

LPNHE

PARIS Laboratoire de
Physique Nucléaire et
de Hautes Energies

RAPPORT
D'ACTIVITÉ
2015-2017

RAPPORT
D'ACTIVITÉ
LPNHE

2015-2017

AVANT-PROPOS

Durant ces trois dernières années, le LPNHE a poursuivi son programme de recherche sur la physique expérimentale des hautes énergies, les astroparticules et la cosmologie, et l'a étendu en démarrant plusieurs programmes de recherche directe de matière noire et un programme supplémentaire d'étude de l'énergie noire. Il reste centré autour de grandes questions de physique fondamentale : pourquoi le champ de Higgs, donnant leurs masses aux fermions élémentaires, est-il présent dans l'Univers ? Joue-t-il un rôle dans l'inflation ? Quelle est l'origine de l'asymétrie matière-antimatière de l'Univers ? Quelle est la nature des rayonnements cosmiques de très haute énergie ? La matière noire en est-elle une origine ? Est-elle composée de particules élémentaires inconnues ? Quelles sont les propriétés et la nature de l'énergie noire responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers ? Rechercher les réponses à ces questions qui relient la physique de l'infiniment petit à celle de l'infiniment grand constitue le cœur de l'activité de recherche au LPNHE.

En 2017 le LPNHE, laboratoire de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (CNRS - IN2P3) et des Universités Pierre-et-Marie-Curie et Paris-Diderot compte environ 90 chercheurs dont 50 chercheurs ou enseignants-chercheurs permanents aidés par une quarantaine de doctorants, post-doctorants, chercheurs émérites et bénévoles. L'équipe technique, bien structurée en services techniques dédiés, compte une cinquantaine de personnes. Seul laboratoire parisien de physique expérimentale des hautes énergies, sa situation au cœur de Paris, et son amphithéâtre de recherche Charpak, en font aussi un centre de rencontres scientifiques idéal.

Le LPNHE fait partie du LABEX ILP et de la Fédération de Recherche sur les Interactions Fondamentales (FRIF), en lien en particulier avec les laboratoires théoriques de l'ENS et du LPTHE, ainsi qu'avec l'IAP et l'Observatoire de Paris. Il renforce aussi ses liens avec deux autres laboratoires de l'IN2P3, l'APC, situé sur le campus Paris-Diderot, et le LLR, situé sur le campus de l'École Polytechnique, en vue de former une fédération de physique expérimentale. Celle-ci permettra d'explorer encore plus profondément la physique des deux infinis, étendant les résultats du LPNHE obtenus ces dernières années. Ceux-ci sont présentés brièvement ci-dessous.

Au LHC du CERN, après la découverte du boson de Higgs en 2012, étape majeure de la physique fondamentale à laquelle l'équipe ATLAS du LPNHE a fortement contribué, de nombreuses recherches sur cette particule scalaire unique sont encore en cours pour savoir si elle correspond bien à celle que prédit le Modèle Standard. L'étude de ses modes de production et de désintégration, y compris ceux qui restent à observer avec les données du Run 2 (2015-2018), permettra d'avancer sur cette question, comme l'ont déjà montré les mesures de précision par le canal $H \rightarrow \gamma\gamma$ et la mise en évidence des désintégrations $H \rightarrow bb$. Mais il faut également se projeter dans l'avenir pour étudier d'autres possibilités, offertes par le Run 3 et par les Runs futurs du LHC où celui-ci opérera à haute luminosité et nécessitera une amélioration importante des détecteurs. Pour cela, l'équipe a élargi son programme d'analyse : recherche de physique au-delà du Modèle Standard, en particulier de résonances étroites $X \rightarrow \gamma\gamma$, de particules de matière noire ou de jets de très haute énergie ; physique du quark top, en particulier la mesure de sa masse.

Du côté de l'instrumentation, après le succès de la contribution du laboratoire à la construction et à l'installation d'une nouvelle couche du détecteur à pixels (IBL) d'ATLAS, plusieurs projets sont en cours pour la préparation de la phase Haute Luminosité du LHC à l'horizon 2026 : développements R&D pour le nouveau trajectographe d'ATLAS ITk concernant en particulier les nouveaux senseurs pixels à Silicium, l'électronique *front-end* et la chaîne d'acquisition. Des études R&D pour un calorimètre silicium-tungstène (ou silicium) sont aussi menées au LPNHE dans la perspective d'un futur

collisionneur linéaire et pour la mesure du temps dans un détecteur à l'avant, pour la haute luminosité du LHC (HGTD).

Toujours au LHC, dans la physique des saveurs lourdes, l'équipe LHCb du laboratoire contribue essentiellement aux études des désintégrations des hadrons beaux en états finaux hadroniques sans particule charmée, et à celles des canaux $B \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-$ ($\ell = \text{lepton}$). Dans les deux cas, les observables mesurées sont sensibles à des phénomènes au-delà du Modèle Standard. L'équipe contribue en particulier à la mesure du rapport d'embranchement du canal de désintégration $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ et à son analyse angulaire. Elle est aussi impliquée dans plusieurs études de hadrons charmés et de spectroscopie, ainsi que dans des recherches de nouvelles particules. Parmi ces analyses, nous comptons celles des baryons Ξ_b^{0*} , la recherche de tetraquarks, et la découverte du baryon doublement charmé Ξ_{cc}^{++} . L'équipe effectue également des tests de l'universalité des couplages des leptons dans les interactions électrofaibles dont les premiers résultats, s'ils étaient confirmés avec plus de données, pourraient indiquer l'existence de nouvelles interactions. Enfin l'équipe contribue à l'amélioration du détecteur de LHCb, avec la construction du trajectographe SciFi, qui sera installé en 2019-2020.

Le LPNHE participe aussi à une expérience en préparation au Japon, COMET, qui recherche la conversion en électrons des muons d'un faisceau arrêté dans une cible, comme signe de la violation de la conservation du nombre leptonique. Par ailleurs, des développements théoriques récents émettent l'hypothèse d'un secteur caché où de nouvelles particules pourraient interagir très faiblement avec les particules du Modèle Standard. Parmi les expériences en préparation sur ce sujet, le LPNHE suit le projet SHiP proposé au SPS du CERN qui permettra de rechercher les désintégrations et les interactions de ces nouvelles particules hypothétiques.

Dans le secteur des neutrinos, l'expérience T2K au Japon, dans laquelle une équipe du laboratoire est fortement impliquée, avait observé en 2013 un nouveau type d'oscillation correspondant à la transformation d'un neutrino muonique en un neutrino électronique. Avec plus de données et en observant avec une grande précision la disparition de neutrinos muoniques, T2K a produit les mesures les plus précises de l'angle de mélange θ_{23} (2015, puis 2017), permettant de contraindre plus fortement la matrice de mélange masse-saveur PMNS. Ces résultats ainsi que la découverte de 2013 ont valu à la collaboration le *Breakthrough Prize* 2016. Depuis 2014, l'expérience accumule des données en neutrinos et en anti-neutrinos, ce qui a permis de mesurer un taux d'apparition de ν_e plus élevé et un taux d'apparition de $\bar{\nu}_e$ moins élevé que ceux que l'on attendrait si la symétrie CP était conservée. Cette première indication d'une possible violation de CP pousse la collaboration à proposer une amélioration du faisceau et des détecteurs pour être capable d'exclure la conservation de la symétrie CP à 3 déviations standards à l'horizon 2025.

Concernant l'étude du rayonnement cosmique de très haute énergie, les activités se poursuivent pour les équipes H.E.S.S. et CTA. Pour H.E.S.S., après la mise en service du cinquième télescope en 2012, l'analyse des nouvelles données se poursuit sur plusieurs axes : l'astrophysique avec l'étude des noyaux actifs de galaxies et la physique fondamentale avec la recherche d'une éventuelle violation de l'invariance de Lorentz, l'étude des fonds diffus galactique et extragalactique et la recherche indirecte de matière noire. Pour le futur grand observatoire CTA, le développement des modules d'électronique frontale NectarCAM se poursuit au laboratoire avec un fort soutien des équipes techniques. Du côté de la physique, la préparation de la mise en service des premiers télescopes et l'arrivée des premières données dans les prochaines années nécessiteront de renforcer cette équipe à court terme. Concernant l'observatoire de rayons cosmiques Pierre-Auger, et après des années de contributions essentielles et de résultats remarquables, le groupe a décidé de ne pas s'impliquer fortement dans la nouvelle phase de l'expérience et les physiciens du groupe se sont réorientés ou ont démarré de nouvelles activités.

En parallèle, plusieurs physiciens du laboratoire ont entamé la recherche directe de matière noire, dans différents projets. En particulier l'expérience XENON, que le LPNHE a rejoint en 2016, a présenté les meilleures contraintes sur l'existence de matière noire de type WIMP en 2017, pour des masses supérieures à la dizaine de GeV, ce qui a permis au laboratoire d'être déjà visible au niveau international dans ce nouveau domaine. Les projets DAMIC et DARKSIDE visent également à être à la pointe du domaine dans les années à venir. DAMIC s'accompagne d'un programme de R&D sur les CCD remarquable, et la prochaine génération (DAMIC-M) explorera les basses masses de WIMP et le secteur caché à des sensibilités jamais atteintes jusqu'à présent.

