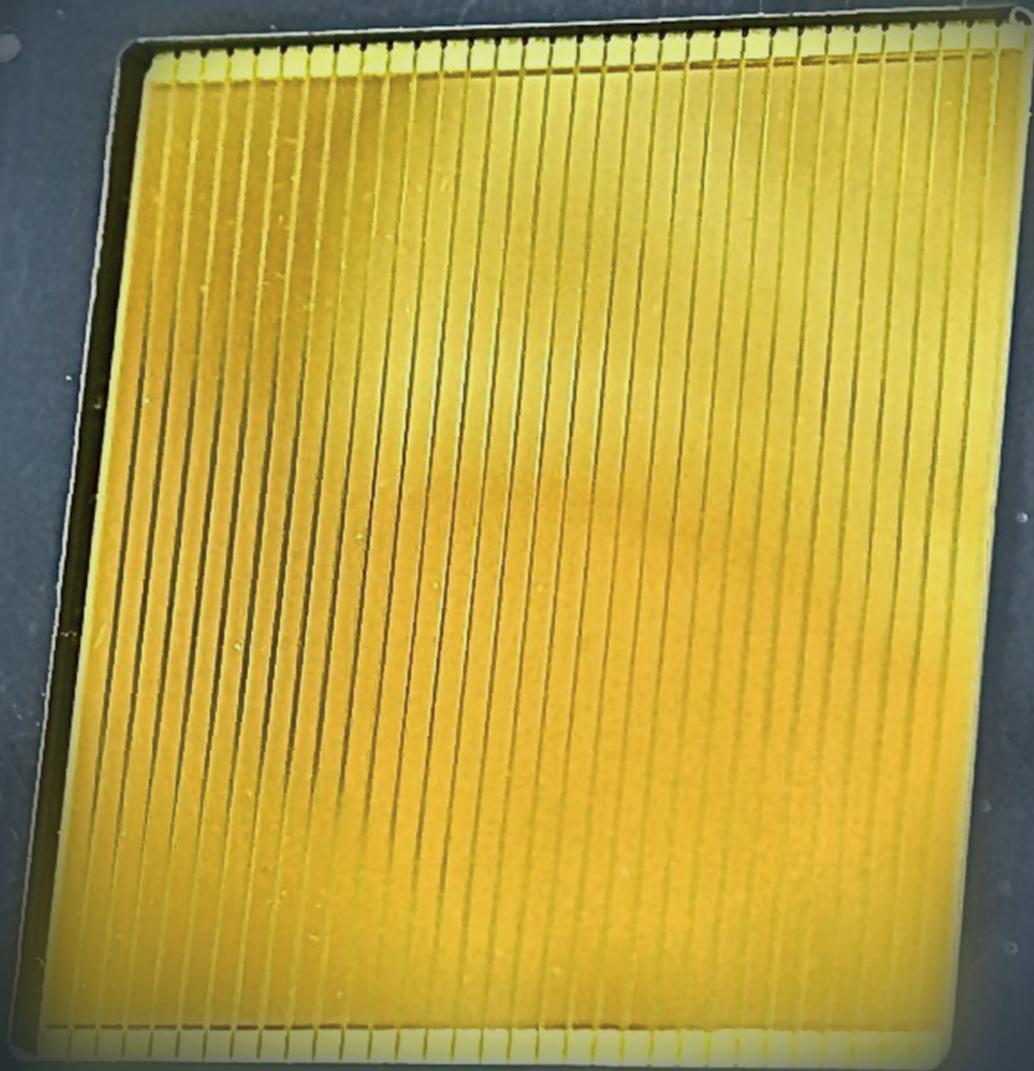
module eau (WAGASCI de T2K)

design et aux études de sensibilité pour l'upgrade du détecteur proche ND280.

Concernant notre participation à l'expérience SK, un changement important va être effectué à l'été 2018 : du Gadolinium va être rajouté dans le réservoir d'eau pour mieux distinguer le signal du bruit de fond pour les événements à basse énergie. Cela donnera accès non seulement à une meilleure détection des anti- ν issus d'une

explosion supernova (en permettant ainsi de mieux comprendre la nature des neutrinos, le nombre de familles et peut être même la mesure de leur masse), mais aussi au flux des antineutrinos provenant des explosions passées de supernovas (communément appelé fond diffus de neutrinos de supernovas). La mesure de ce flux intégré sur toute l'histoire de l'univers fournirait des informations précieuses sur la genèse des éléments lourds et sur les mécanismes de production de supernovas (et donc des étoiles) au cours du temps. A l'heure où ces lignes sont écrites, nous sommes l'unique groupe français de cette collaboration. Nous allons bien évidemment participer aux travaux sur le détecteur puis à l'analyse des données de basses énergies.

Applications



PEPITES

LE PROJET PEPITES

En 2012, le LLR a initié une étude de faisabilité d'un moniteur de faisceau d'un type nouveau, exploitant des méthodes de couches minces pour la construction et l'émission d'électrons secondaires pour le signal, afin de produire des systèmes ultra-minces, très peu perturbants, pour les faisceaux aux énergies intermédiaires utilisés notamment en protonthérapie. Cette étude avait débuté suite à des échanges avec la société IBA, couverts par un accord de confidentialité signé en 2013 entre cette firme d'une part et le CNRS et l'École polytechnique d'autre part. D'une durée de 2 ans, avec une clause de non-divulgaration sur 5 ans, cet accord a permis de préciser les besoins d'un tel type de moniteur en protonthérapie: système dans le vide vers la fin de ligne, à budget matière très limité – inférieur à 15 μm équivalent-eau – car devant assurer le suivi du faisceau sans le perturber pendant l'irradiation thérapeutique avec le patient situé plusieurs mètres en aval du moniteur, de bonne tenue aux radiations, peu encombrant, simple à opérer, ainsi que d'autres caractéristiques confidentielles. La solution adoptée par le LLR s'avère prometteuse quant à satisfaire ces besoins, et sa gamme d'applicabilité pourrait en fait s'étendre au-delà du domaine médical pressenti. Bénéficiant de la flexibilité des méthodes de couches minces pour la construction, de nombreuses déclinaisons de moniteur sont envisageables, toutes exploitant les mêmes principes de détection. Cette approche doit ainsi permettre de s'adapter à divers besoins de monitoring de faisceau. Le système possède en outre une très grande gamme dynamique - qui tient à la haute linéarité du phénomène d'émission d'électrons secondaires - ce qui en fait un excellent candidat moniteur dans l'escalade de dose en

proton (et hadron) thérapie.

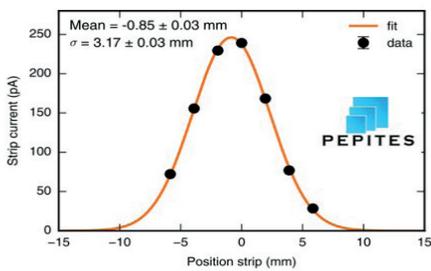
L'élément critique de ces moniteurs est une électrode composée d'un substrat isolant, aussi mince que possible (Mylar, Kapton, PEEK, voire céramique de type SiN) sur lequel est déposé un motif d'épaisseur nanométrique composé d'éléments électriquement conducteurs (pistes équidistantes, ou de largeur variable, ou avec un découpage en secteurs (r,θ) , ...) qui échantillonnent le faisceau selon le motif, chaque élément étant lu indépendamment. Une ou plusieurs électrodes sont utilisées pour réaliser l'échantillonnage désiré. L'utilisation de l'émission électronique permet de satisfaire aux critères de minceur du système car elle ne nécessite qu'une dizaine de nanomètres et la minceur des pistes est en fait limitée par la conduction électrique qui requiert une trentaine de nanomètres au moins.

Au cours des années 2013 – 2018, nous avons précisé les contours de l'approche et réalisé plusieurs jalons quant à sa faisabilité : construction d'électrodes selon plusieurs variantes, connectique de leurs pistes de 50 nm d'épaisseur vers



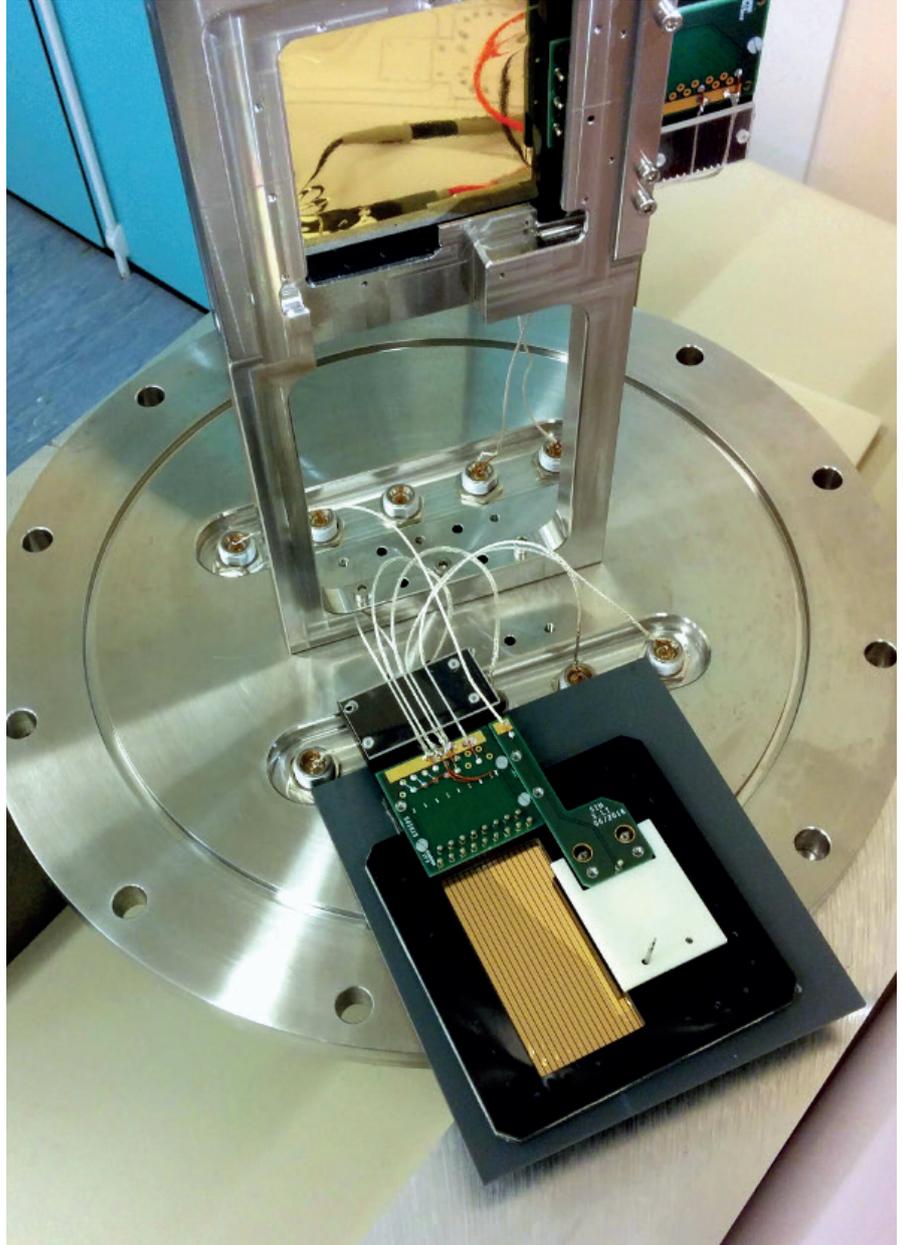
des voies de lecture, réalisation d'un démonstrateur rudimentaire. Avec notre partenaire ARRONAX, nous avons effectué plusieurs tests en faisceau de proton en montrant que l'échantillonnage d'un faisceau selon cette technique fonctionne et que la grande gamme dynamique pressentie est effective.

Un brevet a été déposé en février 2018, sous l'égide de l'Ecole polytechnique, avec le CNRS comme copropriétaire et co-dé-



posant.

A l'été 2017, le projet, baptisé PEPITES, a obtenu un financement ANR «Défi de tous les savoirs» sur 3 ans, afin de réaliser un démonstrateur complet, ce qui validerait l'approche et ses possibles déclinaisons. Un soutien du Labex P2IO permet de financer une partie des heures de faisceau requises. Le projet ANR est réalisé en partenariat avec ARRONAX, en charge des études de tenue aux radiations et le CEA/IRFU/CEDI responsable de l'électronique de lecture bas-bruit. Le moniteur est prévu de demeurer à ARRONAX, en exploitation, ce qui permettra un riche retour d'expérience.

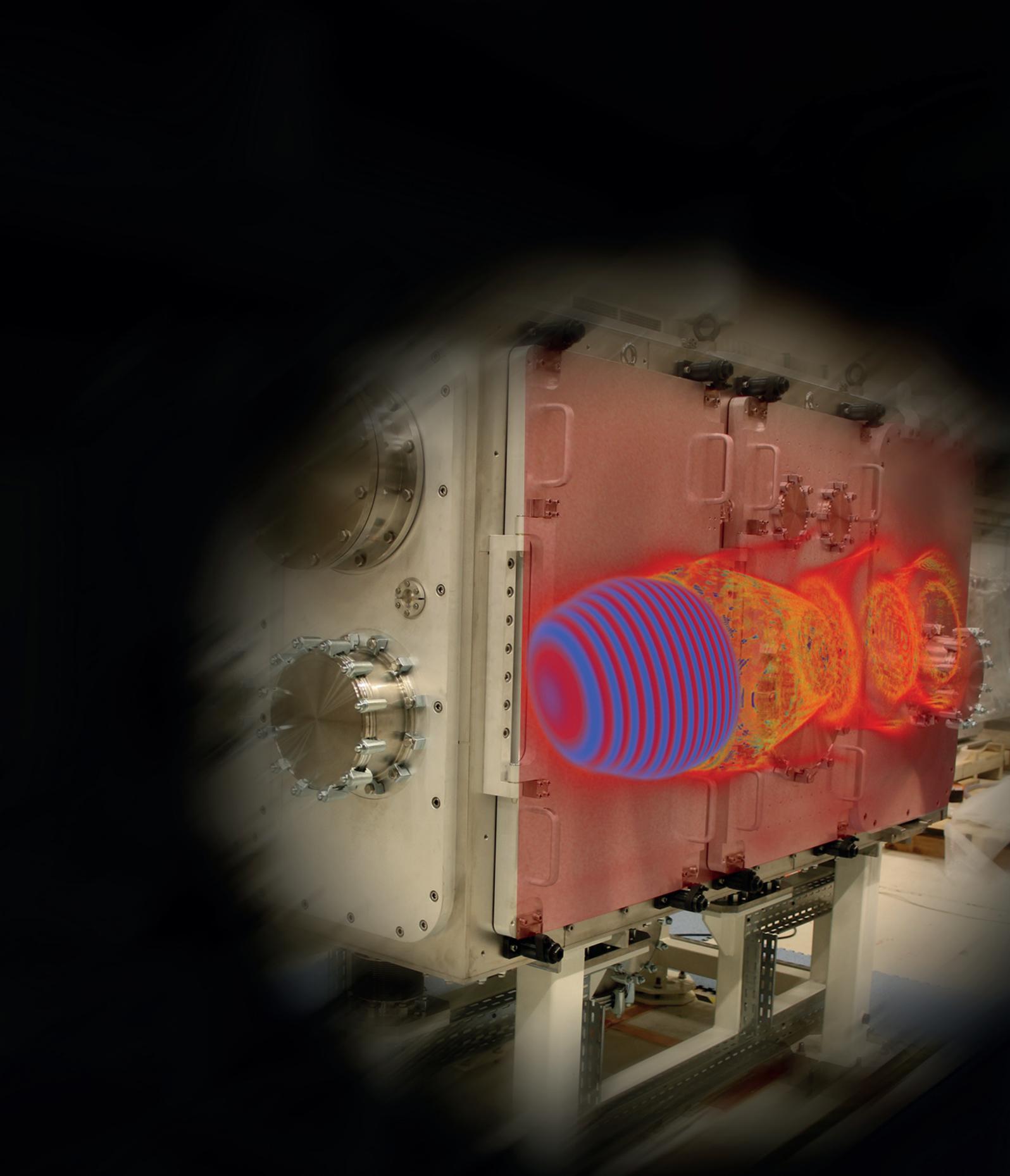


LA RECONSTRUCTION GEANT4

Le LLR est impliqué dans le développement du logiciel Geant4 depuis sa phase RD44 de recherche et développement. Depuis 2013, GEANT4 a opéré une importante évolution en adoptant une approche multi-threading avec un processing en parallèle des évènements. Les applications de type physique des hautes énergies sont les premières bénéficiaires de cette évolution en leur permettant d'exploiter toute la puissance de calcul des plateformes multi-core/many-core, sans délaisser des cœurs par manque de mémoire pour les servir. Dans ce mode multi-threading, Geant4 partage en effet l'importante mémoire allouée pour la géométrie et les tables de sections efficaces entre les threads et ceux-ci procèdent indépendamment les évènements avec une mémoire de travail modeste. Geant4 est ainsi devenu le premier logiciel de hautes énergies à proposer ce type de processing en production. C'est un fait marquant. Au laboratoire, le développement principal concerne l'incorporation de méthodes de réduction de variance. Importées des domaines de basses énergies, comme le transport des neu-



trons, ou le médical, ces méthodes permettent des facteurs d'accélération importants pour les problèmes qui sont de type «simulation d'évènements rares». Ce genre de simulation est par exemple très utile en physique des hautes énergies dans le cas des problèmes de type «cavern background». Conçue selon une approche orientée objet, la solution de Geant4 offre des fonctionnalités (en nombre croissant) prêtes à l'emploi tout en permettant aux utilisateurs expérimentés d'implémenter leurs propres méthodes.



GALOP

L'EXPÉRIENCE GALOP

Les objectifs scientifiques du GALOP (Groupe d'Accélération par Laser et Onde Plasma) sont orientés vers le développement de l'accélération laser-plasma pour la physique des hautes énergies ou (à plus basse énergie) vers des applications plus accessibles comme par exemple les faisceaux test ou les sources de lumières.

Dans ce contexte général, le LLR joue un rôle important dans un domaine en pleine éclosion, à travers sa participation dans les projets expérimentaux en cours, son implication, depuis 2013 dans la coordination technique de la LFA du projet CILEX et dans l'étude de conception européenne EuPRAXIA (H2020), ainsi que dans le programme H2020 ARIES. Le groupe se concentre sur l'étude de l'accélération d'électrons du plasma en régime non-linéaire sur les deux faisceaux Petawatt de CILEX ainsi qu'une première expérience à deux étages avec un injecteur et un booster tout optique afin d'atteindre des énergies dépassant 10 GeV. A ce titre, le groupe participe à des campagnes préparatoires et à la simulation de l'accélération, notamment par le développement et l'exploitation du code plasma SMILEI. Depuis 2012, nous coordonnons le groupe de travail composé de membres partenaires de CILEX (LULI, LPGP, CEA/LIDyL, IRFU/SACM, Synchrotron SOLEIL, LAL) qui participeront au programme «électrons» dans la salle longue focale (LFA) de CILEX. Sur le volet technique, le service mécanique du LLR a également pris en charge la conception et le suivi de la réalisation des enceintes expérimentales (pour les deux faisceaux F1 et F2). Le LLR participe également à des expériences préparatoires (DACTOMUS) visant à développer les diagnostics d'électrons et s'est doté d'un banc de mesure pour les aimants permanents. Le financement par l'UE de l'étude conceptuelle

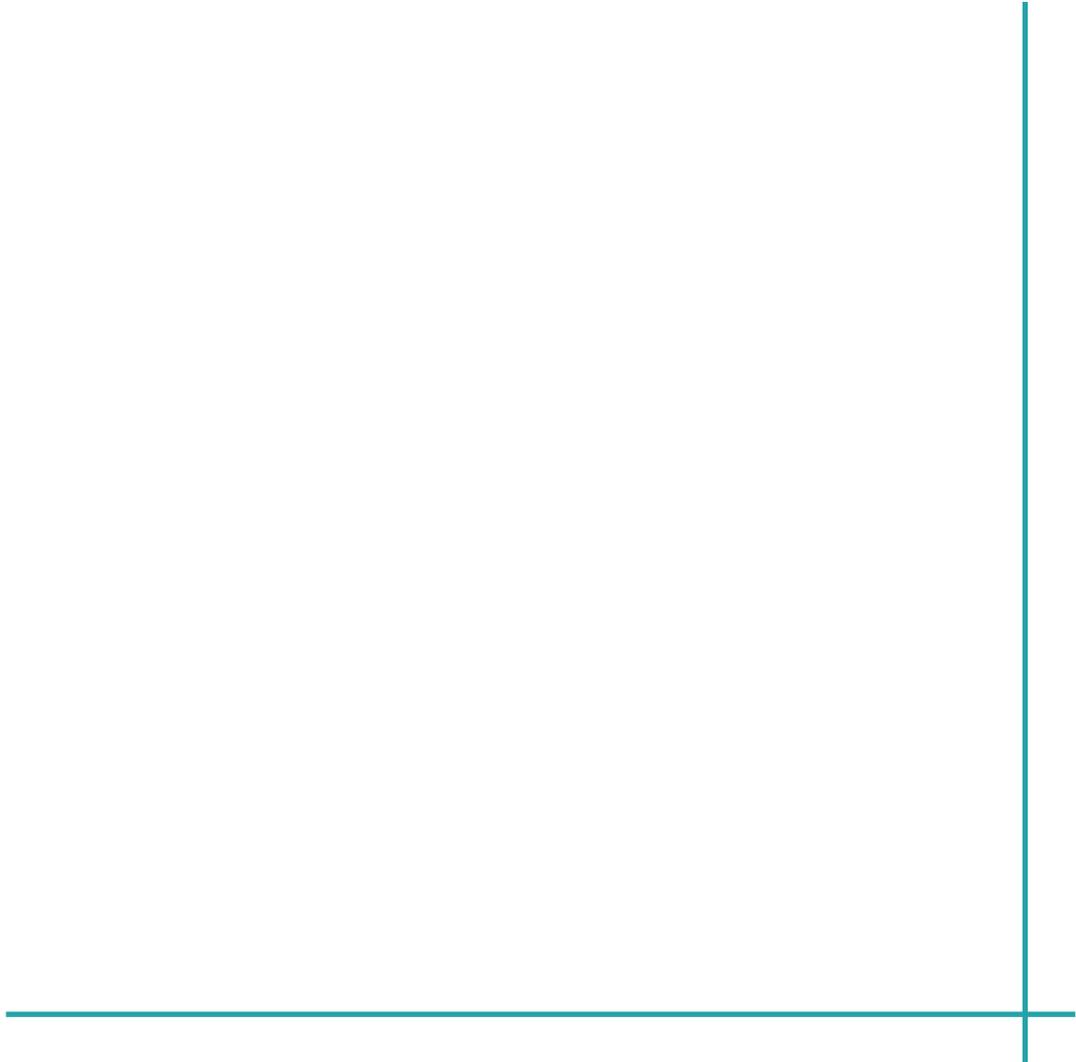


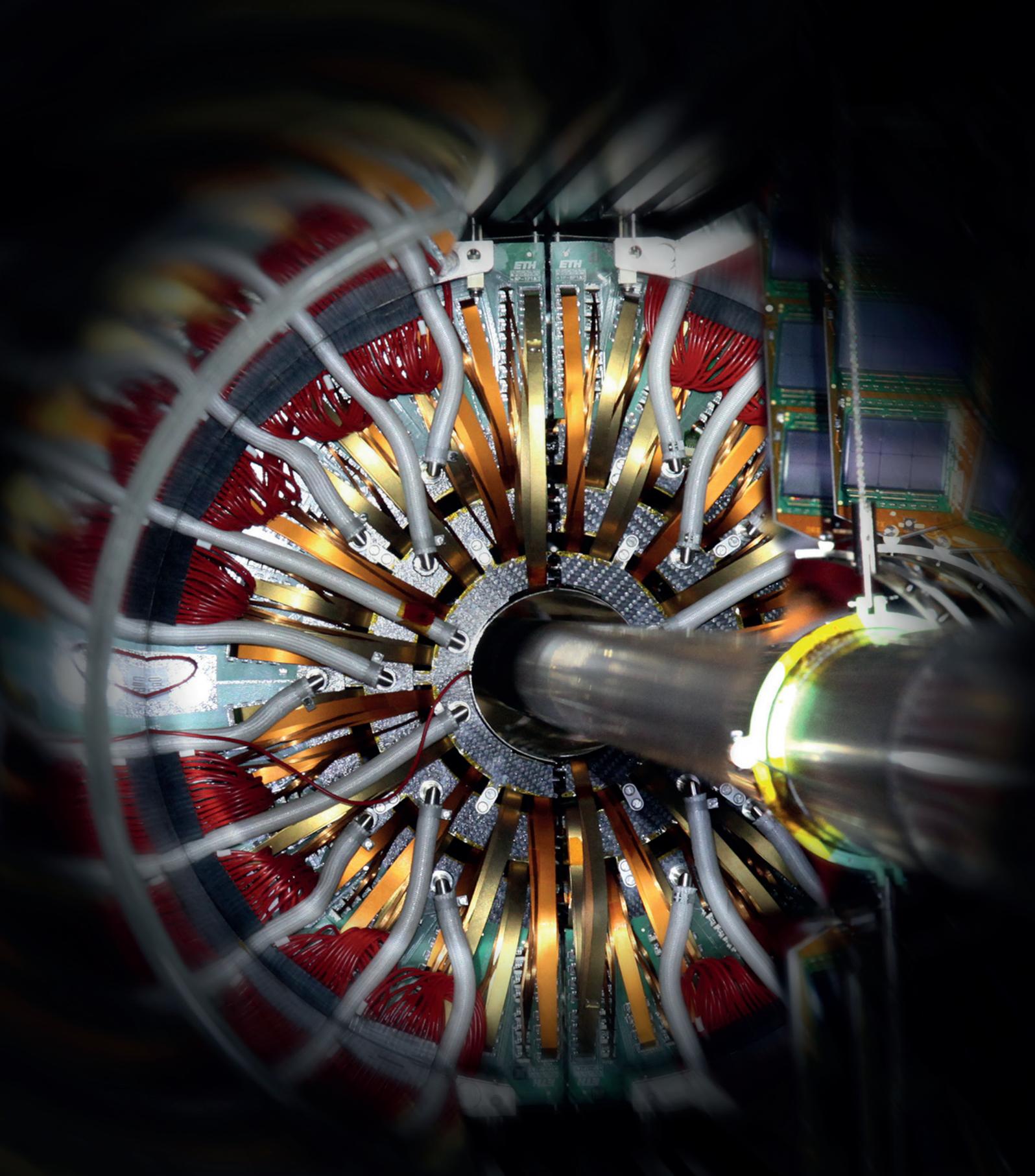
Eu-

P R A X I A
(2015-2019)

dont le physicien du LLR est le coordinateur adjoint, est l'aboutissement d'un effort collectif dans lequel la France joue un rôle important. Ce projet se propose de construire le premier accélérateur laser-plasma pour la recherche et les applications sur un mode collaboratif semblable à celui connu en physique des hautes énergies et astro-particules. L'équipe GALOP participe activement au développement du code de simulation de physique des plasmas Particule-In-Cell (PIC) SMILEI et utilise ce code pour des simulations 3D. En particulier, elle a apporté la parallélisation hybride en MPI-OpenMP, équilibrage dynamique de charge, optimisation, conditions aux bords absorbants, fenêtre glissante, solveur anti-Cherenkov numérique, pour n'en citer que les contributions majeures. Sur les 4 dernières années, en collaboration avec l'IRFU, la Maison de la

Simulation et l'Université Paris Sud, nous sommes porteur de 8 demandes d'allocations GENCI pour un total d'une trentaine de millions d'heures de calcul dans les grands centres de calcul français. Nous nous intéressons principalement à la simulation de régime non-linéaire (dit de bulle) en auto-injection. A titre d'exemple, en 2014, le groupe a démontré qu'une accélération de 0 à 3GeV est possible en un seul étage de 2 cm sans guidage.





CMS

Depuis longtemps, la recherche et l'étude du plasma de quarks et de gluons font l'objet d'une attention particulière au LLR. Aujourd'hui, des membres de l'équipe analysent à cette fin les collisions d'ions lourds du LHC, au sein de CMS et de LHCb. De plus, le laboratoire accueille un théoricien de la physique des ions lourds. Le but de nos recherches est la compréhension du plasma de quarks et de gluons dans des conditions extrêmes de température (de l'ordre de 10^{12} K) telles que celles de l'univers primordial, quelques micro-secondes après le big-bang, ainsi que l'étude de différents aspects de chromodynamique quantique dans les collisions nucléaires (collisions proton-noyau et noyau-noyau) et proton-proton de haute multiplicité. De 2000 à 2013, le laboratoire a entretenu une activité auprès du collisionneur RHIC au Brookhaven National Laboratory (New-York, USA). L'activité est aujourd'hui terminée, mais les physiciens impliqués continuent à signer automatiquement des articles, 57 de 2013 à 2017.

ACTIVITÉS IONS LOURDS DANS CMS

L'équipe a été fondée en 2009 grâce à une bourse de l'ERC. Elle est constituée de deux expérimentateurs, d'un théoricien associé à l'expérience et elle a accueilli un nombre important d'étudiants en thèse (5) et de chercheurs post-doctorants (10), financés auprès de diverses agences (ERC, ANR, IN2P3, bourses Marie Curie, Polytechnique...). Elle déploie ses activités sur trois thématiques, développées dans les paragraphes suivants sur la période considérée. Seuls les résultats que nous avons produits et dirigés sont mentionnés.

Tous les membres du groupe, thésards, postdocs ou permanents sont invités à présenter leurs travaux en conférence internationale typiquement une fois par an. De plus, nous avons honoré de nombreuses invitations d'exposés en séance plénière dans les conférences majeures du domaine (Quark Matter, Hard Probes, EPS-HEP, Strange Quark Matter).

Quarkonia (6 analyses)

Les données PbPb de 2011 furent l'occasion d'analyser la production du charmonium excité $\psi(2S)$ que nous avons vu plus supprimé que le J/ψ à grande impulsion transverse (p_T).



Un indice (statistiquement peu significatif) qu'il pourrait être moins supprimé à petit p_T a suscité un certain émoi dans la communauté. Le groupe a travaillé essentiellement seul sur ce sujet qui a conduit à une publication dans PRL en 2014. Cette mesure a été de nouveau effectuée à l'énergie du run 2 et publiée dans PRL en 2017. Les données de 2011 ont également permis l'analyse de la production de J/ψ avec vingt fois plus de statistique que précédemment et de l'étendre à une nouvelle observable, l'anisotropie azimutale. Ce travail important a été finalisé par un

article de référence sur les J/ψ , publié dans EPJC en 2017, qui contient la version ultime des résultats du run 1. La même approche a été appliquée aux mésons $Y(nS)$ et l'analyse finale a formé le cœur d'une thèse. L'inclusion de données pp précises a permis d'étendre la mesure à la dépendance de la suppression en fonction de la cinématique de l'upsilon, rapidité et p_T , dont les résultats sont publiés dans PLB en 2017. Plus récemment, la suppression des J/ψ dans les collisions PbPb du run 2 a été étendue à une gamme en p_T encore jamais atteinte, jusqu'à environ 40 GeV, ce qui permet de sonder pour la première fois les effets de pertes d'énergie dans le canal du J/ψ . Cette analyse a été publiée dans EPJC début 2018. En plus des collisions PbPb, notre groupe a été impliqué dans l'analyse de la production de $Y(nS)$ dans les collisions pPb, publiée dans JHEP en 2014.

Bosons faibles (3 analyses)

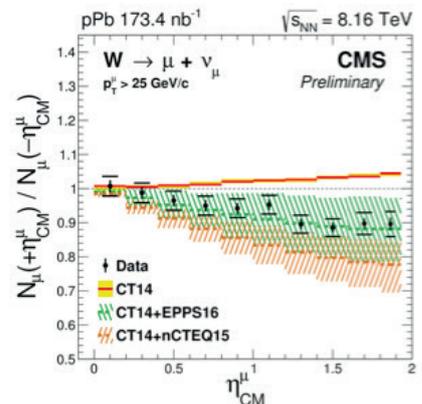
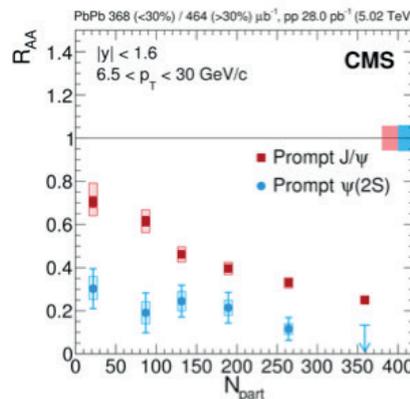
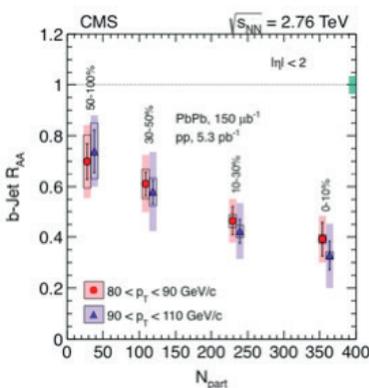
La production de bosons W en collisions pPb est particulièrement intéressante pour contraindre fortement les distributions de partons nucléaires (nPDF). La statistique dix fois plus grande que celle du Z , les deux états de charge permet-

tant de différencier quarks up et down, et l'asymétrie de la collision pPb par rapport à PbPb sont autant d'avantages pour contraindre les nPDF. Cette analyse est présentée dans une thèse et publiée dans PLB. Nous venons de finaliser l'analyse des bosons W en collisions pPb à 8 TeV et nos résultats (préliminaires) contraignent et discriminent fortement les PDF nucléaires. Ils forment le cœur d'une thèse en cours et vont être soumis prochainement. Auparavant, nous avons conduit une analyse des bosons Z , en l'étendant au canal diélectron (publiée dans JHEP).

Jets (3 analyses)

En parallèle de nos analyses «leptoniques», nous avons développé une activité sur les jets, et conduit en particulier la première extraction des jets issus des quarks de b . Ce travail a reçu un excellent accueil et a été accepté pour publication dans PRL qui l'a sélectionné pour un viewpoint. L'analyse montre que les jets de b sont autant supprimés que les jets inclusifs, ce qui n'était pas forcément attendu. Plus récemment, une mesure d'asymétrie en l'impulsion des paires de jets de quark b a été publiée dans JHEP, ce qui permet d'éliminer le bruit de fond issu de la fragmentation de gluons.

Une autre analyse porte sur la production de paires de jets dans les collisions pPb, qui apporte une contrainte forte sur les PDF nucléaires de gluons. Les résultats ont été publiés dans EPJC et sont utilisés dans les analyses les plus récentes de PDF nucléaires, comme EPPS16, avec nos résultats sur les bosons faibles.



Exemples de mesures réalisées par l'équipe CMS ions lourds : quenching des jets de quark b (gauche), suppression des charmonia (centre), asymétrie des bosons W (droite).

Responsabilités dans la collaboration

Durant deux périodes, 2010-11 et 2014-15, nous avons été coresponsables (convener) de toutes les activités ions lourds de CMS. D'autres membres de l'équipe ont également été responsables de deux des cinq sous-groupes : « highpt » et « dilepton ». Nous assumons aussi des responsabilités plus techniques : coordinateur du software pour les ions lourds, responsable de la centralité, ainsi que d'autres par le passé (performance et déclenchement pour les muons ou les jets). Nous avons aussi des responsabilités plus transverses : membre des trois comités de publications (ions lourds), de carrières, et international de CMS, et responsable national pour le calcul dans CMS.

LHCb



ACTIVITÉS IONS LOURDS DANS LHCb

En février 2015, le groupe a rejoint la collaboration LHCb afin de mettre en œuvre un nouveau programme de physique, exploré et développé au LLR. L'objectif de ce projet est d'étudier la production des particules charmées dans les collisions de proton et d'ions avec des noyaux à des énergies très inférieures aux énergies atteintes en mode collisionneur auprès du LHC. L'objectif scientifique de ce projet est d'étudier précisément la suppression de la production des états liés de mésons charmés (tels que le J/ψ) dans les collisions d'ions lourds afin de caractériser la transition de phase de la matière ordinaire vers un plasma de quarks et de gluons.

Le détecteur LHCb est une des quatre expériences fonctionnant auprès du Large Hadron Collider (LHC) du CERN. Il est dédié à l'étude de la production des hadrons constitués de quarks c et b produits dans les collisions opérées auprès du LHC. Le détecteur est équipé d'un système SMOG (System for Measuring Overlap with Gas) qui permet l'injection de gaz au point d'interaction, à l'intérieur du détecteur du vertex de la collision (le Vertex Locator), directement dans le tube du LHC. Ce système a originellement été proposé pour caractériser la luminosité reçue par le détecteur, en mesurant les interactions du faisceau du LHC avec le gaz injecté dans le tube. En reconstruisant les vertex des interactions, il est possible d'obtenir une image de la région de recouvrement des deux faisceaux et donc d'en déduire la luminosité délivrée par le LHC.

L'idée centrale du projet est d'exploiter cette capacité unique d'injecter du gaz dans le tube de l'accélérateur pour



effectuer des études de physique inédites en exploitant les collisions entre les faisceaux de proton ou de plomb et le gaz injecté. L'énergie dans le centre de masse de la collision dans cette configuration cible fixe permet d'atteindre des énergies de l'ordre de la centaine de GeV, très inférieures aux énergies de l'ordre de 1 à 10 TeV obtenues dans le mode collisionneur.

LHCb est instrumenté pour couvrir la région avant des collisions, dans une gamme de pseudo-rapacité entre 2 et 5. C'est le seul détecteur au LHC possédant, dans cette région de l'espace des phases, un ensemble complet de sous-détecteur pour : la reconstruction du vertex, la trajectographie, l'identification des particules et la reconstruction de l'énergie. Cette géométrie vers l'avant permet, dans la configuration cible fixe, grâce au boost induit par le faisceau, de couvrir l'ensemble de l'hémisphère arrière jusqu'à la région centrale en rapidité.

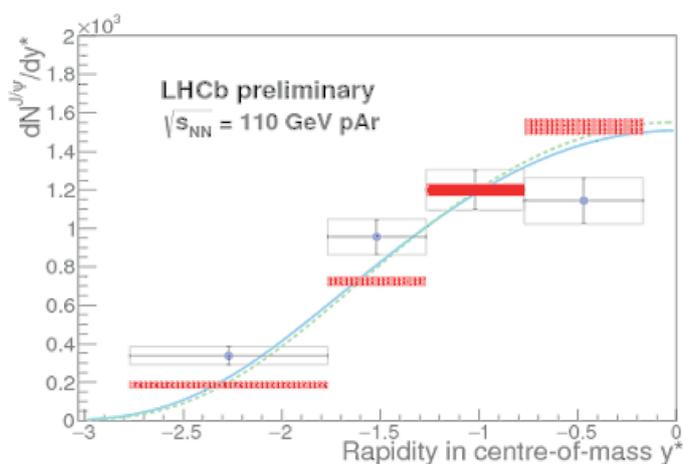
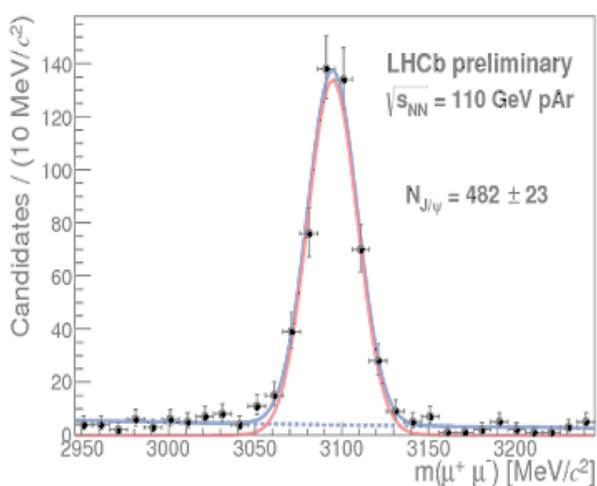
À l'hiver 2015, les premières collisions entre le faisceau de proton du LHC et de l'argon injecté dans le détecteur ont été

enregistrées. Elles ont été suivies, à l'hiver 2016 par une prise de données proton-hélium. Ces données ont été analysées par un membre de l'équipe dont le travail et les résultats ont été salués, en 2017, par l'obtention du prix l'Oréal-Unesco pour les femmes et la science.

Ces résultats ont été présentés par le groupe dans des conférences et ateliers

internationaux du domaine. Le programme cible-fixe est aujourd'hui intégré au programme de physique officiel de la collaboration LHCb.