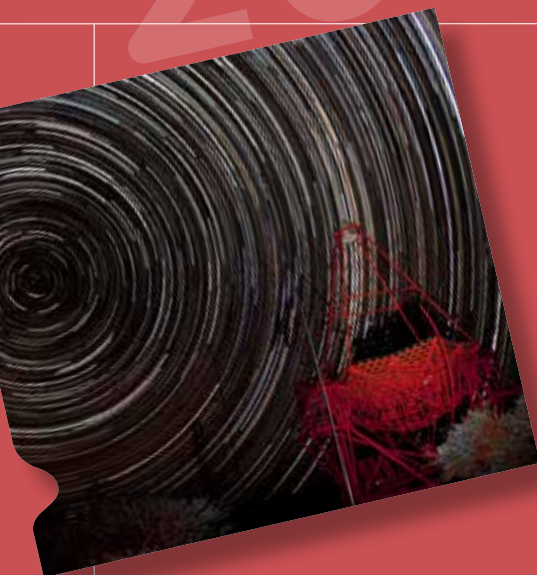
Les chercheurs du groupe de cosmologie du LPNHE sont restés à la pointe de la caractérisation de l'énergie noire par la contrainte de son paramètre d'état w , qui régit l'expansion accélérée de l'Univers. Ils ont aussi rejoint un nouvel axe de recherche utilisant le pic acoustique des oscillations de baryons (BAO, projets eBOSS et DESI), complémentaire à l'axe historique développé au laboratoire basé sur les Supernovae et qui permettra de connaître expérimentalement l'évolution des paramètres cosmologiques en fonction du temps. L'équipe a aussi développé une expertise remarquable sur la calibration photométrique et la mesure des flux de supernovae, cruciale pour les mesures en cours et à venir. Ces dernières années, une calibration croisée entre les données du SuperNova Legacy Survey (SNLS) et celles du Sloan Digital Sky Survey (SDSS) avait permis d'obtenir une précision inférieure à 6 % sur la valeur de w . L'analyse finale en cours devrait permettre d'améliorer ce résultat dans un futur proche.

Pour l'instrumentation, ces dernières années auront aussi été marquées par l'engagement croissant du laboratoire sur le projet LSST, dans lequel les équipes techniques sont fortement impliquées, aussi bien dans l'électronique de la caméra de ce télescope exceptionnel, et la caractérisation de ses senseurs, que d'un point de vue mécanique autour du carrousel pour le changeur de filtres. La réalisation de ce carrousel qui sera placé sur le télescope en construction au Chili, et son intégration avec les autres pièces construites par les laboratoires de l'IN2P3, est une entreprise de très haute technicité qui mobilise la quasi-totalité du service mécanique du laboratoire. Elle utilise l'atelier de montage qui accueille ainsi tous les laboratoires de l'IN2P3 engagés sur LSST pour la réalisation de la totalité de la mécanique du changeur de filtres.

Ces trois dernières années ont donc apporté un grand nombre de résultats scientifiques et de réalisations techniques de premier plan. Elles ont aussi vu des évolutions structurelles (changement de direction et direction technique, mise en place d'un système de revue interne des projets complémentaire au conseil scientifique, réunions scientifiques et techniques plus nombreuses), des évolutions des programmes scientifiques et l'arrivée d'un nombre important de jeunes chercheurs. C'est donc l'activité d'un laboratoire attractif et en expansion qui est exposée dans le présent rapport. Elle laisse présager que les années qui viennent apporteront leur lot de réussites et de succès, renforçant ainsi l'importance des contributions du LPNHE à la recherche en physique expérimentale des hautes énergies.

Nous remercions chaleureusement l'ensemble des personnels du laboratoire qui ont participé à la rédaction de ce rapport d'activité qui décrit aussi en détail le fonctionnement et les autres activités du laboratoire ainsi que les différents services. Soulignons le rôle des correspondants thématiques, qui ont su faire remonter les contributions des équipes : qu'ils en soient ici remerciés. Une mention spéciale est à décerner à Julien Bolmont pour avoir assuré la cohérence d'ensemble. Merci enfin à Jean-Jacques Daigremont pour la conception claire de ce rapport.

Gregorio Bernardi



2015

MARS

• AUGER

Installation du réseau de détection radio GIGADuck bande C (3.4 – 4.2 GHz).

AVRIL

• DØ

Mesure la plus précise de la masse du Top (0.4 % d'incertitude).

MAI

• LHC

Premières collisions proton-proton à 13 TeV.

JUILLET

• LHCb

Observation de « pentaquarks », particules composées de 5 quarks.

AOÛT

• LPNHE

G. Bernardi est nommé directeur du LPNHE. Il succède à R. Pain, directeur de 2008 à 2014 et à C. Balland, directeur par intérim de janvier à juillet 2015.

SEPTEMBRE

• DAMIC

Entrée officielle du groupe du LPNHE dans la collaboration DAMIC.

OCTOBRE

• LSST

Final Design Review du carrousel de LSST, élément clé du changeur de filtre, construit par le LPNHE.

NOVEMBRE

• T2K

« Breakthrough Prize for Fundamental Physics » 2016 pour la première observation de l'apparition de neutrinos ν_e dans un faisceau de ν_μ . Prix partagé avec les expériences Daya Bay, SNO, Kamland et Super-K.

2016

MARS

• ATLAS

Indices d'une résonance à 750 GeV dans le spectre de masse diphoton, donnant lieu à des centaines de publications théoriques. Non confirmé par les données 2016.



H.E.S.S.

Premier candidat « Pevatron », accélérateur de rayons cosmiques au PeV, identifié dans les données de l'expérience.

MAI

• DESI

Le projet DESI passe la revue DOE CD3 et entre en phase de construction.



JUIN

• AUGER

Publication dans *Physics Letters* de la preuve d'une composition mixte des rayons cosmiques à la cheville du spectre en énergie.

JUILLET

• DAMIC

Première publication avec le LPNHE, regroupant deux analyses de recherche de matière noire avec une exposition de 0.6 kg. jour.

• DESI

Premiers spectres mesurés avec le spectrographe de DESI.

MARQUANTS

AOÛT

• T2K

Indication d'une violation maximale de CP dans les données neutrinos et antineutrinos de T2K.

SEPTEMBRE

• CTA

Sélections des sites Nord (aux Canaries) et Sud (au Chili) de l'observatoire CTA.

• H.E.S.S.

Première publication de la collaboration basée sur les données de la seconde phase de H.E.S.S. et présentant une analyse intégralement réalisée au LPNHE.

• DARKSIDE

Soumission du *Technical Proposal* de DarkSide-20K à l'INFN et à la NSF.

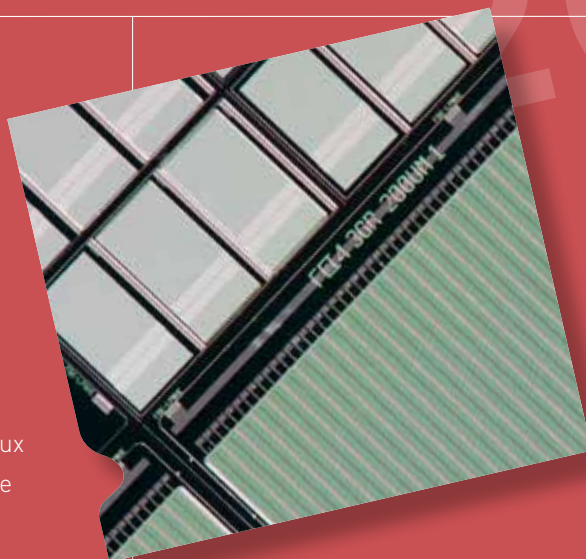
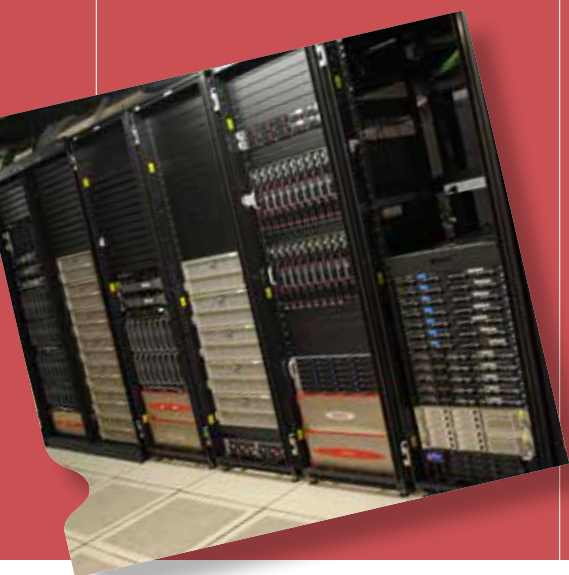
OCTOBRE

• LPNHE

Biennale du laboratoire à Tirrenia, près de Pise, comprenant la visite du détecteur d'ondes gravitationnelles VIRGO.

• LSST

Début des tests du démonstrateur du carrousel de LSST.



NOVEMBRE

• HGTD

Plans de prototype HGTD testés sur faisceau au SPS du CERN.

• Supernovae

Début de la prise de données de Supernovae avec Subaru et le HST.

• XENON

Entrée officielle du groupe du LPNHE dans la collaboration XENON.

2017

MARS

• ATLAS

Première publication exploitant l'ensemble des données ATLAS de 2015 et 2016, utilisées pour les recherches de nouvelle physique avec des jets.

AVRIL

• LHCb

Indices de physique au-delà du modèle standard, qui impliqueraient la violation de l'universalité leptonique, mais qui restent à confirmer.

MAI

• CTA

Livraison au laboratoire des trois premières cartes *front-end* de pré-série pour les télescopes de taille moyenne de CTA. Etape décisive d'un développement commencé au LPNHE en 2009.

• eBOSS

Publication de la mesure du pic BAO des quasars eBOSS à $z=1.5$ confirmant le modèle standard cosmologique.

• XENON

Résultats du premier run scientifique de XENON1T, présentant la meilleure sensibilité aux WIMPs de masses supérieures à 30 GeV.



JUIN

• ATLAS

Pas de signe de nouvelle physique dans les recherches de $H \rightarrow$ diphoton produit avec des particules de matière noire ou dans la désintégration de résonances lourdes.

• LHCb

Découverte du baryon doublement charmé Ξ_{cc}^{++} .

• ATLAS

Première évidence au LHC de la désintégration du boson de Higgs en paire de quarks b avec une significativité de 3.5σ .



SOMMAIRE

Avant-propos	3	Compétences et réalisations techniques	70
Les faits marquants	6	Service Electronique et Instrumentation	72
Recherche	11	Service Informatique	75
Masses et interactions fondamentales	13	Service Mécanique	77
ATLAS		Pôles d'expertise	78
- Désintégration du boson de Higgs en diphotons	15	Plateforme Calcul	78
- Désintégration du boson de Higgs en $b\bar{b}$	16	Plateaux techniques	79
- Physique du quark top	17	Upgrade d'ATLAS	80
- Sections efficaces de jets	17	Upgrade de LHCB	80
- Jets, b-jets et énergie transverse manquante	18	ILD-CALICE	81
- Calibration des électrons et des photons	19	GRIF	82
- R&D pour un nouveau trajectographe	20	CTA	84
- R&D « High Granularity Timing Detector »	21	TREND et GRANDproto	84
CALICE - R&D pour un calorimètre auprès de l'ILC	22	DAMIC	85
DZero - Physique du Higgs et du Top au Tevatron	23	CHAMP	85
Asymétrie matière-antimatière	24	LSST	86
LHCb - physique des saveurs lourdes au LHC	28	DESI	87
BaBar	30	Publications, communications et responsabilités techniques	88
T2K - Oscillations de neutrinos	30	Fonctionnement du laboratoire	90
COMET	32	Organisation	92
Phénoménologie et modélisation pour la physique des particules	33	Partenariats scientifiques	93
SHiP	33	Ressources financières	94
Rayonnement Cosmique et Matière Noire	34	Ressources humaines du LPNHE	95
AUGER	38	Activités d'intérêt général CNRS	96
H.E.S.S.	39	La formation permanente au LPNHE	96
CTA	41	Communication et documentation	97
DAMIC	42	Santé et sécurité - Radioprotection	98
DARKSIDE	43	Services généraux	99
XENON	44	Personnel du laboratoire au 30/06/2017	100
Cosmologie et énergie noire	46	Animation scientifique et communication	102
Supernovae	49	Les séminaires	104
LSST	50	Liste des séminaires	104
eBOSS/DESI	51	La réunion du vendredi	106
Dynamique des systèmes auto-gravitants	53	La biennale	106
Publications, communications et responsabilités	54	La fête de la science	107
L'enseignement supérieur et la formation par la recherche	62	Les masterclasses	107
L'enseignement supérieur et le LPNHE	64		
Responsabilités dans les instances universitaires	65		
Les thèses au LPNHE	66		
Liste des thèses soutenues au LPNHE entre 2015 et 2017	67		
Les stages au LPNHE	68		



RECHERCHE

Masses et interactions fondamentales	13
ATLAS	
- Désintégration du boson de Higgs en diphotons	15
- Désintégration du boson de Higgs en $b\bar{b}$	16
- Physique du quark top	17
- Sections efficaces de jets	17
- Jets, b-jets et énergie transverse manquante	18
- Calibration des électrons et des photons	19
- R&D pour un nouveau trajectographe	20
- R&D « High Granularity Timing Detector »	21
CALICE - R&D pour un calorimètre auprès de l'ILC	22
DZero - Physique du Higgs et du Top au Tevatron	23
Asymétrie matière-antimatière	24
LHCb - physique des saveurs lourdes au LHC	28
BaBar	30
T2K - Oscillations de neutrinos	30
COMET	32
Phénoménologie et modélisation pour la physique des particules	33
SHiP	33
Rayonnement Cosmique et Matière Noire	34
AUGER	38
H.E.S.S.	39
CTA	41
DAMIC	42
DARKSIDE	43
XENON	44
Cosmologie et énergie noire	46
Supernovae	49
LSST	50
eBOSS/DESI	51
Dynamique des systèmes auto-gravitants	53
Publications, communications et responsabilités	54



MASSES ET
INTERACTIONS
FONDAMENTALES

ATLAS

- Désintégration du boson de Higgs en diphotons
- Désintégration du boson de Higgs en $b\bar{b}$
- Physique du quark top
- Sections efficaces de jets
- Jets, b-jets et énergie transverse manquante
- Calibration des électrons et des photons
- R&D pour un nouveau trajectographe
- R&D « High Granularity Timing Detector »

CALICE - R&D pour un calorimètre auprès de l'ILC

DZero - Physique du Higgs et du Top au Tevatron

MASSES ET INTERACTIONS FONDAMENTALES



La découverte du boson de Higgs par les collaborations ATLAS et CMS a été une étape cruciale de la recherche conduite par les physiciens expérimentateurs pendant les dernières décennies pour valider complètement le modèle standard. Le boson de Higgs était la seule particule prédite dans le cadre du modèle standard qui n'était pas encore observée. Ses propriétés atypiques (spin 0 notamment) et son rôle dans la théorie font de cette découverte une étape majeure dans notre compréhension du monde subatomique.

Trouver cette nouvelle particule dans une région de masse compatible avec les indications fournies par les autres mesures des paramètres du modèle standard a représenté une confirmation forte de la théorie. Néanmoins, cette découverte n'a pas encore permis de faire émerger une vision définitive de la physique des interactions fondamentales mais a au contraire ouvert la porte à de nombreuses questions qui restent sans réponse. Plusieurs aspects du modèle standard restent étranges et sa validité à haute énergie n'est pas confirmée. Si nous avons maintenant un mécanisme valide pour générer les masses des particules élémentaires dans la théorie, les valeurs spécifiques de ces masses restent, semble-t-il, arbitraires. De plus, leur distribution sur plusieurs ordres de magnitude, pour les leptons et les quarks, même sans considérer l'extension aux masses des neutrinos, n'a pas d'explication. Plus généralement, les nombreux paramètres introduits dans le modèle standard afin de décrire les mesures ont des valeurs qui ne sont pas prédites. Leur compréhension profonde requiert probablement une extension théorique, associée peut-être à une nouvelle physique au-delà du modèle standard.

La masse du boson de Higgs est corrigée par chaque particule à laquelle il couple et cette correction est d'autant plus grande que les particules sont lourdes. Le quark top introduit la correction la plus grande à la valeur théorique de la masse du boson de Higgs et le mécanisme qui empêche cette masse de devenir beaucoup plus grande sous l'effet de ces corrections n'est pas encore compris.

Enfin, le modèle standard n'inclut pas la gravité, une des quatre forces fondamentales, et ne fournit pas les éléments pour comprendre pourquoi la gravité est beaucoup plus faible que les interactions électrofaible et forte. En particulier, le modèle standard n'offre pas de candidat expliquant la structure microscopique de la matière noire dont des signes expérimentaux convaincants sont observés aux grandes échelles de l'Univers.

Au-delà de ces problèmes fondamentaux liés au modèle standard, beaucoup d'efforts seront nécessaires pour déterminer les caractéristiques du boson découvert récemment. Certains de ses couplages aux fermions ne sont pas encore mesurés et la nature de cette particule en tant que «boson de Higgs du modèle standard» doit être confirmée avec plus de précision. Certaines de ces caractéristiques, comme l'auto-couplage, sont même à la limite ou au-delà de la sensibilité des accélérateurs existants. Une compréhension précise des propriétés de cette particule va demander des améliorations significatives, en luminosité ou en énergie, des accélérateurs existants ou la construction de nouveaux.

Pendant les dernières années le LPNHE a contribué d'une manière significative à la compréhension du modèle standard avec l'expérience DØ au Tevatron et avec l'expérience ATLAS au LHC. En juillet 2012, les collaborations ATLAS et CMS ont annoncé la découverte du boson de Higgs à laquelle un groupe de physiciens du LPNHE a contribué de manière majeure au travers de l'analyse du mode de désintégration principal ayant donné la contribution la plus forte à la découverte : la désintégration en deux photons. Au même moment, les physiciens du LPNHE impliqués au Tevatron mettaient en évidence les couplages fermioniques du boson découvert au CERN. Depuis, le groupe ATLAS du LPNHE a contribué significativement aux études des propriétés de ce boson. Parallèlement, les physiciens du laboratoire ont eu des contributions importantes à la détermination des paramètres du modèle standard et à la recherche de nouvelle physique, par les mesures des sections efficaces des jets et la détermination des propriétés du quark top, le plus lourd fermion élémentaire du modèle standard. Ces études, qui ont aussi apporté des éléments importants pour les recherches du Higgs et la détermination de ses propriétés, représentent une contribution importante au programme d'analyse des données du LHC.

Parallèlement aux analyses déjà évoquées, le groupe participe aussi au fonctionnement de l'expérience ATLAS au travers de tâches d'intérêt général permettant d'assurer le bon fonctionnement du détecteur, de tâches de coordinations scientifiques sur la qualité des analyses et de contributions relatives à l'écriture ou à l'évaluation interne d'articles. En particulier, le groupe participe au développement du logiciel pour la reconstruction et l'analyse des données, au logiciel validant la qualité des données et à la mise en place des moyens de calcul et de stockage de l'expérience dans le cadre de la grille de calcul. Le groupe est aussi impliqué dans des collaborations avec d'autres laboratoires, en particulier à Cracovie (IFJ-PAN), à Johannesburg (Université de Witwatersand), en Chine (USTC Hefei et IHEP Pékin), à l'Université de Milan et à l'Université de Buenos Aires.

D'autres accélérateurs sont en cours de conception, comme l'« International Linear Collider » et le « Future Circular Collider ». Les groupes du LPNHE sont en bonne position pour jouer un rôle important dans ces projets et contribuent déjà aux études effectuées par la collaboration Calice.

ATLAS - DÉSINTÉGRATION DU BOSON DE HIGGS EN DIPHOTONS

CHIFFRES CLÉS

Depuis le démarrage du LHC, $\sim 43 \text{ fb}^{-1}$ cumulés à 13 TeV,
 $\sim 3,7$ millions de bosons de Higgs produits et
 ~ 110 millions de quarks top produits.
 $0,99 \pm 0,14$ rapport entre la section efficace de production
 du boson de Higgs mesurée dans $H \rightarrow \gamma\gamma$ et la
 prédiction du Modèle Standard à 13 TeV .
 $3,5\sigma$: ampleur de la première mise en évidence au LHC des
 désintégrations du boson de Higgs en bb .