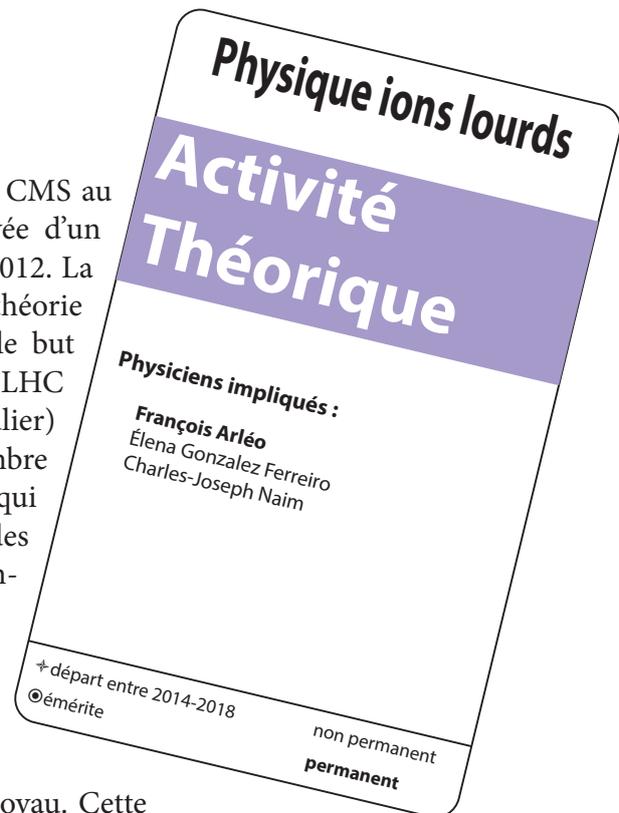
En termes de responsabilités, nous sommes coordinateur, depuis janvier 2017, du groupe chargé des opérations du système SMOG et coordinateur, depuis janvier 2018, du groupe d'analyse des collisions d'ions lourds et des collisions en mode cible-fixe.



ACTIVITÉS THÉORIQUES EN IONS LOURDS

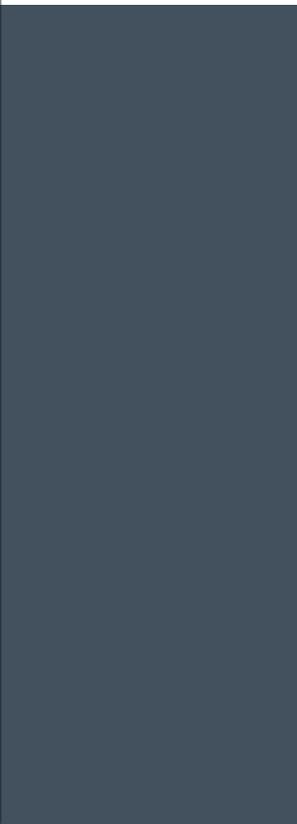
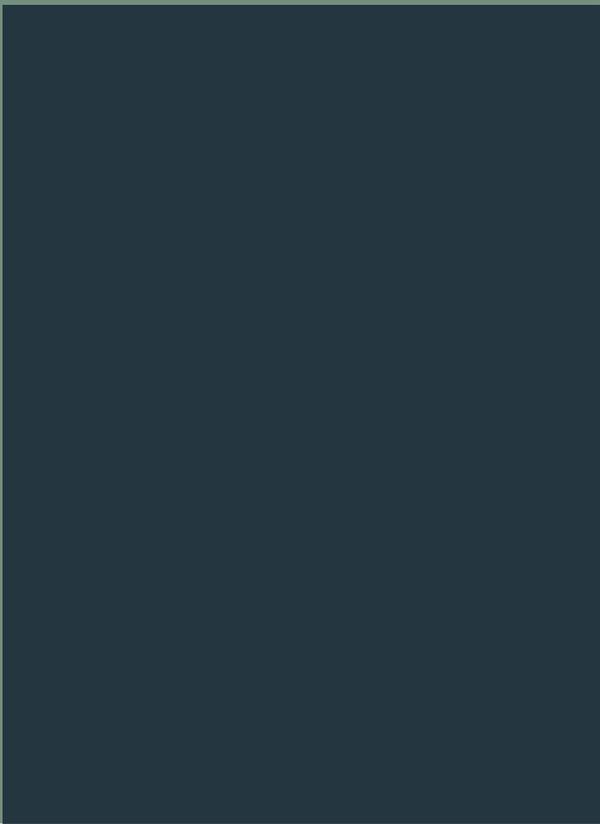
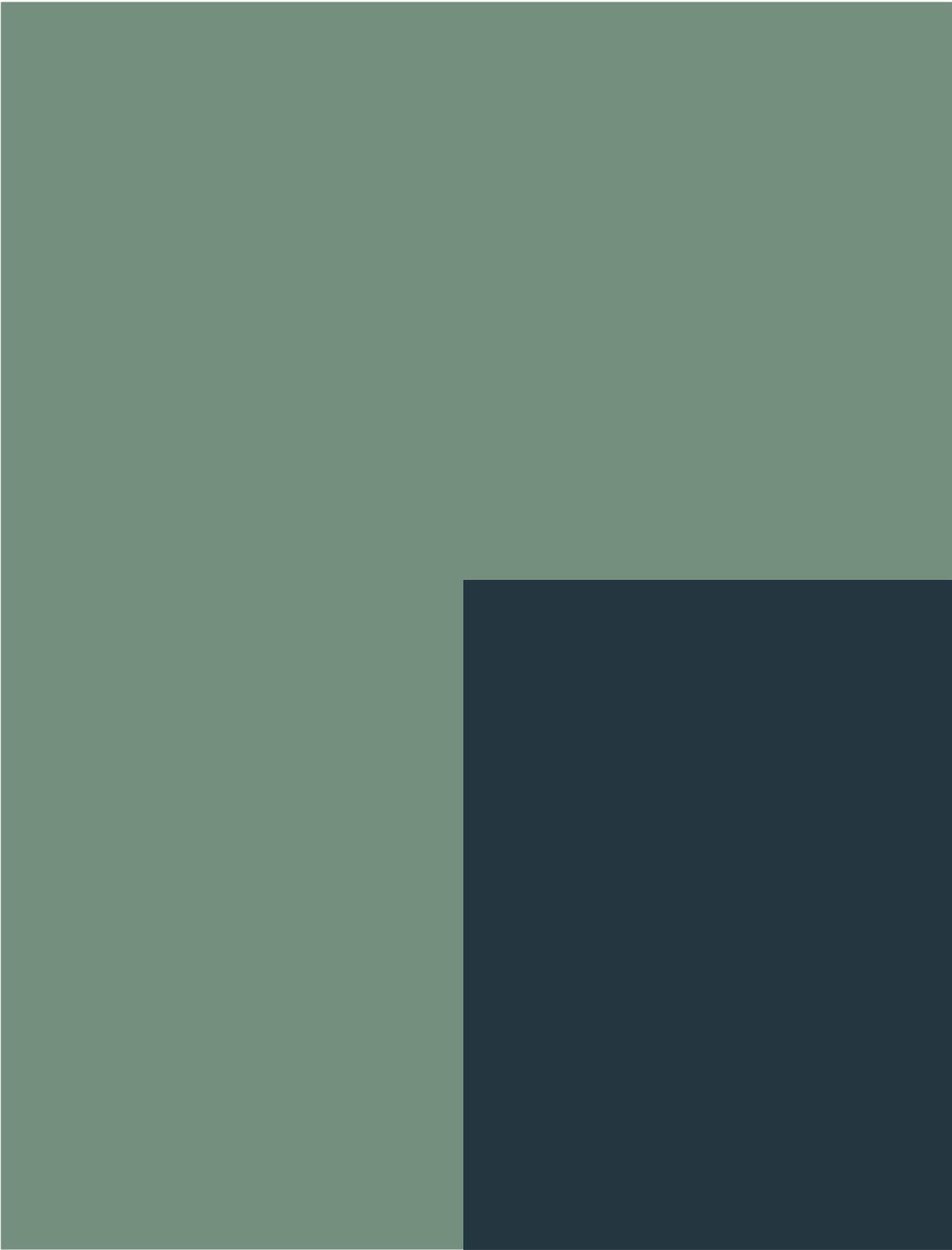
Enfin, le groupe ions lourds du CMS au LLR s'est renforcé avec l'arrivée d'un théoricien, à la fin de l'année 2012. La synergie entre expérience et théorie nous paraît essentielle, dans le but d'interpréter les résultats du LHC (et de CMS et LHCb en particulier) et d'envisager de nouvelles mesures. Ce membre a le statut de théoricien associé à CMS, ce qui lui permet de contribuer ponctuellement à des analyses et signer les publications correspondantes.

Au cours des dernières années, nous avons développé une approche théorique nouvelle, fondée sur les pertes d'énergie de partons dans la matière nucléaire, afin de décrire la suppression de quarkonia dans les collisions proton-noyau. Cette approche a conduit à la publication de 8 articles au retentissement fort dans la communauté. De plus, nous avons travaillé sur les aspects théoriques de la production de W dans les collisions hadroniques, en lien avec l'analyse expérimentale de CMS. Enfin, l'analyse des données de suppression de hadrons au LHC dans une approche originale, a été publiée dans PRL.





L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR
ET LA FORMATION
PAR LA
RECHERCHE



L'ENSEIGNEMENT ACADÉMIQUE ET LE LLR

A la date où ces lignes sont écrites (début 2019), le laboratoire ne dispose pas d'enseignant-chercheur à temps complet. Néanmoins, le personnel du laboratoire est impliqué à divers titres dans l'enseignement académique : au sein de l'École polytechnique et de l'École des Mines de Paris mais également dans le master de Physique des Hautes Énergie porté par l'École polytechnique. Ainsi à l'École polytechnique, nous intervenons dans le cycle ingénieur et le cycle bachelor récemment mis en place. Des cours et petites classes (travaux dirigés) sont dispensés en tronc commun de la première année du cycle ingénieur (Mathieu de Naurois et Pascal Paganini sont impliqués dans l'enseignement de la mécanique quantique) mais l'essentiel de nos enseignements sont dispensés en troisième année dans le cadre des programmes d'approfondissements (Michel Gonin et Pascal Paganini assurent les

cours de physique des particules ; Mathieu de Naurois et Arnd Specka sont impliqués dans l'enseignement du cours Énergie et environnement aux côtés de Michel Gonin ; Yannick Geerebeart participe aux travaux expérimentaux en électronique et enfin Thomas Mueller, Alexandre Zabi et Stephen Fegan contribuent au cours traitant des aspects expérimentaux de la physique des particules). Mentionnons également la participation d'Alexandre Zabi en deuxième année du cycle ingénieur aux Modules Appliqués en Laboratoire (MODAL). Au sein du cycle bachelor, Arnd Specka est le responsable académique pour la physique. Il y enseigne au niveau L2 la mécanique quantique. En marge de l'enseignement, depuis de nombreuses années, des membres du laboratoire participent au concours d'admission à l'École polytechnique. Ainsi Michel Gonin assure la direction du concours tandis que Florian Beaudette, Olivier Drapier et Raphael Granier de Cassagnac y sont des examinateurs.

Quelques chercheurs sont également impliqués dans l'enseignement à l'École des Mines de Paris (Olivier Drapier et Vincent Boudry assurent les cours d'introduction à la physique des particules et à la cosmologie, le premier dispensant en outre le cours de physique nucléaire). Le master de Physique des Hautes Énergies porté par l'École polytechnique (master relevant de la mention physique de l'université Paris-Saclay jusqu'en 2019) attire naturellement plusieurs chercheurs du laboratoire. Tout d'abord la direction de ce master est assurée par Pascal Paganini en collaboration avec un théoricien du laboratoire de physique théorique du centre de recherche de l'École polytechnique. Ensuite cinq chercheurs participent à l'enseignement : François Arléo traite de la physique des ions lourds au LHC, Jean-Claude Brient est en charge du cours sur les détecteurs de physique des particules, Denis Bernard enseignait jusqu'en 2018 la physique des saveurs lourdes, Thomas Mueller y dispense la

partie expérimentale du cours dédié aux neutrinos et enfin Mathieu de Naurois assure le cours sur les astroparticules. Cette forte implication dans ce master permet d'attirer des étudiants de très haut niveau en thèse au laboratoire (de l'ordre de deux par an en provenance de ce master)

Comme on peut le constater, l'implication du personnel du laboratoire dans l'enseignement académique est étroitement liée au cœur de métier du laboratoire.

LES THÈSES

2015

Electron measurements and constraints on the spin-parity and anomalous HVV couplings in the H to ZZ* to 4 leptons decay channel with the CMS detector	KOVAC Marco CMS Y. SIROIS
WANG Shaobo ASTRO/HARPO D. BERNARD	La mesure des sections efficaces d'interactions de neutrinos par courant chargé et la recherche d'une violation de l'invariance de Lorentz dans l'expérience T2K
Associate Higgs boson production with a decay into a tau pair	MASTROLORENZO Luca CMS F. BEAUDETTE
FILIPOVIC Nicolas CMS M. NGUYEN	Mesure de la suppression des upsilons en collisions d'ions lourds au LHC

2016

Observation et mesure des propriétés du boson de Higgs dans les voies de production par couplage WWH et ZZH au LHC	REGNARD Simon CMS Y. SIROIS/R.SALERNO
LISNIAK Stanislas CMS M. NGUYEN	The transverse momentum balance of b-jet pairs in heavy-ion collisions with the CMS experiment at the LHC
Développement d'un circuit de lecture pour un calorimètre électromagnétique ultra-granulaire	CIZEL Jean-Baptiste Électronique R. CORNAT

2014

Contraire les distributions de partons dans les noyaux grâce au boson w produits dans les collisions Ppb à $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ TeV avec le détecteur CMS	FLORENT Alice CMS R. GRANIER		
QUILAIN Benjamin NEUTRINOS O. DRAPIER	La mesure des sections efficaces d'interactions de neutrinos par courant chargé et la recherche d'une violation de l'invariance de Lorentz dans l'expérience T2K	NARANJO FONG CMS P. PAGANINI	Reconstruction des leptons tau et recherche de bosons de Higgs se désintégrant en paires de leptons tau avec l'expérience CMS auprès du LHC
Measurements of the Higgs boson mass and width in the four-lepton final state and electron reconstruction in the CMS experiment at the LHC	DALCHENKO Mykhailo CMS S. BAFFIONI	Measurements of the Higgs boson mass and width in the four-lepton final state and electron reconstruction in the CMS experiment at the LHC	HADDAD Yacine ILD V. BOUDRY

2017

Recherche de la production de paires de bosons de Higgs dans le canal de désintégration $b\bar{b}\tau^+\tau^-$ avec le détecteur CMS auprès du LHC	CADAMURO Luca CMS Y. SIROIS/R. Salerno
ZEFI Floriana ASTRO/HESS S. FEGAN	Étude de la variabilité temporelle de l'émission gamma du blazar B2 1215+30 avec Fermi-LAT et de la Nebuleuse du Crabe avec le réseau de télescope H. E. S. S.
Étude du couplage du boson de Higgs au quark top au LHC dans l'expérience CMS	STREBLER Thomas CMS P. PAGANINI
PIGARD Philipp CMS C. CHARLOT	Identification des électrons et mise en évidence de la diffusion de bosons massifs dans les événements à quatre leptons et deux jets avec le détecteur CMS auprès du LHC

Reconstruction of leptonic physics objects at future e+e- Higgs factory	YU Dan ILD V. BOUDRY	2018			
MARIAUD Christian ASTRO/HESS M. DE NAUROIS	Les systèmes binaires émetteurs de rayons gamma au TeV ?			STAHL Andre Govinda CMS R. GRANIER	Mesure des bosons W en p-Pb à 8.16 TeV et des charmonia en Pb-Pb à 5.02 TeV avec le détecteur CMS au LHC
Development and optimization of highly granular silicon tungsten electromagnetic calorimeter for International Linear Collider	SHPAK Kostiantyn ILD V. BALAGURA			Etude de la production d'un pion dans l'interaction de neutrinos muoniques avec le nouveau détecteur WAGASCI au Japon	LICCIARDI Matthieu NEUTRINOS / T2K M. GONIN
Mesure des propriétés du boson de Higgs via ses désintégrations en 4 leptons dans le détecteur CMS dans les collisions pp à 13 TeV au LHC	SCULAC Toni CMS Y. SIROIS/R. SALERNO				

Les thèses en cours

2016-2019

Chiara AMENDOLA (CMS, F. Beaudette)
 Qihua HUANG (JUNO, O.Drapier/M. Darcos)
 Olivier VOLCY (T2K, Th. Mueller)

2017-2020

Diab BATOUL (CMS HI, M. Nguyen)
 Cristina MARTIN-PEREZ (CMS, A. Zabi)
 Janeth VALVERDE (FERMI, D. Bernard/D. Horan)
 Jonas REMBSER (CMS, Ph. Busson)
 Imène ZEMZEMI (GALOP, A. Beck)

2018-2021

Matteo BONANOMI (CMS, S. Salerno/Y. Sirois)
 Alice COFFANI (SK, M. Gonin)
 Guillaume FALMAGNE (CMS HI, R. Granier de Cassagnac)
 Felipe GARCIA (LHCb, F. Fleuret)
 Duje GILJANOVIC (CMS, C. Charlot)
 Jacques Muller (HESS, M. de Naurois)

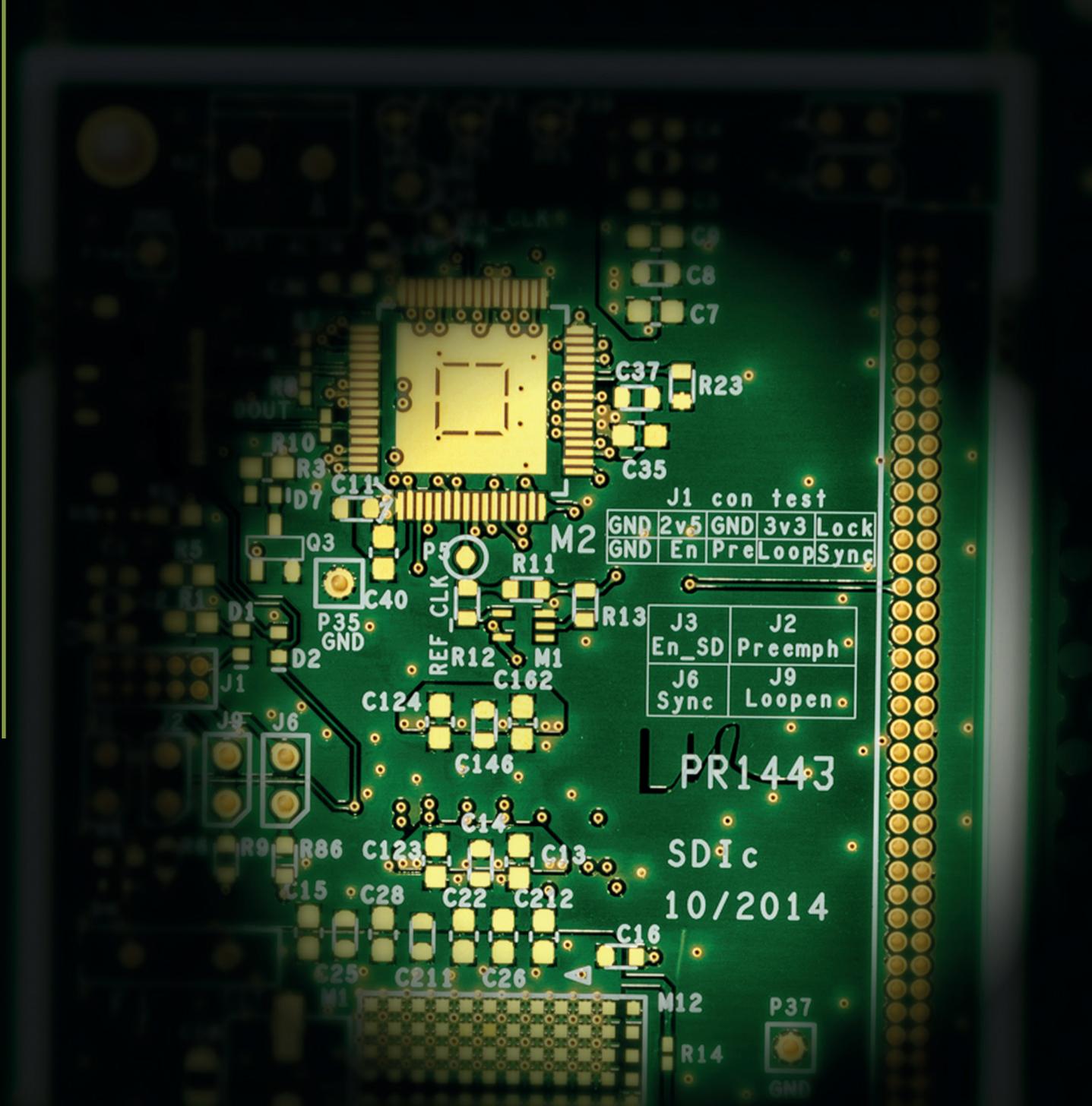
A man wearing a white lab coat, a white hairnet, and glasses is looking towards the camera. He is standing in a laboratory or industrial setting. In the background, there is a large, blue, circular structure, possibly a piece of machinery or a large container. The lighting is bright, and the overall scene is clean and professional.

**LES EXPERTISES ET
LES RÉALISATIONS
TECHNIQUES**

Le LLR est engagé dans des développements techniques ou des R&D liés aux projets de recherche du laboratoire. Les services, composés d'ingénieurs et de techniciens sous la responsabilité d'un responsable de service, permettent de répondre favorablement aux diverses sollicitations dans les domaines que sont : la mécanique, l'électronique, l'instrumentation, l'informatique, la logistique et l'administration. Ces services ont donc pour mission de proposer des solutions innovantes, basées sur leur expertise et leur savoir-faire, afin de répondre au mieux aux besoins des chercheurs. Ils assurent aussi le développement de projets génériques et transversaux, le transfert et la valorisation des expertises

techniques ainsi que la mise en place et la maintenance des infrastructures du laboratoire nécessaires au bon fonctionnement des projets scientifiques.

En terme d'aide au pilotage des projets techniques, le laboratoire s'est doté d'un « Comité Technique de Revue de Projets » (CTRP), animé par le directeur technique. Il est composé de la direction et des responsables de services. Ce comité, saisi à chaque proposition de nouveau projet ou encore lors de suivi des projets en cours, est chargé d'évaluer la bonne adéquation entre les demandes techniques et les ressources en personnel du laboratoire.



ÉLECTRONIQUE
&
INSTRUMENTATION

GND	2v5	GND	3v3	Lock
GND	En	Pre	Loop	Sync

J3	J2
En_SD	Preemph
J6	J9
Sync	Loopen

PR1443

SDI c
10/2014

ÉLECTRONIQUE & INSTRUMENTATION

Missions et compétences

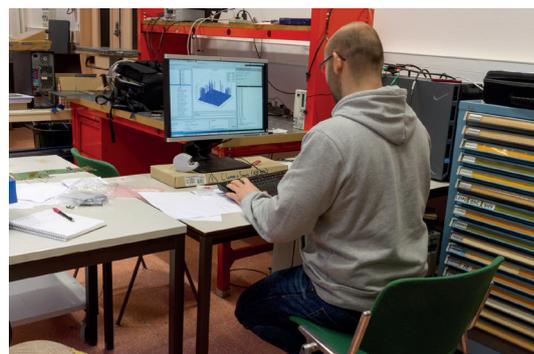
Le service électronique et instrumentation est composé de 4 Ingénieurs de Recherche (IR), 2 Ingénieurs d'Etude (IE) dont 1 CDD et 2 Assistants Ingénieur (AI) dont 1 CDD. Les activités du service couvrent un large domaine de la discipline tant pour la conception matériel d'électroniques numériques que du point de vue logiciel pour l'acquisition et le traitement de données, ainsi que pour la partie contrôle et commande. Le service étudie, conçoit et réalise des systèmes électroniques spécifiques aux projets auxquels participent les équipes de recherches du laboratoire au sein de collaborations nationales ou internationales.

Depuis 6 ans, 3 IR du groupe informatique «on-line» du laboratoire sont fonctionnellement rattachés au service. L'objectif est de mettre en œuvre une approche combinée de développement matériel et logiciel des systèmes pour les détecteurs de physique. De ce fait nous avons pu développer des bancs tests pour la lecture de détecteurs ou en assurer le contrôle et commande via des électroniques périphériques. Cette compétence a permis au groupe «on-line» de développer un environnement logiciel complet d'acquisition et contrôle dédié. Celui-ci est aujourd'hui distribué et utilisé au sein de projets ou collaborations national ou international.

Pour l'expérience CMS au CERN, le service a acquis un savoir-faire reconnu en matière de développement et mise



en œuvre de systèmes électroniques équipés de liaisons séries à haut débit et de composants programmables de type FPGA. Pour ces derniers des algorithmes spécifiques ont été créés sous la forme de «firmware», notamment utilisés dans l'électronique de déclenchement du sous détecteur calorimètre électromagnétique (ECAL) de CMS. L'équipe impliquée a conçu et maintenue ces firmwares pour les 120 cartes de déclenchement du ECAL qui ont été également développées et produites au LLR. Le travail effectué durant l'année 2017 sur ce sujet a valu à deux ingénieurs du groupe de se voir décerner par l'expérience



internationale CMS une distinction qui montre la qualité du travail réalisé et leurs engagements pour l'expérience. Plus récemment, ces membres du groupe sont impliqués sur de nouveaux concepts d'algorithme de trigger pour la phase Haute Luminosité du LHC et notamment pour le nouveau sous-détecteur à haute granulométrie HGAL de CMS. Par leur participation active aux groupes de travail mis en place par la collaboration et en partenariat étroit avec les physiciens du groupe CMS du LLR, ils ont déjà influencé de manière notable l'architecture électronique en cours d'élaboration. Ces développements poussent le service à relever des défis techniques toujours plus ambitieux dans la manière de concevoir et d'implanter des algorithmes et d'utiliser des méthodes et outils de conception qui sont mis à disposition des ingénieurs de conception. Ceci permet au service de se positionner comme un des leaders dans le domaine «développement firmware sur FPGA».

Un autre domaine d'excellence du service concerne la maîtrise de chaînes d'acquisition de donnée pour détecteurs de Physique mis en œuvre avec leurs capteurs et leurs électroniques associées. Mettant à profit la proximité de l'UMS OMEGA et certains projets dans lesquels le laboratoire est impliqué, le service réalise avec efficacité les développements d'électroniques pour le contrôle et la lecture d'ASIC du groupe OMEGA. Les agents impliqués déploient leurs compétences en électronique numérique sur composants programmables pour structurer les systèmes de transfert de données et de contrôle et commande. Le service conçoit aussi les bancs de tests pour la qualification de détecteur (mesure courant-tension, charge-tension, diaphonie électrique, stimulation optique) et/ou d'environnements électroniques dédiés (génération et analyse de vecteurs de tests sous forme numérique).

Afin de valoriser ces savoirs, les membres du service interviennent régulièrement par la formation d'étudiants et stagiaires, par des exposés lors de conférences et séminaires de collaboration ou par le biais de publications.

Des expertises, des moyens humains et matériels indispensables à la réussite des projets

L'effectif du service électronique, sur ces 5 dernières années, s'est stabilisé entre 6 à 8 agents en prenant en compte les CDD. Notre service n'a plus de technicien chargé des activités de maintenance, câblage et intégration. Celles-ci sont prises en charge par les responsables de projet quand cela est possible, sinon elles sont confiées à la sous-traitance générant des coûts supplémentaires qu'il faut donc prévoir à l'avance dans le financement de ces derniers.

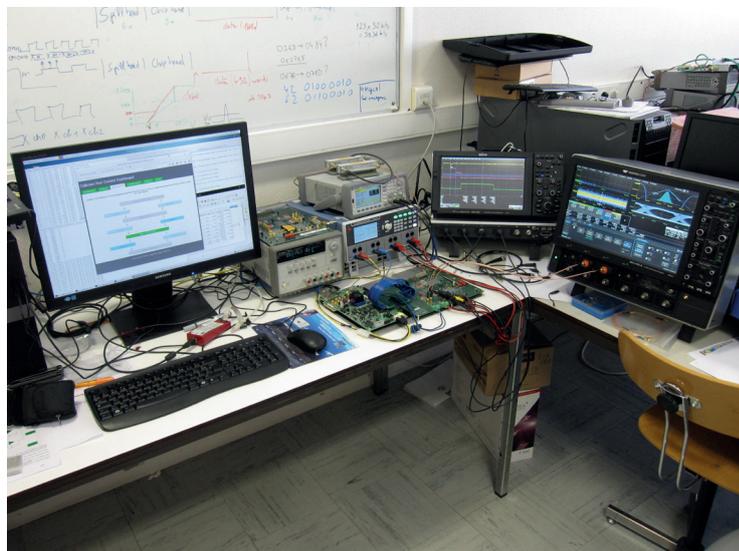
Le service étant en majorité constitué d'IR, notre implication se traduit souvent par la prise de responsabilité complète de projets ou sous projets. Ceci couvre un large domaine allant de la définition des fonctionnalités d'un système et des choix technologiques associés en concertation avec les groupes de physique jusqu'à l'installation et la mise en route de ces systèmes au sein des expériences. Le service s'implique aussi dans les activités de coordination technique des projets, comme par exemple pour les projets HARPO, CALIIMAX (financement ANR), SI-WCA ou via le groupe semi-conducteur du labex P2IO.

Le service possède des compétences avancées dans les domaines de l'électronique numérique notamment une grande connaissance et maîtrise des composants programmable (FPGA) de dernière génération ainsi que les langages associés pour leurs développement (VHDL pour lequel le LLR est référent pour l'IN2P3, le C ou C++). L'usage de ces composants permet de traiter des flux de données comme ceux du détecteur CMS au CERN, avec des débits pouvant atteindre plusieurs Térabits par secondes. Les algorithmes complexes de traitement numérique du signal mis en œuvre dans les systèmes de déclenchement des expériences font partie du savoir-faire du service électronique. Connaissant parfaitement les FPGA et les interfaces complexes rapides (liens séries haute vitesse), les membres du service instrumentent

des chaînes d'acquisition pour formater des données provenant de systèmes électroniques analogique bas bruit, faible consommation et possédant une large gamme dynamique. Le service, par exemple, a été impliqué pour la caractérisation de capteurs et de leur électronique de lecture associé :

- Projet SiW-ECAL : Wafer de silicium à base de diode PIN associé à l'ASIC SKIROC OMEGA
- Projet WAGASCI : Matrice de MPPC associé à l'ASIC SPIROC OMEGA
- Projet HARPO : TPC associé à l'ASIC AFTER de l'IRFU Deux AI dont un CDD ont la charge, au sein du service, de concevoir des cartes de circuits imprimés (PCB) multicouches, compactes et à haute densité, dans lesquels on trouve des signaux rapides et à bas bruits, parfois avec des liens séries atteignant les 5 gigabits/s. Les composants et les techniques employées sont souvent en limite de technologie. Pour ce faire, le souci constant des ingénieurs et des concepteurs PCB est d'assurer l'intégrité du signal et vérifier la compatibilité électromagnétique. Pour la phase de fabrication de série ou de prototype, le service électronique travaille en étroite collaboration avec des sous-traitants industriels, ce qui permet de tirer profit des meilleures technologies et techniques de production de cartes. Nos demandes sont parfois à la limite de ce qui est fabriqué jusqu'ici. La sous-traitance industrielle peut aussi couvrir un ensemble comprenant la fabrication du PCB, le câblage des cartes complètes et leurs tests fonctionnels, les montants financiers sont alors tel que des procédures de mise en concurrence sont requises.

Ces activités ne seraient possibles sans les moyens matériels disponibles au sein du service. Pour mener à bien leur



banc de test HGCROC PYRAME

projet, les agents utilisent des logiciels de pointes, notamment la chaîne de conception Cadence permettant la conception de carte (schématique, routage, vérification de l'intégrité du signal). Pour les développements sur FPGA, les ingénieurs utilisent principalement les outils logiciels pour les familles de composants de la société XILINX et des outils de simulation et synthèse tiers (ModelSim, Synplify). Le service possède des appareils de mesures performants permettant de tester les différentes réalisations. Parmi ceux-ci on peut citer, des oscilloscopes avec analyse logique combinée sur 32 voies, un SDA (Serial Data analyzer) 16GHz, 40 GEEch/s, trigger série à 14 Gb/s, des générateurs, des sources de tension pour la polarisation de capteurs, etc.

Le service maîtrise l'ensemble du pilotage des bancs de tests présent au LLR grâce au logiciel PYRAME développé par l'équipe «on-line». Ce logiciel est un «framework plug and play» qui associé à différents pilotes software de contrôle-commande de périphérique permettent de piloter différents appareils de mesure et d'assurer le contrôle et la lecture d'ASIC de type «front-end», par exemple.

Pour se maintenir au meilleur niveau et maîtriser les nouvelles techniques et méthodes, les agents du service attachent une grande importance à la veille technologique et participent régulièrement à des formations (formation CNRS ou IN2P3, formation CADENCE et autres).

Activités transverses

Le LLR est impliqué dans les réseaux technologiques métiers mis en place par l'IN2P3. Ainsi des agents font ou ont fait partie des réseaux DAQGEN, photo-détecteur ou semi-conducteur.

Le service encadre chaque année de 1 à 3 stagiaires de niveau M1 ou M2. Deux

apprentis ingénieur ont été accueillis durant la période 2012-2015. Un agent, titulaire d'une HDR, a assuré la direction d'un thésard sur la période 2013-2016.

Ces fonctions d'encadrement permettent la prise en charge de tâches dites de prospectives et peuvent être utiles à différents projets (transversalité). Certains étudiants sont susceptibles d'intégrer nos structures de recherche, ce qui a été le cas de trois de nos stagiaires entre 2013 et 2015 qui ont intégré des laboratoires de l'IN2P3 dont un en tant que ingénieur d'études au LLR.

Projets

CMS

Le groupe d'électronique participe aux études d'upgrade des calorimètres électromagnétique et hadronique (ECAL/HCAL) de l'expérience CMS. L'objectif est de remplacer la partie bouchons des calorimètres en fin de vie. Nous mettrons en œuvre, avec la montée en luminosité du LHC, une technique de calorimétrie silicium ultra-granulaire (High Granulometry CALorimeter / HGCAL) représentant plusieurs dizaines de millions de canaux d'électronique. De ce fait, nous sommes en présence d'un détecteur à 5 dimensions : η (angle éta), ϕ (angle phi), Z (N° plan), E (énergie), t (temps), constitué de 28 plans en Z pour la partie ECAL et 24 plans pour la partie HCAL. L'électronique de déclenchement devra prendre en compte un total de 38 plans et sera répartie dans des circuits ASIC situés dans le détecteur et dans des FPGA pour la partie hors détecteur.

En partenariat avec l'équipe de physicien CMS du LLR nous avons contribué à la définition de l'architecture de l'électronique embarquée dans le détecteur ainsi que celle située à l'extérieure du détecteur. Nous fournissons sous la forme

d'un bloc IP certaines fonctions d'électronique numérique devant être incluse dans un ASIC (ECON-T). Nous participons aussi au développement d'algorithmes innovants qui seront implantés dans les FPGA de la voie de déclenchement des calorimètres. En partenariat avec le laboratoire croate FESB basé à Split, nous sommes en charge des bancs de test de circuits ASIC prototypes (SKIROC2-CMS, HGCROC) développés par le laboratoire OMEGA, chargés de collecter les informations issues des détecteurs silicium. L'objectif est de valider les fonctions des circuits ASIC mais aussi d'en mesurer les performances.

Ces bancs valorisent les développements logiciels au sein du groupe par l'adaptation d'un environnement logiciel d'acquisition de données (PYRAME), développé au LLR initialement pour l'expérience Calice, et basée sur l'emploi de cartes électroniques spécifiques et programmables (DIF/GDCC).

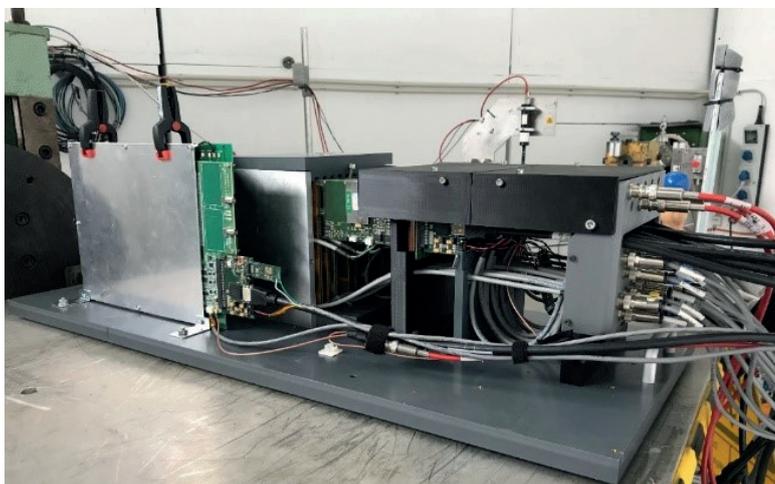
Pour le calorimètre ECAL existant, nous avons développé durant l'année 2015 un système électronique, sous forme de firmware, permettant de détecter les liens séries optiques à haute vitesse défaillants (Link Swing Detector / LSD) utilisés entre les électroniques «in detector» et «off detector». De plus un autre système de vérification de cohérence des données trigger (Cumulative Overflow Killing Engine / COKE) a été aussi implanté. Il vise à vérifier en temps réel si les données trigger sont affectées par du bruit, si elles sont cohérentes avec un fonctionnement normal de l'électronique «In detector», si elles respectent les règles de déclenchement. Ceci permettrait de pouvoir masquer dynamiquement par logiciel les parties élémentaires du système de déclenchement qui pourrait être la source de mauvaise information «trigger» et donc de générer un taux de déclenchement anormalement élevé. Tous les canaux étaient cycliquement démasqués pour les remettre en service si leur comportement n'était affecté que de manière transitoire. Un défaut récurrent serait néanmoins alors détecté puis à nouveau masqué dans le cas contraire. Un système de configuration paramétrable permet de rendre muet tout canal réputé irrémédiablement défaillant.

En 2017 une version COKE-V2 a été développée pour mieux prendre en compte le comportement plus hiératique des parties bouchons du ECAL situées à grand angle éta (près de l'axe des faisceaux LHC). Ce comportement est principalement lié à l'opacité grandissante des cristaux détecteurs et à l'irradiation cumulée de l'électronique associée. Cette version de COKE bien plus complexe et para-

métrable permet une détection de défaut et un masquage quasi instantané des canaux défaillants et limite donc les excursions illicites du taux de trigger qui jusqu'ici pouvait aboutir à une mise en pause de l'acquisition. Cette procédure imposait un redémarrage de l'acquisition et était source de perte de temps et donc de données de physique. La mise en place de ce système avec masquage matériel rapide a permis des gains d'efficacité du système d'acquisition de données et a été largement salué comme une réelle réussite pour l'ensemble de l'expérience CMS. Une distinction «CMS 2017 Detector Award» a été remis par l'expérience à nos deux ingénieurs pour leur réalisation sur le plan firmware et software. Nous soulignerons que ce système inventé par notre ingénieur n'avait pas fait l'objet d'une demande de l'expérience CMS mais que celui-ci avait anticipé ces défaillances et déjà apporté une solution pour en contrer les conséquences.

ILC/CALICE

Depuis quelques années, le service électronique est impliqué dans une phase de R&D sur les calorimètres ultra-granulaires, concept de détecteur optimisé pour la reconstruction du flux de particules, initialement prévue auprès des futurs collisionneurs e^+e^- . Notre contribution depuis 2014 est centrée sur l'instrumentation du calorimètre électromagnétique Silicium-Tungstène pour lequel nous avons coordonné les activités techniques de 4 laboratoires de l'IN2P3 (LAL, LPSC, LPNHE et LLR) de 2009 à 2017. Aujourd'hui nous collaborons également avec des partenaires japonais (Université de Shinshu et Tokyo). Les activités menées par le service sont variées et concernent l'ensemble de la chaîne instrumentale : conception et test



détecteur SiW-Ecal avec la nouvelle électronique hors du châssis

des cartes frontale, interface du détecteur, acquisition de données, banc de caractérisation de capteur et campagnes expérimentales

Carte Front End - FEV :

Cette carte fait partie intégrante du détecteur ECAL à granulométrie fine. Elle comporte du silicium détecteur (diode PIN) collé sur une face et des composants électroniques (ASIC pour la lecture du détecteur) soudés sur l'autre face. Ce circuit imprimé est caractérisé par sa capacité à être chaîné à d'autres cartes identiques, aboutissant à la création d'un module détecteur mesurant jusqu'à 2m de long et comprenant au maximum 12 cartes de type FEV (Very Front End board). On notera que le silicium est lui-même polarisé par l'application d'une haute tension (qq. centaines de volts) afin de créer dans le silicium une zone de déplétion dans laquelle sera déposée la charge électromagnétique de la gerbe de particules le traversant. Jusqu'en 2017, nous avons réalisé des prototypes comportant plusieurs routages afin de tester et valider différentes solutions techniques. L'objectif était d'avoir une carte assurant une fonction de détection optimale et de transmission des données de carte à carte sans pertes, en termes d'intégrité du signal (adaptation d'impédance, diaphonie).

En 2018, nous avons orienté notre conception de carte vers un format se rapprochant du design final du détecteur intégrant la nouvelle version d'ASIC SKIROC-2A fournit par le groupe OMEGA.