Le groupe ATLAS du LPNHE est impliqué de longue date dans la recherche puis l'étude du boson de Higgs dans son canal de désintégration en deux photons dans le cadre du groupe de travail HGAM. Avec le démarrage de la seconde période de collecte de données du LHC à une énergie de collision de 13 TeV, cette activité a été étendue à la recherche de physique au-delà du modèle standard, en utilisant les paires de photons comme signature.

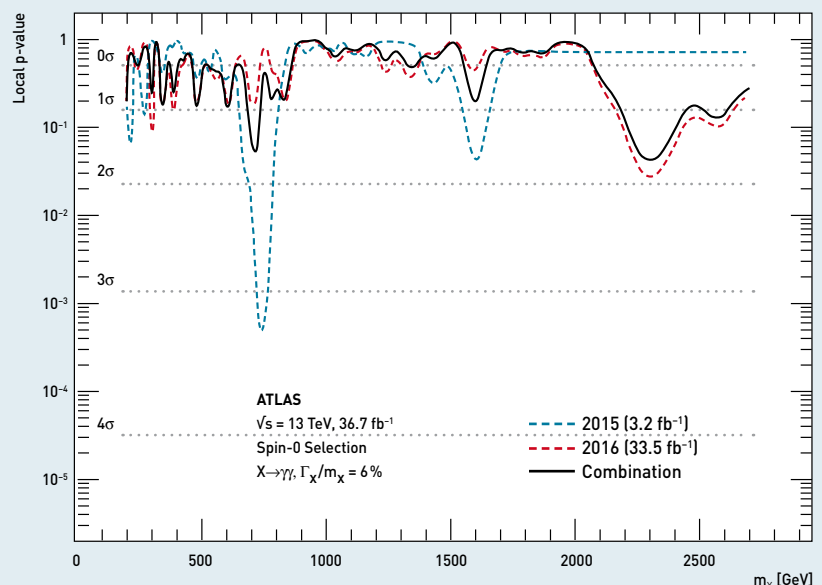
Certains scénarios de supersymétrie prédisent des désintégrations dont la signature expérimentale présente deux photons (non résonants) et de l'énergie transverse manquante, due à deux gravitinos qui s'échappent du détecteur sans interagir. Aucun événement de ce type n'a été observé dans l'analyse des données 2015 permettant d'établir une limite inférieure sur la masse d'un gluino, dans ce type de modèle, à 1650 GeV.

Le groupe a joué un rôle de premier plan dans la recherche d'un couplage entre le secteur de Higgs et de possibles particules de matière noire. La signature recherchée est similaire : deux photons et de l'énergie manquante due à la paire

de particules de matière noire produite, à la différence que les deux photons forment un signal résonant. Les résultats négatifs de l'analyse des données de 2015 et 2016 sont interprétés sous la forme de limites sur la masse des particules vectrices de ce couplage, boson pseudo-scalaire A^0 ou vecteur Z' , dans le cadre de modèles simplifiés de

matière noire. Cette recherche est complémentaire à celle faite dans le groupe dans le canal $H \rightarrow bb$ et a été étendue récemment à la recherche de matière noire dans le canal mono-top.

Le groupe a été particulièrement actif dans la recherche d'une nouvelle résonance, de spin 0 ou 2, ayant une masse supérieure à celle du boson de Higgs du modèle standard (125 GeV) : compréhension du bruit de fond, étude du critère d'isolation des photons, extension de l'analyse pour une résonance de largeur naturelle supérieure à la résolution du détecteur et analyse statistique. L'analyse des données enregistrées en 2015 a montré un excès, à hauteur de $3,9\sigma$, dans le spectre de masse invariante des deux photons autour de 750 GeV, d'une largeur de 45 GeV. Ce résultat a suscité un grand intérêt dans la communauté et plusieurs centaines d'articles ont proposé des interprétations théoriques de cet excès. Cependant, l'analyse des données de 2016, échantillon d'une taille dix fois supérieure à 2015, n'a pas confirmé l'observation.



Compatibilité avec l'hypothèse de bruit de fond en fonction de la masse supposée pour le signal (m_x).



Une recherche similaire est celle d'une résonance lourde se désintégrant en un boson Z et un photon. Il s'agit du prolongement de la recherche de la désintégration rare $H \rightarrow Z\gamma$, dont la sensibilité attendue sur le rapport d'embranchement avec les données 2015-2016 est quatre fois supérieure à la prédiction du modèle standard. Aucun

signal n'a été observé en 2015-2016. Les recherches décrites ici ont toutes mené à des publications de la collaboration ATLAS. En outre, deux chercheurs du LPNHE ont coordonné le groupe de travail HGAM (2014-2015 et 2016-2017) et les nombreuses publications couvrant les mesures de précisions sur le boson de Higgs et les

recherches de physique au-delà du modèle standard avec une paire de photons, ou une production $Z\gamma$ dans l'état final.

.....
Chercheurs et Doctorants : B. Laforge, S. Laplace, A. Lopez Solis, S. Manzoni, G. Marchiori, J. Ocariz, L. Roos, A. Tarek Adouelfadl Mohamed, R. Wang, Y. Yap

ATLAS - DÉSINTÉGRATION DU BOSON DE HIGGS EN $b\bar{b}$

Au-delà des désintégrations du boson de Higgs en deux bosons (W, Z, γ) et en deux leptons (τ), désormais établies, il est important de mettre en évidence celles en deux quarks, et en particulier dans une paire de quark-antiquark $b\bar{b}$. Ce canal bénéficie d'un rapport d'embranchement élevé (environ 60 %) mais souffre d'un niveau de bruit de fond très important au LHC. La principale méthode pour améliorer le rapport signal sur bruit est de se limiter à la recherche de bosons de Higgs produits en association avec un W ou un Z se désintégrant en leptons et donc de rechercher des événements avec 2 jets et des leptons chargés et/ou de l'énergie transverse manquante.

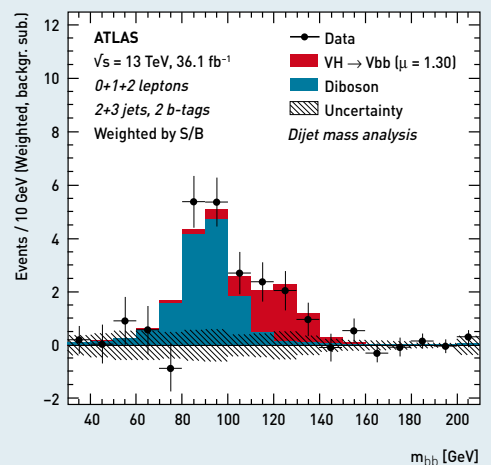
Au cours des dernières années, l'équipe Hbb du groupe ATLAS du LPNHE, composée de 4 membres permanents, 1 post-doc et 5 étudiants, a été l'un des principaux contributeurs à la recherche des événements VH ($V = W, Z$), $H \rightarrow b\bar{b}$ avec les données recueillies à $\sqrt{s} = 13$ TeV en 2015 et 2016 par ATLAS, et en particulier dans le canal « 0-lepton » ($Z \rightarrow \nu\nu$ ou $W \rightarrow l\nu$ lorsque le lepton l n'est pas reconstruit). Le groupe a contribué à la conception du logiciel d'analyse, à la préparation et à la validation des échantillons simulés de signal, à l'optimisation des critères de sélection, aux études des incertitudes systématiques de modélisation pour les processus de signal et de bruit de fond et au traitement statistique des résultats finaux.

Un résultat préliminaire de cette analyse, basé sur 13 fb^{-1} de données du Run 2, a été montré à ICHEP 2016 et une mise à jour avec les 36 fb^{-1} du Run 2 vient d'être rendue publique. En combinaison avec les données du Run 1, ATLAS observe un signal avec une significativité de 3,5 écart-type, ce qui constitue la première mise en évidence au LHC des désintégrations du boson de Higgs en $b\bar{b}$ et un signal plus fort qu'observé au Tevatron en 2012. La section efficace mesurée est en bon accord avec le modèle standard.

Le même état final a été étudié par le groupe pour rechercher la désintégration en ZH d'un

boson de Higgs pseudo-scalaire plus lourd ou d'une nouvelle résonance vectorielle ou pour rechercher les particules de matière noire produites en association avec un boson de Higgs. Aucun excès significatif n'a été observé. De nouvelles limites supérieures sur les sections efficaces de production de telles résonances et des limites inférieures sur les masses des bosons vectoriels responsables des interactions entre les particules de matière noire et le boson de Higgs dans les modèles prédisant de telles signatures ont été établies.

Distribution de la masse invariante des candidats $H \rightarrow b\bar{b}$ dans les données (points noirs) après soustraction de tous les processus de bruit de fond sauf la production diboson $VZ, Z \rightarrow b\bar{b}$.