Système pour l'acquisition :

L'électronique de front-end est pilotée par un ensemble de cartes (DIF/GDCC) qui sont aujourd'hui des éléments essentiels pour d'autres projets et les différents bancs de tests développés au LLR.

La carte DIF permet de configurer, contrôler et lire l'ASIC SKIROC. Conçu

autour d'un FPGA, cette carte peut gérer jusqu'à 192 ASIC.

La carte GDCC conçue là aussi autour d'un FPGA, possède une connexion Ethernet cadencé au gigabit et elle assure l'ordonnement des données de 1 à 7 cartes DIF.

Les firmwares de ces cartes ont été étudiés de manière générique pour faciliter leurs évolutions suivant les besoins exprimés, ceci a été le cas pour la DIF. Le protocole «OneWire» y a été implanté afin de lire un nouvel identifiant unique sur chaque couche physique de détection et permettre également d'y acquérir régulièrement la valeur de température, paramètre influençant le comportement du silicium détecteur.

Prototype du détecteur :

En 2015, en collaboration avec le service mécanique nous avons décidé de déve-



SLAB long dans son châssis intégré à la structure de maintien

opper une nouvelle structure mécanique en aluminium pour assembler 10 couches physiques constituée chacune d'une carte détectrice de type FEV. Cet empilement a été conçu pour permettre la reconstruction des trajectoires de particules. Il a fallu étudier un système de support

pouvant maintenir jusqu'à 34 câbles (données et alimentation) et garantissant la fiabilité des connexions lors des campagnes de test en faisceau. Cette structure, équipée de pièces mécanique fabriquées à l'aide d'une imprimante 3D, a été étudiée pour permettre l'insertion à la demande de plaques de Tungstène situées entre chaque couche de détection. Ceci ayant finalement pour effet de permettre l'analyse de compacité des gerbes électromagnétiques.

Études des SLAB :

L'essentiel des développements ont été faits sur un détecteur nommé «SLAB court» composé d'une carte FEV et de son électronique de lecture. Dans le cas du détecteur final, le SLAB pourrait être constitué d'un assemblage de 12 cartes FEV représentant une couche de détection d'environ 2 m. Les principales difficultés d'un tel design sont alors les distributions d'alimentations et l'intégrité des différents signaux électriques parcourant l'ensemble de cette structure.

Nous étudions actuellement une architecture comportant 8 cartes FEV sur laquelle les premières R&D concernent les interconnexions. Une solution à base de conducteurs cuivre en nappe kapton a été envisagée mais écarté au profit de connexion par câble multi-brins en nappe et connecteur très bas profil. Des simulations sur les lignes les plus critiques, telles que les horloges, ont été réalisées à l'aide de l'outil logiciel «Sigrity» de Cadence. Cela nous permet de reproduire sur ordinateur des phénomènes expérimentalement constatés. Cette méthode permet surtout une analyse prédictive et valide les solutions techniques ou technologiques à mettre en œuvre pour assurer une transmission optimale des données via le respect d'une bonne intégrité des signaux ainsi analysés. Ces modifications éventuelles seront appliquées sur une nouvelle version de cartes prototype. En phase prototype et pour une optimisation des coûts, les cartes FEV ne sont équipées que de wafer 4x4 pixels au lieu de 16x16 pixels.

Afin de préparer les campagnes de tests faisceau à venir, un support transportable et orientable sur le site expérimental a été étudié et construit en collaboration avec le service mécanique du LLR.

Bilan et avenir

Les personnels tant électronicien que mécanicien impliqués sur ce projet ont largement participé aux différentes campagnes de test expérimentales sur les sites du CERN et DESY. Les résultats obtenus sur ces prototypes de détecteur ECAL ultra-granulaire et de technologie silicium-tungstène ont été probants, prometteurs et dans la continuité de ceux obtenus avant 2014. Ce concept est donc en bonne position pour être sélectionné comme détecteur auprès d'un futur collisionneur linéaire.

Les savoir-faire acquis par le service sur l'ensemble des développements sont aujourd'hui utilisés par d'autres projets, on peut citer l'upgrade CMS/HGCAL pour le concept de capteur à base de

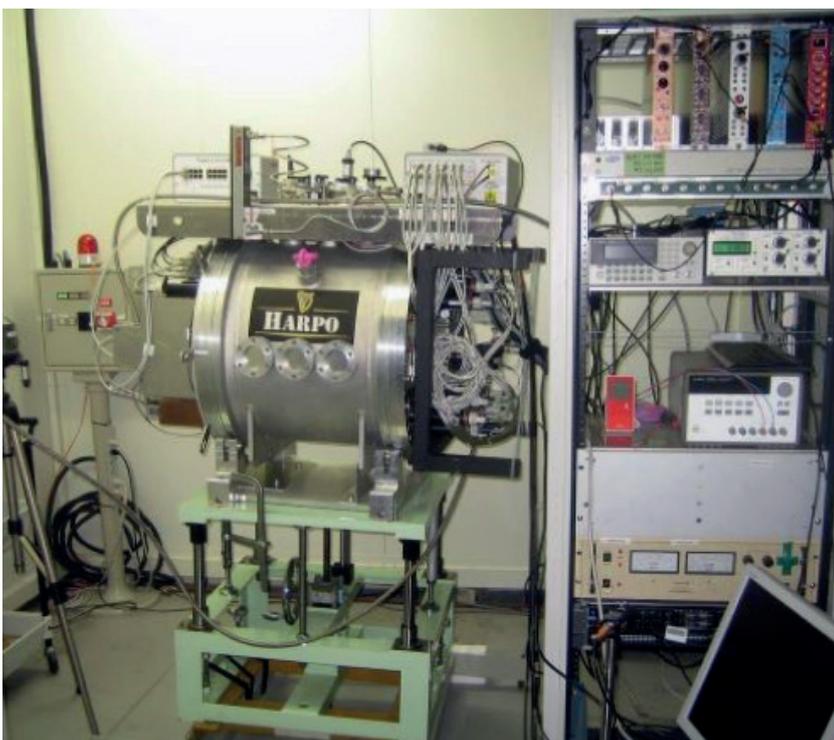
wafer de silicium ou T2K/WAGASCI pour la chaîne d'acquisition DIF/GDCC.

HARPO

Le groupe d'électronique s'est vu confié la responsabilité technique du détecteur HARPO et de ses développements électroniques.

HARPO est un programme de R&D visant à caractériser l'utilisation d'une chambre à projection temporelle (TPC) pour mesurer précisément la polarisation des photons gamma issus de sources cosmiques. Une TPC permet de mesurer la trajectoire des particules chargées issues de la conversion d'un photon.

La première étape du projet a été la construction et la caractérisation en rayons cosmiques d'un détecteur basé sur une TPC à gaz sous pression (5 bar). La seconde étape a été l'acquisition de données grâce à l'utilisation d'un faisceau de photons gamma polarisés au Japon.



Une TPC réalise une imagerie extrêmement fine de l'ensemble
Détecteur Harpo

des traces d'un événement. On peut comparer une TPC à un appareil photo 3D dont le nombre de pixels est proportionnel à sa dimension et à sa résolution, et dont la cadence de prise de vue correspond à la fréquence de production des traces. Ainsi, pour HARPO, le volume actif est un cube de 300 mm de côté avec une résolution de 1 mm, ce qui représentait 27 millions de pixels à enregistrer à la fréquence de plusieurs centaines de hertz. Pour minimiser ce flux, HARPO a été étudié autour d'une surface de collection à deux fois une dimension (des pistes X, Y et

pas des pixels). Cela a permis de réduire le flux à 180 milles données par événement (gain d'un facteur ~ 150) mais au prix d'une électronique et d'un logiciel sophistiqués, permettant de reconstruire l'événement initial.

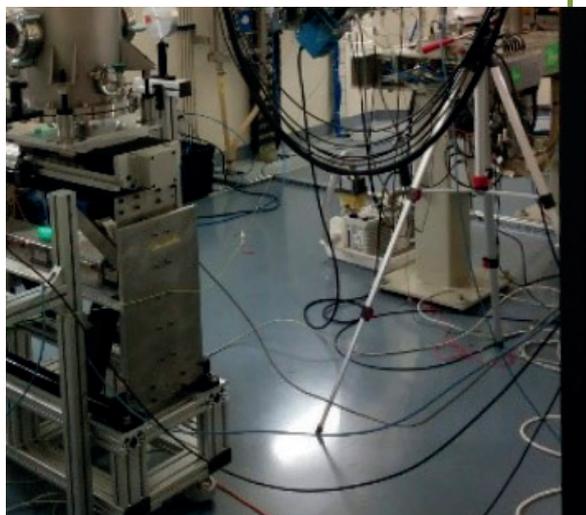
Ces contraintes ont influencées le choix des éléments du détecteur dont les points critiques ont été :

- la conception et validation du système de collection et d'amplification de charges, basées sur un assemblage innovant de deux techniques, MICROME GAS (MICROMesh Gaseous Structure) et GEM (Gas Electron Multiplier).

- la conception et la mise au point d'un système de sélection (trigger) qui a permis une prise de donnée efficace (>99 % du bruit rejeté) en faisceau à NewSUBARU (Hyôgo, Japon) en 2014 lors de laquelle soixante millions d'événements ont été enregistrés.

Ce travail a été présenté à deux conférences internationales (VCI2016 à Vienne et RT2016 à Padova).

La dernière étape du projet fut de caractériser l'évolution de la performance du TPC sur cinq mois en mode scellé, en analysant les données des rayons cosmiques, puis en retrouvant rapidement et complètement les propriétés initiales du gaz grâce à un système léger de purification et de circulation de gaz, montrant ainsi la viabilité



Instrumentation détecteur PEPITES

d'une TPC pour une mission spatiale.

PEPITES

PEPITES est un projet d'instrumentation médicale, il concerne la conception et le développement d'un profileur de faisceau ultra-mince, tolérant aux radiations et non destructif pour le faisceau. Son domaine d'application est la protonthérapie médicale.

Le groupe d'électronique a pris en charge la chaîne de lecture bas bruit pour la mesure de courant compris entre quelques femto ampère (fA) et jusqu'à 10 nano ampère (nA).

Les principaux défis de ce projet pour l'électronique sont :

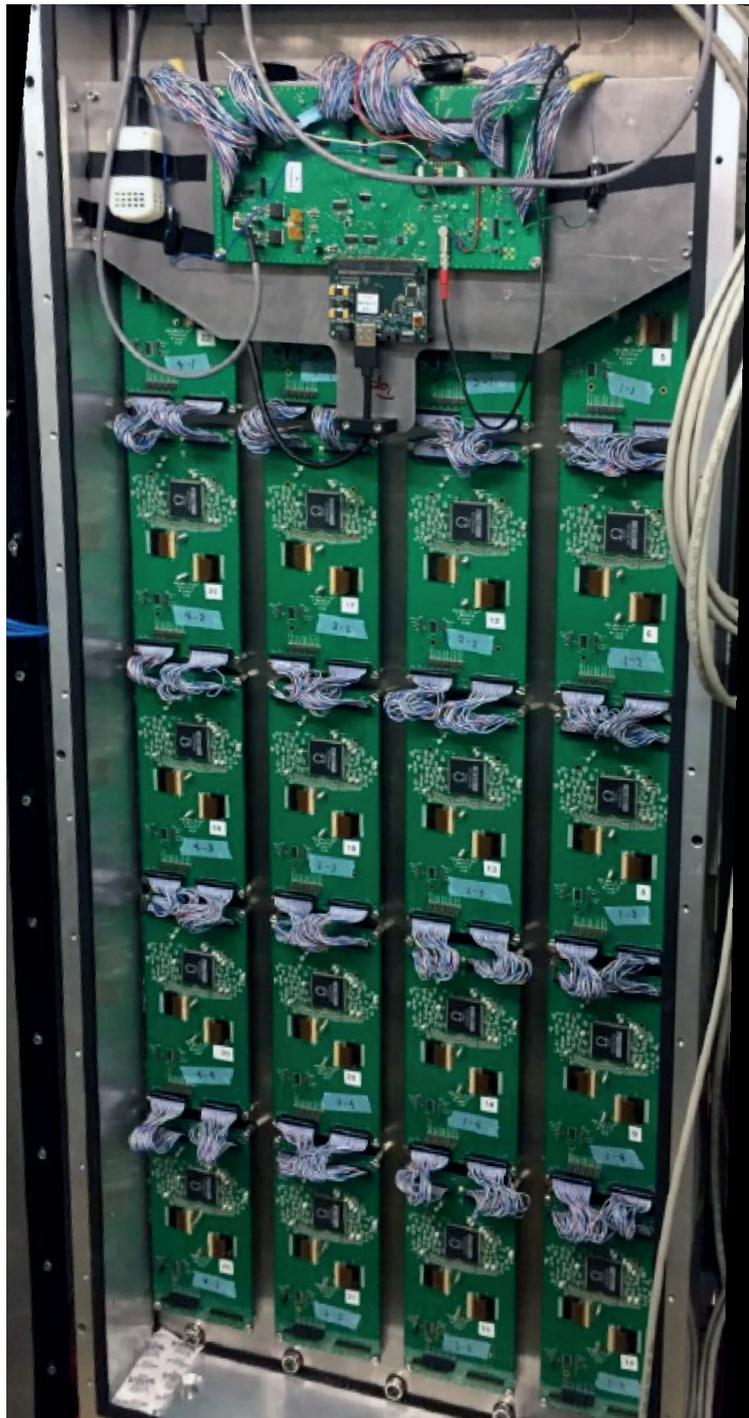
- la mesure de faibles courants (fA), sur une grande dynamique (nA) et sur plusieurs canaux (16 à 32),
- Bas-bruit,
- Compact,
- Faible consommation,
- Tolérant aux radiations (Rad-Hard).

Après plusieurs campagnes de mesures auprès du cyclotron ARRONAX (Accélérateur pour la Recherche en Radiochimie et Oncologie à Nantes Atlantique) qui ont permis de valider le principe physique du détecteur, nous étudions les électroniques nécessaires pour lire les signaux issus de l'électronique «Front-End» du profileur. Afin de mettre en œuvre une chaîne d'acquisition pour ce profileur, nous menons actuellement une activité de définition du cahier des charges avec une équipe du CEA/IRFU responsable de la conception de l'ASIC de lecture «Front-End».

Finalement, ce système électronique devra permettre aux médecins de valider la phase d'industrialisation du système complet en vue d'une commercialisation et dont le principe a fait l'objet, par le LLR, d'un dépôt de brevet.

WAGASCI

Le groupe Neutrinos du laboratoire a développé entre 2014 et 2017 un nouveau détecteur, appelé WAGASCI (Water- Grid-Scintillator-Detector), complémentaire du détecteur INGRID et qui tous deux font partie intégrante de l'expérience T2K opérationnelle à J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) au Japon. Il s'agit d'une expérience d'oscillation de neutrinos mesurant un faisceau de neutrinos muoniques à courte distance (280



1/4 module de détection WAGASCI

m) et à longue distances (295 km). L'accélérateur à J-PARC produit le faisceau, qui pointe vers le détecteur lointain Super-Kamiokande. Le but de ce nouvel appareillage à courte distance est de réduire les erreurs systématiques liées à une différence de matériaux cibles entre les scintillateurs et hydrocarbon (CH) du détecteur proche ND280 et l'eau pure (h₂O) de Super-Kamiokande. Pour cette expérience le service électronique s'était engagé à réaliser un système d'acquisition prototype pour la lecture de capteurs MPPC. Le but était que ceci puisse préfigurer l'électronique et l'acquisition finale du détecteur.

Ce projet a été organisé en plusieurs phases :

- ✦ Caractérisation et performance du choix d'un ASIC OMEGA
- ✦ Prototypage d'une chaîne d'acquisition pour lecture d'un MPCC
- ✦ Mise en œuvre d'un banc de test de production
- ✦ Suivi de production des cartes de la chaîne d'acquisition
- ✦ Transfert des dossiers de fabrication des cartes front-end au Japon
- ✦ Transfert de compétence auprès de la collaboration japonaise pour l'utilisation de la chaîne d'acquisition

Nous avons sélectionné le circuit ASIC SPIROC du laboratoire OMEGA comme élément de base du système d'acquisition. La carte ASU (Active Sensor Unit) sur laquelle a été implanté cet ASIC, a été routée de manière à ce que les signaux analogiques provenant des capteurs ne soient pas dégradés par l'environnement extérieur (liaisons courtes, blindage). Vingt cartes ASU peuvent être chaînées, les signaux numériques transmis sur l'ensemble des cartes interconnectées (liaisons longues) ont été routés pour ne pas engendrer de la diaphonie ou des ruptures d'impédances. Le respect de ces fortes contraintes sur ces deux classes de signaux à cohabitation difficile, a été une tâche essentielle lors de la conception du circuit imprimé de cette carte ASU et nous avons ainsi pu garantir un fonctionnement optimum de son électronique associée. Un ensemble de 5 prototypes a été réalisé afin de valider 1/8ème de module WAGASCI.

Pour la partie DAQ, nous avons réutilisé les cartes de la chaîne d'acquisition du projet CALICE (DIF, GDCC, CCC). Ce choix était possible car les caractéristiques du faisceau T2K ainsi que le taux de trigger étaient compatibles avec ceux du projet CALICE. L'adaptation nécessaire qui a été réalisée sur ces électroniques portait sur le Firmware de la DIF. Grâce aux méthodologies de dévelop-

pement générique sur FPGA déployées dans le service, cette DAQ a pu être rapidement mise en service. Durant l'été 2017, nous avons réalisé la mise au point et les tests d'un ensemble de 20 cartes ASU équivalent à un demi-module WAGASCI. Le contrôle-commande de l'ensemble de l'électronique a été effectué à l'aide du Framework Pyrame développé au LLR. Il est à présent déployé sur site et assure la configuration et le pilotage de l'ensemble de notre électronique.

Afin de lire les 276 MPPC de 32 voies qui équipent le détecteur, 276 cartes électroniques de front-end ont été réalisées par la collaboration japonaise suivant les documents fournis par le LLR. Aujourd'hui, le système complet est pris en charge par la collaboration japonaise grâce aux formations que nous leur avons proposées et conduites pour la mise en œuvre et l'utilisation de cette chaîne d'acquisition.

La réussite effective de ce projet ainsi que l'expérience acquise au LLR a sûrement motivé la collaboration Japonaise à proposer une implication du groupe neutrino du LLR dans les futurs upgrades T2K.

Bilan et perspectives ambitieuses

Les domaines liés à l'électronique sont en constante évolution et celle-ci est très rapide, ceci impose au service une politique volontaire pour la mise à jour des connaissances. Malgré un effectif pouvant être considéré de taille critique, le service a su se montrer performant grâce à ses savoir-faire, les R&D sur des projets innovants qu'il a conduit et les formations qui ont été suivies. Dans ce

contexte néanmoins difficile, le service doit veiller à conserver sa polyvalence au sein des projets qui sont développés et essayer de conserver, voire renforcer le couplage physicien-ingénieur qui a montré sa pertinence pour mener à bien les projets ambitieux pour lesquels le service a montré son efficacité. Le bilan de ces quatre dernières années est :

- Un investissement important sur les mises à niveau des «firmware» des cartes trigger Barrel et Endcap du sous détecteur ECAL, dans le cadre des «upgrade phase 1» de CMS, ainsi que pour une meilleure immunité aux défaillances intermittentes constatées sur l'électronique Front End directement connectées aux cartes trigger de ECAL.
- Fin de la R&D CALICE concernant nos implications importantes sur le système d'acquisition de données et instrumentation du calorimètre électromagnétique Silicium-Tungstène.
- Aboutissement du projet de R&D Harpo visant à mesurer précisément la polarisation des photons gamma issus de sources cosmiques par le déploiement de l'électronique de lecture de TPC.
- Déploiement d'une chaîne d'acquisition complète, du capteur (MPPC) jusqu'au logiciel d'acquisition pour le détecteur WAGASCI (Water Grid And SCIntillator) de l'expérience T2K. Ce détecteur doit permettre la réduction des systématiques par la mesure des diverses sections efficaces d'interaction des neutrinos par courants chargés sur l'eau, sur le plastique scintillant ainsi que leur rapport.

Dans les prochaines années, le service électronique devra assurer les engagements pris notamment pour l'upgrade CMS-HGCAL ceci concerne le développement d'algorithmes sophistiqués de déclenchement, et notre contribution aux tests et caractérisations de l'ASIC HGCROC conçu par l'unité OMEGA de l'IN2P3.

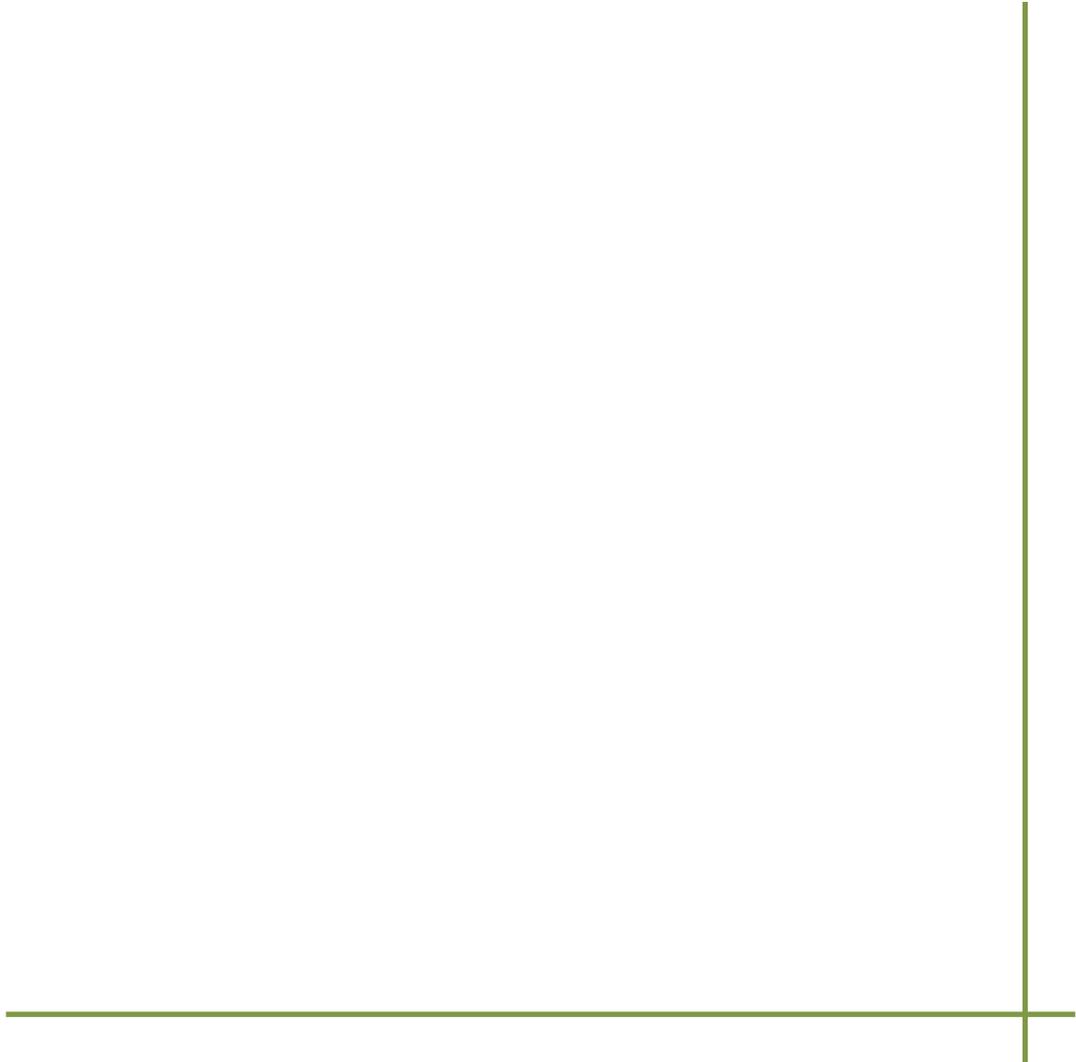
Des études préparatoires liées au projet

de futur collisionneur linéaire, seront maintenues tel que la calorimétrie et son électronique de lecture via des ASICs SKIROC. Le service devra être prêt à se positionner sur une tâche dont il prendrait la responsabilité.

Notre engagement sur les projets Neutrinos des années passées peuvent laisser présager de possible contributions aux upgrades T2K voire de mener de première réflexions à plus long terme concernant l'expérience HyperK.

De même, nous devons poursuivre notre contribution dans l'élaboration du cahier des charges et la mise en œuvre d'une chaîne d'acquisition pour la lecture d'une électronique bas-bruit développé par le CEA/IRFU/CEDI. Du point de vue technique et à moyen terme nous devons poursuivre notre acquisition de compétence pour la mise en œuvre de langage de conception avancés tel que SystemC, C ou OpenCL utilisés pour la synthèse de haut niveau avec des outils comme VIVADO HLS (High Level Synthesis) de XILINX. L'emploi avant-gardiste de cet outil, à la pointe des techniques de conception en électronique numérique et maintenant employé au sein de grandes collaborations en Physique des Particules, montre notre volonté d'être un service dynamique et investi dans ses missions. Nous devons aussi acquérir une expertise dans la simulation des «PCB» pour valider l'intégrité de la transmission des signaux sur des cartes toujours plus complexes, compactes, et contraintes en fréquence de fonctionnement.

Enfin plus généralement par la prise en compte d'outils et méthodes conception adaptés, la mixité matériel/logiciel, le déploiement, le test et la documentation, nous garantissons la qualité des produits et services fournis.



INFORMATIQUE



INFORMATIQUE

Le service informatique assure le soutien aux expériences dans lesquelles les physiciens du laboratoire sont fortement impliqués. Nos contributions recouvrent un large spectre d'expertises : les analyses et traitements des données, les simulations numériques, le pilotage de systèmes d'acquisition de données, la mise à disposition de services et ressources «haut de gamme» pour la grille LCG et nos plates-formes HPC, et un support au quotidien sur le matériel et logiciel des différents services et groupes de recherche du laboratoire.

Organisation en 4 sous-groupes

Les sous-groupes ou pôles rassemblent les ingénieurs et techniciens de par la nature des activités (situation des effectifs concerne l'année 2018) :

- Support & exploitation » (2 ETP) : concerne les activités de support «générique » et le réseau (architecture et sécurité)
- «Grille & calcul» (2 ETPs) : regroupe les activités autour de la Grille LCG (Tiers-2) et des plates-formes HPC
- «Développement online» (3,5 ETP) : traite des projets de systèmes de contrôle/commande et chaînes d'acquisitions pour nos détecteurs ou nos bancs tests
- «Développement offline» (4 ETP) : s'occupe de projet d'analyses de données et/ou de simulations numériques pour nos expériences

Deux cellules transverses permettent d'échanger des infor-



mations et expertises :

- Cellule «Calcul» : elle rassemble les membres du pôle «Grille & calcul» et une partie du pôle «Développement online» pour analyser l'évolution des besoins de nos architectures matérielles pour le calcul Grille et HPC
- Cellule «Développeurs» : elle réunit tous les développeurs pour échanger sur nos expertises autour d'exposés

Le pôle «Support et exploitation»

Ce pôle met à disposition des ressources matérielles personnelles ainsi que des services pour tous les membres du laboratoire.

Parc des postes personnels

La gestion du parc des ordinateurs personnels ou postes de travail (environ 120 machines), les activités comportent :

- L'étude personnalisée de la configuration, la commande, la mise en place dans notre environnement réseau (DHCP et filtrage par adresse MAC), les pannes matérielles.
- Les configurations des applications importantes pour le laboratoire sous les 3 principaux systèmes d'explo-

tation (Linux, Windows et macOS), telles que les clients de messagerie, y compris ceux des téléphones portables sous principalement deux OS iPhone et Android, les applications centralisées des 2 tutelles (principalement pour les commandes et les gestions des budgets).

- ✚ Le support applicatif sur les logiciels ou utilitaires les plus utilisés (grand spectre en fonction des OS et versions d'OS) notamment sous Windows : Office, clients de messagerie, wifi, navigateurs Internet, etc. Un gestionnaire d'incident a été mis en place pour centraliser les demandes utilisateur et les réponses.
- ✚ Gestion des imprimantes/copieurs (mise en place, configuration, gestion du stock encre, papier, formation des utilisateurs). Parc d'une dizaine d'imprimantes.

Les postes de travail sont renouvelées environ tous les 5 ans.

Services pour le laboratoire

Le «Support et exploitation» met à dispositions des services pour les membres du LLR, tous ces services sont encapsulés dans des machines virtuelles lorsque cela est possible et souhaitable.

Les plus critiques :

- ✚ Service de DNS
- ✚ Service d'authentification Active Directory (AD) dans un contexte de forêt d'AD
- ✚ Service de messagerie Exchange, jusqu'à juin 2018
- ✚ Serveur de HOME avec la technologie NetApp
- ✚ Service de sauvegardes et de copie au CC-Lyon via le système Tivoli
- ✚ Services Web (extranet et intranet) WordPress
- ✚ Partage de fichier par «cloud» et sauvegarde de PC portables (technologie ownCloud)

Les indispensables :

- ✚ Service d'afficheurs dans les différentes salles du laboratoire (technologie Xibo),
- ✚ Service gestionnaires de version SVN, GitLab et services de type forge
- ✚ Service pour les bases de données MySQL, principalement pour le laboratoire
- ✚ Gestionnaire de listes de diffusion (Mailman)
- ✚ Service de réservation de ressources (salles, voitures, etc.) avec BookedScheduler

Les cachés, mais non moins indispensables :

- ✚ Service de Log (eLog), indispensable et obligatoire pour la traçabilité des connexions à nos machines
- ✚ Service pour la gestion de licences (FlexLM)
- ✚ Service de gestion de tickets d'incidents
- ✚ Service de gestion du parc des machines portables (GLPI)
- ✚ Service de surveillance réseau et activité des machines

Visioconférences

Le laboratoire possède 3 salles équipées avec un système de visioconférence (PC fixe, écran, vidéoprojecteur, micro et /ou pieuvres avec les logiciels de visioconférence requis). Le pôle a aussi en charge l'installation de systèmes de visioconférences pour des réunions de collaborations, Workshops, Master-Class, etc. hors de nos salles équipées.

Le réseau et la sécurité des systèmes informatiques

Dans un contexte de réseau privé IN2P3, les interactions avec le Centre de Calcul IN2P3 sont nombreuses et leurs recommandations sont mises en œuvre très rapidement. Il y a principalement 3 interlocuteurs avec le CC-IN2P3, avec des fonctions différentes (CZAR, RSSI). Nous prenons en charge la sécurité des systèmes qui se connectent sur le réseau IN2P3 via les machines dont nous sommes responsables. Des outils de surveillance ont été mis en place pour contrôler l'activité du réseau et des machines (nagios, mrtg, znets).

L'architecture réseau du laboratoire, prend en compte toutes les machines y compris celles de la Grille LCG et des plates-formes HPC, elle passe par la connectivité entre les commutateurs avec des caractéristiques différentes suivant sa position dans l'architecture réseau.

Faits marquants

Pendant ces quatre dernières années, ce pôle a géré la migration du service critique de messagerie d'Exchange vers

le système centralisé Zimbra au CC-IN2P3. Il a été un des premiers sites IN2P3 à établir un pont entre le Protocole Internet v4 (IPv4) vers l'IPv6 ; nous allons continuer à étendre progressivement nos machines vers ce nouveau standard. Le trafic réseau en interne augmentant, le Service a commencé à s'équiper de commutateurs avec une technologie 100 Gbits.

Pole «Grille & Calcul»

La grille LCG

Le service informatique est très impliqué dans la Grille LCG à travers le Tiers-2 Ile-de-France GRIF. Regroupant 6 laboratoires, le GRIF est piloté par un Comité Technique dont nous avons la responsabilité adjointe.

Le LLR est un des 6 sites composant GRIF, noeud francilien de la grille de calcul européenne EGI. Le laboratoire représente environ 15% de GRIF, qui représente 30% de l'activité totale grille pour la France et 45% de l'activité Tier2 en France. Le LLR gère ses propres services grille (Computing Element, Storage Element, etc.) ainsi que certains des services communs à l'ensemble de GRIF : Argus, Pakiti. Notre site offre actuellement 1,5 Po de stockage (en 2013 : 0,8 Po) et 3000 coeurs (en 2013 : 2000 coeurs) , pour 26 millions d'heures de calcul par an (en 2013: 7 millions)

Les connaissances et expertises sur la Grille sont très pointues, elles demandent de maîtriser les surcouches système ou *middleware* standardisés (Globus, Unified Middleware Deployment, certification X.509, GridFTP) pour assurer l'interopérabilité des unités de calcul et de stockage de la grille mondiale. Elles traitent en particulier du problème de l'authentification, des différentes modes d'accès aux ressources de stockage (DPM, xRootd) et de calcul (interactif, htCondor, Torque/Maui, Grid Engine, ...)

Ressources de calcul «HPC»/IA

Organiser, structurer, maintenir les ressources de type High Performance Computing (HPC) pour les projets de physique du laboratoire, font partie des activités de ce pôle. Autour de technologies innovantes comme les «containers», nous mettons des puissances de calcul relativement importantes et qui servent de tremplin, en mettant au point localement les applications HPC (développement et analyses de performances), vers les centres de calcul nationaux gérés par GENCI ou le CC-IN2P3. Elles sont de types :

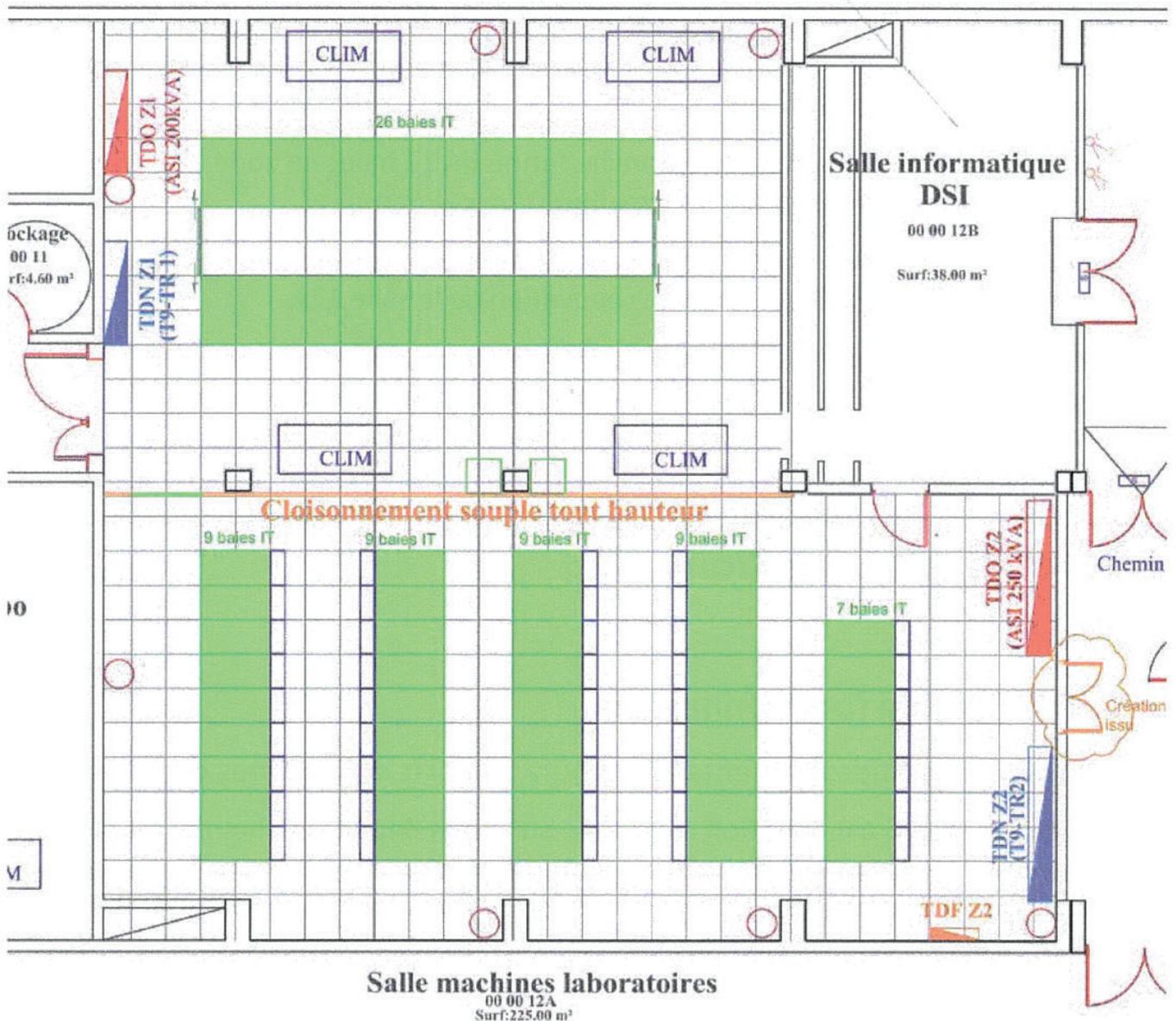
- Le serveur HPC orienté «massivement parallèle», il est mutualisé avec le Laboratoire des Sols Irradiés (LSI). Il comprend environ 600 cœurs avec des nœuds reliés par un réseau Infiniband, indispensables pour les modèles de parallélisation à «mémoire distribuée». Il est indispensable

pour les simulations d'accélération d'électrons par sillage laser et a servi, un peu moins récemment, à la mise au point d'une application parallèle pour l'analyse par la Méthode des Éléments de Matrice pour 2 canaux de production du boson de Higgs. De même, les post-traitements, la visualisation des données produites dans les centre de calcul nationaux, nécessitent une puissance de calcul locale et sont traitées sur cette plate-forme.

- Les serveurs orientés applications «massivement» GPUs et applications mettent en oeuvre les méthodes de l'Intelligence Artificielle (AI), ont été financés par le Labex P2IO dans le cadre du projet GridCL (2013-2017) puis ACP (2018-2019). GridCL a permis de prolonger le développement de MEM sur les accélérateurs de calculs GPU (le code est exploité au CC-IN2P3 agréant la puissance de plusieurs dizaines de GPUs). Plus récemment, la plate-forme ACP (2 GPU NVidia Volta 100) est exploitée pour nos études sur le *Deep Learning* dans le cadre du projet HGCAL. Cette plateforme est un laboratoire idéal pour tester, faire progresser nos idées de R&D tant du côté des projets de développement que du côté de l'administration des machines. L'adaptation de leurs configurations à nos projets très différents (voir diamétralement opposés) est possible grâce aux «containers». Un des objectifs dans le projet ACP est de tendre vers une «d'administration déléguée». La plate-forme ACP sera bientôt étendu à un serveur AMD équipé de FPGAs.

Infrastructure & Réseau

Bénéficiant d'une importante salle des machines pour accueillir les calculateurs/mesocentres des laboratoires de recherche de l'Ecole Polytechnique, une experte de notre Service à piloter la rénovation totale de celle salle machine en mettant à jour toutes les installations indispensables au bon fonctionnement



Plan de la salle des machines rénovée (juillet 2016) : 225 m2 utiles, possibilités d'extension, actuellement 59 baies.

: climatisation, puissance électrique, control d'accès, sécurité incendie, etc.

tions de la Grille et des moyens locaux de type «HPC», du développement «offline».

D'autre part ce pôle a piloté le changement de convention en 2015 entre Renater et l'Université Paris-Saclay (anciennement réseau SAPHIR) et a fait partie des initiateurs du projet 100 Gbits. Nous sommes aussi acteur dans le projet de stockage réparti CEPH entre plusieurs laboratoires «Vallée-Plateau» du projet P2IO VirtualData.

Cellule transverse «Calcul»

Cette cellule orientée «calcul intensif» ou «High Performance Computing» (HPC) est transversale. Elle synchronise les activités de structuration et d'administra-

Expertises et activités majeures du pôle :

- ✦ Responsabilité adjointe du Tiers-2 GRIF
- ✦ Projet ComputeOps/Decalog : projet IN2P3 de R&D autour de la technologie des containers, nous avons le rôle clef d'organiser et de mettre œuvre cette technologie sur nos plates-formes HPC/IA.
- ✦ Collaboration DPM (Disk Pool Manager) : nous représentons LCG-France dans la collaboration DPM, système clef du Workflow CMS, s'occupant de la gestion et du placement des données de la collaboration.
- ✦ «System Performance and Cost Modelling» : nous participons en tant qu'expert au groupe de réflexion inter-

nationale sur l'efficacité (performance versus coût) de la Grille.