.....
Chercheurs et Doctorants : G. Bernardi, G. Calderini, S. De Cecco, L. D'Eramo, P. Francavilla, C. Li, I. Luise, B. Malaescu, G. Marchiori, C. Pandini, D. Portillo

ATLAS - PHYSIQUE DU QUARK TOP

Le quark top est la particule élémentaire la plus massive du modèle standard. Il se couple donc fortement au boson de Higgs. Ainsi, il pourrait jouer un rôle particulier dans le phénomène de brisure spontanée de la symétrie électrofaible, mais aussi dans de nombreux modèles au-delà du modèle standard. Le groupe a continué son travail de mesures de précision des propriétés du quark top. D'une part il a poursuivi l'étude des paires de quarks top-antitop dans le canal de désintégration complètement hadronique, en particulier en participant à l'amélioration de l'étalonnage en énergie des jets. Cet effort a permis de gagner en précision sur la mesure de section efficace de production de tels événements, présentée dans le rapport précédent, avec une valeur $\sigma = 261 \pm 10(\text{stat}) \pm 52(\text{syst}) \pm 7(\text{lumi})$ pb. Le

groupe a aussi continué son programme de mesure de la masse du quark top. Une thèse a été soutenue en 2015 avec une mesure dans le canal de désintégration $t\bar{t}$ avec la méthode des éléments de matrice, dominée par l'incertitude liée à l'échelle d'énergie des jets et qui a mené au résultat $m = 172,40 \pm 0,35(\text{stat}) \pm 1,12(\text{syst})$ GeV. Une mesure alternative est en cours dans des événements top-antitop avec un quark b se désintégrant en $b \rightarrow J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ dans l'état final, utilisant la masse invariante du système formé par un lepton issu du boson W et des deux muons issus du J/ψ . La mesure n'utilisant que des leptons ne dépend pas de l'échelle d'énergie des jets, qui est la source d'incertitude dominante dans la méthode standard de la mesure de la masse du top. Par contre, le rapport d'embranchement de

ce processus étant très faible, la mesure est limitée par la statistique. Des études sur la reconstruction de tels événements ont été effectuées avec les données à 8 TeV, et l'effort pour effectuer une mesure est en cours avec les données du Run 2. Finalement, le groupe a aussi continué son effort sur l'estimation des bruits de fond dus aux leptons mal identifiés avec les données du Run 2. Par ailleurs, le laboratoire participe également à la recherche de matière noire accompagnée d'un unique quark top (monotop).

.....
Chercheurs et Doctorants : T. Beau, F. Derue, D. Lacour, B. Malaescu, S. Pires, M. Ridet, S. Trincas-Duvoid, D. Varouchas, R. Wang

ATLAS - SECTIONS EFFICACES DE JETS

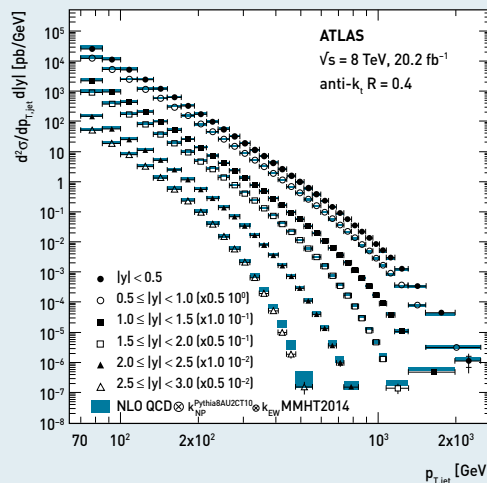
Les jets sont constitués d'ensembles de particules issus de quarks ou de gluons produits dans des collisions de haute énergie. Ils permettent d'étudier la structure de la matière et ses interactions aux distances les plus courtes accessibles en laboratoire.

Des mesures de sections efficaces inclusives de jets (en fonction de l'impulsion transverse et de la rapidité), ainsi que de paires de jets (en fonction de la masse invariante et de la différence de rapidité de deux jets) ont été effectuées utilisant les données ATLAS à 7, 8 et 13 TeV respectivement. Ces mesures sont déconvoluées des effets de détecteur, avec une évaluation complète des incertitudes et de leurs corrélations. Elles ont permis de tester les prédictions du modèle standard de la physique des particules, ainsi que de contraindre les fonctions de distribution des partons dans le proton. Des limites sur des

signaux potentiels de physique au-delà du modèle standard, comme un modèle d'interaction de contact ont été évaluées utilisant ces mesures. Ces études se sont montrées

particulièrement sensibles à la description précise des corrélations des incertitudes, pour lesquelles des analyses détaillées ont été effectuées.

Mesure différentielle de la section efficace inclusive de production de jet, en fonction de l'impulsion transverse et de la rapidité des jets comparée à une prédiction théorique.





Des recherches directes de physique au-delà du modèle standard, utilisant la distribution de masse des paires de jets et les distributions angulaires des jets ont été effectuées. En l'absence de signal, des limites ont été évaluées pour différents modèles, comme des quarks excités, des nouveaux bosons électrofaibles, des interactions de contact. Des limites pour des modèles de signaux génériques, avec des distributions Gaussiennes, ont été évaluées. Auparavant ces études utilisaient une comparaison entre les données et la prédiction

du bruit de fond plus le signal au niveau reconstruit. Cela implique que les distributions Gaussiennes considérées rendent compte du signal physique, ainsi que de la résolution du détecteur. Ceci rend les résultats publiés difficilement utilisables pour contraindre d'autres modèles de physique au-delà du modèle standard. Afin d'obtenir des limites au niveau des signaux physiques, une procédure de convolution avec les effets de détecteur a été développée. Tandis que la comparaison avec les données est faite au niveau reconstruit, cette approche permet

d'obtenir des limites qui peuvent être interprétées en termes d'autres modèles, sans avoir besoin d'utiliser une simulation dédiée pour chacun de ces modèles.

Des membres du groupe ATLAS du LPNHE ont apporté des contributions importantes à ces études, ont coordonné ces travaux et ont été éditeurs de plusieurs publications.

.....
Chercheurs et Doctorants : R. Hankache, B. Malaescu, M. Ridet

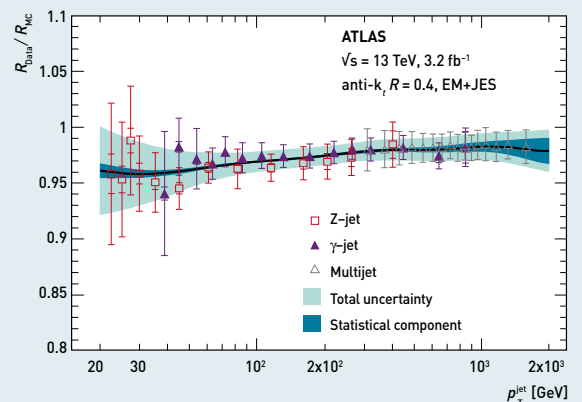
ATLAS - JETS, B-JETS ET ÉNERGIE TRANSVERSE MANQUANTE

La calibration de l'énergie des jets est basée sur une série de corrections à la calibration initiale basée sur les dépôts d'énergie reconstruits dans le calorimètre, comme la soustraction des effets du pile-up, la correction basée sur la simulation et les corrections utilisant des méthodes *in-situ* comparant l'énergie d'un jet à celle de particules identifiées ou à celle d'un autre jet, dans un même événement. Le groupe ATLAS du LPNHE a apporté des contributions importantes à ces études, plus particulièrement pour les méthodes Z-jet et deux jets, qui ont aussi été utilisées pour la détermination de la résolution en énergie. La combinaison des résultats des méthodes *in-situ* (la première de ce type pour la résolution), avec le test de leur compatibilité et la propagation des incertitudes et de leurs corrélations, a été effectuée. L'utilisation d'un grand nombre de composantes des incertitudes est nécessaire pour préserver l'information sur les corrélations, mais l'utilisation de celles-ci dans les études de physique peut être techniquement difficile.

Pour cette raison, une méthode permettant de réduire le nombre de composantes d'un ordre de grandeur, tout en minimisant la perte d'information sur les corrélations, a été développée. Elle a été complétée par une méthode de traitement des corrélations entre différentes configurations des incertitudes, employée pour la combinaison des recherches $H \rightarrow b\bar{b}$ utilisant les données du Run 1 et du Run 2 du LHC. Le groupe

a aussi eu une forte implication dans des études liées à la mesure *in situ* de l'efficacité d'étiquetage de jets issus des quarks b, développant une technique « tag and probe » qui a permis de sélectionner un échantillon de contrôle des jets issus des quarks b produits dans les désintégrations des quarks top dans les événements $t\bar{t} \rightarrow WbWb \rightarrow e\nu \nu b$ et de réduire l'incertitude de la mesure à seulement quelques pourcents.

Combinaison des résultats de trois méthodes *in-situ* utilisées pour la calibration des jets.





La mesure de l'énergie transverse manquante (MET) par les expériences du LHC a de nombreuses applications, de la recherche de physique au-delà du modèle standard, à la détermination précise des propriétés du modèle standard, comme la masse du boson W. La MET est définie comme la somme vectorielle négative des impulsions transverses de toutes les particules reconstruites dans le détecteur. Elle est corrélée à l'impulsion transverse des neutrinos ou d'autres particules au-delà du modèle standard qui n'interagiraient pas avec le détecteur.

Le groupe ATLAS du LPNHE a joué un rôle clé dans les études de performance pour la

MET, améliorant sa résolution par l'utilisation de l'information des traces reconstruites, étudiant sa performance pour les cas où la détermination du vertex principal dépend fortement de la direction des photons produits, développant la stratégie et les logiciels pour déterminer ses incertitudes systématiques et ayant un rôle de premier plan dans les études qui ont conduit à choisir la définition de la MET utilisée pendant le Run 2 du LHC.

Afin d'améliorer le pouvoir de séparation entre des événements avec de la MET issue de particules énergétiques non détectables et les autres, le groupe ATLAS a travaillé sur une nouvelle définition de la significativité

de la MET, utilisant l'information sur la résolution des impulsions mesurées par le détecteur pour les particules reconstruites et identifiées.

.....
Chercheurs et Doctorants : S. De Cecco, P. Francavilla, R. Hankache, B. Laforge, C. Li, A. Lopez Solis, B. Malaescu, G. Marchiori, D. Portillo, M. Ridel, D. Varouchas

ATLAS - CALIBRATION DES ÉLECTRONS ET DES PHOTONS

La compréhension fine des performances des sous-détecteurs d'ATLAS est cruciale pour mener à bien les analyses de physique. Le groupe est donc impliqué dans l'étude des objets électrons/photons (groupe « egamma » d'ATLAS) et du calorimètre électromagnétique.