- *Computing CMS* : GRIF étant le plus grand site DPM, nous sommes le référent dans le *workflow* de CMS
- Formations d'ingénieurs «Grilles» dans le cadre du projet européen EENP (Europe Egypt Network for Particle Physics project)
- Acquisition, organisation des plates-formes GPU et FPGA pour les projet P2IO «Accelerated Computing for Physics» et «GridCL»

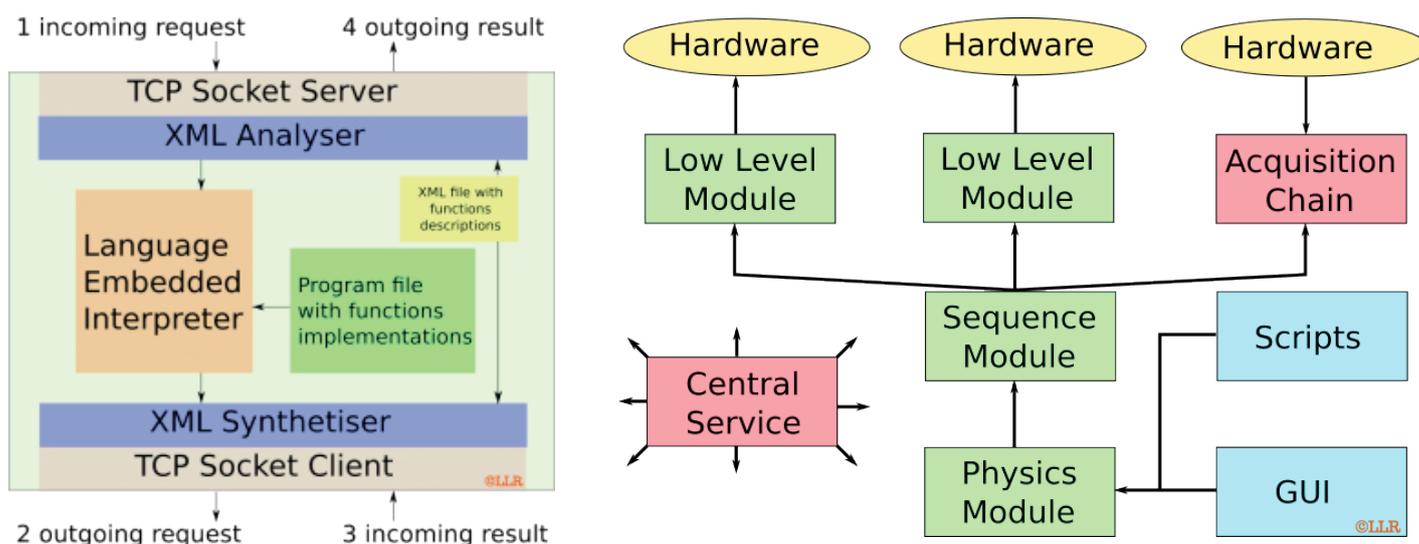
Pôle développement «online»

Le rôle du pôle «online» est de concevoir, développer et déployer les différents systèmes de contrôle-commande, d'acquisition et d'analyse de données en temps réel pour l'ensemble des matériels des expériences de physique des hautes énergies. Pour réaliser ces systèmes, nous utilisons différents types de langages et de technologies à la frontière des domaines de l'électronique, de l'instrumentation et de l'informatique. Les contrôle-commandes que nous développons sont très diversifiés et correspondent à tous les équipements que l'on peut retrouver dans nos détecteurs ou sur les bancs de tests (alimentations hautes et basse tension, générateurs de pulsations, oscilloscopes, sondes en tout genre, équipements réseau et contrôleurs de mouve-

ment) ainsi que les cartes développées au laboratoire.

Pyrame

Afin d'optimiser la réutilisation de nos développements, nous les intégrons au sein d'un framework développé au LLR, nommé Pyrame. Il fournit toutes les fonctionnalités de base d'un système de contrôle-commande et d'acquisition de données, et grâce à sa forme totalement générique, il peut être facilement décliné sur l'ensemble de nos projets. Pyrame fournit un module central qui permet d'abstraire le code fonctionnel dans différents langages (C, C++, Python, Lua, R et Shell) et qui permet d'envoyer et de recevoir des commandes. Nous avons choisi un format très ouvert pour l'interconnexion de nos modules : une simple socket TCP est nécessaire et les communications sont en XML afin d'être totalement interoperables avec tous les systèmes. Pyrame fournit également un service de variables partagées, une chaîne d'acquisition et de stockage



Architecture de Pyrame : à gauche, brique de base, nommé module de commande ; à droite, exemple d'un système d'acquisition construit avec les modules Pyrame.

des données, générique et performante, ainsi qu'un système unifié de configuration basé sur des fichiers XML.

Des bindings existent pour les langages C, C++, Python et R ainsi que pour les SCADA Eudaq, Tango et OPC-UA. Pyrame fournit aussi des pilotes pour tous les bus standards utilisés par les matériels (Ethernet, RS-232, USB, GPIB...). Il a également été adapté ou porté pour des architectures embarquées (Arduino et Raspberry-Pi).

ILC - CALICE

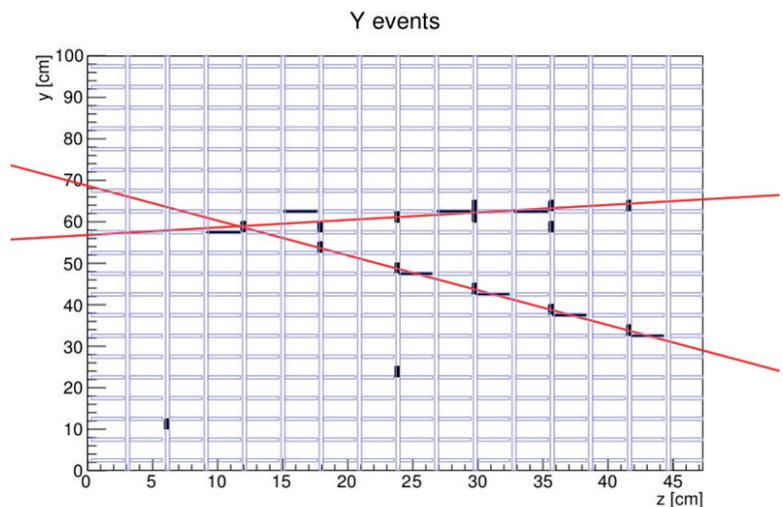
Nous sommes responsables de la mise en place d'une structure d'acquisition de données pour le calorimètre Silicium-Tungstène du détecteur du futur collisionneur linéaire (ILC). Nous avons développé les contrôle-commandes de toutes les cartes et de tous les périphériques, ainsi qu'un pilotage de haut niveau pour assurer une facilité d'usage aux expérimentateurs physiciens. Un ensemble de décodeurs en temps-réel nous a permis de développer toute une gamme de moniteurs, un *event-builder* online et même une reconstruction des traces en temps-réel (basée sur Libgem).

HARPO

Nous travaillons en collaboration avec les services d'électronique et de mécanique pour fournir le système d'acquisition d'un détecteur de rayons gamma (TPC). Une DAQ complète a été développée pour cette expérience ainsi qu'un système de monitoring temps-réel, basé sur Pyrame, qui permet de détecter des modes de fonctionnement dangereux et d'assurer sa sécurité.

WAGASCI – T2K

Cette expérience de mesure de section critique pour l'interaction noyaux-neutrinos a pu être développée très rapidement par une adaptation de la DAQ du calorimètre SiW-Ecal. La partie configuration



Reconstruction des traces avec un algorithme EM implémenté dans Libgem pour le détecteur WAGASCI/T2K

a été adaptée au chip SPIROC utilisés pour la détection des muons. Un décodeur «online» spécifique permet d'avoir un monitoring en temps-réel de l'acquisition.

Pépites

Le prototype de profileur de protons Pépites s'est enrichi du développement d'une DAQ très flexible, et basée sur Pyrame. Ce développement permet s'adapter rapidement aux configurations variables de ce prototype. Le logiciel intègre une configuration centralisée, un système d'acquisition et d'affichage temps-réel des données ainsi que de nombreux scripts adaptés aux conditions particulières de chaque test en faisceau.

Galop

Dans le cadre du projet Galop, nous avons développé un logiciel de pilotage et de mesure de champs magnétiques. Ce banc de mesure est entièrement automatisé (axes 3D, gaussmètre 3 axes...). Ce développement est basé sur Pyrame via une interface Web.

CMS ECal

En 2014, nous avons réécrit complètement le logiciel d'acquisition et du traitement des données du système de déclenchement de niveau 1 (L1-trigger) du calorimètre électromagnétique (ECAL) de CMS. Nous avons par la suite assuré un suivi opérationnel ainsi que la fourniture de développements additionnels pendant tout le Run2. En particulier, nous avons développé des mécanismes d'optimisation et de recouvrement afin de palier à la dégradation matérielle due au vieillissement de l'électronique, ainsi qu'aux nouvelles conditions expérimentales du LHC (luminosité doublée).

Nous avons également déployé un mécanisme de résilience aux signaux bruités ainsi que l'amélioration du système de surveillance du déclenchement pour faciliter le diagnostic et l'intervention des experts.

CMS HGCAL

De nombreuses tâches préliminaires ont été effectuées afin de préparer le déploiement de HGCAL : la mise en place d'un banc test des chips HGCROC basé sur Pyrame, le développement dans Pyrame de nouveaux modules de pilotage de châssis μ TCA pour la validation des algorithmes du L1-trigger du projet HGCAL, le développement d'un prototype mécanique instrumenté pour mesurer les caractéristiques thermiques des designs mécaniques, l'étude et développements préliminaires d'algorithmes de tri utilisant des environnements de développement permettant la synthèse haut niveau pour la programmation de FPGA et pour finir, l'étude et prototype à l'aide de techniques d'apprentissage automatique pour l'identification de particules au sein du L1-Trigger HGCAL.

Libgem

Développée par le Service, la librairie Libgem propose une implémentation d'algorithmes innovants (Expectation-Maxi-

mization ou EM) pour la reconstruction des traces linéaires et circulaires de nos détecteurs de particules. Nous l'avons exploitée pour mener des analyses pour les projets SiW-Ecal, Harpo et WAGASCI. La librairie est proposée à la communauté sous forme de logiciel libre.

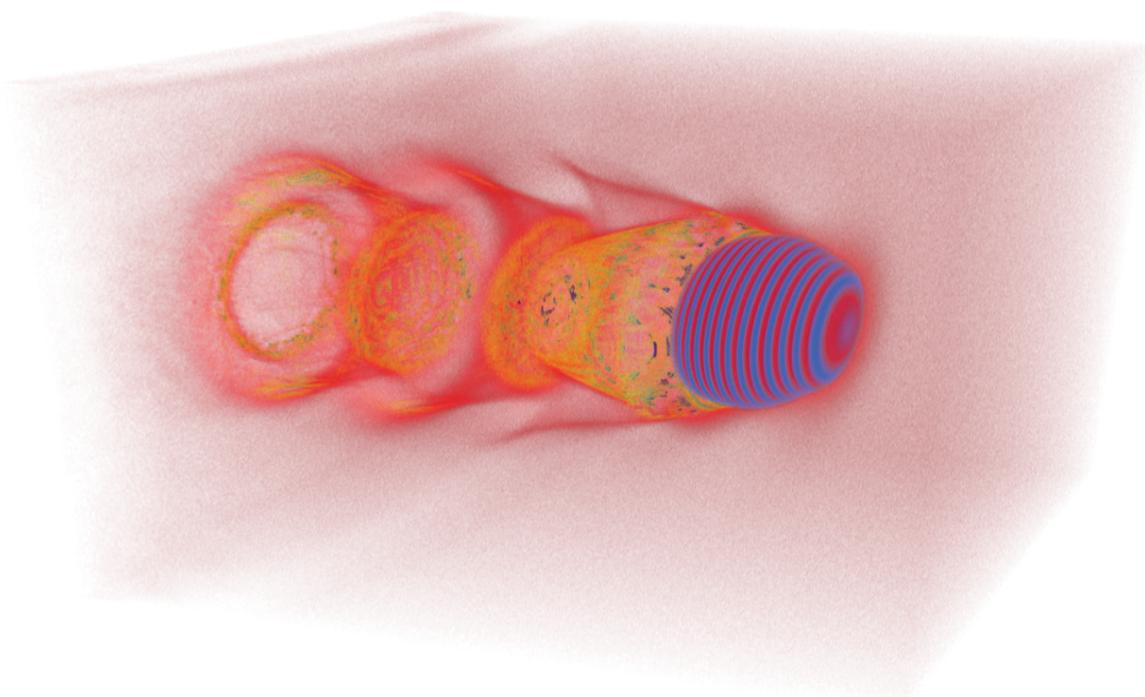
Pôle développement

«offline»

Ci-dessous les différents projets et activités de ce pôle.

GALOP/SMILEI

Le projet *Smilei* regroupe des physiciens des plasmas, des astrophysiciens, des numériciens et des spécialistes du calcul intensif. L'ambition de l'équipe est de développer un code libre permet-



Densité électronique dans le sillage d'un laser ultra intense qui se propage vers la droite dans un plasma sous critique

tant la simulation d'une large gamme de phénomènes physiques et qui soit capable de tirer profit au maximum des ressources de calcul intensif de dernière génération.

Smilei est un code Particle-In-Cell (PIC) massivement parallèle écrit en C++ et en Python et reconnu par GENCI comme un des 20 codes de calcul majeurs en France. Au LLR, il est utilisé pour la simulation d'accélération d'électrons par sillage laser (groupe GALOP). Son développement est le fruit d'une collaboration étroite et de longue date avec de nombreux partenaires dont les acteurs principaux sont le LLR, le LULI et la Maison de la Simulation.

CMS-HGCAL

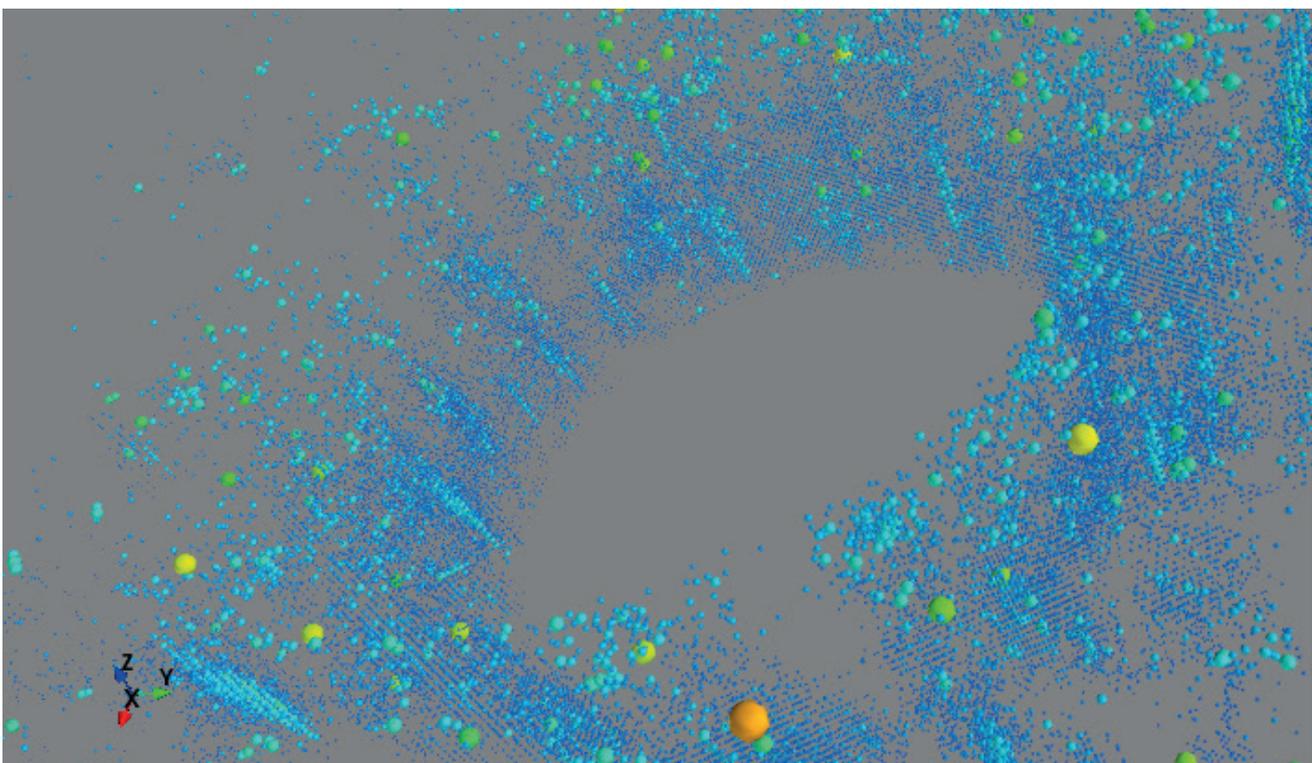
Le pôle développement offline a en charge le code de simulation du Trigger L1 du détecteur HGCAL, un projet des projets majeurs du laboratoire. Une première étape a été de

construire de nouvelles fondations dans le *framework* CMSSW pour avoir une excellente extensibilité logicielle à partir de briques modulaires. Au passage, le code a pris en compte les nouvelles spécificités imposées par l'architecture du dispositif électronique. La première version du code est opérationnelle et exploitée actuellement, prête pour digérer les nouvelles évolutions du sous-détecteur pour être au plus près de son architecture matérielle.

Récemment, nous avons lancé une étude pour la reconstruction des événements dans le sous détecteur HGCAL par les méthodes de *Deep Learning* les plus adaptées (*Convolutional Neural Network* ou CNN). Les premiers résultats obtenus sur des événements simulés et simples, grâce au soutien de *Google Summer of Code*, sont encourageants. Nous sommes en train de continuer cette étude sur des événements plus riches et complexes.

CMS validation de la reconstruction

La *validation* est un dispositif clef pour contrôler les évolutions permanentes du *framework* CMS. Ces dernières années un travail important a été réalisé pour cette tâche ingrate et coûteuse en temps humain (une quinzaine de lots de 250 x 100 valeurs numériques à comparer à chaque validation) pour le volet dont nous, le LLR, sommes



Simulation d'un événement dans le détecteur HGCAL : les sphères représentent les dépôts d'énergie dans les différentes cellules du détecteur. La taille des sphères croît en fonction de la valeur du dépôt d'énergie (échelle log).

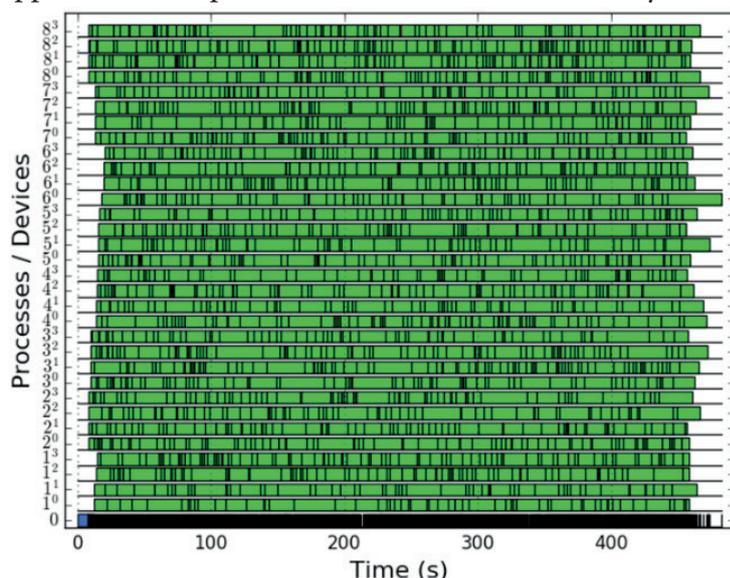
responsables : la reconstruction des électrons.

Une amélioration significative a été apportée ces années par notre Service en factorisant les nombreuses valeurs de références sous la forme de pages graphiques (initialement la validation se faisait en comparant manuellement les valeurs numériques). Ce développement apportant un substantiel gain de temps et fortement apprécié par la collaboration, est en constante évolution.

Il sera repris pour HGCAL et une étude est en cours pour rendre semi-automatique la validation par les méthodes d'apprentissage (IA/DL).

CMS-MEM

Souhaitant relever le défi des physiciens de CMS pour analyser les données du LHC par la Méthode des Eléments de Matrice (MEM), nous avons proposé et développé une approche HPC pour rendre accessible cette analyse. En



Equilibrage de charge entre 32 GPU du CC-IN2P3 pour analyser 2395 événements par la méthode MEM (CHEP'18)

effet, la méthode MEM est régie par les lois physiques (méthode non-supervisée), cependant, extrêmement coûteuse en temps de calcul, typiquement 55 jours de calcul sur 1 cœur, elle rend quasiment inaccessible son exploitation.

Dans un premier temps, une version parallèle a été réalisée grâce au standard MPI, puis dans un deuxième temps, a été rendu extrêmement efficace en agrégeant la puissance de plusieurs dizaines de GPU.

Ce code a été exploité et amélioré au cours de 3 thèses de CMS au LLR et a contribué à l'observation récente du boson de Higgs dans le canal $\tau\tau^* H$ (nos physiciens sont responsables du sous canal $\tau\tau^* H \rightarrow \tau\tau$). L'efficacité obtenue,

nous laisse très optimiste quant avec l'arrivée de nouvelles données prévue pour la phase de *Haute Luminosité* du LHC.

HARPO

Coté «offline», le développement d'un *framework* a été réalisé pour l'analyse de données du détecteur Harpo, en s'adaptant aux évolutions majeures du projet. Parallèlement à cela une batterie de développements pour la simulation du détecteur ont été réalisés, s'appuyant sur GEANT4, dans des contextes extrêmement différents : l'expérience Harpo au sol, le détecteur conditionné pour un ballon atmosphérique, puis pour un satellite. Ces deux dernières simulations étant demandées par le CNES.

Ces travaux ont mené à étendre GEANT4 avec un module de génération d'événements de désintégration de γ polarisé en paire e^+e^- par une méthode exacte. Cette extension a été rendue publique et a été l'objet d'une publication.

Autres Etudes

Nous avons réalisé de petites études ou terminés des projets pendant ces quatre années, les principaux sont : derniers développements et maintenances sur Mokka-ILC, *framework* de simulation détaillée, et études de performance sur GPU du prétraitement des données issues des nombreux PM des télescopes de HESS/CTA.

Principales responsabilités et principaux événements du service informatique

Le Service Informatique est sensible à diffuser ses expertises à travers des publications / communications tech-

niques ou scientifiques (la moyenne annuelle est d'environ 6 publications) et à travers la formation d'étudiants (cours), d'apprentis (en moyenne 1 par an) et de stagiaires (en moyenne 1 par an). Les membres du service interagissent avec les nombreux réseaux métiers liés à l'informatique. Ci-dessous sont présentés les principales responsabilités du service et du laboratoire par le biais d'un de ses membres, suivis des événements importants de ces quatre dernières années.

Responsabilités

- ✦ Responsabilité du Master-projet IN2P3 DecaLog (projets Reprises & ComputeOps)
- ✦ Responsabilité adjointe de GRIF (T2 LCG Ile-de-France GRIF)
- ✦ Chargée de mission «calcul» (laboratoires) auprès de la direction de l'X
- ✦ Porteur du projet Accelerated Computing for Physics, Labex P2IO, plateformes GPUs/FPGAs, «conteneurs» HPC/IA (2018-19)
- ✦ Coordination technique de la DAQ de SiW-ECAL (ILC - mécanique, électronique, informatique)
- ✦ WP3 GRID Computer Application – Projet Europe Egypt Network for Particle Physics (2013-2015)

Evènements

- ✦ 4-Mokka : experte LLR invitée en Chine, projet Circular Electron-Positron Collider (2014)
- ✦ Ecole Informatique IN2P3 (ANF) - Parallélisme sur matériel hétérogène (GPUs, accélérateurs) ~60 postulants (public /privé) – organisation au LLR (avec training) avec des formateurs du LLR (mai 2016)
- ✦ Workshop DPM (stockage, placement de données CMS) novembre 2016 (au LPNHE)
- ✦ «Award CMS» pour travail effectué sur les développement «online» de CMS-ECAL (1 informaticien/1 électronicien) - 2017

- ✦ Comités de programme de LCG-France (mai 2018),
- ✦ Comité de programme JI 2018 (sept. 2018)
- ✦ Sélectionné par Google pour démarrage d'un projet de Deep Learning sur la thématique de la reconstruction d'évènements HGCAL (GSOC 2018)
- ✦ Le code SMILEI: à «La une» des actualités de GENCI – (octobre 2018)

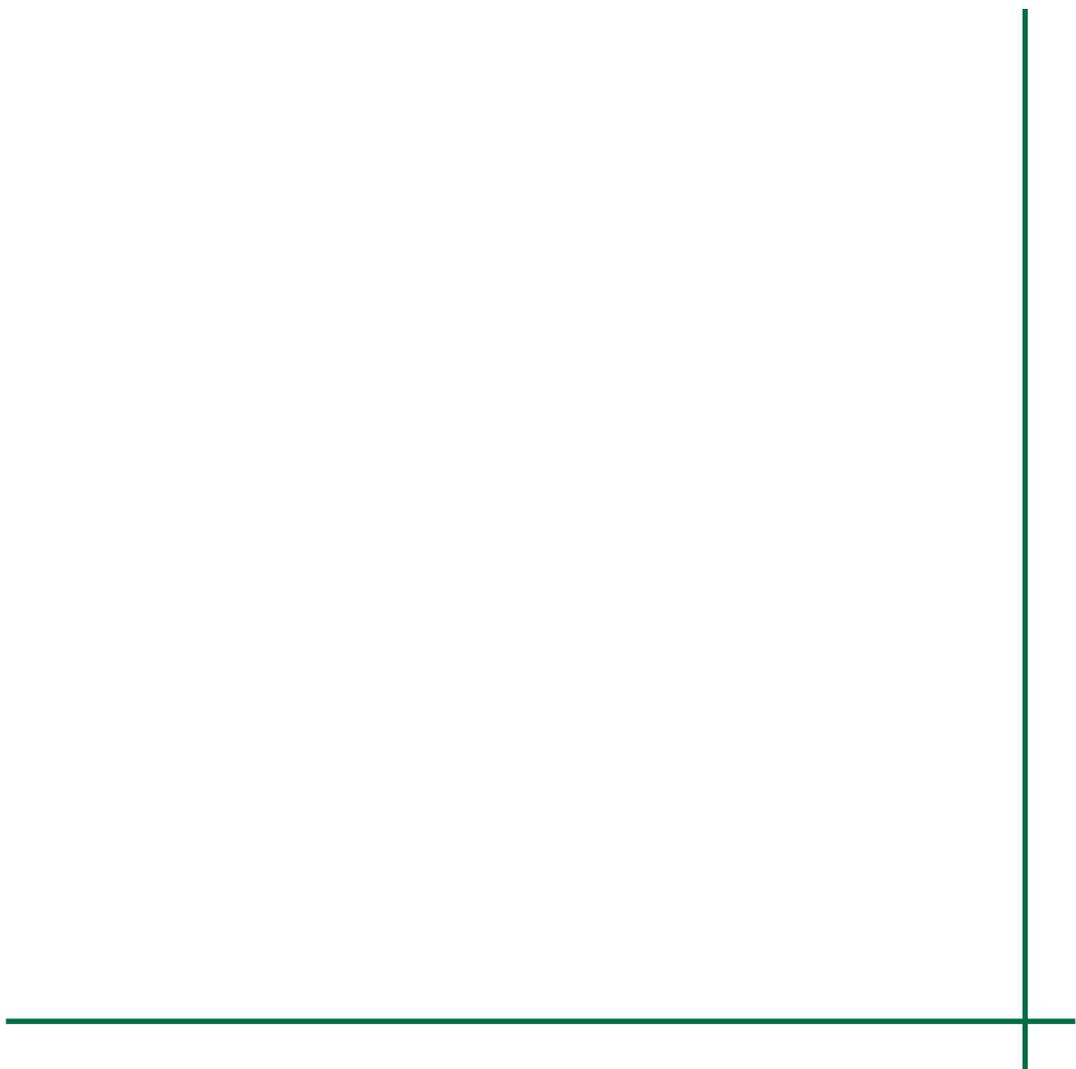
Conclusion & Perspectives

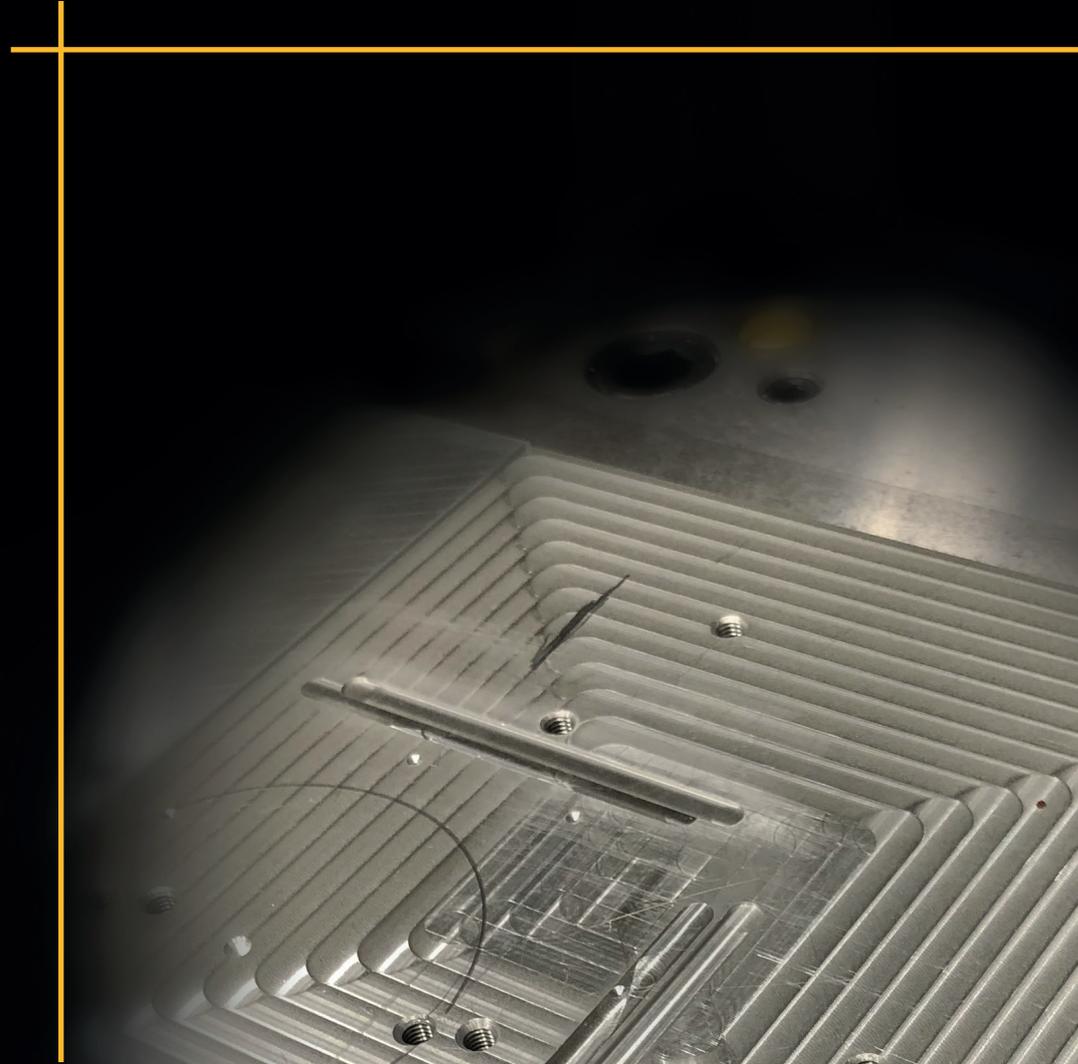
Par la multiplicité des tâches et des projets, le Service Informatique est fortement impliqué dans les activités de recherche et des services rendus au laboratoire en général.

Face à la complexité et la richesse croissante des logiciels, des environnements de travail, et de leurs interactions, il est vital pour tout le laboratoire que le pôle «Support & Exploitation» ait suffisamment d'experts pour avoir une qualité de service «minimale» pour les 110 personnels du laboratoire et les services communs. L'urgence constante ne permettant pas de structurer et d'organiser les opérations de support, mais plutôt génératrice d'instabilités sur l'ensemble.

La contribution du pôle «Grille & Calcul» a un impact important pour nos équipes de recherche, plus particulièrement, les équipes de CMS et GALOP. Le site du LLR, faisant partie du Tiers-2 Île-de-France GRIF, a toujours été montré en exemple quant à la qualité (réactivité, évolution, compétences, expertises techniques de haut niveau) de l'architecture et de la gestion de ses ressources. En pointe sur les technologies de «containers» dans un contexte de Grille et HPC, notre expertise sera transmise aux autres pôles du service et de la communauté.

Pour les perspectives, il est clair, qu'ignorer les avancées technologiques en Intelligence Artificielle pour nos expériences et/ou pour nos propres outils de gestion de nos systèmes informatiques et de développements informatiques, serait une impasse dangereuse. Continuer à investir dans les technologies de virtualisation légère comme les «containers» et cela dans un contexte très exigeant qu'est le HPC «massivement parallèle» et le HPC «massivement» GPUs qui, combiné avec nos développements phares fortement dépendants des contextes logiciels très versatiles, forment une «chaîne» de compétences et d'expertises peu ordinaire.

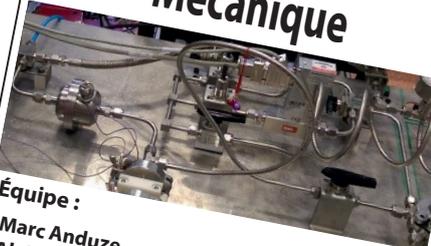




MÉCANIQUE

MÉCANIQUE

Mécanique



Équipe :

Marc Anduze	Xavier Leboeuf †
Alain Bonnemaïson	Pascal Manigot
Antoine Cauchois	Philippe Maritz †
Luc Christophe †	Samy Perrot †
Evelyne Edy	Patrick Poilleux †
Guillaume Fayolle	Thomas Pierre-Émile
Oscar Ferreira	Julien Prudent †
Mickaël Frotin †	Mathieu Roy
Stéphane Hormigos †	Jose Viera †
Hamid Khaled	

† départ entre 2014-2018
©émérite

non permanent
permanent

Mission et compétences

Le service mécanique a pour mission de prendre en charge l'ensemble des développements techniques, des études et des réalisations de détecteurs et d'appareillages de physique auxquelles le laboratoire contribue.

Son savoir-faire s'appuie sur de solides bases en conception de grands instruments, conception et réalisation de prototypes physiques et technologiques, avec une réactivité importante liée à ses moyens de production (machines à commandes numériques, machine de

découpe au jet d'eau ou encore imprimante 3D), ou encore son expertise en calculs par éléments finis, dans des domaines aussi variés que la statique linéaire/non-linéaire, les études vibratoires et sismiques, matériaux spécifiques (composites) en utilisant des outils modernes tels qu'ANSYS.

Le service est composé actuellement de 10 personnes réparties en 3 groupes :

- Etudes & Projets : 8 personnes
- Atelier : 1 personne
- Service Général : 1 personne

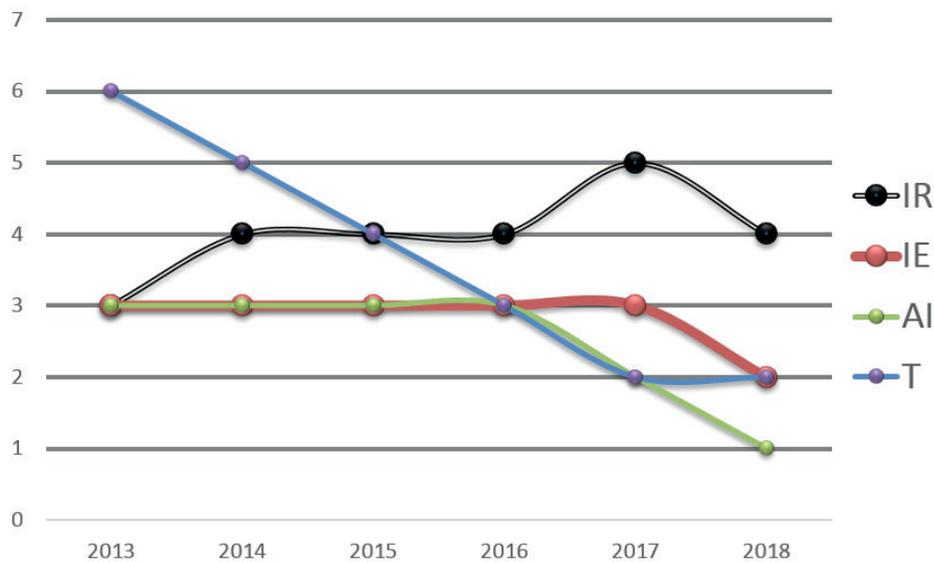


Figure 2 Evolution des effectifs du service

Evolution du service

Le service a fait face à une grande vague de départ passant de 15 personnes en 2013 à 10 en 2018.

Le groupe atelier qui a été le plus particulièrement impacté par cette situation. Le service a dû s'adapter et trouver des solutions alternatives pour réaliser des prototypes tout en gardant un maximum de souplesse et en attendant le recrutement de personnel.

Afin de limiter la charge sur son atelier, le service s'est alors tourné vers la fabrication additive et le procédé de découpe au jet d'eau. L'excellent niveau de maîtrise de ces machines a permis la réalisation de sous ensembles hybrides : pièces réalisées par découpe au jet d'eau, assemblées à des pièces réalisées en impression 3D. Grâce à ce procédé et malgré le contexte compliqué, le service a pu continuer à proposer un grand nombre de prototypes.

Les projets

Ces dernières années, le service mécanique a pu mettre à profit ses compétences dans une dizaine de projets en lien avec la thématique de recherche du laboratoire :

- ✦ **HGCAL-CMS** : prise de la responsabilité de la conception mécanique des nouveaux bouchons du Ecal du CMS
- ✦ **CTA NectarCam** : responsable de la mécanique des caméras MST pour le réseau de télescope
- ✦ **WAGASCI-T2K** : responsabilité de la conception et de la fourniture de l'ensemble du détecteur au Japon
- ✦ **GALOP** : optimisation de dipôles et quadripôles par assemblage d'aimants permanents et conception de spectromètres
- ✦ **CILEX** : responsable du design de la salle LFA et de la fourniture des deux zones expérimentales principales
- ✦ **PEPITES** : responsable du développement de la mécanique du premier prototype ultra mince de profilleur faisceau de proton.
- ✦ **ILD** : gestion de la maquette du détecteur et analyse du comportement du ECAL en statique et dynamique
- ✦ **CALICE** : conception et réalisation des structures mécaniques des bancs de tests d'électronique
- ✦ **HESS I et II** : mise à niveau des collecteurs de lumière des caméras en Namibie

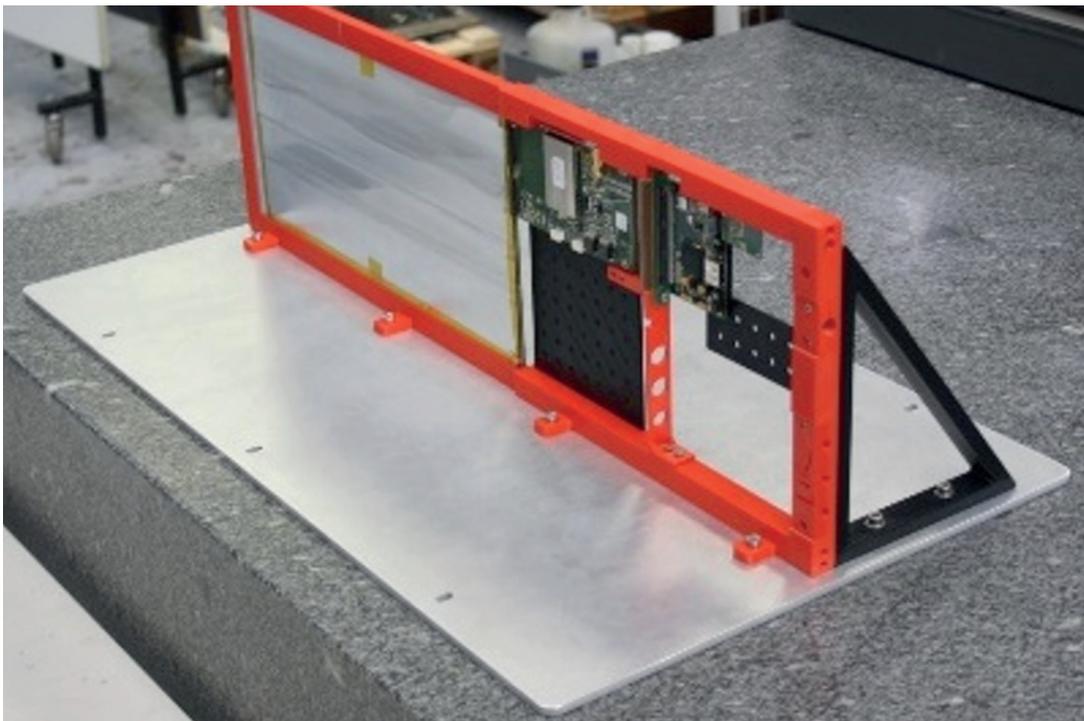


Figure 3 Prototypes réalisés grâce aux 4 imprimantes 3D et la machine de découpe au jet eau

HARPO : étude d'un système de recirculation du gaz dans le détecteur

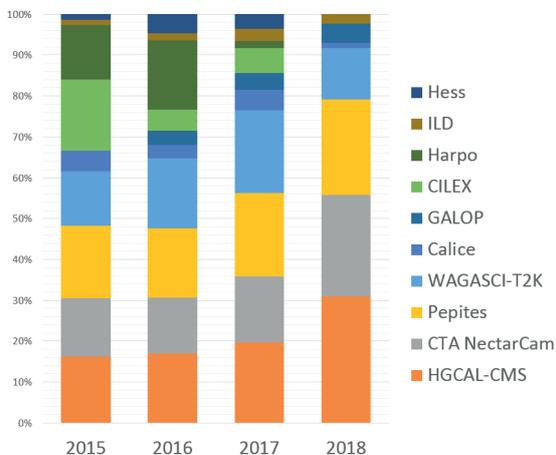


Figure 4 Implications du service sur les projets

HGCAL-CMS

Le service mécanique du LLR s'est fortement impliqué dans l'aventure du détecteur CMS (Compact Muon Sole-

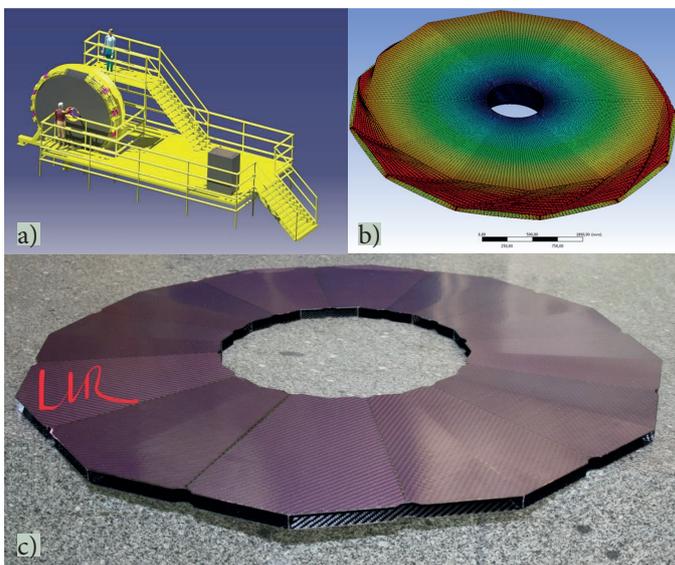


Figure 5: a) Etude d'assemblage b) Résultats de simulation statique c) Prototype fibre de carbone

noïd) au CERN et ce depuis son origine. Il a initialement contribué, dans les années 90, à l'étude et au développement d'une solution mécanique pour la partie barrel du ECAL, avant de se lancer dans l'industrialisation de la production au début des années 2000.