L'un des effets étudiés au niveau de la reconstruction de l'énergie déposée dans le calorimètre est le signal de fuite entre cellules (« cross-talk »), c'est-à-dire le fait qu'en déposant de l'énergie dans une cellule donnée, une partie du signal se retrouve dans d'autres cellules (par induction électrique entre câbles ou par contact entre les cellules). Le groupe s'applique à affiner la compréhension de ce signal de fuite pour améliorer sa description dans la simulation du calorimètre.

Un autre thème d'étude concerne l'étalonnage des électrons et des photons : le groupe a pris en charge plusieurs étapes de cet étalonnage qui permet d'exploiter au mieux toutes les informations du détecteur pour reconstruire l'énergie de l'électron/photon incident, et de corriger les différences entre la vraie réponse du détecteur et la simulation.

Une fois les électrons/photons reconstruits et étalonnés, on utilise des critères d'identification et d'isolation pour reconnaître les « bons » électrons/photons, provenant par exemple de la désintégration d'une résonance intermédiaire comme le Z ou le boson de Higgs, des imposteurs tels que des hadrons confondus avec des électrons/photons, ou des électrons/photons issus de la désintégration de hadrons. Le groupe travaille sur l'élaboration et la validation des critères d'identification des photons, ainsi que sur des variables d'isolation (les « bons » électrons/photons étant « isolés » alors que les imposteurs ont généralement des dépôts d'énergie proches).

Une des spécialités du groupe concernant les deux derniers thèmes (étalonnage/identification) est l'étude des photons issus des radiations du boson Z : ce type de processus permet d'obtenir une source assez pure de photons dans les données du LHC, alors que la production de photons directs est polluée par un bruit de fond important.

Une dernière thématique abordée par le groupe concerne l'identification des conversions de photons: en traversant le matériel en amont du calorimètre (du détecteur

interne de traces), les photons peuvent se convertir en paire électron-positron. Traditionnellement, les traces laissées par l'électron et le positron sont exploitées pour identifier ces conversions. Le groupe a aussi exploré l'utilisation des différences dans les dépôts d'énergie dans le calorimètre pour distinguer les photons convertis des photons non convertis.

Enfin, diverses responsabilités dans le domaine « egamma » ont été confiées à des membres du groupe : celle du groupe egamma dans son ensemble (2016-2018), et des sous-groupes « identification des photons » (2014-2016) et « isolation forum » (2015-2016). Le groupe est également responsable de la qualité des données en ce qui concerne les électrons et les photons depuis fin 2014.

.....
Chercheurs et Doctorants : G. Bernardi, B. Laforge, S. Laplace, P. Luzi, I. Luise, S. Manzoni, G. Marchiori, J. Ocariz, L. Roos, A. Tarek Adouelfadl Mohamed, R. Wang, Y. Yap

ATLAS - R&D POUR UN NOUVEAU TRAJECTOGRAPHE

CHIFFRES CLÉS

3000 fb⁻¹ : objectif de luminosité à accumuler pendant les 10 ans de la phase à haute luminosité.

30 ps : résolution en temps nécessaire pour le futur détecteur HGTD.

Deux activités de R&D sur les modules à pixels au silicium sont en cours pour préparer la phase de haute luminosité du LHC (HL-LHC) dans ATLAS.

Capteurs à pixels minces

Le plan du CERN d'ici 10 ans est d'augmenter d'un facteur de 5 à 7 la luminosité instantanée du LHC qui deviendra une machine à haute luminosité, le HL-LHC (High-Luminosity LHC). A partir de 2026 il est prévu que le HL-LHC accumule environ 3000 fb⁻¹ pendant 10 ans (« Phase-II » des expériences auprès du LHC). Cela représente une opportunité unique pour étudier le boson de Higgs ainsi que pour étendre la région de masse où rechercher la physique au-delà du modèle standard. Avec la croissance de la luminosité instantanée, le *pile-up*, le taux d'événements et la fluence des rayonnements augmenteront tellement que le détecteur de traces actuel d'ATLAS ne sera plus en mesure d'assurer les performances nécessaires.

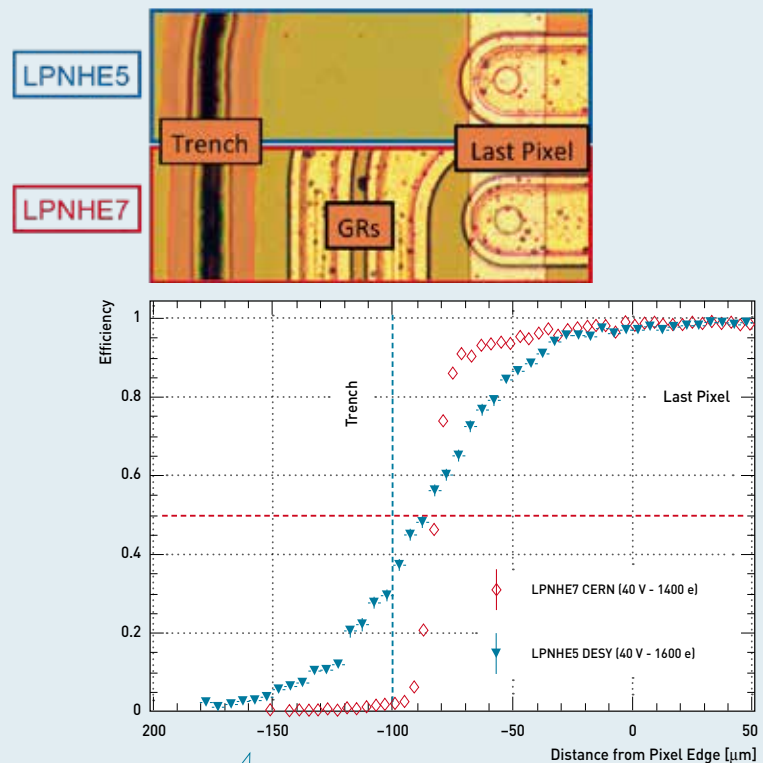
En particulier, le détecteur à pixels actuel a été réalisé pour résister à des fluences de rayonnement 10 fois inférieures à la valeur attendue à la fin de la Phase-II. Par conséquent, pour la prise des données pendant la Phase II, un nouveau détecteur de traces est nécessaire. Plusieurs aspects de ce nouveau sous-détecteur sont à l'étude : les nouveaux senseurs, l'électronique de *front-end* ainsi que la chaîne d'acquisition,

la structure de support et le système de refroidissement, et finalement la géométrie du nouveau trajectographe.

Le groupe ATLAS du laboratoire recherche depuis 2009 des capteurs à pixels capables de résister aux effets de rayonnements attendus au HL-LHC. Ces capteurs sont caractérisés par une épaisseur réduite pour faire face au phénomène de piégeage de charge, ainsi que par une région en bordure réduite par rapport à ceux d'aujourd'hui pour garder l'acceptance géométrique la plus haute possible. Dans les 2 ans et demi passés, ces capteurs, développés et réalisés en collaboration avec la Fondazione Bruno Kessler (FBK - Trento, Italie), ont été testés en faisceau avant et après irradiation. Les résultats sont prometteurs. Avant irradia-

tion l'efficacité mesurée est élevée (> 97 %), compatible avec les spécifications imposées par la collaboration ATLAS pour le futur trajectographe. Comme le montre la figure ci-dessous, l'efficacité reste élevée même au-delà du dernier pixel. C'est un résultat très important en vue du nouveau trajectographe d'ATLAS pour lequel il est impératif de maximiser l'acceptance géométrique au plus près du point d'interaction. Des résultats similaires ont été observés après irradiation.

Le *Technical Design Report* du nouveau détecteur à pixels d'ATLAS est en phase de rédaction. Si le projet est approuvé, le groupe ATLAS du LPNHE s'engagera dans la construction d'une partie des modules de détection à pixels pour ce nouveau trajectographe.



Efficacité en bordure des capteurs ; mesures effectués au CERN et à DESY.

• • •

Systèmes de refroidissement à micro-canaux

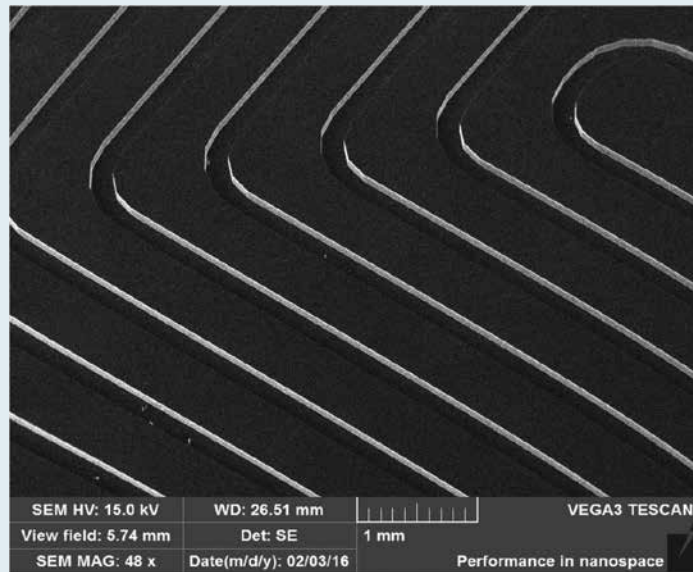
Cette nouvelle génération de détecteurs en silicium exige des systèmes de refroidissement plus efficaces pour la puce de lecture et pour le capteur lui-même. La fluence des rayonnements prévue au HL-LHC pour les détecteurs à pixels les plus proches au point d'interaction impose des températures de refroidissement bien plus basses (inférieure à -20°C) qu'aujourd'hui, afin d'éviter des dégradations importantes. Une solution prometteuse consiste à utiliser un refroidissement par évaporation au dioxyde de carbone (CO₂). La circulation du CO₂ dans des micro-canaux gravés dans le silicium permettra de réduire les matériaux morts et d'avoir une plus grande surface pour le transfert de chaleur, tout en éliminant les problèmes liés à la dilatation thermique. Grâce à un financement obtenu par le CNRS (projet REFLECS et REFLECS2,

Détail de microcanaux gravés dans le silicium. La largeur du micro-canal est de 200 µm et la profondeur de 120 µm. Crédit : FBK-CMM.

appel d'offre « Instrumentation aux limites ») des plaquettes à micro-canaux ont été conçues et fabriquées à l'Institut d'Électronique Fondamentale (IEF - UMR 8622) et à la FBK. Un détail des dispositifs réalisés est exposé par la figure ci-dessous. Le groupe ATLAS du LPNHE encadre le groupe de travail « nouvelles structures de support et refroidissement à microcanaux » du projet européen AIDA 2020. Dans ce

projet, des tests thermomécaniques seront effectués avec les échantillons à micro-canaux produits par le groupe du LPNHE.

.....
Chercheurs, Doctorants, ITA : M. Bomben, G. Calderini, F. Crescioli, A. Ducourthial, L. D'Eramo, I. Luise, G. Marchiori



ATLAS - R&D « HIGH GRANULARITY TIMING DETECTOR »

L'augmentation attendue du flux de particules dans la phase de haute luminosité du LHC aura un impact important sur l'empilement avec potentiellement 200 interactions par croisement de faisceaux. Les performances du détecteur ATLAS pour les électrons et les photons, ainsi que pour les jets et l'énergie transverse manquante seront fortement dégradées dans les parties bouchons et à l'avant. Un détecteur hautement granulaire permettant une mesure précise du temps (HGTD «High Granularity Timing

Detector») fait l'objet d'une proposition pour une installation devant les parties bouchons du calorimètre électromagnétique, couvrant la région en pseudo-rapacité de 2,4 à 4,2. Une décision pour l'approbation du projet par la collaboration ATLAS devrait avoir lieu au dernier trimestre 2017 et un TDR est prévu fin 2018. Ce nouveau détecteur sera constitué de quatre couches de capteurs silicium, permettant une mesure temporelle précise pour les particules au minimum d'ionisa-

tion. Une résolution en temps de l'ordre de 50 picosecondes par cellule sera nécessaire pour associer les dépôts d'énergie aux jets issus des collisions proton-proton. Avec une surface de quelques mm² par cellule, plusieurs millions de voies de lecture composeront ce détecteur hautement granulaire. Le LPNHE est l'un des trois laboratoires de l'IN2P3 à l'initiative de cette proposition. Le groupe est impliqué dans la caractérisation des capteurs silicium en utilisant la machine à pointes du laboratoire. Plusieurs

• • •

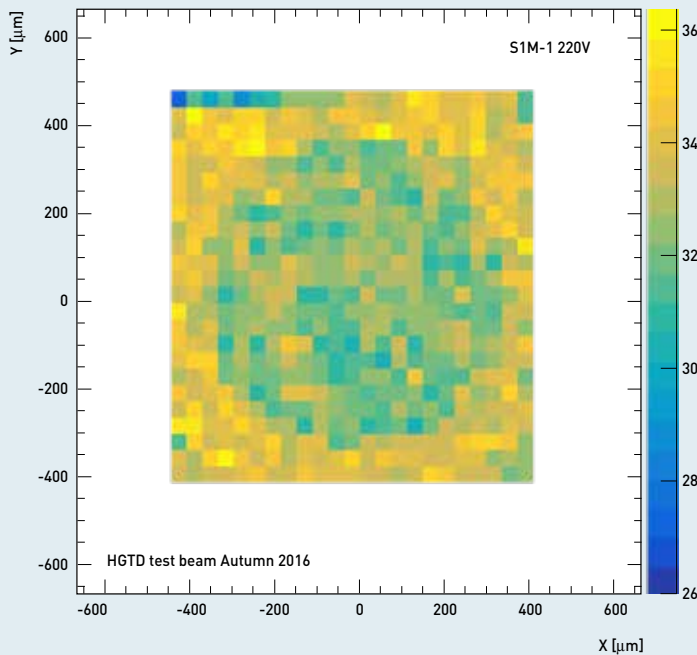


capteurs ont été testés en 2016, certains ayant ensuite été assemblés sur des cartes de lecture et testés en faisceau au SPS du CERN avec des pions de 120 GeV. L'analyse des données de ces tests est l'une des activités majeures du groupe et a permis l'obtention des premiers résultats qui vont être prochainement publiés. Le

LPNHE contribue également aux études de performances de ce futur détecteur et à l'élaboration de nouveaux algorithmes de reconstruction des jets. Outre ces aspects, le laboratoire étudie la possibilité de contribuer à la construction des modules du détecteur en étant l'un des sites de montage pour la collaboration.



Chercheurs et ITA : M. Bomben, G. Calderini, F. Crescioli, J. David, P. Ghislain, D. Lacour, B. Laforge, L. Lavergne, B. Malaescu, G. Marchiori, I. Nikolic-Audit, J. M. Parraud, S. Trincaz-Duvoid, R. Wang



Gain pour le senseur S1M-1 en fonction de la position, pour une tension de biais de 220V. Un minimum de 40 événements sont présents dans chaque pixel d'une taille de 37 μm^2 .

CALICE - R&D POUR UN CALORIMÈTRE AUPRÈS DE L'ILC

Le futur accélérateur linéaire ILC ainsi que les détecteurs qui y seront installés sont en phase de recherche et développement. En février 2010, la collaboration ILD a produit une lettre d'intention décrivant les différentes technologies envisagées et les performances escomptées des sous détecteurs. Fin 2011, le Japon a proposé de construire l'accélérateur. Actuellement, la recherche d'un consensus international pour financer le projet est en cours.

Le LPNHE participe aux travaux de R&D dans le cadre de la collaboration Calice, spécifiquement pour le calorimètre électromagnétique silicium tungstène.

Les contributions du laboratoire concernent les capteurs silicium placés de chaque côté des absorbeurs en tungstène. Le laboratoire

a en charge l'étude du procédé de collage des capteurs silicium sur les circuits imprimés, la caractérisation électrique de chaque capteur et les mesures métrologiques des cartes électroniques de lecture sur lesquels les capteurs sont assemblés.

Le programme de R&D sur le collage comporte deux aspects : d'une part, une activité sur le choix du type de colle conductrice a été menée associée à la définition de la procédure (quantité de colle, temps et température de polymérisation, mesure de résistance mécanique, mesure de résistivité, contrôle de l'absence de court-circuit, uniformité du collage du point de vue mécanique et électrique); d'autre part, le groupe a mis au point un scénario associant le système automatique de dépôt de colle à un robot cartésien

récemment acquis. Ce dernier permet la manipulation et l'alignement des différentes pièces au cours du collage.

Le groupe contribue à la caractérisation électrique des détecteurs avant et après collage, en mesurant notamment les courants de fuite grâce à un système dédié. Il a aussi en charge la validation métrologique des cartes de lecture, mesures effectuées grâce au développement d'un protocole particulier, utilisant la machine tridimensionnelle du service mécanique du LPNHE.



Chercheurs et ITA : J.-E. Augustin, J. David, P. Ghislain, J.-F. Huppert, D. Lacour, L. Lavergne, J.-M. Parraud, D. Vincent



DZERO - PHYSIQUE DU HIGGS ET DU TOP AU TEVATRON

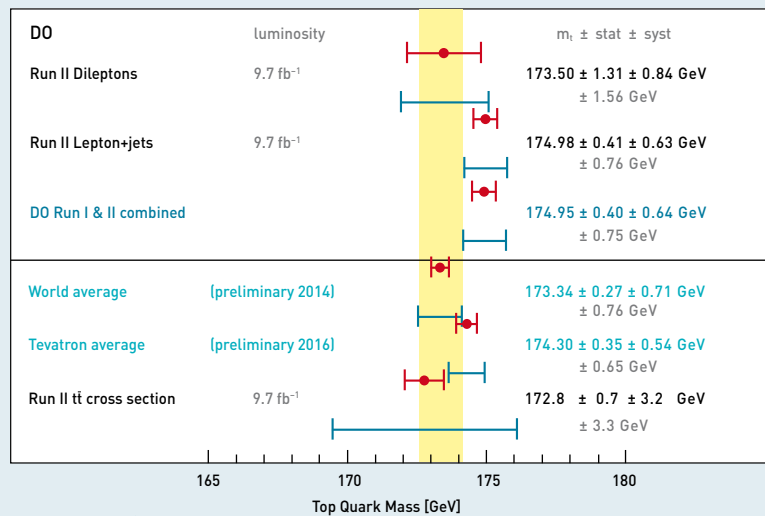
Le Tevatron a terminé sa prise de données en 2011 avec une luminosité intégrée d'environ 12 fb^{-1} délivrée à chacune des expériences CDF et DØ. Malgré la puissance du LHC, le Tevatron, collisionneur proton-antiproton, est resté compétitif dans certains secteurs qui englobent les analyses dans lesquelles le groupe DØ du LPNHE est impliqué, sur les propriétés du boson de Higgs et celles du quark top.

Le groupe a joué un rôle pionnier dans la recherche du boson de Higgs au Tevatron, avec six thèses et deux habilitations à diriger des recherches sur ce sujet et des responsabilités centrales sur cette recherche au niveau de la collaboration. Suite à la découverte en juillet 2012 par ATLAS et CMS d'une particule de 125 GeV compatible avec le boson de Higgs via ses désintégrations bosoniques et l'évidence au Tevatron pour une particule se désintégrant en bb, avec une masse comprise entre 120 et 135 GeV, le groupe du LPNHE a finalisé ses analyses $H \rightarrow bb$ en 2015. Celles-ci, combinées avec les autres mesures du Tevatron, ont permis d'obtenir des résultats sur la section efficace de production $WH+ZH$ avec $H \rightarrow bb$ et sur les couplages du boson de Higgs. Les dernières analyses du groupe ont contraint la valeur du spin du boson de Higgs en utilisant le canal

$H \rightarrow bb$, confirmant la valeur $J_p=0+$ prédite par le modèle standard.