Fort de la reconnaissance acquise pour ses réalisations le service mécanique a décidé de renouveler l'expérience

dans le cadre du projet d'upgrade de phase 2 du détecteur CMS. En effet, depuis la première collision enregistrée en 2009, le détecteur CMS est continuellement mis à jour. Suivant le plan de recherche du LHC (Large Hadron Collider), une augmentation considérable de la luminosité est prévue dans les prochaines années. Les conditions d'exploitation du détecteur seront directement impactées, rendant obsolète une partie des éléments de détection actuels.

Depuis 2014, le LLR s'est impliqué dans la phase de R&D associée au remplacement du calorimètre électromagnétique (ECAL) des bouchons de CMS. Grâce à son bureau d'étude et son atelier, le service mécanique a participé activement à la genèse de ce projet. De par ses études, ses simulations par éléments finis ainsi que son prototypage entre 2014 et 2016 (cf. Figure 5), la mécanique du LLR a contribué à la sélection d'une technologie de substitution. Un concept de détecteur par échantillonnage à haute granularité (HGCAL) a donc été retenu en 2016. Par la suite, une série d'itérations a permis de faire évoluer le design vers une solution finale (cf Figure 6).

Depuis 2017, le service mécanique du LLR en partenariat avec le CERN, est en charge de la conception mécanique du ECAL des bouchons de CMS. Appuyé, par l'attribution des financements des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR), les efforts sont désormais permanents pour respecter la mise en service prévisionnelle fixée pour 2025.

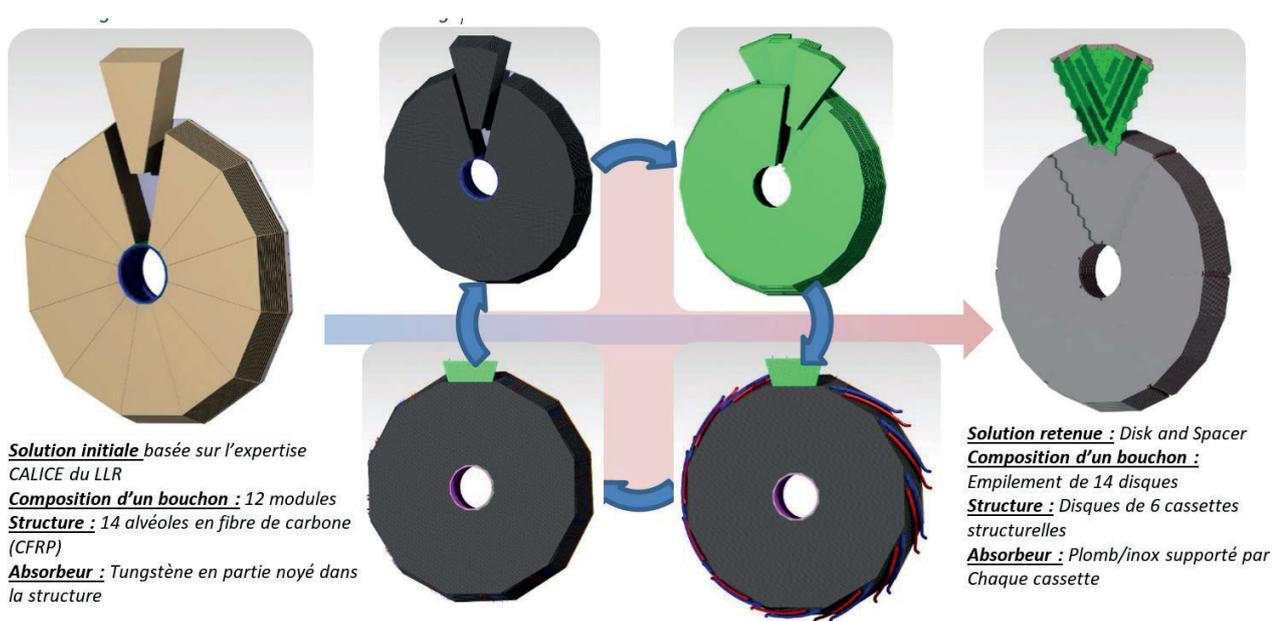


Figure 6 : Processus d'évolution du design
Mécaniciens impliqués : Thomas Pierre-Emile, Alain Bonnemaïson

CTA NectarCam

Suite aux responsabilités construire les caméras des projets HESS et HESS II, le service a tout naturellement pris en charge le développement du design mécanique des caméras des télescopes de moyennes tailles du futur réseau de télescopes CTA. Le travail de ces dernières années a consisté à développer les différents



Figure 7 Structure de la caméra NectarCam

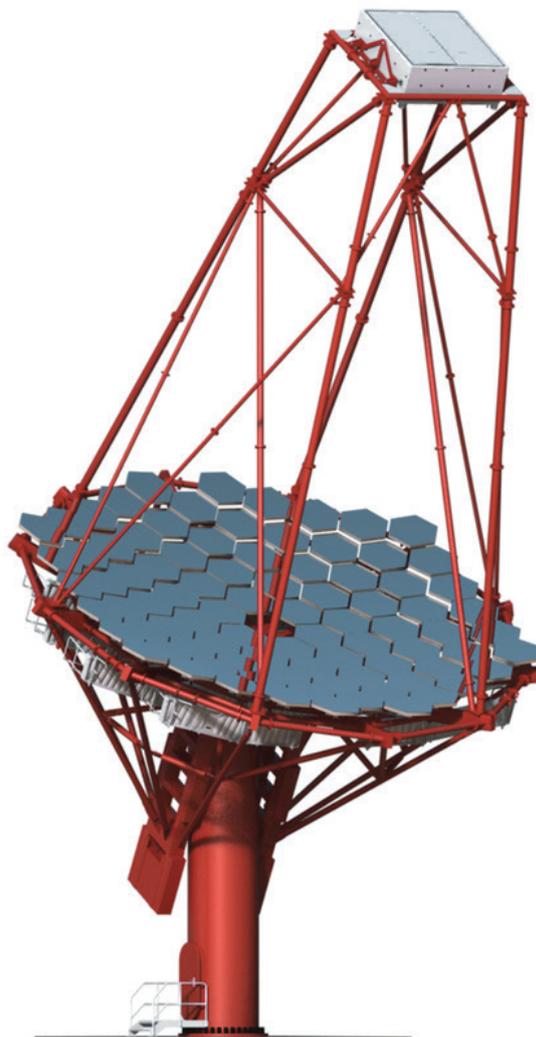


Figure 8 Telescope MST et sa caméra

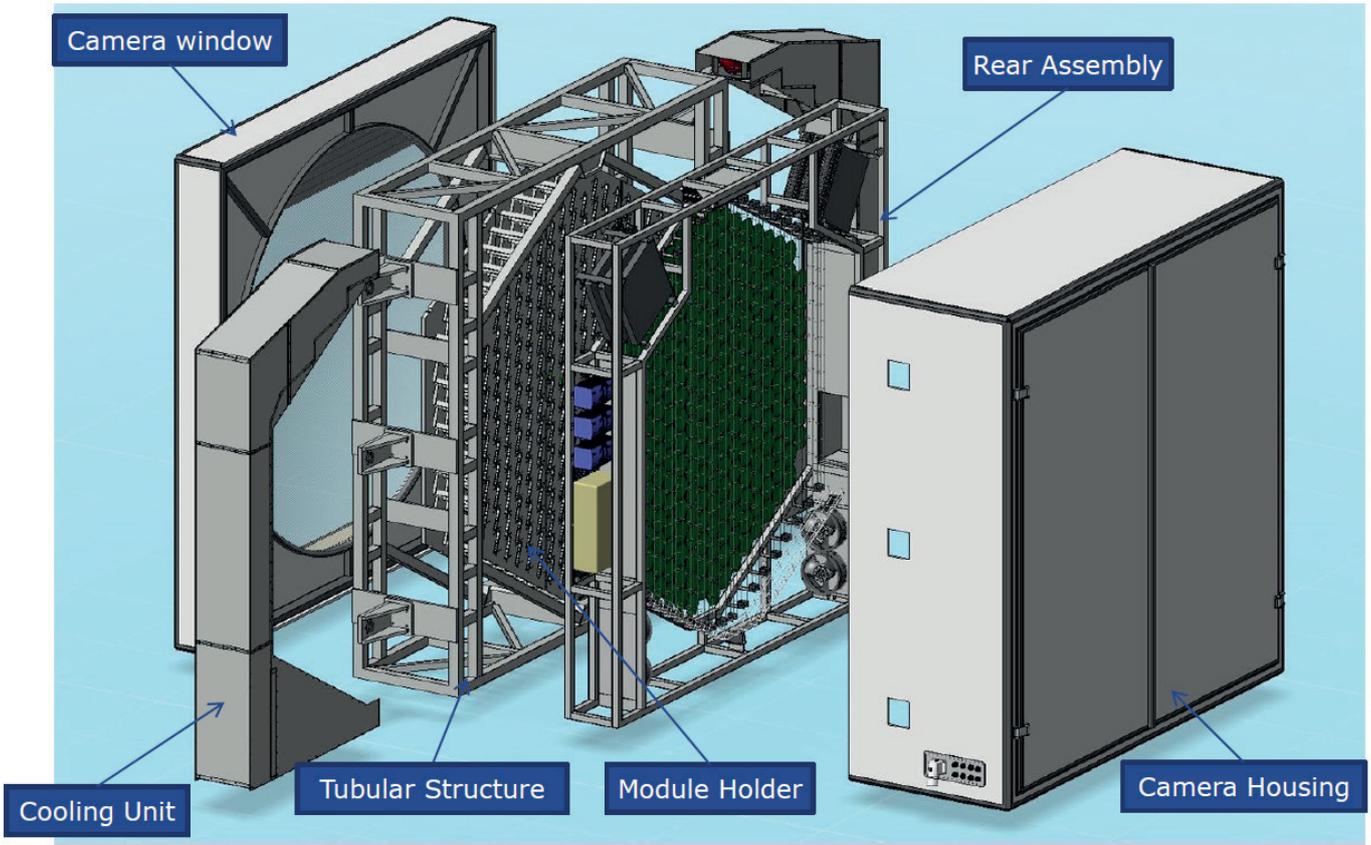


Figure 9 CAO de l'ensemble du prototype NectarCam
 Mécaniciens impliqués : Oscar Ferreira

prototypes (figure 7) nécessaires à l'obtention d'un modèle de qualification de la caméra (figure 8 & 9). Un travail collaboratif important avec nos partenaires de CTA a été réalisé afin de pouvoir concevoir une part importante de pièces communes avec les caméras des télescope de grande tailles.

WAGASCI-T2K

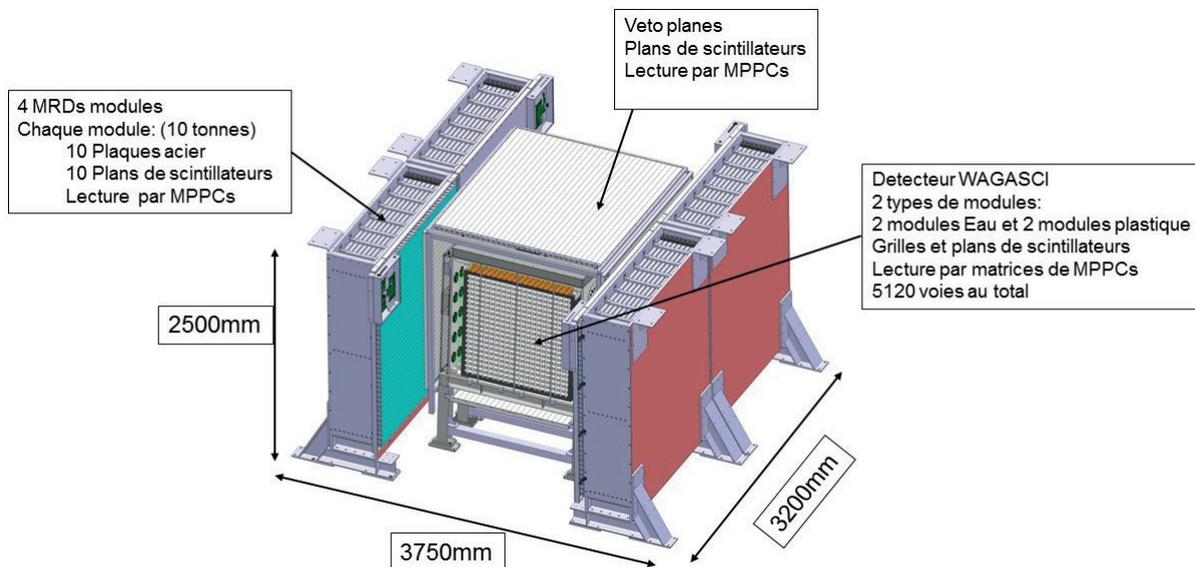


Figure 10 CAO du détecteur WAGASCI

Suite au travail qu'avait réalisé le service pour le projet T2K avec la construction du détecteur Ingrid installée à J-PARC en 2014 au Japon, le LLR s'est engagé sur un détecteur complémentaire : WAGASCI. Ce détecteur a pour but de réduire les incertitudes de mesure sur l'expérience T2K. Le service mécanique a pris la responsabilité de la fourniture de l'ensemble de la mécanique de ce détecteur. La totalité de la conception a été réalisée par le service mécanique ainsi que l'ensemble des plans de fabrication et des notices de montage très précises. Les plans ont été envoyés à la collaboration japonaise qui a fait réaliser la totalité des pièces par l'industrie japonaise.

Le montage et l'installation sur site n'ont pas été réalisés par des mécaniciens mais par les étudiants japonais et des thésards du LLR, ce point a énormément compté dans les choix de conception et le niveau de détail des procédures de montage de l'ensemble des détecteurs. Des sociétés privées japonaises ont réalisé l'installation sur site du détecteur.

Le service Mécanique du LLR a pris en charge la conception complète des détecteurs :

- Deux modules WAGASCI H2O et deux modules WAGASCI CH avec Intégration de deux types d'électronique.

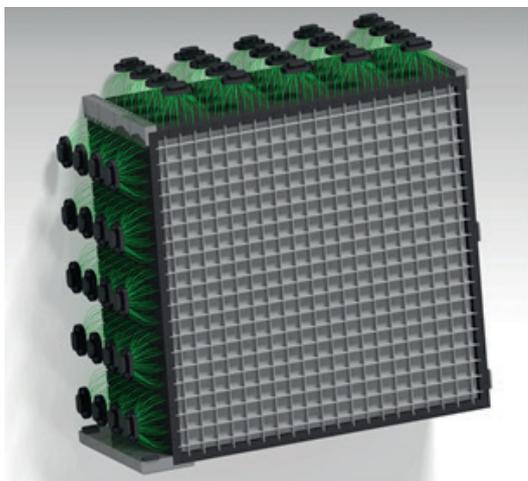


Figure 11 CAO de la zone de détection du WAGASCI

- Quatre plans veto et leurs bâtis qui entourent chacun des modules WAGASCI, avec Intégration de deux types d'électronique.

- Les Modules MRDs (10 tonnes chacun) et l'intégration de l'électronique. Les plans de scintillateurs placés à l'avant du détecteur.

L'atelier du LLR a fourni les pièces de transport et de rotation des modules MRDs (pièces mécanosoudées) ainsi que les pièces pour l'assemblage des modules.

CILEX

Depuis 2013, pour continuer ses recherches dans le domaine de l'accélération d'électron par laser, le LLR s'est investi dans le développement de CILEX (Centre Interdisciplinaire Lumière EXtrême). Ce projet correspondant à la zone expérimentale du laser multi-PetaWatt Apollon.

Le LLR a pris la responsabilité de la salle d'expérience LFA (Long Focal Area) destinée à faire des expériences d'accélération d'électrons par interaction laser-plasma. Le service mécanique a eu un rôle majeur dans la construction de cette salle de 450m². Il a réalisé l'ensemble des pré-études qui ont permis d'arriver à son design final. Le service a fourni les deux enceintes expérimentales principales (2m³ chacune), allant de la conception jusqu'à l'installation sur site.

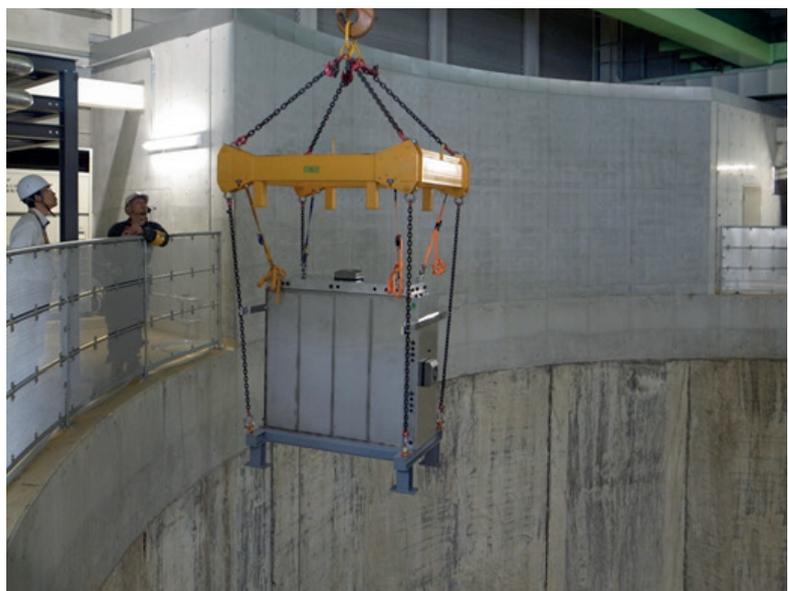


Figure 12 Descente d'un des modules du détecteur dans le puits sur site au Japon

Mécaniciens et mécaniciennes impliqués : Alain Bonnemaïson, Evelyne Edy, Oscar Ferreira CILEX



Figure 13 Enceinte d'interaction F2 Salle LFA (ICF2)
 Mécaniciens impliqués : Julien Prudent, Antoine Cauchois, Xavier Leboeuf

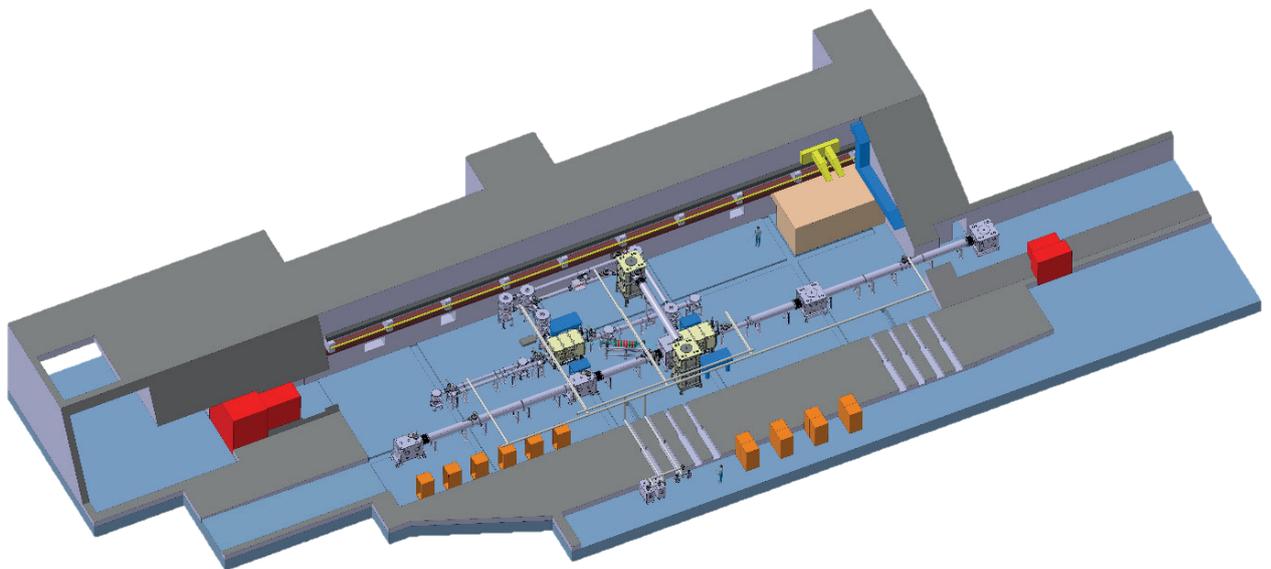


Figure 14 CAO de ensemble de la salle longue focale (CILEX)

Grâce à l'implication du service, le LLR a maintenant une position privilégiée au sein de cette installation. Actuellement le service s'attache à concevoir les détecteurs qui seront installés dans cette salle, par le biais du projet GALOP.

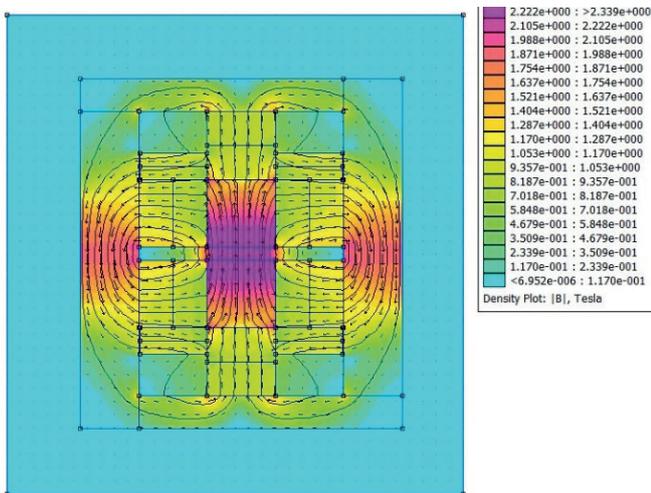


Figure 15 Simulation champ magnétique d'un dipôle

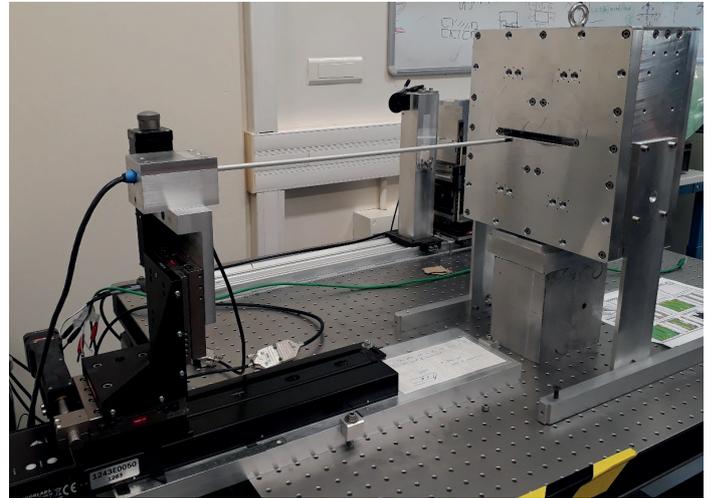


Figure 16 Dipôle permanent «made in LLR»

Mécaniciens impliqués : Julien Prudent, Antoine Cauchois, Alain Bonnemaïson

PEPITES

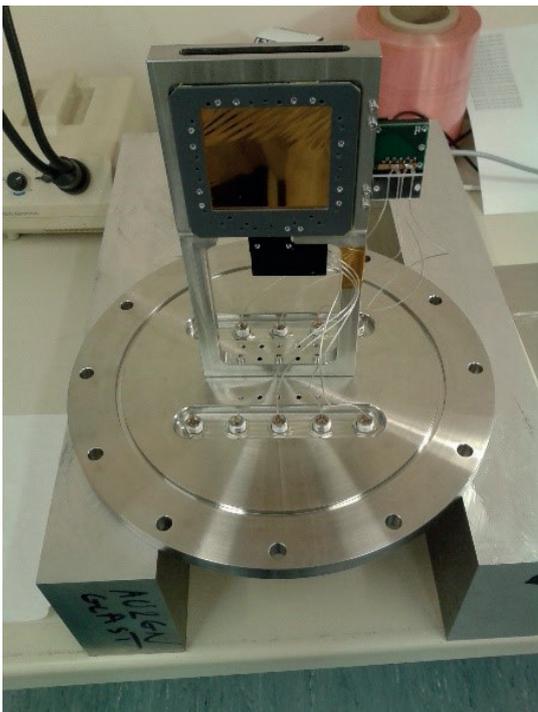


Figure 17 Prototype du détecteur PEPITES

Mécanicien impliqué : Pascal Manigot

Le service de mécanique s'investit depuis de nombreuses années sur les applications médicales issues des développements instrumentaux pour la physique des particules et l'astrophysique. C'est ainsi que des profilers de faisceaux, développés pour la ligne de faisceau H4 du CERN, utilisés par l'expérience CMS, ont été adaptés pour une machine d'hadronthérapie en Italie (CNAO) puis en Autriche (MedAustron). Fort de cette expertise, c'est tout naturellement que le service s'est engagé en 2014 dans la R&D de l'expérience PEPITES (Profileur à Electrons secondaires pour Ions Thérapeutiques).

La connaissance des paramètres des faisceaux de particules chargées est un enjeu crucial de leur mise en œuvre. Ainsi, la position et le profil se doivent d'être déterminés avec une grande précision dans les applications médicales ou industrielles. Ces mesures nécessitent le positionnement d'un appareillage le long de la ligne de faisceau. Ce dispositif, interceptif, induit une dispersion du faisceau proportionnelle à la quantité de matière traversée.

Dans le cas des faisceaux utilisés pour la protonthérapie, cet effet va influencer directement la dose délivrée au patient. Il convient donc de minimiser la quantité de matière utilisée pour effectuer la mesure tout en s'assurant que celle-ci reste efficace et précise.

Pour les besoins de l'expérience le service a réussi à mettre au point un moniteur ultra-mince à électrons secondaires pour mesurer le profil, la position, voire l'intensité d'un faisceau de protons ou hadrons thérapeutiques.

Cet appareillage est constitué d'un premier film mince de $1.5 \mu\text{m}$ non conducteur sur lequel sont déposées des pistes métalliques de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur. Ces pistes, lorsque traversées par le faisceau, émettent les électrons secondaires.

Un deuxième film métallisé collecte les électrons secondaires par application d'une différence de potentiel. L'intensité du courant ou la charge quittant chaque piste forme le signal de mesure. Le pas, la largeur voire le motif des pistes sont fixés de manière à échantillonner le profil du faisceau au niveau requis pour atteindre la résolution en dispersion et position souhaitée.

Les études, les fabrications mécaniques, ont été entièrement réalisées par le service mécanique. Concernant les dépôts de couches minces et les qualifications aux radiations le LLR a mis en place une collaboration avec d'autres laboratoires de centre de recherche de l'École polytechnique.

L'année 2016 a été une année importante dans le développement de l'expérience PEPITES. Après 18 mois de R&D la première campagne de mesures sur ARRONAX (Accélérateur pour la Recherche en Radiochimie et Oncologie à Nantes Atlantique) a donné des résultats plus que pro-

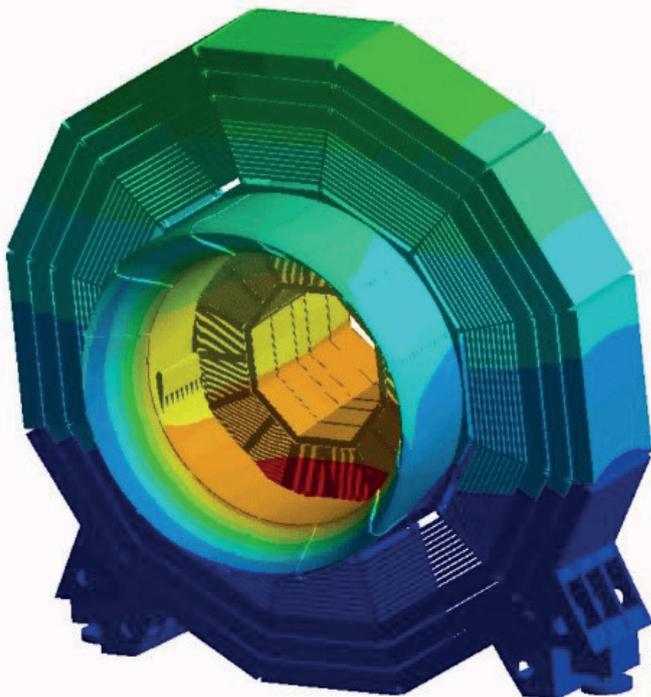


Figure 18 Analyse modale de la structure de ILD

Mécaniciens impliqués : Marc Anduze, Thomas Pierre-Emile

metteurs. Suites à cela une déclaration d'invention a été rédigée et un brevet déposé.

ILD

Dans le cadre du projet ILD, le service a pris en charge plusieurs études statiques et dynamiques du détecteur. L'étude statique d'analyse d'impact du design du HCAL sur la déformation des modules

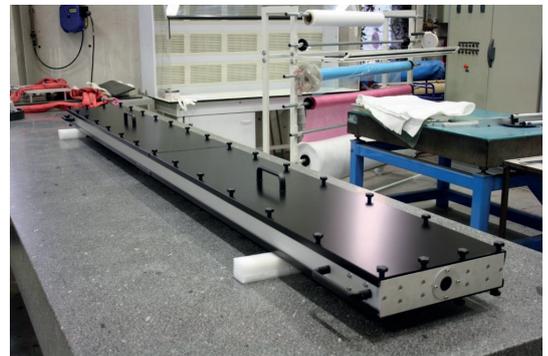


Figure 19 Structure mécanique du Slab long

Mécaniciens et mécaniciennes impliqués : Evelyne Edy, Mickael Frotin, Guillaume Fayolle,

du ECAL situés dans la partie barrel du détecteur. Le service a pris aussi en charge l'analyse dynamique de l'ensemble du détecteur pour étudier la réponse globale face à un tremblement de terre.

CALICE

Depuis 2002, au sein de la collaboration CALICE le LLR est un acteur important dans la R&D du futur détecteur ILD. Après avoir pris en charge la réalisation d'un prototype physique et technologique (2002-2013), le service mécanique développe aujourd'hui les différents bancs de test qui permettent supporter les cartes électroniques lors des tests faisceaux. Le dernier banc réalisé est la structure

porteuse des cassettes d'électronique (Figure 19). Le service a mis en place plusieurs campagnes de tests en faisceau, en prenant en charge l'ensemble des demandes de montage de tests, le transport du matériel et l'installation sur les sites des faisceaux tests, au CERN (Genève) ou encore à DESY (Hambourg).

HESS

Après 15 ans de fonctionnement pour HESS I et 7 ans pour HESS II, le consortium international HESS a décidé de remettre à niveau les 5 caméras (Upgrade) de l'expérience.

Afin de faciliter l'intégration de la nouvelle électronique, le service a pris en charge la fabrication d'une structure de mécanique de caméra «CopyCam» qu'il a livré à Desy Zeuthen en 2014.

D'autre part, le LLR a été en charge de s'occuper de l'upgrade des collecteurs de lumière.

Les 5 télescopes HESS I et HESS II

sont équipés chacun d'une caméra ultra-sensible située au plan focal. Les 4 caméras de HESS I sont constituées chacune d'un réseau de 960 photomultiplicateurs (PMs) et la caméra de HESS II de 2048 PMs de même type. Ces PMs permettant de détecter les faibles flashes lumineux émis par les rayons gamma dans la haute atmosphère. A chaque photomultiplicateur se trouve associé un collecteur de lumière (cône de Winston) qui a pour fonction de ramener par réflexion les photons Tcherenkov sur la cathode du PMs et de réduire la quantité de lumière diffuse ambiante détectée par les PMs (par une réduction du champ de vue à la taille de celui du miroir).

Le collecteur est obtenu par injection plastique avec un moule fourni par le LLR, puis il reçoit une métallisation par évaporation. Un marché a été passé pour la réalisation de 6500 collecteurs pour les deux types de caméras. Après avoir adapté le banc de qualification pour ces cônes, une campagne de mesures a été réalisée afin de valider leurs conformités.

Ils ont été installés sur site en Namibie en Mars 2017 sur Hess1 et début 2018 pour HESS II.

Depuis l'installation et la mise en service des caméras de HESS I et II, le service assure la maintenance de la mécanique des caméras lors de missions spécifiques sur site une fois par an.

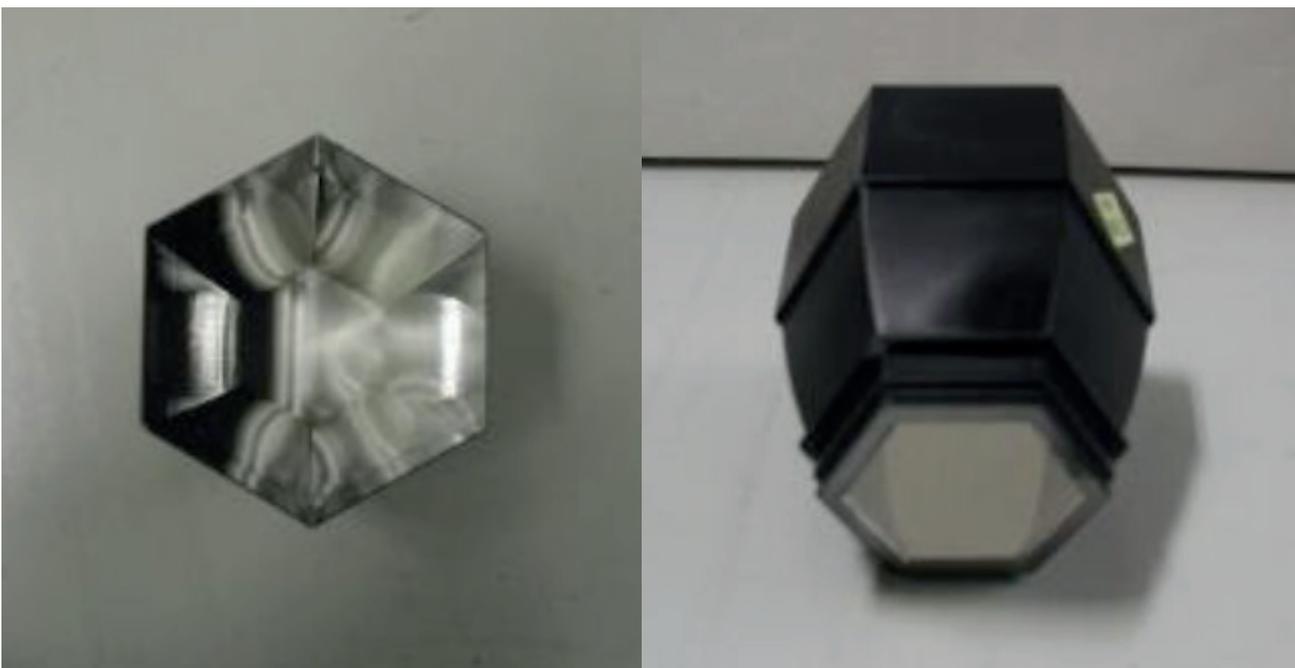


Figure 20 Cônes de Winston destinés aux caméras de HESS

Mécaniciens et mécaniciennes impliqués : Pascal Manigot, Evelyne Edy, Stéphane Hormigos

HARPO

Sur l'expérience HARPO le service mécanique a pris en charge la réalisation d'un démonstrateur de chambre TPC (chambre à échantillonnage temporel), constitué d'une enceinte à vide à l'intérieur de laquelle se trouve une cage de dérive, 6 plans de scintillateurs qui forment le trigger et un plan de détection GEM et Micromégas. Harpo a été testé au Japon fin 2014 à l'aide d'un faisceau de photons polarisés, ces tests ont permis de mettre en avant les très bonnes performances du détecteur.

Dans l'optique de l'utilisation de ce détecteur sur satellite, le service a réalisé les études d'un système original de recirculation du gaz au sein du détecteur. Ce système permet de filtrer le gaz contenu dans l'enceinte pour garder le niveau de performance du système pendant plusieurs mois sans intervention.

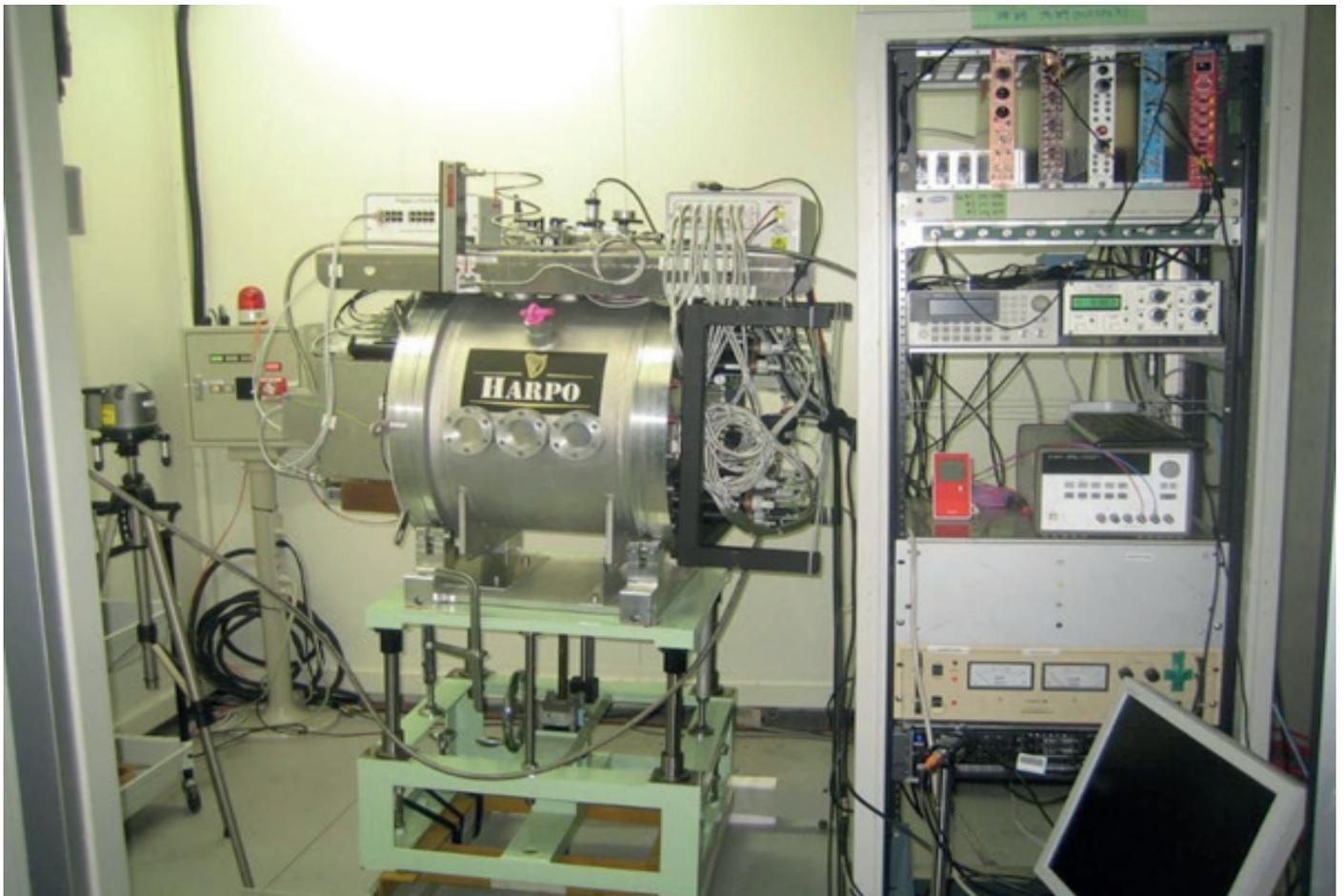


Figure 21 Détecteur Harpo installé en a New Subaru (Japon) pour tests faisceau

Mécaniciens impliqués : Patrick Poilleux, Mickaël Frotin



LE FONCTIONNEMENT DU LABORATOIRE

Comme tout laboratoire du CNRS, le LLR possède un « conseil de laboratoire » qui se réunit en moyenne

deux à trois fois par an. Ce conseil comporte 14 membres dont deux membres de droit (directeur et directeur-adjoint), 6 membres élus (3 chercheurs, 3 IT), 4 membres nommés par le directeur (2 chercheurs, 2 IT) et 2 membres invités permanents (responsable administratif et responsable technique).

Afin de faciliter la transmission des informations, le laboratoire a mis en place une « assemblée de direction » qui regroupe l'ensemble des responsables de groupes de physique et de service. Cette assemblée se réunit une fois par mois. Enfin, nous disposons aussi de « réunions d'informations » d'une durée fixe d'une heure et dont la fréquence varie en fonction de l'actualité (entre hebdomadaire et mensuelle). Ces réunions, apparentées à une assemblée générale, sont ouvertes à tous

les membres du laboratoire. Les dernières nouvelles sont annoncées par la direction suivies d'un exposé par un des agents du laboratoire sur un sujet dédié (type « mise en place des comptes épargne temps », « le cryptage des ordinateurs individuels », etc.).

En terme d'aide au pilotage scientifique, le laboratoire s'est doté d'un conseil scientifique composé de 14 membres dont 2 membres de droit (la direction), 4 membres élus, 5 membres nommés et 3 membres

externes nommés. Les projets de nouvelles expériences y sont présentés ainsi que le statut des expériences en cours. Les différents projets soumis à l'ANR ou l'ERC y sont également passés en revue depuis peu. Nous avons en moyenne deux sessions par an. Les aspects purement techniques ne sont pas évalués par le conseil scientifique mais par le « Comité Technique de Revue de Projets » (CTRP).



ADMINISTRATION

SERVICE ADMINISTRATIF

La période évaluée est riche en changement de procédures et de réglementation inscrits dans la démarche de modernisation et de simplification administrative.

De nombreux outils ont été mis en place pour la dématérialisation et pour fluidifier les échanges entre les agents et les différents services de la délégation régionale.

En 2016, le CNRS a renouvelé sa volonté de vouloir participer activement à la construction de l'espace européen de la recherche en appliquant les recommandations de la stratégie européenne des ressources humaines pour la recherche «HRS4R» et applique la charte ainsi que le code de conduite du recrutement des chercheurs. Ces derniers cadrent un mode de recrutement totalement transparent et ouvert à tous, un accompagnement et un suivi individuel du contractuel. Des préconisations sont présentes

pour permettre une bonne intégration de l'agent mais aussi réaffirmer la volonté du CNRS de promouvoir une intégrité et une déontologie de toutes nos activités scientifiques.

Durant la période considérée, de profondes réformes ont été appliquées telles que la RIFSEEP et la PPCR et ont impacté tous les agents du laboratoire.

La RIFSEEP : Régime indemnitaire tenant compte des fonctions, des sujétions, de l'expertise et de l'engagement professionnel. Un lien sur le site du CNRS : <http://maremuneration.cnrs.fr/presentation-du-rifseep>

Le système précédent de primes était complexe et fragmenté, ce qui limitait sa transparence mais aussi la mobilité des fonctionnaires. Le RIFSEEP a pour objectif de valoriser l'exercice des fonctions, reconnaître la variété des parcours professionnels et les acquis de l'expérience. Il permet d'inscrire les agents du CNRS dans le même dispositif indemnitaire que

celui applicable à la grande majorité des fonctionnaires de l'Etat.

Par ailleurs, une autre réforme est mise en œuvre à partir du 1er janvier 2016, il s'agit du protocole «Parcours Professionnel, carrières, rémunérations» (PPCR). Les grilles de rémunération sont revalorisées et améliorent les perspectives salariales.

Le lien sur le site du CNRS : <http://maremuneration.cnrs.fr/parcours-professionnels-carrieres-et-remunerations>

Le service administratif du laboratoire Leprince Ringuet a dû s'approprier et s'adapter à cette nouvelle approche des ressources humaines. Il a accompagné ce changement en étant le référentiel de tous les agents du laboratoire, d'une part avec une communication importante sur ces changements, puis un accompagnement tout au long de ce processus. Les relations avec notre délégation ont été soutenues afin de s'assurer de la bonne prise en compte des



spécificités de chacun.

De plus, la mise en place du télétravail a débuté en juin 2018.

Les modalités d'organisation du télétravail sont précisées par le décret n°2016-151 du 11 février 2016 pour une application au CNRS à partir de janvier 2019. Les demandes de télétravail seront prises en compte par «vague» avec mise en application au 1er janvier, 1er mai et 1er septembre. Cette nouvelle organisation a un impact très important sur les relations employés-manager que le service a dû mettre en place. En effet, la nature et les conditions de travail doivent être discutées en amont entre l'agent et son encadrant et éventuellement l'équipe si elle est impactée. Les activités télétravaillées doivent être identifiées, quantifiées et contractualisées. La structure a dû en amont fixer les 2 jours qui ne seront pas accessibles au télétravail. Les demandes doivent être déposées sur la plateforme «Ariane» avec tous les documents requis tels que :

- La nature et le volume des activités, signé par le DU
- L'attestation d'assurance multirisques habitation
- L'attestation sur l'honneur en matière de conformité électrique (Norme NFC-15-100)
- L'attestation fournie par le chargé de la sécurité des systèmes d'information

La décision d'autorisation précise :

- Les fonctions exercées en

télétravail

- Le lieu d'exercice
- Le choix du ou des jour(s) de télétravail
- La date de prise d'effet et sa durée (un an maximum)
- Les horaires de la journée télétravaillée
- La durée de la période d'adaptation (3 mois : durée préconisée).

Le service administratif a dû réaliser une veille d'information et accompagner chaque personne à cette nouvelle approche de l'organisation du travail. Une communication importante et régulière a permis de lancer dans de bonnes conditions les premiers dossiers de demande de télétravail.

Par ailleurs, dans la continuité de l'application de la LOLF (Loi Organique relative aux Lois de Finance) en vigueur en janvier 2005, le décret d'application de la GBCP (Gestion Budgétaire et Comptable Publique) a été effectif au 1er janvier 2016 : de nombreux outils ont été mis en place pour gérer le budget suivant cette réglementation en AE (Autorisation d'Engagement) et CP (Crédits de Paiement). Concrètement, il concerne :

- la dématérialisation de toute la chaîne de traitement de la commande au paiement : geslab version web
- la constitution de service facturier (SCTD=Service Centralisé du Traitement de la Dépense) à Nancy,
- la programmation des dépenses pour garantir la soutenabilité des budgets :

AGDG (Autorisation Générale de Dépassement Globalisé)

- la mise en place des AGDi (individuel) pour les contrats de recherche : mise en place de la plateforme «Webcontrat», une application innovante qui fiabilise et simplifie les processus de montage et de suivi des contrats de recherche grâce à trois modules interconnectés : SIGFIC sur l'aspect financier, SIGAPPEC pour le volet contractuel et CANOPE pour le recrutement, assurant une capacité d'engager les dépenses pour toute la durée du projet/contrat.

Durant cette période, le LLR a subi aussi un transfert de gestion de la DR05 vers la DR04 pour cause de rapprochement/découpage géographique des laboratoires par territoire au 1er janvier 2016.

Le service administratif a dû s'adapter à ce changement de délégation, en veillant à ce que la continuité de service soit maintenue dans cette période de transition. Il a continué à assurer un accompagnement dans les domaines des achats, du recrutement, de l'organisation de conférence et des contrats de recherche. Il a simplifié toutes les démarches liées à ces activités et a communiqué et expliqué aux agents la réglementation en cours et ses contraintes. Il a refondu et amélioré ces procédures internes pour faciliter le travail de tous.

La liste des outils qui ont évolué suite à la mise en application du décret et de la réglementation durant la période évaluée est la suivante:

Gestion courante :

- ✎ Mise à jour pour GBCP : nouveaux outils de gestion: Geslab (version lourd et léger) et Sirepa
- ✎ DMF : échange avec le service facturier, pour dématérialiser les factures et le suivi
- ✎ Procédure de mise en concurrence : PUMA2
- ✎ Procédures pour «service fait»
- ✎ Procédures pour les missions dans les pays à risques
- ✎ Procédures pour les missions longues durées

Contrat de recherche :

- ✎ Webcontrat pour le suivi des contrats de recherche avec 3 modules :
 - ⇨ Sigappec = Système d'Information de Gestion Appels à Projets, Projets Et Contrats.

Ce module est dédié au suivi des projets de contrats, du début de leur prise en charge par le Service Partenariat et Valorisation jusqu'à leur signature.

Plus précisément, ce module permettra de suivre les appels à projet et projets de contrat de notre unité via :

- * Une recherche dans SIGAPPEC de nos projets de contrat
- * Un courriel d'informa-

tion d'ouverture de projet

- * Un courriel d'information de la signature et du dépôt du contrat sur la base SIGAPPEC avec possibilité de le télécharger
- * Un suivi dans SIGAPPEC de chaque étape de l'instruction du dossier par le Service Partenariat et Valorisation.
- ⇨ Sigfic : pour le suivi de la mise en place du budget idoine
- ⇨ Canopé : pour la demande de recrutement des contractuels liés au contrat de recherche
- ✎ GCOPEX : pour le suivi des contrats de recherche de l'école polytechnique

Ressources humaines :

- ✎ Réséda : pour le suivi du personnel (anciennement labintel)
- ✎ Canopé : demandes de recrutement dématérialisées
- ✎ Ariane : pour les échanges entre l'agent et le SRH de la délégation de rattachement (demande de cumul, SFT, arrêt maladie...)
- ✎ Agate et Cal'X : pour le suivi des congés du personnel, CNRS et X respectivement
- ✎ Sygefor : pour la demande de formation dématérialisée
- ✎ CNRS Emploi (Charte CDD HRS4R) / monster / meteo-job
- ✎ Fidesio : pour demande de badge d'accès école
- ✎

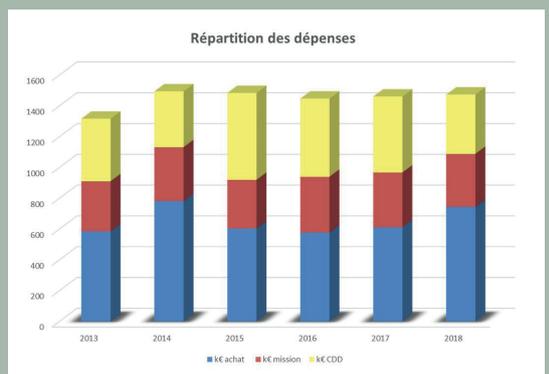
Relation avec IN2P3 :

- ✎ Dialog de gestion : avec les tutelles
- ✎ iLab : pré-dialogue de gestion avec l'IN2P3
- ✎ NSIP : suivi du personnel par projet.

Afin de s'appropriier ces changements, des formations ont été nécessaires et une phase d'intégration et de mise à jour des procédures a dû être mises en place. Ensuite, une campagne de communication via des réunions d'information internes a été entamée. Cependant, le calendrier très contraint de la mise en place du télétravail, l'annonce de la plateforme Ariane ainsi que l'application de la RIFSEEP ont mis à rude épreuve nos capacités d'adaptation et de pédagogie ces derniers temps.

Malgré tous ces aléas, l'équipe a toujours su maintenir une continuité de service. Une partie des activités du service administratif du LLR peut se résumer à travers les quelques graphes ci-dessous :

Sur la période considérée, on peut voir que le montant total



Répartition des dépenses

des dépenses reste stable : la moyenne est de 1400 k€ par an, répartis en achats, mission et recrutement.

Cependant, les montants par type de dépenses varient d'une année à l'autre, toutes sources confondues. Afin de mieux comprendre ce graphe, nous allons les détailler par type et par source de financement avec les graphes qui suivent.



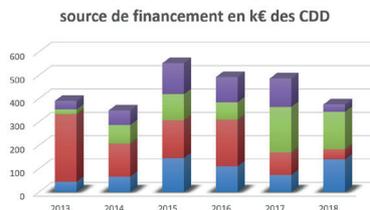
K€ dépense SE + CR



Nombre de commandes

Le recrutement des CDD

Le montant moyen sur les 4 années dédié aux CDD est de 400k€ par an. Si nous détaillons ces montants par source de financement, nous observons que la source la plus importante en 2013, provient des contrats européens, puis au fil du temps, nous nous sommes orientés vers les appels nationaux : ANR et les investissements d'avenir tels que les idex, labex et equipex.



Les achats

En ce qui concerne les achats de biens et prestations, le nombre de commandes tourne autour de 600, représentant une moyenne de 900 k€ par an. Il convient de noter une légère hausse des investissements prévus par les contrats de recherche. Il s'agit essentiellement de serveurs de calcul (accroissement des données recensées par les expériences) et d'équipements de pointe (conception et élaboration en interne de prototypes).



Nombre de mission



k€ pour mission

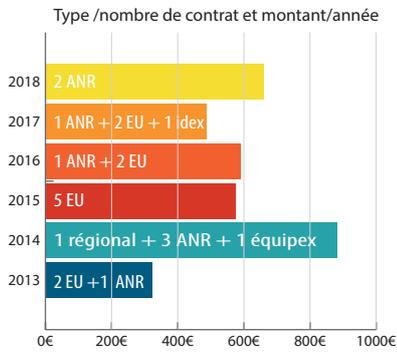
Les déplacements professionnels

Comme nous l'avons souligné

précédemment, la plupart de nos collaborations sont internationales : Suisse, Japon, États-Unis, Chine, Namibie, Les Canaries...

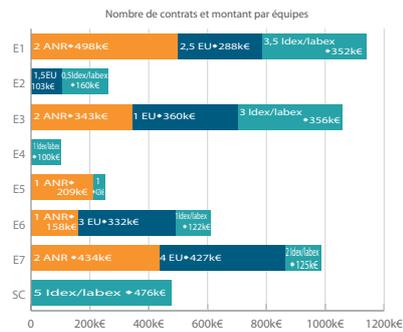
Il en découle qu'une partie conséquente du budget soit dédiée aux déplacements professionnels. Le nombre moyen de missions par an est de 500. Il correspond à un budget global moyen de 300 k€ par an. On notera toutefois une baisse relative des dépenses comparativement à la période précédente (de l'ordre de 600 k€/ an). Une autre valeur ajoutée du service administratif est d'être un élément qui impulse les réponses aux appels à projet. En effet, il réalise la veille de tous les appels qu'ils soient locaux, propres à l'école polytechnique, régionaux via les idex et labex auquel le LLR est membre, nationaux via l'ANR et européens. Parmi ces nombreux guichets, une étude des appels est réalisée afin de trier ceux qui sont pertinents et qui correspondent aux thématiques de recherche du LLR. Puis une diffusion est faite auprès des chercheurs cibles et une discussion peut être entamée pour préciser les contours de l'appel ainsi que les dépenses éligibles à ce dernier. Une amélioration significative des réponses et des succès auprès de ces guichets a été notée durant la période précédente. Ensuite, nous accompagnons le porteur de projet dans la planification du budget et les signatures de conventions, le recrutement des contractuels prévus dans le projet et réalisons les rapports financiers intermédiaires et finaux, tout en vérifiant la cohérence de ces dépenses avec le financeur.

Face à ces excellents résultats, nous avons constitué une cellule d'aide à la rédaction des contrats de recherche avec 2 chercheurs, le directeur technique et la responsable administrative.



Type et nombre de contrat et montant

par année



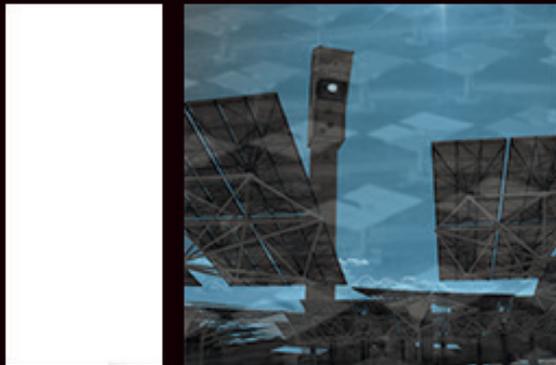
Nombre de contrats et montant par équipes

Les succès des porteurs de projets au sein du laboratoire par année et par équipe durant la période évaluée sont résumés ici :

Il est à noter que pour l'équipe E5 dénommée «biomed», une licence a été déposée en février 2018 protégeant une recherche et un développement d'un profileur pour la protonthérapie et pour lequel, ils ont reçu un financement de l'ANR en 2017. C'est un travail de valorisation remarquable pour un laboratoire de recherche en physique fondamentale et nous en sommes très fiers.

Homage
to
PATRICK FLEURY
1935 - 2017

12 septembre 2018



On the Wednesday September 12th 2018

we will pay tribute to
Patrick Fleury
as a physicist and as a man.

Please register to

<https://indico.in2p3.fr/event/17807/>

Un axe sur lequel le service s'investit est la communication et l'organisation de conférences. Voici pour illustration, les événements que le service a pris en charge durant la période :

📌 2014 :

- ⇒ CS P2IO : 17–18 décembre, labo→60 personnes.
- ⇒ QGP Etretat 2014 : 15–18 septembre , F. Fleuret →44 personnes.
- ⇒ GDR Terascale : 2–4 juin, R. Salerno & C. Ochando→65 personnes.
- ⇒ Médaille d'argent Yves Sirois : 13 novembre, labo→100 personnes.
- ⇒ Séminaire Bernard Degrange : 18 novembre, labo→100 personnes.
- ⇒ Ecole été P2IO 2014 : A. Zabi→ 40 personnes.
- ⇒ Masterclass CMS 2014 : 20 mars, O. Drapier→60 personnes.

⇒

📌 2015

- ⇒ QGP Etretat 2015 : 12–15 octobre, Fleuret→55 personnes.
- ⇒ Réunion CMS France 2015 : 1 octobre, Ortona.
- ⇒ HGC for ILD–High Granularity Calorimeters for ILD WS/ 2 : 4 février, Boudry→29 personnes.
- ⇒ Journée prospective LLR : 21–22 octobre, labo→80 personnes.
- ⇒ Ecole été P2IO 2015 : 20 juillet, Zabi→40 personnes.
- ⇒ Masterclass cms 2015 : 12, 19, 26 mars, Thiebaut→180 personnes.

📌 2016

- ⇒ Ecole informatique IN2P3 2016 : 23– 27 mai, G. Grasseau→48 personnes.
- ⇒ EuroNNAC and Eupraxia workshop on pilot applications of electron Plasma Accelerators (PAEPA), 10–13 octobre, A. Specka→20 personnes.
- ⇒ Heavy ion jet, 06–08 juillet, M. Nguyen→31 personnes.
- ⇒ Idl-ecal, 25–27 juillet, V. Boudry→14 personnes.
- ⇒ Ecole été P2IO 2016, 18 juillet, A. Zabi →40 personnes.
- ⇒ Workshop Juno, 28 novembre au 02 décembre, O. Drapier→40 personnes.
- ⇒ Eupraxia – 1 st Steering Committee Meeting, 19 février, A. Specka→30 personnes
- ⇒ Eupraxia meeting annuel : 26–28 octobre, A. Specka→59 personnes.
- ⇒ Masterclass cms 2016 : 11 février, 10, 17 mars, C. Thiebaut→180 personnes.

📌 2017

- ⇒ Congrès LLR : 18–20 septembre, labo→ 56 personnes.
- ⇒ QGP Etretat 2017 : 09–12 octobre, F. Fleuret →45 personnes.
- ⇒ 2017 Palaiseau Collaboration meeting HESS, 24–28 avril, M. de Naurois→102 personnes.
- ⇒ Calice collaboration Meeting at LLR, 22 – 24 mars, V. Boudry →64 personnes.
- ⇒ Workshop MeV : 12–14 avril, D. Bernard & D. Horan→26 personnes.
- ⇒ Ecole été P2IO 2017, 24 juillet, A. Zabi→ 40 personnes.
- ⇒ Masterclass cms 2017, 10, 16 et 30 mars, C. Thiebaut→180 personnes.

📌 2018

- ⇒ Consortium CTA 14–18 mai, G. Fontaine →264 personnes.
- ⇒ Ecole été P2IO 2018, 23 juillet, A. Zabi & D. Horan→40 personnes.
- ⇒ Journée hommage P. Fleury, 12 septembre, H. Videau→82 personnes.
- ⇒ Workshop HH, 4–6 avril, F. Beaudette & G. Ortona→39 personnes.
- ⇒ Workshop VBS : 10–12 octobre, C. Charlot→36 personnes.

En conclusion, cette période 2014-2018 a connu de nombreux bouleversements mais l'équipe administrative avec l'appui de la délégation régionale et de la direction de l'école polytechnique a pu se former et accompagner au mieux les agents du laboratoire dans la compréhension et l'appropriation de ces réformes.



Formation permanente

La formation est un outil indispensable, facteur de progrès au service des projets et de tous les agents du laboratoire. Elle est corrélée aux orientations scientifiques et aux évolutions liées aux collaborations dans lesquelles le laboratoire est impliqué. La formation s'inscrit dans la durée pour que les agents puissent régulièrement développer et renforcer un savoir-faire sur de nouvelles technologies. Elle couvre les aspects scientifiques et techniques des métiers mais aussi les domaines liés à l'organisation de projets, à la gestion des ressources humaines et à la sécurité. Les agents disposent de vecteurs de formations performants adaptés à leur métiers grâce aux actions du CNRS et de l'IN2P3 ainsi que par notre autre tutelle l'Ecole polytechnique. En complément, les réseaux métiers permettent le partage de connaissances et

d'expériences. Pour répondre à ces besoins, le LLR a mis en place depuis quelques années un binôme correspondant formation constitué d'un administratif et d'un ingénieur. Ils sont les premiers interlocuteurs pour informer l'agent, l'accompagner et faciliter sa démarche pour accéder aux formations en adéquation avec la politique scientifique et métier de l'unité. Pour des demandes spécifiques, il peut être nécessaire de faire appel à un prestataire extérieur. Dans ce cas les CoFos constituent un dossier de demande de financement auprès de la délégation régionale dans le cadre de la formation permanente.

Le recensement des besoins en formation des services est formalisé chaque année dans le plan de formation de l'unité (PFU) et transmis aux tutelles. Tout au long de l'année les deux correspondants formation assurent le suivi de la réalisation du plan de formation.

Bilan et la formation en chiffres.

Chaque année un effort particulier de formation est mis en place pour les nouveaux entrants afin de permettre leur intégration au sein des services et des projets. Il en est de même pour les personnels étrangers (CDD chercheurs, post-docs et doctorants) qui peuvent bénéficier de cours de FLE (Français Langues Etrangère) par l'intermédiaire de notre tutelle l'Ecole Polytechnique. Ces formations très demandées sont extrêmement appréciées par la communauté scientifique étrangère. Les demandes de formation en IAO-CAO sont récurrentes car elles permettent aux service électronique et mécanique de rester performants sur les outils utilisés. Les écoles thématiques et ANF IN2P3 propre à notre discipline permettent aux agents d'appréhender le milieu scientifique dans lequel ils travaillent.

L'environnement de travail des

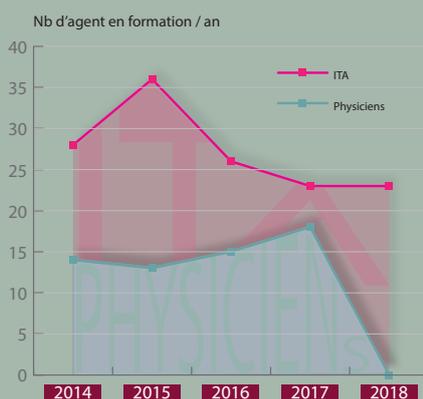


Figure 1

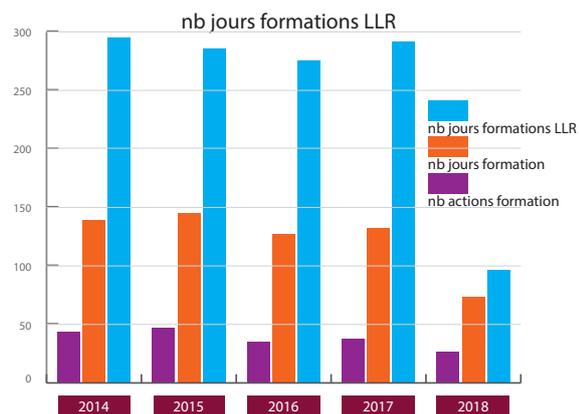


Figure 2

agents implique des conditions particulières d'activités où les formations concernant la sécurité sont importantes (habilitation électrique, manipulation autoclave, machine à découpe à jets d'eau, ponts roulants, SST, ...). Le laboratoire se doit de faire travailler son personnel

dans des conditions de sécurité optimales, en formant chaque année des agents.

Au cours de ces quatre dernières années (avec un bilan arrêté au mois de juillet 2018), nous pouvons constater sur la figure 1 que la formation a concerné en majorité des

personnel ITA. La tendance 2018 laisse penser que le nombre de formations demandées seront décroissantes. Cela peut s'expliquer par le nombre important de formation qui a été demandé entre 2014 et 2017 (figure 2).

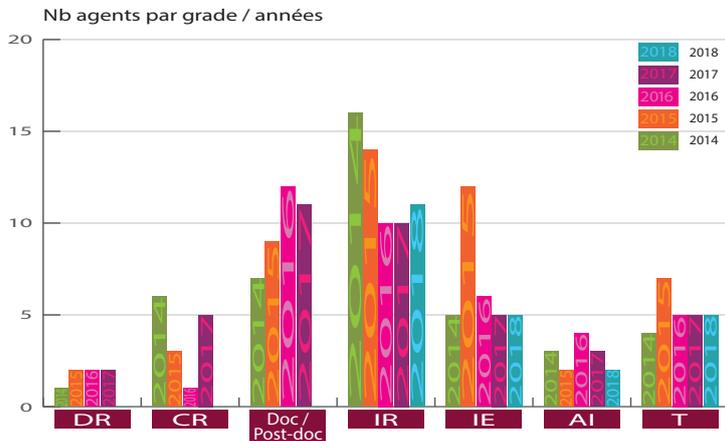


Figure 3

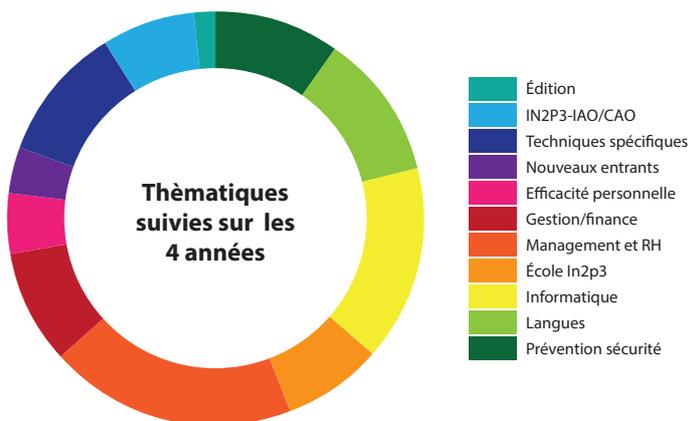


Figure 4

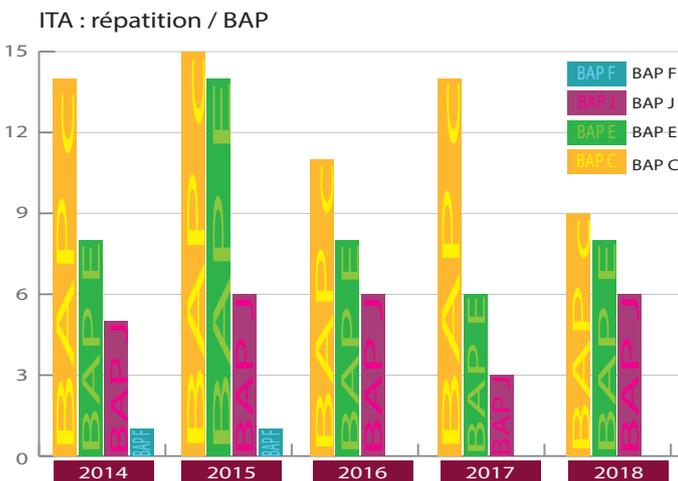


Figure 5

La figure 3 représente la répartition des agents par grades et on observe qu'une forte proportion d'Ingénieur de Recherche a suivi des formations. Corrélée à la figure 4, ces agents ainsi que quelques Ingénieurs d'Etude responsables de service et/ou de projet ont exprimé des besoins en formation comme le management d'équipe et projet.

Les thésards et Post-Doc, majoritairement d'origine étrangère, suivent des cours de FLE, qui représentent une dizaine de jours par an et qui sont très demandées à l'École polytechnique.

Les thématiques de formation montrent l'identité du laboratoire à fort potentiel technique pour les besoins scientifiques.

Outre le management et RH, les thématiques spécifiques (technique spécifique, informatique et prévention sécurité) sont les formations demandées pour acquérir ou développer des compétences pour mener à bien leur activité.

Les école IN2P3 et les formations IAO/CAO sont suivies de façon récurrente afin que les agents ou nouveaux entrants consolident ou découvrent leur environnement de travail. Il en est de même pour le service administratif qui assure son maintien de connaissance avec un suivi de formation sur les évolutions des outils de gestion et financement au sein d'une unité.

Le dernier graphe (figure 5) montre les répartitions par BAP des agents ITA ayant suivi des formations sur la période 2014 - juillet 2018. Ces résultats sont représentatifs des populations IT présentes au sein du LLR et donc des métiers :

- Electronique et mécanique : BAP C
- Informatique : BAP E
- Administration : BAP J



L'ANIMATION SCIENTIFIQUE DE LA COMMUNICATION



EVÈNEMENTS ...

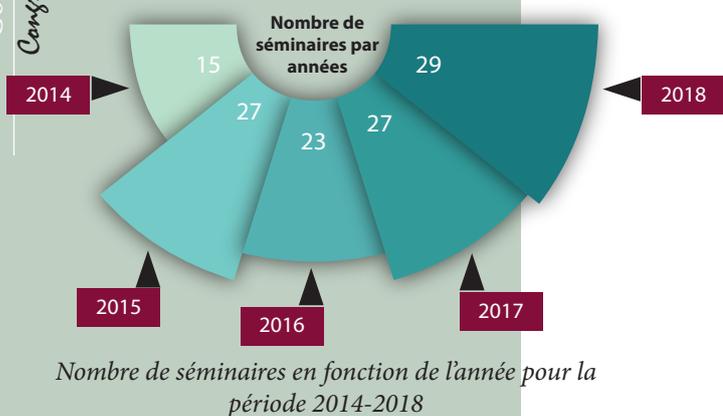
... EN IMAGES

Congrès du laboratoire

La biennale du LLR permet de concevoir l'avenir scientifique et technique du laboratoire. Elle alterne des congrès sur les perspectives purement scientifiques ou encore les perspectives plus générales du laboratoire (congrès de physique 2017)

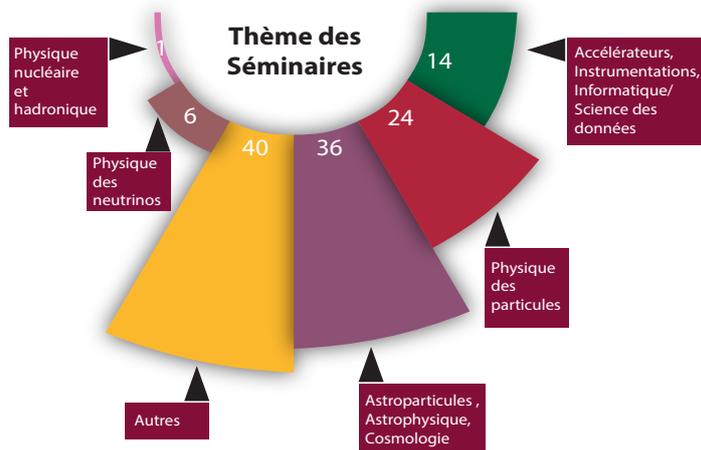
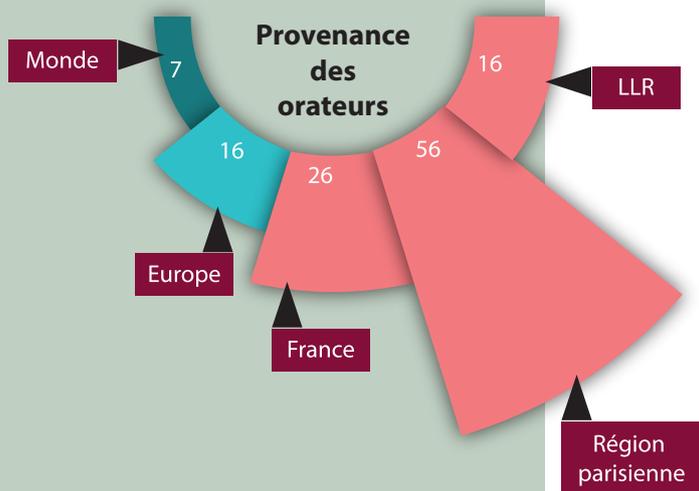


Communication
Congrès du laboratoire et Séminaires



Séminaires

Nos séminaires scientifiques sont hebdomadaires, typiquement le lundi après-midi et permettent de balayer l'ensemble des sujets scientifiques. C'est aussi un lieu d'exercice pour nos jeunes doctorants et post-doctorants



Thématiques principales des séminaires pour la période 2014-2018

Réunion du vendredi

Nous disposons aussi de « réunions d'informations » dont la fréquence varie en fonction de l'actualité. Ces réunions, apparentées à une assemblée générale, sont ouvertes à tous les membres du laboratoire. Les dernières nouvelles sont annoncées par la direction suivies d'un exposé par un des agents du laboratoire sur un sujet dédié.



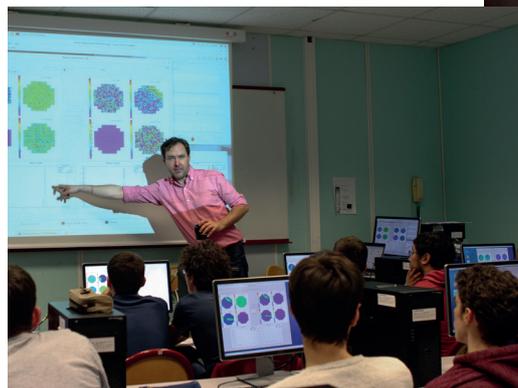
Fête de la science

Chaque année, le LLR est présent à la Fête de la Science de l'École polytechnique. Les personnels du laboratoire accueillent les scolaires et le grand public afin de leur faire partager leur passion pour leurs recherches sur la physique des 2 infinis. Dans le Grand Hall de l'École, les visiteurs participent au « Quiz des particules », à une visite virtuelle du CERN grâce à des lunettes VR ou encore découvrent les métiers du laboratoire.



Masterclass

le LLR participe aux journées Masterclass, organisées par le CERN. Au cours d'une journée complète sur le site de l'École polytechnique, les membres du laboratoire proposent aux lycéennes et aux lycéens une immersion dans le monde de la recherche en physique des particules.



PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Production de connaissances et activités concourant au rayonnement et à l'attractivité scientifique

Articles scientifiques

E1 - Physique des particules au LHC [Expérience CMS] (+ CMS Ions Lourds)

- [1] CMS Collaboration, "Measurement of vector boson scattering and constraints on anomalous quartic couplings from events with four leptons and two jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV", Physics Letters B 774 (2017) 682.
- [2] CMS Collaboration, "Observation of the Higgs boson decay to a pair of tau leptons", Accepted by Physics Letters B (2017).
- [3] CMS Collaboration, "Search for Higgs boson pair production in events with two bottom quarks and two tau leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV", Physics Letters B 778 (2018) 101. [CMS HIG-17-002 (July 2018)]
- [4] CMS Collaboration, "Measurements of properties of the Higgs boson decaying into the four-lepton final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV", Journal of High Energy Physics 11(2017) 047.
- [5] CMS Collaboration, "Particle-flow reconstruction and global event description with the CMS detector", JINST 12 (2017) P10003.
- [6] CMS Collaboration, "Measurement of the ZZ production cross section and $Z \rightarrow l+l-l+l-$ branching fraction in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV", Physics Letters B 763 (2016) 280.
- [7] CMS Collaboration, "Search for Higgs boson off-shell production in proton-proton collisions at 7 and 8 TeV and derivation of constraints on its total decay width", Journal of High Energy Physics 09 (2016) 051.
- [8] CMS Collaboration, "Search for two Higgs bosons in final states containing two photons and two bottom quarks", Physical Review D 94 (2016) 052012.
- [9] CMS Collaboration, "Measurement of differential and integrated fiducial cross sections for Higgs boson production in the four-lepton decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV", Journal of High Energy Physics 04 (2016) 005.
- [10] CMS Collaboration, "Precise determination of the mass of the Higgs boson and tests of compatibility of its couplings with the standard model predictions using proton collisions at 7 and 8 TeV", The European Physical Journal 75 (2015) 212.
- [11] CMS Collaboration, "Constraints on the spin-parity and anomalous HVV couplings of the Higgs boson in proton collisions at 7 and 8 TeV", Physical Review D 92 (2015) 012004.
- [12] ATLAS and CMS Collaborations, "Combined Measurement of the Higgs Boson Mass in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS Experiments", Phys.Rev. Lett. 114 (2015) 191803; 45pp.
- [13] Y. Sirois, "Discovery and Measurements of the H boson with ATLAS and CMS Experiments at the LHC", in "The H Boson", C. Bachas, B. Duplantier, V. Rivasseau (Ed.), Springer International, 133pp.
- [14] CMS Collaboration, "Constraints on the Higgs boson width from off-shell production and decay to Z-boson pairs", Physics Letters B 736 (2014) 64.
- [15] CMS Collaboration, "Evidence for the direct decay of the 125 GeV Higgs boson to fermions", Nature Phys. 10 (2014) 557-560.
- [16] CMS Collaboration, "Evidence for the 125 GeV Higgs boson decaying to a pair of tau leptons", Journal of High Energy Physics 1405 (2014) 104.

[17] CMS Collaboration, “Measurement of the properties of a Higgs boson in the four-lepton final state”, Physical Review D89 (2014) 092007.”

[18] CMS Collaboration, “Observation of a new boson with mass near 125 GeV in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV”, Journal of High Energy Physics (2013) 81.

[19] CMS Collaboration, “Study of the mass and spin-parity of the Higgs boson candidate via its decays to Z boson pairs”, Physical Review Letters 110 (2013) 081803.

[20] CMS Collaboration, “Measurement of the ZZ production cross section and search for anomalous couplings in $2l2l'$ final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, Journal of High Energy Physics 1301 (2013) 063.

[21] CMS Collaboration, “Observation of ttH Production”, dans PHYSICAL REVIEW LETTERS 120 (2018) 231801, 4 juin 2018

E2- Collisionneurs e-e+ [Expérience Babar]

[22] J.P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Search for invisible decays of a dark photon produced in e^+e^- collisions at BaBar”, Phys. Rev. Lett. 119 (2017) 131804.