Dans la physique du Top, deux résultats remarquables ont vu l'implication du groupe. Premièrement, la finalisation (2015) des mesures sur la production de « single-top »

après les différentes observations pionnières (générale puis dans la voie t et s, la voie s n'étant toujours pas observée au LHC). Deuxièmement, la mesure finale de la masse du quark Top (2017), avec une précision de 0,4 % toujours compétitive par rapport aux mesures les plus récentes du LHC.



Valeurs de la masse du Top obtenues par différentes méthodes par l'expérience DØ et leur combinaison.

Chercheur : G. Bernardi



ASYMÉTRIE
MATIÈRE-
ANTIMATIÈRE

**LHCb - physique des
saveurs lourdes au LHC**

BaBAR

**T2K - Oscillations de
neutrinos**

COMET / PMPP

SHiP

ASYMÉTRIE MATIÈRE-ANTIMATIÈRE



L'absence d'antimatière dans l'Univers est une grande question qui motive la recherche en physique des particules puisque tout formalisme de physique quantique relativiste prédit l'antimatière avec les mêmes interactions que la matière. L'antimatière est couramment produite dans les laboratoires et utilisée pour des applications, médicales ou autres. Cependant elle est absente de l'Univers observable. Alors que, sauf à invoquer des hypothèses ad hoc, l'évolution cosmologique commence avec autant de matière que d'antimatière, pourquoi ne reste-t-il aujourd'hui que de la matière ?

Les conditions énoncées par Sakharov pour qu'une telle évolution se produise requièrent que, lors d'une séquence primordiale où l'Univers se trouve hors de l'équilibre thermodynamique, soient à l'œuvre une ou des interactions ne conservant ni le nombre baryonique ni la conjugaison de charge C ni la symétrie de charge-parité CP. Dans un tel scénario la matière est un infime résidu (1 baryon pour 10^{10} photons) d'une gigantesque annihilation. Le problème de l'antimatière restera posé tant que cette interaction et les particules qui la subissent n'auront pas été caractérisées.

Depuis la découverte du boson de Higgs, le modèle standard de la physique des particules est complet : il ne prédit pas de nouvelles particules. Sa validité repose sur le fait qu'aucune observation en contradiction avec ses prédictions n'ait été décelée. C'est une avancée décisive pour la compréhension de la masse des particules élémentaires. Dans le modèle standard, la violation de CP expérimentalement observée dans les interactions faibles des quarks est une propriété du mélange des saveurs que décrit la matrice de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM), irréductiblement complexe dès lors qu'existent trois générations de quarks. Quantitativement, toutefois, l'intensité de la violation de CP observée est beaucoup trop faible pour expliquer le problème de l'antimatière.

Une autre source de violation de CP doit être recherchée au-delà du modèle standard : la théorie doit être étendue. Il est nécessaire de prendre en compte les oscillations des neutrinos en leur donnant des masses alors qu'ils n'en ont pas dans le modèle standard. L'absence de violation de CP dans les interactions fortes reste également une question à examiner. Enfin, la matière sombre inférée par les observations astrophysiques pourrait être le signe que de nouvelles particules existent. Avec des neutrinos massifs apparaît un mélange des saveurs leptoniques, décrit par la matrice de Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata (PMNS), produit d'une matrice analogue à la matrice CKM par une matrice diagonale mettant en jeu deux nouvelles phases de violation de CP, si les neutrinos sont de type Majorana. Cette nouvelle source de violation de CP pourrait amener la solution du problème de l'antimatière. Pour que la baryogenèse résulte de la leptogenèse que ce scénario prédit, des relations subtiles doivent exister entre les lois de conservation des nombres baryonique et leptoniques (et leur violation).

Les recherches en physique des saveurs (celle qui étudie les interactions des fermions du modèle standard) ont pour objectif la découverte d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard. Un sujet majeur est la recherche de la violation de CP dans les oscillations des neutrinos. Le LPNHE participe à l'expérience T2K au Japon dont les résultats semblent indiquer un effet important, une différence entre neutrinos et antineutrinos pour la probabilité d'apparition de la saveur électronique dans un faisceau de saveur muonique. Le laboratoire est impliqué également dans la préparation d'expériences de nouvelle génération qui prolongeront ces recherches et permettront une étude détaillée de cette possible violation de CP.

Dans le secteur des quarks, les expériences recherchent des phénomènes rares initiés par des quarks de saveurs lourdes, le quark b en particulier. La principale activité du LPNHE dans ce domaine est l'expérience LHCb au CERN qui a pris la suite de l'expérience BABAR au SLAC. La recherche de nouvelles sources non standard de violation de CP, comme celles que pourrait induire le quark c , fait partie d'un programme plus vaste focalisé sur la recherche de désintégrations rares du quark b . Les transitions *par courant faible avec changement de saveur* sont particulièrement étudiées car elles font intervenir des fluctuations quantiques (boucles) et pourraient révéler virtuellement de nouvelles particules. Certains résultats actuels sur les transitions $b \rightarrow sll$ sont à la limite de la compatibilité avec les prédictions standards. L'interprétation des données expérimentales nécessite une compréhension fine des effets hadroniques à laquelle contribuent les théoriciens du LPNHE. Le laboratoire est de plus activement engagé dans l'évolution du dispositif expérimental (déclenchement, acquisition de données et nouveau trajectographe à fibres scintillantes) que la montée en luminosité du LHC rend nécessaire.

La détermination du moment magnétique anormal du muon est un autre sujet où l'extrême précision des calculs théoriques et des mesures permet une comparaison très sensible entre théorie standard et expérience, actuellement en tension. L'évaluation des diagrammes en boucle repose sur la mesure de la section efficace $e+e^- \rightarrow$ hadrons à basse énergie constamment améliorée par plusieurs expériences dont BABAR. Une équipe du LPNHE effectue les calculs théoriques en développant un modèle phénoménologique pour synthétiser les données de section efficace. Une nouvelle expérience commence à FermiLab en 2017.

La quête de nouvelle physique passe également par la recherche directe de transitions interdites par le modèle standard. LHCb effectue des tests de l'universalité des couplages des leptons aux interactions électrofaibles. Le LPNHE participe à une nouvelle expérience en préparation au Japon, COMET qui, comme signe de la violation de la conservation de nombres leptoniques, recherche la conversion en électrons des muons d'un faisceau mis à l'arrêt dans une cible.

Une activité phénoménologique intense a fait émerger l'hypothèse d'un secteur caché où de nouvelles particules pourraient interagir très faiblement avec les particules du modèle standard. Les messagers des nouvelles interactions ouvriraient ainsi des *portails* vers la nouvelle physique. Ils pourraient être des fermions (comme des neutrinos lourds, stériles), des bosons vecteurs (comme le boson U ou le photon sombre), des particules scalaires (de nouveaux bosons de Higgs), ou pseudoscalaires (axions ou pseudo-axions). Parmi les expériences en chantier le LPNHE suit le projet SHiP de *beam dump* proposé au SPS du CERN qui permettra de rechercher les désintégrations et les interactions de ces nouvelles particules. La détection directe de la matière noire produite par un accélérateur est ainsi envisageable.

LHCb - PHYSIQUE DES SAVEURS LOURDES AU LHC

L'expérience LHCb

La conception du détecteur LHCb comme un spectromètre à bras unique situé vers l'avant est due au fait qu'au LHC les paires de hadrons beaux sont produites, d'une manière prédominante, dans les deux cônes issus du point d'interaction, à petit angle par rapport à l'axe des faisceaux, et seul un côté est instrumenté. Près du point d'interaction, un détecteur de vertex permet de reconstruire le point de désintégration du B avec une précision de 10 à 20 micromètres. Ce détecteur est essentiel pour l'étude de mésons B dont le temps de vie propre est de l'ordre de la picoseconde et la longueur de vol dans le détecteur est de l'ordre de quelques millimètres. Il est suivi par une première composante RICH (*Ring Imaging Cherenkov Counter*), qui permet l'identification des particules d'impulsion inférieure à 40 GeV/c environ. Vient ensuite un trajectographe (« *tracker* ») composé de plusieurs instruments permettant une mesure précise de l'impulsion des particules chargées : un aimant dipolaire qui courbe les traces, en amont de ce dernier des chambres à micropistes de silicium, et en aval trois stations composées de micropistes de silicium (près de l'axe du faisceau) et de chambres à tubes (à l'extérieur). Après ce système de « tracking », il y a un deuxième compteur RICH pour l'identification des particules d'impulsion supérieure à 40 GeV/c, un système de calorimètres électromagnétiques et hadroniques et un système d'identification des muons qui jouent tous trois un rôle dans le déclenchement. Une vue du détecteur est montrée sur la figure ci-après.

Vue d'ensemble du détecteur LHCb

Analyse de physique et fonctionnement de l'expérience

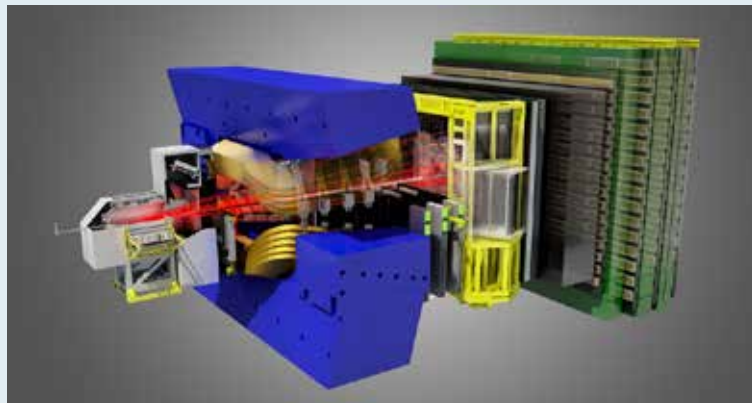
Les analyses de physique effectuées dans le groupe portent