[23] J.P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Search for a Dark Photon in e^+e^- Collisions at BaBar”, Phys. Rev. Lett. 113 (2014) 20, 201801

D'autre part, membres du comité éditorial de BaBar, nous avons été partie prenante de :

[24] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Measurement of the $D^*(2010)^+$ natural line width and the $D^*(2010)^+ - D^0$ mass difference”, Phys. Rev. D 88 (2013) 052003

[25] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Search for di-muon decays of a low-mass Higgs boson in radiative decays of the $\Upsilon(1S)$ ”, Phys. Rev. D 87 (2013) 031102

[26] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Antideuteron production in Upsilon(nS) decays and in e^+e^- to $q\bar{q}$ at \sqrt{s} approx 10.58 GeV”, Phys. Rev. D 89 (2014) 111102

[27] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Evidence for the decay B^0 to $\omega\omega$ and search for B^0 to $\omega\phi$ ”, Phys. Rev. D 89 (2014) 051101

[28] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Measurement of the e^+e^- to $p\bar{p}$ cross section in the energy range from 3.0 to 6.5 GeV”, Phys. Rev. D 88 (2013) 072009

[29] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Study of $B^{+,-,0}$ to $J/\psi K^+ K^- K^{+,-,0}$ and search for B^0 to $J/\psi\phi$ at BABAR”, Phys. Rev. D 91 (2015) 012003

[30] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Measurement of the B to $X_s l+l-$ branching fraction and search for direct CP violation from a sum of exclusive final states”, Phys. Rev. Lett. 112 (2014) 211802

[31] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Measurement of Collins asymmetries in inclusive production of charged pion pairs in e^+e^- annihilation at BABAR”, Phys. Rev. D 90 (2014) 052003

[32] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Evidence for CP violation in B^+ to $K^*(892)^+ \pi^0$ from a Dalitz plot analysis of B^+ to $K^0_S \pi^+ \pi^0$ decays”, Phys. Rev. D 96 (2017) 072001

[33] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Search for new π^0 -like particles produced in association with a tau-lepton pair”, Phys. Rev. D 90 (2014) 112011

[34] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Bottomonium spectroscopy and radiative transitions involving the $\chi_{bJ}(1P,2P)$ states at BABAR”, Phys. Rev. D 90 (2014) 112010

[35] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Search for a light Higgs resonance in radiative decays of the $\Upsilon(1S)$ with a charm tag”, Phys. Rev. D 91 (2015) 071102

[36] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Measurement of the neutral D meson mixing parameters in a time-dependent amplitude analysis of the $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decay”, Phys. Rev. D 93 (2016) 112014

[37] P. del Amo Sanchez et al. [BaBar Collaboration], “Time-dependent analysis of B^0 to $K^0_S \pi^- \pi^+ \gamma$ decays and studies of the $K^+ \pi^- \pi^+$ system in B^+ to $K^+ \pi^- \pi^+ \gamma$ decays”, Phys. Rev. D 93 (2016) 052013

[38] A. Abdesselam et al. [BaBar and Belle Collaborations], “First Observation of CP Violation in $B^0 \rightarrow D^* CP \eta$ Decays by a

Combined Time-Dependent Analysis of BABAR and Belle Data”, Phys. Rev. Lett. 115 (2015) 121604

[39] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Measurement of the inclusive electron spectrum from B meson decays and determination of $|\text{Vub}|$,” Phys. Rev. D 95 (2017) 072001

[40] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Tests of CPT symmetry in B_0 - B_{bar}^0 mixing and in B_0 to $c\text{bar}c K_0$ decays,” Phys. Rev. D 94 (2016) 011101

[41] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Measurement of the e^+e^- to $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ cross section using initial-state radiation at BABAR,” Phys. Rev. D 96 (2017) 092009

[42] J. P. Lees et al. [BaBar Collaboration], “Measurement of an Excess of B_{bar} to $D^{(*)}$ τ $\nu_{\text{bar}\tau}$ Decays and Implications for Charged Higgs Bosons,” Phys. Rev. D 88 (2013) 072012

E2- Collisionneurs e-e+ [Collaboration ILD-CALICE]

Sur la période considérée [2013-2017], ILD et CALICE ont publié 21 articles dans des revues, ou comme contribution avec comité de lecture en conférence.

[43] M. Ruan and H. Videau, “Arbor, a new approach of the Particle Flow Algorithm,” in Brient et al., pp. 316–324. arXiv:1403.4784 [physics.ins-det].

[44] Y. Haddad, G. Grenier, I. Laktineh, N. Lumb, and S. Cauwenbergh, “High Rate Resistive Plate Chamber for LHC detector upgrades,” Nucl. Instrum. Meth. A718 (2013) 424–426, arXiv:1211.5698 [physics.ins-det].

[45] CALICE Collaboration, Y. Haddad, “First results of the SDHCAL technological prototype,” in Brient et al., pp. 183–190. arXiv:1401.5825 [physics.ins-det].

[46] ILD Collaboration, T. Behnke et al., “International Linear Collider – Detector Baseline Document,” tech. rep., DESY / FERMI-LAB / CERN, 2013.

[47] M. Amjad, M. Anduze, J.-E. Augustin, J. Bonis, V. Boudry, et al., “Beam test performance of the SKIROC2 ASIC,” Nucl. Instrum. Meth. A778 (2014) 78–84.

[48] M. Ruan, D. Jeans, V. Boudry, J.-C. Brient, and H. Videau, “Fractal Dimension of Particle Showers Measured in a Highly Granular Calorimeter,” Phys. Rev. Lett. 112 (Jan, 2014) 012001, arXiv:1312.7662 [physics.ins-det].

[49] F. Gastaldi, R. Cornat, F. Magniette, and V. Boudry, “A scalable gigabit data acquisition system for calorimeters for linear collider,” in Proceedings, 3rd International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP 2014): Amsterdam, Netherlands, June 2-6, 2014, vol. TIPP2014, p. 193. April, 2014.

[50] S. Callier, J.-B. Cizel, F. Dulucq, C. L. Taille, G. Martin-Chassard, et al., “ROC chips for imaging calorimetry at the International Linear Collider,” in Baschirotto et al., p. C02022

[51] The CEPC-SPPC Study Group, “CEPC-SppC Preliminary Conceptual Design Report - Volume I,” report IHEP-CEPC-DR-2015-01; IHEP-EP-2015-01; IHEP-TH-2015-01, IHEP, January, 2015.

[52] T. H. Tran, V. Balagura, V. Boudry, and J.-C. Brient, “Optimization of ILD ECAL dimensions,” in International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS16), 4-12 Dec 2016, Morioka, Japan. December, 2016.

[53] D. Yu, M. Ruan, V. Boudry, and H. Videau, “Lepton identification at particle flow oriented detector for the future e+e- Higgs factories,” Eur. Phys. J. C77 no. 9, (2017) 591, arXiv:1701.07542 [physics.ins-det].

[54] D. Jeans, J.-C. Brient, and M. Reinhard, “Gamma Reconstruction at a Linear Collider,” in Brient et al., pp. 333–338.

[55] Y. Haddad, M. Ruan, and V. Boudry, “Software digitizer for high granular gaseous detector,” JINST 9 no. 11, (2014) C11016, arXiv:1405.1286 [physics.ins-det].

[56] R. Cornat, F. Gastaldi, and F. Magniette, “Acquisition and control command system for power pulsed detectors,” in Proceedings, 2015 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP 2015), p. C01030.

[57] G. Baulieu et al., “Construction and commissioning of a technological prototype of a high-granularity semi-digital hadronic calorimeter,” JINST 10 no. 10, (2015) P10039, arXiv:1506.05316 [physics.ins-det].

[58] J. Cizel, S. Ahmad, S. Callier, R. Cornat, F. Dulucq, et al., “Building blocks X-FAB SOI 0.18 μm ,” JINST 10 no. 02, (2015) C02007.

[59] CALICE Collaboration, V. Buridon et al., “First results of the CALICE SDHCAL technological prototype,” JINST 11 no. 04, (2016) P04001, arXiv:1602.02276 [physics.ins-det].

E3 - Astronomie Gamma

[60] Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; et al., “Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger”, Group Author(s): LIGO Sci Collaboration & Virgo; Fermi GBM; INTERGRAL; et al. ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS Volume: 848 Issue: 2 Article Number: L12 Published: OCT 20 2017 Times Cited: 35

[61] Petroff, E.; Burke-Spolaor, S.; Keane, E. F.; et al., “A polarized fast radio burst at low Galactic latitude” Group Author(s): AN-TARES Collaboration; H E S S Collaboration MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY Volume: 469 Issue: 4 Pages: 4465-4482 Published: AUG 2017 Times Cited: 8

[62] Abdollahi, S.; Ackermann, M.; Ajello, M.; et al. “Cosmic-ray electron-positron spectrum from 7 GeV to 2 TeV with the Fermi Large Area Telescope”, Group Author(s): Fermi-LAT Collaboration PHYSICAL REVIEW D Volume: 95 Issue: 8 Article Number: 082007 Published: APR 21 2017 Times Cited: 5

[63] Abdalla, H.; Abramowski, A.; Aharonian, F.; et al. “Gamma-ray blazar spectra with HESS II mono analysis: The case of PKS2155-304 and PG1553+113”, Group Author(s): HESS Collaboration; LAT Collaboration ASTRONOMY & ASTROPHYSICS Volume: 600 Article Number: A89 Published: APR 2017 Times Cited: 1

[64] Gros, P.; Bernard, “Gamma-Ray polarimetry with conversions to $e^{+}e^{-}$ pairs: Polarization asymmetry and the way to measure it”, D.ASTROPARTICLE PHYSICS Volume: 88 Pages: 30-37 Published: FEB 2017 Times Cited: 6

[65] Abeysekara, A. U.; Archambault, S.; Archer, A.; et al., “A Luminous and Isolated Gamma-Ray Flare from the Blazar B2 1215+30”, Group Author(s): VERITAS Collaboration; Fermi-LAT Collaboration ASTROPHYSICAL JOURNAL Volume: 836 Issue: 2 Article Number: 205 Published: FEB 20 2017 Times Cited: 1

[66] H. Abdalla, G. Rowell, M. de Naurois, et al., “Extended VHE gamma-ray emission towards SGR1806-20, LBV1806-20, and stellar cluster Cl*1806-20”, Group Author(s): HESS Collaboration ASTRONOMY & ASTROPHYSICS Forthcoming article - Accepted: 11 May 2016 - on hold to be included in the A&A special issue on HESS-I legacy results.

[67] Abramowski, A.; Aharonian, F.; Benkhali, F. Ait; et al. “Acceleration of petaelectronvolt protons in the Galactic Centre”, Group Author(s): HESS Collaboration NATURE Volume: 531 Issue: 7595 Pages: 476-+ Published: MAR 24 2016 Times Cited: 46

[68] Ackermann, M.; Albert, A.; Baldini, L.; et al., “An extremely bright gamma-ray pulsar in the Large Magellanic Cloud”, Group Author(s): Fermi LAT Collaboration SCIENCE Volume: 350 Issue: 6262 Pages: 801-805 Published: NOV 13 2015 Times Cited: 18

[69] Acero, F.; Ackermann, M.; Ajello, M.; et al., “FERMI LARGE AREA TELESCOPE THIRD SOURCE CATALOG”, ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES Volume: 218 Issue: 2 Article Number: 23 Published: JUN 2015 Times Cited: 480

[70] Ackermann, M.; Ajello, M.; Albert, A.; et al., “Updated search for spectral lines from Galactic dark matter interactions with pass 8 data from the Fermi Large Area Telescope”, PHYSICAL REVIEW D Volume: 91 Issue: 12 Article Number: 122002 Published: JUN 22 2015 Times Cited: 111

[71] Abramowski, A.; Aharonian, F.; Benkhali, F. Ait; et al., “The exceptionally powerful TeV gamma-ray emitters in the Large Magellanic Cloud”, Group Author(s): HESS Collaboration SCIENCE Volume: 347 Issue: 6220 Pages: 406-412 Published: JAN 23 2015 Times Cited: 29

[72] Ackermann, M.; Ajello, M.; Albert, A.; et al., “Fermi establishes classical novae as a distinct class of gamma-ray sources” Group Author(s): Fermi-LAT Collaboration SCIENCE Volume: 345 Issue: 6196 Pages: 554-558 Published: AUG 1 2014 Times Cited: 55

[73] Aliu, E.; Archambault, S.; Aune, T.; et al., “LONG-TERM TeV AND X-RAY OBSERVATIONS OF THE GAMMA- RAY BINARY HESS J0632+057”, Group Author(s): VERITAS Collaboration; HESS Collaboration ASTROPHYSICAL JOURNAL Volume: 780 Issue: 2 Article Number: 168 Published: JAN 10 2014 Times Cited: 19

[74] Ackermann, M.; Ajello, M.; Asano, K.; et al., “Fermi-LAT Observations of the Gamma-Ray Burst GRB 130427A”, SCIENCE Volume: 343 Issue: 6166 Pages: 42-47 Published: JAN 3 2014 Times Cited: 93

[75] Preece, R.; Burgess, J. Michael; von Kienlin, A.; et al., “The First Pulse of the Extremely Bright GRB 130427A: A Test Lab for Synchrotron Shocks”, SCIENCE Volume: 343 Issue: 6166 Pages: 51-54 Published: JAN 3 2014 Times Cited: 33

[76] Acharya, B. S.; Actis, M.; Aghajani, T.; et al., “Introducing the CTA concept”, Group Author(s): CTA Consortium ASTROPARTICLE PHYSICS Volume: 43 Special Issue: SI Pages: 3-18 Published: MAR 2013 Times Cited: 250

[77] Ackermann, M.; Ajello, M.; Allafort, A.; et al., “Detection of the Characteristic Pion-Decay Signature in Supernova Remnants”,

[78] Abramowski, A.; Acero, F.; Aharonian, F.; et al., "Measurement of the extragalactic background light imprint on the spectra of the brightest blazars observed with HESS", Group Author(s): HESS Collaboration ASTRONOMY & ASTROPHYSICS Volume: 550 Article Number: A4 Published: FEB 2013 Times Cited: 83

[79] Abramowski, A.; Acero, F.; Aharonian, F.; et al., "Search for Photon-Linelike Signatures from Dark Matter Annihilations with H.E.S.S.", Group Author(s): HESS Collaboration PHYSICAL REVIEW LETTERS Volume: 110 Issue: 4 Article Number: 041301 Published: JAN 22 2013 Times Cited: 131

E4- Physique des neutrinos

[80] K. Abe et al., "Measurement of neutrino and antineutrino oscillations by the T2K experiment including a new additional sample of nue interactions at the far detector", Phys. Rev. D 96, 092006 (2017)e-Print: arXiv:1707.01048 [hep-ex] (2017)

[81] K. Abe et al., "Updated T2K measurements of muon neutrino and antineutrino disappearance using 1.5E21 protons on target", DOI: Phys. Rev. D96 (2017), 011102e-Print: arXiv:1704.06409 (2017)

[82] K. Abe et al., "Search for Lorentz and CPT violation using sidereal time dependence of neutrino flavor transitions over a short baseline", DOI: Phys. Rev. D95 (2017), 111101e-Print: arXiv:1703.01361 (2017)

[83] K. Abe et al., "First Combined Analysis of Neutrino and Antineutrino Oscillations at T2K", DOI: Phys. Rev. Lett. 118 (2017), 151801 e-Print: arXiv:1701.00432 (2017)

[84] K. Abe et al., "Measurement of the muon neutrino inclusive charged-current cross section in the energy range of 1–3 GeV with the T2K INGRID detector", DOI: Phys.Rev. D93 (2016) no.7, 072002 e-Print: arXiv:1509.06940 [hep-ex] (2015)

[85] K. Abe et al., "Measurement of the numu charged current quasielastic cross section on carbon with the T2K on-axis neutrino beam", DOI: Phys. Rev. D91 (2015) 11, 112002 e-Print: arXiv:1503.07452 [hep-ex] (2015)

[86] K. Abe et al., "Measurement of the inclusive numu charged current cross section on iron and hydrocarbon in the T2K on-axis neutrino beam", DOI: Phys.Rev. D90 (2014) 052010 e-Print: arXiv:1407.4256 [hep-ex] (2014)

[87] K. Abe et al., "Precise Measurement of the Neutrino Mixing Parameter θ_{23} from Muon Neutrino Disappearance in an Off-axis Beam", DOI: Phys. Rev. Lett. 112 (2014) 181801 e-Print: arXiv:1403.1532 [hep-ex] (2014)

[88] K. Abe et al., "Observation of Electron Neutrino Appearance in a Muon Neutrino Beam", DOI: Phys. Rev. Lett. 112 (2014) 061802 e-Print: arXiv:1311.4750 [hep-ex] (2013)

E5- Applications BioMédical & GEANT4

[89] E. Bagli, M. Asai, D. Brandt, A. Dotti, V. Guidi, M. Verderi, and D. Wright ; "Simulation of orientational coherent effects via Geant4" , IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 898 (2017) 042041

[90] J. Allison et al.; "Recent developments in Geant4", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 835 (2016) 186-225

[91] E. Bagli, M. Asai, A. Dotti, V. Guidi and M. Verderi. ; "Channeling efficiency dependence on bending radius and thermal vibration amplitude of the model for the channeling of high-energy particles in straight and bent crystals implemented in Geant4" Nucl. Instrum. Meth. B 355, 387 (2015)

[92] M. Asai, A. Dotti, M. Verderi, D.H. Wright, The Geant4 Collaboration; "Recent developments in Geant4", Annals Nucl. Energy 82, 19 (2015)

Geant4 : La publication « Recent developments in Geant4 » Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 835 (2016) 186-225 fait un état des lieux de Geant4 et présente notamment son évolution vers le multi-threading et le HPC dont les expériences LHC sont attendues premières bénéficiaires.

E6- Applications laser plasma : [GALOP]

[93] Antoine Chancé et al. ; "Transport line for a multi-staged laser-plasma acceleration: DACTOMUS", 10.1016/j.nima.2013.10.036.Nucl.Instrum.Meth. A740 (2014) 158-164.

[94] A. Beck, S.Y. Kalmykov, X. Davoine, A. Lifschitz, B.A. Shadwick, V. Malka, A. Specka, "Physical processes at work in sub-30 fs, PW laser pulse-driven plasma accelerators: Towards GeV electron acceleration experiments at CILEX facility", 10.1016/j.nima.2013.11.003. Nucl.Instrum.Meth. A740 (2014) 67-73.

[95] Beck, J. Trier Frederiksen and J. Derouillat, “Load management strategy for Particle-In-Cell simulations in high energy physics”, Nucl. Inst. Meth. in Phys. Res. A (2016)

[96] Alberto Marocchino, Arnaud Beck, “Summary and report Working Group 6: theory and simulation”, for the third edition of the European Advanced Accelerator Concept Conference, Nucl. Inst. Meth. in Phys. Res. A (2018)

E7- Physique Ions lourds

[Théorie]

[97] F. Arleo, “Quenching of Hadron Spectra in Heavy Ion Collisions at the LHC”, Phys. Rev. Lett. 119 (2017) 062302

[98] F. Arleo et S. Peigné, “Disentangling Shadowing from Coherent Energy Loss using the Drell-Yan” Process Phys. Rev. D95 (2017) 011502 (R)

[99] F. Arleo, É. Chapon et H. Paukkunen, “Scaling properties of inclusive W^\pm production at hadron colliders”, Eur. Phys. J. C76 (2016) 214

[100] F. Arleo, R. Kolevatov, et S. Peigné, Phys. Rev. D93 (2016) 014006

[101] F. Arleo et S. Peigné, “Heavy-quarkonium suppression in p-A collisions from parton energy loss in cold QCD matter”, JHEP 03 (2013) 122

E7- Physique Ions lourds [Expérience LHCb]

[102] LHCb Collaboration, “Measurement of J/ψ and D^0 production in pAr collisions at $\sqrt{s_{NN}}=110$ GeV, LHCb-CONF-2017-001

[103] LHCb collaboration, “Study of prompt D^0 meson production in pPb collisions at 5 TeV”, JHEP 10 (2017) 090

[104] LHCb collaboration, “Prompt and non-prompt J/ψ production and nuclear modification in pPb collisions at 8.16 TeV”, PLB 774 (2017) 159

[105] LHCb collaboration, “First measurement of charm production in fixed-target configuration at the LHC”, LHCb-PAPER-2018-023, to be submitted to PRL

Autres produits:

[106] Z. Conesa del Valle, E.G. Ferreiro, F. Fleuret, J.P. Lansberg, A. Rakotozafindrabe., “Open-beauty production in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5$ TeV: effect of the gluon nuclear densities”, Nucl.Phys. A926 (2014) 236-241.

[107] E.G. Ferreiro, F. Fleuret, J.P. Lansberg, A. Rakotozafindrabe., “Impact of the Nuclear Modification of the Gluon Densities on J/ψ production in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5$ TeV”, Phys. Rev. C88 (2013) 047901

[108] S.J. Brodsky, F. Fleuret, C. Hadjidakis, J.P. Lansberg, “Physics opportunities of A Fixed-Target Experiment using the LHC beams”, SLAC-PUB-14878, Phys. Rep. 522 (2013) 239-255, arXiv:1202.6585

INFORMATIQUE

[109] B.S. Acharya et al (G. Grasseau), “Introducing the CTA concept” Astroparticle Physics, Volume 43, March 2013, Pages 3–18.

Articles publiés dans des actes de colloques / congrès

E1 - Physique des particules au LHC – [Expérience CMS]

(+ CMS Ions Lourds)

- [7] J.B. Sauvan, “The CMS HGCal detector for HL-LHC upgrade”, Plenary talk, CHEF2017 Calorimetry for the High Energy Frontier, Octobre 2017, Lyon (France); with proceedings
- [8] A. Lobanov, “Electronics and triggering challenges for the CMS High Granularity Calorimeter”, Plenary talk, CHEF2017 Calorimetry for the High Energy Frontier, Octobre 2017, Lyon (France); with proceedings
- [9] M. Nguyen, “Jets and particle correlations in heavy ion collisions”, Plenary talk, EPS International Conference on High Energy Physics (EPS HEP 2017), 5-12 July 2017, Venice, Italy; with proceedings
- [10] A. Stahl, “Charmonium production in pPb and PbPb collisions at 5.02 TeV with CMS”, Talk, EPS International Conference on High Energy Physics (EPS HEP 2017), 5-12 July 2017, Venice, Italy; with proceedings
- [11] C. Amendola, “The CMS Level-1 tau lepton and VBF Triggers for the LHC Run II”, Poster, EPS International Conference on High Energy Physics (EPS HEP 2017), 5-12 July 2017, Venice, Italy; proceedings published in PoS (EPS-HEP2017) 773
- [12] L. Cadamuro, “The CMS L1 trigger for the LHC Run II”, IPRD16, Octobre 2016, Bologne, Italie - Plenary; proceedings published in JINST 12 (2017) no.03, C03021
- [13] A. Zabi, “The CMS Level-1 Calorimeter Trigger for LHC Run II”, Plenary talk on behalf the CMS Collaboration, TWEPP 2016, 26-30 Septembre 2016, Karlsruhe, Allemagne; proceedings by A. Zabi et al. published in JINST 12 (2017)no.01, C01065
- [14] T. Strebler, “The role of the CMS electron and photon trigger in the study of the H boson and other resonances, Plenary Talk, 17th International Conference on Calorimetry in Particle Physics (CALOR2016), 15-20 May 2016, Kyungpook National University, Daegu (Republic of Korea); proceedings published in J. Phys. Conf. Ser. 928 (2017) no.1, 012007 (2017-11-27)
- [15] C. Ochando, “HGCal: A High-Granularity Calorimeter for the E,cdcaps of CMS at HL-LHC Plenary talk, 17th International Conference on Calorimetry in Particle Physics (CALOR2016), 15-20 May 2016, Kyungpook National University, Daegu (Republic of Korea); with proceedings
- [16] J.B. Sauvan, “Concepts and design of the CMS High Granularity Calorimeter Level 1 Trigger Plenary talk, 17th International Conference on Calorimetry in Particle Physics (CALOR2016), 15-20 May 2016, Kyungpook National University, Daegu (Republic of Korea); with proceedings
- [17] Y. Sirois, “Discovery and Measurements of the H boson with ATLAS and CMS Experiments at the LHC”, Plenary talk, S’eminaire Poincaré XIX”, Institut Henri Poincaré”, 29 Novembre 2014, Paris (France); with proceedings
- [18] A. Zabi, “Triggering on electrons, jets and tau lepton with the LHC Run II upgraded trigger”, Poster, Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP 2015), 28 September-2 October 2015, Lisbon (Portugal); proceedings published in JINST 11 (2016) no.02, C02008
- [19] R. Granier De Cassagnac, “Heavy ions: flavour production and QGP”, Invited talk, European Physical Society Conference on High Energy Physics 2015 (EPS-HEP 2015), 22-29 July 2015, Vienna (Austria); with proceedings
- [20] O. Davignon, “Searches for neutral and charged Higgs bosons at ATLAS and CMS”, Talk at the European Physical Society Conference on High Energy Physics 2015 (EPS-HEP 2015) 22-29 July 2015, Vienna (Austria); with proceedings
- [21] L. Cadamuro, “The CMS Level-1 Tau algorithm for the LHC Run II”, Poster, European Physical Society Conference on High Energy Physics 2015 (EPS-HEP 2015) 22-29 July 2015, Vienna (Austria); proceedings published in PoS(EPSHEP2015) 226
- [22] A. Zabi, “The CMS Level-1 calorimeter trigger upgrade for the run II of the LHC, Poster, 3rd International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP 2014), 2-6 June 2014, Amsterdam (Netherlands), proceedings published in PoS TIPP2014 (2014) 414
- [23] Y. Sirois, “Review of Higgs and EWK physics”, Invited talk, XXII International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS 2014), 28 April - 2 May 2014, Warsaw (Poland); with proceedings
- [24] M. Bluj, “Study of the Higgs Boson decaying into tt in CMS”, Talk at the 2013 European Physical Society Conference on High

Energy Physics (EPSHEP 2013) Stockholm, Sweden, 18-24 July, 2013, with proceedings

[25] M. Nguyen, “Probing pPb collisions with jets in CMS, Talk at the 2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPSHEP 2013) Stockholm, Sweden, 18-24 July, 2013; with proceedings

[26] N. Daci, “Search for the Higgs boson decaying into tau leptons in the semi-leptonic final states”, Poster, 2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPSHEP 2013) Stockholm, Sweden, 18-24 July, 2013; with proceedings

[27] C. Ochando, “Properties of the Higgs boson with H \rightarrow ZZ \rightarrow leptons channel”, Poster, 2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPSHEP 2013) Stockholm, Sweden, 18-24 July, 2013; with proceedings

[28] Y. Sirois, “Higgs Boson(s): Di-boson Decay Channels” Invited review talk presented at the 25th Rencontres de Blois - International Conference on Particle Physics and Cosmology, Blois, France (26-31 May 2013); with proceedings.

[29] M. Nguyen, “Recent H \rightarrow results with CMS” Invited review talk presented at the 25th Rencontres de Blois – International Conference on Particle Physics and Cosmology, Blois, France (26-31 May 2013); with proceedings.

[30] F. Beaudette, “The CMS particle flow algorithm”, Talk presented at the International Conference on Calorimetry for High Energy Frontier (CHEF2013), 22-25 April 2013, Paris (France); with proceedings.

[31] A. Zabi, “Triggering on electrons and photons with the CMS experiment at the LHC”, Talk presented at the International Conference on Calorimetry for High Energy Frontier (CHEF2013), 22-25 April 2013, Paris (France); with proceedings.

[32] T. Dahms, “Upsilon melting in CMS and ALICE at the LHC”, Review talk at the 14th International Conference on B-Physics at Hadron Machines (BEAUTY 2013), 8-12 April 2013, Bologna U. (Italy). with proceedings

[33] C. Ochando, “Study of Higgs production in Bosonic Decays Channels in CMS”, review talk presented at the “Moriond”, QCD and High Energy Interactions” international conference, La Thuile (9-16 March 2013); with proceedings.

E2- Collisionneurs e-e+ [Collaboration ILD-CALICE]

[34] H. Videau, “What does bring space granularity to calorimetry,” in Brient et al., p. 012071.

[35] CALICE Collaboration, P. Göttlicher, “Simulations and Measurements for a concept of powering CALICE-AHCAL at a train-cycled accelerator,” in Proceedings of Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP12) : Oxford, UK, September 17-21, 2012, vol. 8, p. C01054. 2013.

[36] Y. Haddad, G. Grenier, I. Laktineh, N. Lumb, and S. Cauwenbergh, “High Rate Resistive Plate Chamber for LHC detector upgrades,” Nucl. Instrum. Meth. A718 (2013) 424–426, arXiv:1211.5698 [physics.ins-det].

[37] S. Mannai, K. Manai, Y. Haddad, I. Laktineh, and E. Cortina, “High granularity Semi-Digital Hadronic Calorimeter using GRPCs,” in Proceedings of 12th Pisa Meeting on Advanced Detectors, F. Cervelli, ed., vol. A718, pp. 91–94. May, 2013. <http://www.pi.infn.it/pm/>.

[38] D. Jeans, J.-C. Brient, and M. Reinhard, “Gamma Reconstruction at a Linear Collider,” in Brient et al., pp. 333–338. http://inspirehep.net/record/1295989/files/CHEF2013_Daniel_Jeans_GARLIC.pdf.

[39] CALICE Collaboration, Y. Haddad, “First results of the SDHCAL technological prototype,” in Brient et al., pp. 183–190. arXiv:1401.5825 [physics.ins-det]. <http://inspirehep.net/record/1278585/files/arXiv:1401.5825.pdf>.

[40] M. Ruan and H. Videau, “Arbor, a new approach of the Particle Flow Algorithm,” in Brient et al., pp. 316–324. arXiv:1403.4784 [physics.ins-det]. <http://inspirehep.net/record/1286443/files/arXiv:1403.4784.pdf>.

[41] CALICE Collaboration, B. Bilki et al., “Testing Hadronic Interaction Models using a Highly Granular Silicon-Tungsten Calorimeter,” arXiv:1411.7215 [physics.ins-det].

[42] Y. Haddad, M. Ruan, and V. Boudry, “Software digitizer for high granular gaseous detector,” in Proceedings, 3rd International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors (MPGD2013), Zaragoza, Spain, July 1-5, 2013, vol. 8, p. C11016. 2014. arXiv:1405.1286 [physics.ins-det].

[43] M. Ruan, “Shower fractal dimension analysis in a highly-granular calorimeter,” in Proceedings, 2nd International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences (IC-MSQUARE 2013) : Prague, Czech Republic, September 1-5, 2013, D. V. Theodosios Christodoulakis, Elias Vagenas, ed., vol. 490, p. 012227. September, 2014.

[44] CALICE Collaboration, B. Bilki et al., “Pion and proton showers in the CALICE scintillator-steel analogue hadron calorimeter,” arXiv:1412.2653 [physics.ins-det].

- [45] T. H. Tran, “ILD SiW ECAL and sDHCAL dimension-performance optimisation,” in International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS13) Tokyo, Japan, November 11-15, 2013. November, 2014. arXiv:1404.3173 [physics.ins-det]. <http://inspirehep.net/record/1290127/files/arXiv:1404.3173.pdf>.
- [46] Y. Haddad, “Feasibility of a minimum bias analysis of $e+e- \rightarrow ZH \rightarrow qq + X$ at a 250 GeV ILC,” in International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS13) Tokyo, Japan, November 11-15, 2013. 2014. arXiv:1404.3164 [hep-ph]. <http://inspirehep.net/record/1290125/files/arXiv:1404.3164.pdf>.
- [47] V. Boudry, “Development of technological prototype of silicon-tungsten electromagnetic calorimeter for ILD,” in Proceedings, 3rd International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP 2014) . <http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=213>.
- [48] R. Cornat, F. Gastaldi, and F. Magniette, “Acquisition and control command system for power pulsed detectors,” in Proceedings, 2015 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP 2015) , p. C01030.
- [49] F. Gastaldi, R. Cornat, F. Magniette, and V. Boudry, “A scalable gigabit data acquisition system for calorimeters for linear collider,” in Proceedings, 3rd International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP 2014): Amsterdam, Netherlands, June 2-6, 2014, vol. TIPP2014, p. 193. April, 2014.
- [50] CALICE Collaboration, V. Balagura et al., “Development of technologies for highly granular calorimeters and their performance in beam tests,” in Proceedings, 2015 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP 2015) .
- [51] J. Cizel, S. Ahmad, S. Callier, R. Cornat, F. Dulucq, et al., “Building blocks X-FAB SOI 0.18 mum,” JINST 10 no. 02, (2015) C02007.
- [52] M. Anduze, A. Bonnemaïson, V. Boudry, and M. Frotin, “Utilisation de capteurs à réseaux de Bragg pour la mesure in-situ de déformée d’une structure alvéolaire élaborée en matériaux composite,” in 7ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation. 2016.
- [53] CALICE Collaboration, H. Tran, “Technologies for highly granular electromagnetic and hadronic calorimeters,” PoS ICHEP2016 (2016) 238.
- [54] T. H. Tran, V. Balagura, V. Boudry, and J.-C. Brient, “Optimization of ILD ECAL dimensions,” in International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS16), 4-12 Dec 2016, Morioka, Japan.
- [55] Y. Sudo et al., “Development of a Highly Granular Silicon-Tungsten ECAL for the ILD,” in Proceedings, 37th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2014): Valencia, Spain, July 2-9, 2014, pp. 2554–2556.
- [56] SiW ECAL ILD Collaboration, V. Balagura, “Technical instrumentation R&D for ILD SiW ECAL large scale device,” in Brient and Laktineh. arXiv:1712.05680 [physics.ins-det].
- [57] V. Balagura et al., “SiW ECAL for future $e+e-$ collider,” in Proceedings, International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17): Novosibirsk, Russia, L. Shekhtman, ed., vol. 12. 2017. arXiv:1705.10838 [physics.ins-det].
- [58] M. Rubio-Roy, F. Thiant, and F. Magniette, “Flexible online monitoring for high-energy physics with Pyrame,” in Proceedings, 22nd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2016): San Francisco, CA, October 14-16, 2016, R. Mount and C. Tull, eds., vol. 898, p. 032009. 2017.
- [59] J.-C. Brient, R. Salerno, and Y. Sirois, eds., Calorimetry for the High Energy Frontier : Calorimeters: from LHC, Tevatron to HL-LHC, ILC, CLIC (CHEF 2013), 22-25 Apr 2013, Paris, France. April, 2013. <http://llr.in2p3.fr/chef2013/index.php>.
- [60] J.-C. Brient and I. Laktineh, eds., International Conference on Calorimetry for the High Energy Frontier (CHEF 2017), 02-06 Oct 2017. Lyon, France. October, 2017. <http://chef2017.univ-lyon1.fr/en>.

E2- Collisionneurs e-e+ [Expérience Babar]

- [61] D. Bernard [BaBar Collaboration], “Low-energy hadronic cross sections measurements at BABAR and $g-2$ of the muon,” Nucl. Part. Phys. Proc. 282-284 (2017) 132.
- [62] D. Bernard [BaBar Collaboration], “Measurement of e^+e^- to hadrons cross sections at BABAR, and implication for the muon $g-2$,” PoS Hadron 2013, 126 (2013)
- [63] D. Bernard [BaBar Collaboration], “Results on conventional and exotic charmonium at BaBar,” PoS DIS 2013, 179 (2013)

E3 - Astronomie Gamma

[64] M. Buizza Avanzini et al., "Occulting Light Concentrators in Liquid Scintillator Neutrino Detectors", IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 888 (2017) 012055

[65] B. Quilain et al. (the T2K collaboration), "Latest results of the T2K experiment, 27th Rencontres de Blois" (2015)

[66] Benjamin Quilain for the T2K collaboration, "T2K on-axis detector results: cross section measurements", EPJ Web Conf. 95 (2015) 04053

E6- Applications laser plasma [GALOP]

[67] Paul Andreas Walker et al., "Layout considerations for a future electron plasma research accelerator facility EuPRAXIA", arXiv:1802.00293 [physics.acc-ph].

[68] Brigitte Cros et al., "Electron Injector for Multi-Stage Laser-Driven Plasma Accelerators", 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPVA001.

[69] Paul Andreas Walker et al., "HORIZON 2020 EuPRAXIA Design Study", 10.18429/JACoW-IPAC2017-TUOBB3.

[70] Brigitte Cros et al., "Electron Injector for Multi-Stage Laser-Driven Plasma Accelerators" 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPVA001.

[71] Antoine Chancé et al., "Development of an Injector and a Magnetic Transfer Line in the Framework of Cilex" 10.18429/JACoW-IPAC2016-WEPMY004.

E7- Physique Ions lourds [Théorie]

[72] F. Arleo, Nucl. Part. Phys. Proc. 289 (2017) 71. Hard Probes 2016, septembre 2016

[73] F. Arleo, R. Kolevatov et S. Peigné, Nucl. Part. Phys. Proc. 276 (2016) 333. Hard Probes 2015, juin 2015

[74] F. Arleo, Nucl. Phys. A910-911 (2013) 223 Hard Probes 2012, mai 2012

E7- Physique Ions lourds [Expérience LHCb]

[75] "Heavy ion physics at LHCb", IFCNP 2017, Kolybari, Greece, Proceeding under review

[76] E. Maurice, "LHCb Fixed target results", LHCP 2017, Shanghai, China, Proceeding: arXiv:1708.05184

[77] E. Maurice, "New high resolution measurements of open and hidden charm production in proton-nucleus collisions at $\sqrt{s} = 110$ GeV with the LHCb detector", Quark Matter 2017, Chicago, US, Février 2017, Proceeding: New High resolution measurements of open and hidden charm production in proton-nucleus collisions at $\sqrt{s} = 110$ GeV with the LHCb detector, Nucl. Phys. A. 967 (2017) 624-627

[78] Frédéric Fleuret, "CHIC (Charm in Heavy Ion Collisions): An experiment to measure charm production at the CERN SPS", PoS DIS2013 (2013) 252

INFORMATIQUE

[84] G. Grasseau & D. Chamont, "HPC at IN2P3 & IRFU", Projet PICS FICUS, University Tel Aviv - Juin 2014

[85] J. Adelman et al., "CMS computing operations during run 1 CMS Collaboration", Oct 30, 2013. 10 pp. Published in J.Phys. Conf.Ser. 513 (2014) 032040

[86] G. Grasseau, S. Lisniak & D. Chamont, "Hybrid implementation of the Vegas Monte-Carlo algorithm", GPU in High Energy Physics, September 10-12, 2014, Pisa

ELECTRONIQUE

[87] Yannick Geerebaert et al., "Electronics for HARPO: Design, development and validation of electronics for a high performance polarised-Gamma-ray detector", Conference: 2016 IEEE-NPSS Real Time Conference (RT)

Autres produits présentés dans des colloques/congrès et des séminaires de recherche (SHS uniquement)

E1 - Physique des particules au LHC – [Expérience CMS]

(+ CMS Ions Lourds)

[88] A. Zghiche, “Status and Prospects for HH at the LHC”, Plenary talk, International Research Network (IRN) Terascale 2017, 13-15 December, 2017, Marseille (France)

[89] “Higgs production (main channels)”, G. Ortona, Talk, Workshop on the physics of HL-LHC, and perspectives at HE-LHC (HLHELHC2017), 30 October - 1 November 2017, CERN, Geneva (Switzerland)

[90] C. Charlot, “Higgs boson results from the CMS experiment”, Plenary talk, 2nd Iran & Turkey conference on LHC Physics, Octobre 2017, Thran, Iran

[91] A. Zghiche, “Predicting the performance of the CMS precision PbWO₄ e.m. calorimeter at HLLHC”, Plenary talk, SCINT 2017, 18-22 Septembre 2017, Chamonix (France)

[92] Plenary talk, “Higgs results from the CMS experiment”, G. Ortona, HEPMAD 17 Septembre 2017, Madagascar

[93] T. Strebler, “ttH searches at ATLAS and CMS”, Talk at the QCD@LHC 2017, Aot 2017, Debrecen (Hungary)

[94] Martin Blanco, “Charmonium production in pPb and PbPb collisions at 5.02 TeV with CMS”, JTalk, International on Strangeness in Quark Matter 2017, 10-15 July 2017, Utrecht (The Netherlands)

[95] L. Cadamuro, “Search for HH with 13 TeV data and prospects”, Plenary talk at the 52nd Moriond Electroweak International Conference, 18-25 March 2017 La Thuile (Italy)

[96] T. Strebler, “Latest CMS results on Higgs boson production in association with top quarks”, Plenary talk at the Lake Louise Winter Institute 2017, 19-25 February 2017 (Canada)

[97] G. Ortona, “Higgs couplings to bosons and fermions”, Plenary talk, Lake Louise Winter Institute 2017, 19-25 February 2017 (Canada)

[98] C. Ochando, “Calorimetry”, Cours, European School of Instrumentation in Particle & Astroparticle Physics (ESIPAP) 2017, 13-14 February, Archamps (France)

[99] J. Martin Blanco, “Psi (2s) et J/Psi modification in pPb et PbPb collisions at 5.02 TeV”, Talk, Quark Matter 2017, 6-11 February 2017, Chicago, USA

[100] L. Cadamuro, “HH review for ATLAS and CMS”, Plenary talk, GDR Terascale Paris, 23-25 Novembre 2016, Paris (France)

[101] A. Zabi, “Performance and Upgrade of CMS”, Plenary talk, LHC Days at Split, 19-24 September 2016, Split, Croatia

[102] C. Ochando, “SM Higgs boson results from CMS”, Plenary talk, LHC Days at Split, 19-24 September 2016, Split, Croatia

[103] O. Davignon, Tau lepton trigger and identification at CMS in Run II, Plenary talk, The 14th International Workshop on Tau Lepton Physics, 19-23 September 2016, Beijing (China)

[104] A. Stahl Leitner, “Charmonium in pp and PbPb collisions”, Plenary talk, Hot Quarks 2016, 12-17 Septembre 2016, Texas, USA

[105] E. Chapon, “Charmonium production and phenomena in pp, pPb and PbPb collisions?” Talk at the HARD Probes 2016, September 2016, Wuhan, Chine

[106] M. Jo, “Non-prompt J/psi V2 and RAA in PbPb collisions at 2.76 TeV”, Talk at the HARD Probes 2016, September 2016, Wuhan, Chine

[107] F. Arléo, “Hard processes in pA collisions”, Plenary talk, HARD Probes 2016, September 2016, Wuhan, Chine

[108] S. Regnard, “Measurements of Higgs boson production and properties in the ZZ decay channel in CMS”, Talk, The 38th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2016), 3-10 August 2016, Chicago, IL (United States)

[109] G. Ortona, “Searches for double Higgs production or decay using the CMS detector”, Talk, The 38th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2016), 3-10 August 2016, Chicago, IL (United States)

- [110] A. Zabi, “Instrumentation in High Energy Physics”, Cours, Trans Europe school of High Energy Physics TESHEP 2016, 6-15 July, Kharkov (Ukraine)
- [111] L. Cadamuro, “Search for resonant Higgs boson pair production at CMS”, Talk at the Phenomenology 2016 Symposium, University of Pittsburgh, 9-11 May 2016, Pittsburgh (USA)
- [112] “(Recent) Results from the LHC C. Ochoando, Plenary talk, Quatri`eme Journ`ee Collisionneur Lin`eaire, 24 Mars 2016, Paris (France)
- [113] N. Filipovic, “Quarkonium measurements in pPb and PbPb in CMS”, Course, 15th Zimanyi Winter School on Heavy Ion Physics, 7-11 December 2015, Wigner RCP and Eotvos University, Budapest (Hungary)
- [114] Olivier Davignon, “Search for a MSSM Higgs Boson decaying to tau pairs with CMS”, Plenary Talk, GDR Terascale Grenoble 23-25 November 2015, LPSC, Grenoble (France)
- [115] R.Salerno, “ATLAS+CMS: Higgs boson self-interactions in SM and BSM”, Higgs Couplings 2015 (HC 2015), 12-15 October 2015, IPPP, Durham (United Kingdom)
- [116] M. Kovac, “Higgs Boson Spin/Parity and Tensor Structure (ATLAS+CMS)”, Plenary talk, Higgs Coupling 2015, 12-15 October 2015, IPPP, Durham (United Kingdom)
- [117] M. Nguyen, “An experimental review of neutral and charged hadrons”, Invited talk, XXV International conference on ultra-relativistic nucleus-nucleus collisions (Quark Matter 2015), 27 September - 3 October 2015, Kobe (Japan)
- [118] E. Chapon, “W and Z bosons in pp, pPb and PbPb wit..”, Talk at the XXV International conference on ultra-relativistic nucleus-nucleus collisions (Quark Matter 2015), 27 September - 3 October 2015, Kobe (Japan)
- [119] Mihee Jo, “CMS bottomonia results from Run I”, Talk at the XXV International conference on ultra-relativistic nucleus-nucleus collisions (Quark Matter 2015), 27 September - 3 October 2015, Kobe (Japan)
- [120] Y. Sirois, “Higgs Boson and Electroweak Physics”, Cours à l'école de GIF 2015 - Quel future pour le MS après la d'écouverte du boson de Higgs ?, 21-25 Septembre 2015, IPHC, Strasbourg
- [121] O. Davignon, “Nouvelles données et performances du détecteur CMS auprès du LHC 13 TeV”, Plenary Talk, XXIIIe Congrès Gnral de la Socit Franaise de Physique, 24-28 August 2015, Strasbourg (France)
- [122] T. Strebler, “Level-1 trigger selection of electrons and photons with CMS for LHC Run II”, Poster, XXVII International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies (LP2015), 17-22 August 2015, Ljubljana (Slovenia)
- [123] A.Zabi, “Instrumentation in High Energy Physics”, Cours, Trans Europe school of High Energy Physics TESHEP 2015, 9-16 July, Kharkov (Ukraine)
- [124] N. Filipovic, “Quarkonia in pp, pPb and PbPb collision with CMS”, Talk at the 7th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High Energy Nuclear Collisions (HardProbes2015), 29 June - 3 July 2015, McGill University, Montreal (Canada)
- [125] Y. Yilmaz, “Jets in ion collisions at LHC”, Invited talk, 16th conference on Elastic and Diffractive Scattering (EDS Blois 2015), 29 June - 3 July 2015, Borgo (France)
- [126] E. Chapon “Results on HI physics from ATLAS and CMS”, Talk at the 27th Rencontres de Blois: Particle Physics and Cosmology (Blois2015), 31 May-5 June 2015, Blois (France)
- [127] D. Chamont, “Matrix Element Method for High Performance Computing Platforms.”, Talk at the 21st International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2015), 13-17 April 2015, Okinawa Institute of Science and Technology, Okinawa (Japan)
- [128] G. Ortona, “Combination of couplings and mass in ATLAS and CMS”, Plenary talk, GDR Terascale Saclay, March - 1 April 2015, IPhT Saclay CEA, Saclay (France)
- [129] L. Mastrolorenzo, “Rare Higgs decays results”, Plenary talk, Lake Louise Winter Institute 2015 (LWI 2015), 15-21 February 2015, University of Alberta, Lake Louise (Canada)
- [130] J.B. Sauvan, “CMS H->VV Interactions”, Plenary talk, Terascale Heidelberg, 11-13 December 2014, I. of Heidelberg, Germany
- [131] M. Nguyen, “CMS upgrades”, Invited talk, Second SaporeGravisWorkshop (SGW2014), 9-12 December 2014, Padova University, Padua (Italy)

- [132] C. Mironov, "Bottomonia in A-A at the LHC", Invited talk, Second SaporeGravisWorkshop (SGW2014), 9-12 December 2014, Padova University, Padua (Italy)
- [133] R. Granier De Cassagnac, "Experimental results on quarkonia in Heavy-Ion collisions", Invited talk, Second SaporeGravis Workshop (SGW2014), 9-12 December 2014, Padova University, Padua (Italy)
- [134] Y. Sirois, "Upgrade and future of CMS", Plenary talk, LHC days in Split (Split2014), 29 September - 4 October 2014, University of Split (Croatia)
- [135] C. Charlot, "Results on the H boson intrinsic width", Plenary talk, Higgs Couplings 2014, 1-3 October 2014, Torino University (Italy)
- [136] M. Nguyen, "Overview of CMS heavy ion results", Plenary talk, LHC days in Split (Split2014), 29 September - 4 October 2014, University of Split (Croatia)
- [137] J.-B. Sauvan, "Measurement of Higgs properties in CMS", Plenary talk, LHC days in Split (Split2014), 29 September - 4 October 2014, University of Split (Croatia)
- [138] Romanteau, "The CMS Level-1 Calorimeter Trigger Electronics System for the LHC Run II", TPoster, Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP2014), 22-26 September 2014, Aix-en-Provence (France)
- [139] E. Chapon, "W boson studies in pPb and PbPb collisions with CMS", Plenary talk, Hot Quarks Workshop 2014 (HQ2014), 21-28 September 2014 Las Negras - Cabo de Gata Natural Park, Andalucia (Spain)
- [140] N. Filipovic "Bottomonia in pp, pPb and PbPb collisions", Plenary talk, Hot QuarksWorkshop 2014 (HQ2014), 21-28 September 2014 Las Negras - Cabo de Gata Natural Park, Andalucia (Spain)
- [141] C. Veelken "Identification of hadronic tau decays in CMS", Plenary talk, 13th InternationalWorkshop on Tau Lepton Physics (Tau'14), 15-19 September 2014, RWTH-Aachen, Aachen (Germany)
- [142] Y. Yilmaz, "Studies of high-pT jet and hadron produ..", Plenary talk, 10th International Workshop on High-pT Physics in the RHIC/LHC era (10High-pT) 9-12 September 2014, Nantes (France)
- [143] Y. Sirois "Le CERN, la d'ecouverte du boson de Higgs, et les perspectives", Cours `a la 4i`eme l'Ecole d'et`e de P2IO, Paris, Ao`ut 2014 (France)
- [144] A.Zabi, "Instrumentation in High Energy Physics", Cours, Trans Europe school of High Energy Physics TESHEP 2014, 16-24 July, Kharkov (Ukraine)
- [145] M. Dalchenko, "Young Scientist Forum: Bounding the Higgs boson Width", Plenary talk, Higgs Hunting 2014 (HH2014), 21-23 July 2014, LAL, Orsay (France)
- [146] M. Nguyen, "Heavy flavour production at CMS in heavy ion collisions", Talk at the 15th International Conference on B-Physics at Frontier Machines (BEAUTY-2014), 14-18 July 2014, University of Edinburgh, Edinburgh (United Kingdom)
- [147] M. Nguyen, "Overview of heavy quark experimental results in HI collisions", Plenary talk, 3rd Heavy Ion Jet Workshop, 9-11 July 2014, Lisbon (Portugal)
- [148] L. Mastrolorenzo, "The CMS Level-1 Tau algorithm for the LHC Run II", Poster, 37th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2014), 2-9 July 2014, Valencia (Spain)
- [149] C. Veelken, "Searches for MSSM and NMSSM Higgs bosons with the CMS detector ", Talk at the 37th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2014), 2-9 July 2014, Valencia (Spain)
- [150] C. Charlot, "A tight constraint on the Higgs width from off-shell production, for H decay to ZZ, Plenary, GDR Terascale Palaiseau, 2-4 June 2014, Ecole Polytechnique,Palaiseau (France)
- [151] O. Davignon, "H \rightarrow tt in CMS", Plenary, GDR Terascale Palaiseau, 2-4 June 2014, Ecole Polytechnique, Palaiseau (France)
- [152] S. Regnard "Preparing Electrons and Photons High Level Trigger Reconstruction in CMS for Run II", Poster, 3rd International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP 2014), 2-6 June 2014, Amsterdam (Netherlands)
- [153] A.H. Florent, "Latest CMS results on heavy flavor and electroweak bosons", Talk at the Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP 2014), 2-7 June 2014, Columbia University, New York, NY (United States)
- [154] R Granier De Cassagnac, "Highlights from CMS", Plenary, Quark Matter 2014 (QM2014), 19-24 May 2014, Darmstadt (Ger-

many)

- [155] S. Lisniak “Hough transform for charged particle tracking in CMS”, Poster, Plenary, Quark Matter 2014 (QM2014), 19-24 May 2014, Darmstadt (Germany)
- [156] M. Dalchenko “Measurement of the Higgs boson mass, width and spin-CP quantum numbers”, Plenary talk, Standard Model at LHC 2014 (SM LHC 2014) 8-11 April 2014, CIEMAT, Madrid (Spain)
- [157] J.-B. Sauvan, “Performance and upgrade of the CMS electromagnetic calorimeter trigger for run II”, Plenary Talk, 16th Int. Conf. on Calorimetry for High-Energy Physics, 6-11 April 2014, Justus-Liebig University, Giessen (Germany)
- [158] J.-B. Sauvan, “Higgs Properties at CMS”, Plenary talk, XXVIIIth Rencontres de Physique de la Vallée d’Aoste (La Thuile 2014), 23 February - 1 March 2014, La Thuile (Italy)
- [159] Y. Yilmaz, “Centrality dependent measurements in pPb from CMS”, Invited talk, Workshop on the determination of centrality in pA collisions at the LHC, 14 February 2014, CERN, LPCC, Geneva (Switzerland)
- [160] I. Naranjo, “Search for the SM Higgs boson decaying to tau lepton pairs in CMS”, Plenary talk, International Conference on High Energy Physics in the LHC Era, 16-20 December 2013, Valparaíso (Chile)
- [161] A. Florent, “Production of W and Z bosons in heavy-ion collisions with CMS”, Talk at the 6th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High-Energy Nuclear Collisions (HardProbes2013), 4-8 November 2013, Stellenbosch, Western Cape (South Africa)
- [162] Y. Yilmaz, “pA and AA Centrality”, Talk at the 6th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High-Energy Nuclear Collisions (HardProbes2013), 4-8 November 2013, Stellenbosch, Western Cape (South Africa)
- [163] R. Granier de Cassagnac, “Heavy flavour and quarkonia experimental overview”, Invited talk, International Conference on Strangeness in Quark Matter (SQM2013), 22-27 July 2013, University of Birmingham, Birmingham (United Kingdom)
- [164] A. Zabi, “Instrumentation in High Energy Physics”, Cours, Trans Europe school of High Energy Physics TESHEP 2014, 9-17 July, Kharkov (Ukraine)
- [165] C. Ochando, “Higgs boson in the $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ channel in CMS”, Plenary talk, LHC France meeting, 2-6 April 2013, Annecy (France)
- [166] N. Daci, “Role of the CMS electron and photon trigger in the Higgs boson searches”, Talk presented at the Lake Louise Winter Institute, Alberta (Canada) 17-23 February 2013.

E2- Collisionneurs e-e+ [Collaboration ILD-CALICE]

- [167] V. Boudry, “SiW ECAL R&D”, in Fourth International Workshop on Future High Energy Circular Colliders (CEPC2014). 2014.
- [168] CALICE Collaboration, A. Steen, “Results of the SDHCAL technological prototype,” arXiv:1403.8097 [physics.ins-det].
- [169] CALICE Collaboration, R. Poeschl, “R&D for a highly granular silicon tungsten electromagnetic calorimeter,” in Proceedings of CALOR’2014, vol. 587, p. 012032. May, 2014.
- [170] CALICE Collaboration, G. Grenier, “A hadronic calorimeter with Glass RPC as sensitive medium,” in Proceedings of the 12th Workshop on Resistive Plate Chambers and Related Detectors (RPC2014), vol. 9, p. C09006. 2014. arXiv:1406.7507 [physics.ins-det].
- [171] CALICE Collaboration, M. Szalay, “The Time Structure of Hadronic Showers in Calorimeters with Scintillator and with Gas Readout,” J. Phys. Conf. Ser. 587 no. 1, (2015) 012037.
- [172] CALICE Collaboration, B. Bilki, “The CALICE digital hadron calorimeter: calibration and response to pions and positrons,” J. Phys. Conf. Ser. 587 no. 1, (2015) 012038.
- [173] CALICE and CLICdp Collaboration, E. Sicking, “Shower characteristics of particles with momenta up to 100 GeV in the CALICE scintillator-tungsten hadronic calorimeter,” J. Phys. Conf. Ser. 587 no. 1, (2015) 012034.
- [174] S. Callier, J.-B. Cizel, F. Dulucq, C. L. Taille, G. Martin-Chassard, et al., “ROC chips for imaging calorimetry at the International Linear Collider,” in Baschirotto et al., p. C02022.
- [175] CALICE Collaboration, A. Steen, “Results of the CALICE SDHCAL technological prototype,” J. Phys. Conf. Ser. 587 no. 1, (2015) 012035.

- [176] CALICE Collaboration, M. C. Fouza, “Performance of highly granular calorimeters in test beams,” Nucl. Part. Phys. Proc. 273-275 (2016) 1096–1102.
- [177] CALICE Collaboration, M. Chadeeva, “Highly granular hadron calorimeter: software compensation and shower decomposition,” J. Phys. Conf. Ser. 675 no. 4, (2016) 042020.
- [178] CALICE-SDHCAL groups Collaboration, A. Pingault, “Design considerations for the semi-digital hadronic calorimeter (SDHCAL) for future leptonic colliders,” JINST 11 no. 07, (2016) C07017, arXiv:1605.05075 [physics.ins-det].
- [179] CALICE Collaboration, E. Sicking, “Comparison of test beam data from imaging calorimeters with Geant4 simulations,” Nucl. Part. Phys. Proc. 273-275 (2016) 1103–1108.
- [180] CALICE Collaboration, A. Ebrahimi, “Commissioning of the new multi-layer integration prototype of the CALICE tile hadron calorimeter,” in Proceedings, 21st Symposium on Room-Temperature Semiconductor X-ray and Gamma-ray Detectors (RTSD 2014): Seattle, WA, USA, November 8-15, 2014, p. 7431153. 2016. arXiv:1610.01947 [physics.ins-det]. <http://inspirehep.net/record/1475508/files/arXiv:1610.01947.pdf>.
- [181] N. Seguin-Moreau, S. Callier, J.-B. Cizel, F. Dulucq, C. de la Taille, et al., “ROC chips for imaging calorimetry at the International Linear Collider,” in Brient and Laktineh, pp. 215–222.
- [182] CALICE Collaboration, Y. Liu, “Prototype tests for a highly granular scintillator-based hadronic calorimeter,” in International conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics’17 (TIP2017) Beijing, China, May 22-26, 2017. 2017. arXiv:1710.03622 [physics.ins-det].
- [183] CALICE Collaboration, C. Graf, “Performance of a Highly Granular Scintillator-SiPM Based Hadron Calorimeter Prototype in Strong Magnetic Fields,” in 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC 2017) Atlanta, Georgia, USA, October 21-28, 2017. 2017. arXiv:1711.03796 [physics.ins-det].
- [184] CALICE Collaboration, B. Freund, B. Bilki, F. Corriveau, C. Neuberger, Y. Onel, J. Repond, and Repond, “DHCAL with minimal absorber: measurements with positrons,” in Proceedings, 17th International Conference on Calorimetry in Particle Physics (CALOR 2016): Daegu, Republic of Korea, May 15-20, 2016, vol. 928, p. 012037. 2017.
- [185] CALICE Collaboration, J. Kvasnicka, “Data Acquisition System for the CALICE AHCAL Calorimeter,” JINST 12 no. 03, (2017) C03043, arXiv:1701.02232 [physics.ins-det].
- [186] T. Suehara et al., “Performance study of SKIROC2/A ASIC for ILD Si-W ECAL,” in Brient and Laktineh. arXiv:1801.02024 [physics.ins-det]. <http://inspirehep.net/record/1646737/files/arXiv:1801.02024.pdf>.
- [187] CALICE Collaboration, A. Irlès, “Latest R&D news and beam test performance of the highly granular SiW-ECAL technological prototype for the ILC,” in Brient and Laktineh, p. C02038. arXiv:1802.08806 [physics.ins-det]. <http://chef2017.univ-lyon1.fr/en>.

E2- Collisionneurs e-e+ [Expérience Babar]

- [188] D. Bernard, “Two-photon and ISR physics results at BaBar”, Photon 2017, CERN, 22-26 May 2017.
- [189] M. Verderi, “CP and T violation results from Babar”, Third Workshop on Flavor Symmetries (FLASY13), July 2013, Niigata, Japan

E4- Physique des neutrinos

- [190] “The T2K experiment. Results and Perspectives”, Présentation à PPC17, Corpus Christi USA, Mai 2017
- [191] “T2K-SK Systematic Uncertainties”, 3rd Workshop on Neutrino Near Detectors based on gas TPCs, Tokai, Japan. 2017
- [192] “Recent results from T2K”, International Workshop on Double Beta Decay and Underground Science (DBD16), Osaka, November 2016.
- [193] “Recent results from T2K”, International Workshop on Next Generation Nucleon Decay and Neutrino Detectors (NNN16), Beijing, November 2016.
- [194] “Neutrino Oscillation Physics Sensitivity of Hyper-Kamiokande”, Présentation à ICHEP Chicago USA, Juillet 2016
- [195] “Latest results of the T2K experiment”, XXVIIth rencontres de Blois on Particles Physics and Cosmology (Blois2015), May 31-June 5, 2015, Chateau de Blois, Blois, France.
- [196] Séminaire général à l’Ecole Polytechnique “Les oscillations des neutrinos. La promesse d’une nouvelle physique”, Palaiseau, Novembre 2015

[197] “T2K on-axis detector results: cross-section measurements”, IIIrd International Conference on New Frontiers in Physics (ICNFP2014), July 28- August 6, 2014, Confere Center of the Orthodox Academy of Creta, Kolymbari, Crete, Greece.

E7- Physique Ions lourds [Expérience LHCb]

[198] “Charm production with SMOG at LHCb - XSCRC2017: Cross section for cosmic Rays@CERN” - CERN, march 29 - 31, 2017

[199] “SMOG data and heavy flavours - Workshop on LHCb Heavy Ion and Fixed Target Physics” - CERN, january 9 - 10, 2017

[200] “Charm production with SMOG at LHCb” – Rencontres QGP-France – October 9 – 12, 2017

[201] “Heavy quarks and QGP with LHCb/SMOG” - Rencontres QGP-France - october 12- 15, 2015

Organisation de colloques / congrès

La liste de ces activités de recherche n'a pas à être exhaustive. On mettra en évidence les réalisations les plus significatives.

E1 - Physique des particules au LHC – [Expérience CMS] (+ CMS Ions Lourds)

- [1] C. Ochoando (Membre du comité de programme), "GDR Terascale", 13-15 Décembre 2017, Marseille (France)
- [2] C. Ochoando (Membre du Comité d'organisation), "Journées de Rencontres Jeunes Chercheurs (édition 2017)", 26 Novembre-2 Décembre 2017, La Pommeraiie (France)
- [3] M. Nguyen (Membre du comité d'organisation), "New tools and observables for jet physics in Heavy Ion collisions", 21 August - 1 Septembre 2017, CERN, Geneva (Switzerland)
- [4] Y. Sirois (Membre du Comité d'Organisation et de Programme), "Higgs Hunting 2017 International Workshop", 24 - 26 July 2017, LAL & Paris (France)
- [5] A. Zabi (Membre du comité d'organisation), "Ecole d'été P2IO-P2IS 2017", 17-27 Juillet 2017, Orsay-Palaiseau-Paris-Saclay (France)
- [6] F. Beaudette (Membre du comité de programme), A. Zabi (cours), "Trans-European School of High Energy Physics 2017", 13-20 July 2017, Cerklje na Gorenjskem (Slovenia)
- [7] Y. Sirois (Président du Comité International Scientifique et d'Organisation), R. Granier de Cassagnac (Organisateur des sessions parallèles Ions Lourds), "International Europhysics Conference on High Energy Physics (EPS HEP 2017)", 5-12 July 2017, Venice (Italy)
- [8] C. Ochoando (Membre du comité de programme), "GDR Terascale", 3-5 Juillet 2017, Montpellier (France),
- [9] C. Charlot (organisation), L. Dobrzynski (cours), "Sarajevo School of High Energy Physics 2017", 15-20 mai 2017, University of Sarajevo (Bosnia and Herzegovina)
- [10] C. Ochoando (cours), "European School of Instrumentation in Particle and Astroparticle Physics (ESIPAP)2017", 13-14 February, Archamps (France),
- [11] C. Ochoando (Membre du Comité d'organisation), "Journées de Rencontres Jeunes Chercheurs (édition 2016)", 4-10 Décembre 2016, La Pommeraiie (France),
- [12] L. Dobrzynski (organisation et cours), Pascale Hennion (cours), "The 6th Egyptian School of High Energy Physics (ES-HEP2016)", 3-18 December 2016, The British University, Caire, (Egypt)
- [13] C. Ochoando (Membre du comité de programme), "GDR Terascale, 23-25 Novembre 2016, Paris (France),
- [14] R. Granier de Cassagnac (membre du comité scientifique et d'organisation), "Tomography of the Quark-Gluon Plasma with Heavy Quarks", 10-14 October 2016, Leiden (The Netherlands),
- [15] L. Dobrzynski (organisation et conférencier invité), "The Second International Workshop on recent LHC Physics results and related topics", 26 - 27 September 2016, University of Tirana Tirana (Albania),
- [16] Y. Sirois (Membre du Comité d'Organisation et de Programme), "Higgs Hunting 2016 International Workshop", 31 August - 2 September 2016, LAL & Paris (France)
- [17] M. Nguyen (Président du comité d'organisation), "4th Heavy-Ion Jet Workshop", 25-27 July 2016, Ecole polytechnique, Palaiseau,
- [18] A. Zabi (Membre du comité d'organisation), "Ecole d'été P2IO-P2IS 2016", 11-22 Juillet 2016, Orsay-Palaiseau-Paris-Saclay (France),
- [19] F. Beaudette (Membre du comité de programme), A. Zabi (cours), "Trans-European School of High Energy Physics 2016", 7-14 July 2016, Yaremche (Ukraine),
- [20] C. Ochoando (Membre du comité de programme) "GDR Terascale, 23-25 Mai 2016, Nantes (France),
- [21] C. Ochoando (Membre du Comité d'organisation), "Journées de Rencontres Jeunes Chercheurs (édition 2015)", 15-21 Décembre 2015, Chédigny (France),

- [22] C. Ochando (Membre du comité de programme), "GDR Terascale, 23-25 Novembre 2015, Grenoble (France),
- [23] L. Dobrzynski (organisation et cours), Ph. Miné, et A. Sartirana (cours), "The 5th Egyptian School of High Energy Physics (ESHEP2015)", 14-19 November 2015, Giza (Egypt)
- [24] L. Dobrzynski (cours), "Split School of Energy Physics", 14-18 septembre 2015, University FESB Split (Croatia),
- [25] C. Ochando (Organisation), "Journées de Rencontres Jeunes Chercheurs 2015 CNRS/CEA",
- [26] A. Zabi (Membre du comité d'organisation), "Ecole d'été P2IO-P2IS 2015", 13-24 Juillet 2015, Orsay-Palaiseau-Paris-Saclay (France),
- [27] F. Beaudette (Organisation), L. Dobrzynski (création), A. Zabi (cours), "Trans European School of High Energy Physics", 9-16 July 2015, Morsko (Poland),
- [28] Y. Sirois (Membre du Comité d'Organisation et de Programme), "Higgs Hunting 2015 International Workshop", 30 July - 1 August 2015, LAL & Paris (France),
- [29] Y. Sirois (Secrétaire du Comité International Scientifique et d'Organisation), M. Nguyen (Organisateur des sessions parallèles Ions Lourds), "International Europhysics Conference on High Energy Physics (EPS HEP 2015)", 22-29 July 2015, Vienna (Austria)
- [30] C. Ochando (Membre du comité de programme), "GDR Terascale, 30 Mars-1 Avril 2015, Saclay (France),
- [31] C. Ochando (Membre du Comité d'organisation), "Journées Jeunes Chercheurs (édition 2014)", 7-13 Décembre 2014, Sète (France),
- [32] C. Ochando (Membre du comité de programme), "GDR Terascale, 11-13 Décembre 2014, Heidelberg (Allemagne),
- [33] L. Dobrzynski (organisation et conférencier), "Mini Workshop on LHC Physics results and future prospects", 13 October 2014, Podgorica (Monte Negro),
- [34] L. Dobrzynski (Président et conférencier), "International Workshop on LHC, Astrophysics, Medical and Environmental Physics", 6-8 October 2014, Shkodra (Albania)
- [35] A. Zabi (Membre du comité d'organisation), Y. Sirois (cours), "Ecole d'été P2IO-P2IS 2014", 15-25 Juillet 2014, Orsay-Palaiseau-Paris-Saclay (France),
- [36] F. Beaudette (Organisateur des sessions parallèles "Boson de Brout-Englert-Higgs") "Rencontres du Vietnam 2014: Physics at LHC and beyond", 10-17 Août 2014, Quy-Nhon (Vietnam)
- [37] F. Beaudette (Membre du comité de programme), A. Zabi (cours), "Trans-European School of High Energy Physics 2014", 17-24 July 2014, Basivka (Ukraine),
- [38] Y. Sirois (Membre du Comité d'Organisation et de Programme), "Higgs Hunting 2014 International Workshop", 21 - 23 July 2014, LAL & Paris (France),
- [39] C. Ochando (Organisateur et Membre du comité de programme), "GDR Terascale, 2-4 Juin 2014, Palaiseau (France),
- [40] L. Dobrzynski (organisation et cours), "Sarajevo School of High Energy and Medical Physics (SSHEMP 2014)", 19-24 mai 2014, University of Sarajevo (Bosnia and Herzegovina)
- [41] L. Dobrzynski (organisation et cours), Ph. Miné (cours) "The 4th Egyptian School of High Energy Physics (ESHEP2014)", 26 April - 5 May 2014, Ain Shams University (ASU) and The British University Giza (Egypt),
- [42] C. Ochando (Membre du Comité d'organisation), "Journées de Rencontres Jeunes Chercheurs (édition 2013)", 1-7 Décembre 2013, Barbaste (France),
- [43] C. Ochando (Membre du comité de programme), "GDR Terascale, 28-30 Octobre 2013, Annecy (France),
- [44] Y. Sirois (Cours), "47ième Ecole de Gif - 2015 Quel Futur pour le MS après la découverte du H", 21-25 septembre 2015, IPHC, Strasbourg (France),
- [45] Y. Sirois (Membre du Comité d'Organisation et de Programme), "Higgs Hunting 2013 International Workshop", 25 - 27 July 2013, LAL & Paris (France),
- [46] A. Zabi (Membre du comité d'organisation), "Ecole d'été P2IO-P2IS 2013", 15-26 Juillet 2013, Orsay-Palaiseau-Paris-Saclay (France),

- [47] Y. Sirois (Membre du Comité International Scientifique et d'Organisation), "International Europhysics Conference on High Energy Physics (EPS HEP 2013)", 18-24 July 2013, Stockholm (Sweden)
- [48] F. Beaudette (Membre du comité de programme et d'organisation), A. Zabi (cours), "Trans-European School of High Energy Physics 2013", 9-16 July 2013, Vognyk Resort (Ukraine)
- [49] L. Dobrzynski (cours), "The 6th Sarajevo School of High Energy Physics (SSHEMP 2013)", 21-25 mai 2013, University of Sarajevo (Bosnia and Herzegovina)
- [50] C. Ochando (Membre du comité de programme), "GDR Terascale, 13-15 Mai 2013, Annecy (France),
- [51] Y. Sirois (Membre du Comité International Scientifique et d'Organisation, proceedings: J.C. Brient, R. Salerno, and Y. Sirois (editors), "International Conference on Calorimetry for High Energy Frontier 2013 (CHEF 2013)", 22-25 avril 2013, Paris (France),

E2- Collisionneurs e-e+ [Collaboration ILD-CALICE]

- [52] Conférence CHEF'2013
- [53] Réunion de collaboration CALICE'2017

E2- Collisionneurs e-e+ [Expérience Babar]

- [54] Le groupe HARPO du LLR a organisé l'atelier « A TPC for MeV Astrophysics : high-angular- resolution observations and polarimetry », 12-14 avril 2017 à l'École Polytechnique, sous la coordination de Deirdre Horan. Nous avons rassemblé plus d'une trentaine de participants, principalement des astrophysiciens en provenance des 4 continents

E3 - Astronomie Gamma

Co-organisation de 3 conférences dans la série des « Rencontres du Vietnam » :

- [55] "2013 Windows on the Universe" (Inaugural Conference with the participation of 5 Nobel laureates in physics) ICISE, Quy Nhon (Vietnam) , August 11-17, 2013
- [56] "Very High Energy Phenomena in the Universe" (VHEPU-2014) ICISE, Quy Nhon (Vietnam) , August 3 - 9, 2014
- [57] "Exploring the Dark Universe" (EDU-2017) ICISE, Quy Nhon (Vietnam) , July 23 - 29, 2017.

E6- Applications laser plasma [GALOP]

- [58] EAAC2013, EAAC2015, EAAC2017, European Advanced Accelerator Conference, (Isola d'Elba, 350 personnes) membre des comités d'organisation, de programme et de revue (peer-reviewed proceedings)
- [59] 2016 EuroNNAC Workshop PAEPA Pilot Applications Electron Plasma Accelerators (Oct. 2016, Palaiseau, France, 25 personnes) organisateur principal
- [60] 2016 EuPRAXIA collaboration meeting (nov. 2016, Palaiseau, France, 60 personnes) organisateur principal

E7- Physique Ions lourds [Théorie]

- [61] École d'été sur l'interaction forte, « QCD Masterclass 2017 », juin 2017, Saint-Jacut, organisateur principal avec S. Peigné ;
- [62] École d'été sur l'interaction forte, « QCD Masterclass 2016 », juin 2016, Saint-Jacut, organisateur principal avec S. Peigné ;
- [63] Conférence internationale « Heavy ion collisions in the LHC era », juillet 2015, Quy Nhon (Vietnam), organisateur principal ;
- [64] Conférence internationale « Workshop on proton-nucleus collisions at the LHC », mai 2013, Trento (Italie), organisateur principal avec David d'Enterra ;

E7- Physique Ions lourds [Expérience LHCb]

- [65] Organisation des journées QGP-France 2013 - Etretat
- [66] Organisation des journées QGP-France 2015 - Etretat
- [67] Organisation des journées QGP-France 2016 - Etretat
- [68] Organisation des journées QGP-France 2017 - Etretat
- [69] Organisation des journées QGP-France 2018 - Etretat

Produits et outils informatiques

La liste de ces produits de la recherche n'a pas à être exhaustive. On mettra en évidence les réalisations les plus significatives.

Logiciels

E2- Collisionneurs e-e+ [Collaboration ILD-CALICE]

[1] Algorithme GARLIC (Clustering orienté Photons)

[2] Algorithme ARBOR (PFA)

[3] Algorithme LICH (particle ID)

[4] Suite d'acquisition PYRAME

E3 – Astronomie Gamma

[5] Générateur d'événements de conversion de paire.

[6] Logiciel analyse des données de l'expérience HESS

[7] Logiciel calibrage pour CTA - <https://github.com/llr-cta/calim>

E5- Applications BioMédical & GEANT4

[8] Geant4 : La collaboration Geant4 produit une version publique par an. En 2013, une importante évolution a été de permettre un processing en parallèle des événements, en multi-threading. Cette évolution ouvre à Geant4 la voie du HPC, et, avec une combinaison multi-threading et MPI, une unique application Geant4 a pu fonctionner avec 3 millions de threads en parallèle au laboratoire d'Argonne.

E6- Applications laser plasma [GALOP]

[9] Code Particle in Cell 3 dim. "SMILEI" : le projet SMILEI a pour objectif de produire et d'entretenir un code Particle-In-Cell libre et très performant pour les communautés laser-plasma et plasmas astrophysiques. Le projet est porté communément par le LLR, le LULI et la Maison de la Simulation. Près d'une dizaine de thèses et une vingtaine de publications sont associées de près à ce projet. Des techniques innovantes ont été spécialement développées pour ce projet, que ce soit des méthodes numériques pour inclure de la nouvelle physique (ionisation, collisions, QED), des algorithmes nouveaux pour obtenir de la haute performance (vectorisation) et des techniques de parallélisation massive (hybride MPI – OpenMP, asynchronisme) pour la production de très haut niveau dans les grands centres de calcul.

INFORMATIQUE

[9] CMS-MEM développement logiciel de classification d'événements (données issues du détecteur CMS au CERN) associés à un mode particulier de désintégration du Higgs (ttH). CMS-MEM exploite massivement les GPGPUs (et le parallélisme). Production de résultats pour 2 thèses.

[10] Pyrame Pyrame est un framework de prototypage rapide de systèmes online formé de modules de commande. Chacun d'entre eux pilote un matériel spécifique ou offre un service logiciel (configuration, acquisition de données...). Ils peuvent être interconnectés via un bus logiciel pour produire un système de complexité arbitraire. D'une grande stabilité et évolutif, le système permet de prototyper très rapidement un banc-test et de le faire évoluer jusqu'au statut de véritable expérience.

Bases de données

E3 - Astronomie Gamma

[11] TeVCat : un catalogue des source de rayonnement gamma TeV : <http://tevcat.uchicago.edu/>

Développements instrumentaux et méthodologiques

La liste de ces produits et activités de recherche n'a pas à être exhaustive. On mettra en évidence les réalisations les plus significatives.

Direction et coordination d'ouvrages / édition scientifique Prototypes et démonstrateurs

E2- Collisionneurs e-e+ [Collaboration ILD-CALICE]

Ont été réalisés au laboratoire :

- [1] Une structure alvéolaire en Fibre de Carbone-Tungstène équipée en fibre à Réseau de Bragg, de $1,3 \times 0,9 \times 0,3 \text{ m}^3$ représentant la structure autoportante du futur ECAL SiW (2013)
- [2] Un prototype pour les 3 premières couches du SiW-ECAL à 1024 canaux pour les tests en faisceau de 2015 (proto-2015)
- [3] Un prototype équipé de 10 couches pour les tests au CERN et DESY («proto-2016+2017»)
- [4] Un banc de test pour les cassettes longues («SlabLong»)
- [5] Un banc de test laser pour la caractérisation des Wafers («BancLaser »)

E3 – Astronomie Gamma

- [6] HARPO : une chambre à projection temporelle (TPC) cubique de 30 cm de côté, prototype de télescope gamma de très haute performance et pour la première fois, polarimètre dans la gamme d'énergie accessible au processus de conversion de paire
- [7] ASTRE: "ASIC with Switched Capacitor Array (SCA) and Trigger for detector Readout Electronics" du chip de lecture AGET (ASIC for General Electronics for Tpc) qui contrairement au chip semblable AFTER dont HARPO est équipé.

E5- Applications BioMédical & GEANT4

- [8] Biomed : le groupe Biomed, dans le cadre du projet PEPITES, a réalisé un démonstrateur pour un profileur de faisceau ultra-mince à électrons secondaires, en vue d'application en proton- hadron-thérapie. Ce système a été testé en faisceau chez notre partenaire ARRONAX et a permis de valider un certain nombre de principe quant à l'approche considérée.

E6- Applications laser plasma [GALOP]

- [9] Prototype aimant dipole permanent 2.1 Tesla
- [10] Prototype spectrometre focalisant compact, avec zoom magnéto-optique.

ELECTRONIQUE

- [11] Développement au LLR d'un système électronique d'acquisition performant et "générique" de données pour capteurs de type SiPM, PM, wafer de silicium à base de diode PIN pour les expériences de physique des particules. Système utilisé sur banc de test ou installé sur expérience (WAGASCI)

Plateformes et observatoires

E3 – Astronomie Gamma

- [12] CTA : L'observatoire Cherenkov Telescope Array, <http://www.cta-observatory.org/>

INFORMATIQUE

- [13] Plateforme LLR-GRIF : le LLR est un des 6 sites composant GRIF, noeud francilien de la grille de calcul mondial pour le LHC (WLCG). GRIF, avec environ 10PB de stockage et 20 000 de cœurs de calcul, représente 30% de l'activité totale grille pour la France. Le laboratoire fournit environ 15% des ressources de GRIF, gère ses propres services grille (Computing Element, Storage Element, etc..) ainsi que certains des services destinés à toute la communauté WLCG. GRIF fonctionne avec un Comité Technique (CT) constitué d'ingénieurs de tous les laboratoires membres. Au-delà des différentes tâches d'administration de GRIF, nous prenons part à certains projets R&D de la grille WLCG.

[14] Plate-forme GridCL et ACP : ces projets financées par le Labex P2IO en 2012 puis renouvelé fin 2017 ont pour mission de faire évoluer les logiciels vers une exploitation massive des GPUs (Graphic Process Unit) pour gagner un facteur drastique en performance et ainsi en réduire les coûts d'exploitation. Le LLR est porteur de ces projets et les laboratoires de l'IRFU, IAS, LAL, IPNO y sont associés.

[15] Plate-forme LLR-LS : les laboratoires LLR et LSI mettent en communs leur infra-structure de développement pour le calcul intensif. Cette plate-forme, régulièrement mise à jour, dispose de processeurs et d'un réseau Infiniband similaires à ceux qui équipent les grands centres de calcul nationaux. Cette plateforme est donc idéale pour préparer les codes de calculs avant de les lancer en production. Cette plate-forme sert aussi à faire de la production occasionnelle lorsque les allocations obtenues dans les centres de calculs ne sont pas suffisantes.

ELECTRONIQUE

[16] Le LLR possède une plateforme de test qui est un système à base de cartes électroniques au format μ TCA. Ces cartes de haute technologie et comportant des circuits programmable FPGA de dernière génération permettent de valider des firmwares décrits en langage de haut niveau. Cette plateforme est utilisée actuellement pour la validation des algorithmes de déclenchement pour l'upgrade du calorimètre électromagnétique CMS/HGCAL

Activités éditoriales

La liste de ces activités de recherche n'a pas à être exhaustive. On mettra en évidence les réalisations les plus significatives.

Participation à des comités éditoriaux (journaux scientifiques, revues, collections, etc)

E2- Collisionneurs e-e+ [Collaboration ILD-CALICE]

[1] Participation aux revues interne de CALICE (H. Videau, V. Boudry, V. Balagura, J.C. Brient)

E2- Collisionneurs e-e+ [Expérience Babar]

[2] Comité éditorial interne de BaBar (D. Bernard, M. Verderi)

Direction de collections et de séries

E2- Collisionneurs e-e+ [Collaboration ILD-CALICE]

[3] Série de la conférence CHEF (2013 et 2017) par J.C. Brient.

Directeurs de la publication

Jean-Claude Brient, Yves Sirois

Coordination éditoriale

Marc Anduze

Conception graphique

Sylvaine Pieyre

Remerciements à

l'ensemble des responsables de groupes pour leur participation à la rédaction de ce document

Publié par

**Laboratoire Leprince Ringuet, Ecole polytechnique
Fg1128 FRANCE ; <http://www.llr.in2p3.fr>**

Impression

Centre Poly-Media, Ecole polytechnique (2020)

GERBE D'ÉLECTRONS PRODUITE PAR LE PASSAGE À
À TRAVERS D'UNE PLAQUE DE PLOMB D'UNE PAIRE
D'ÉLECTRONS VENANT DE LA MATÉRIALISATION D'UN
RAYON GAMMA (CHAMBRE DE WILSON - 1954)



**INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS**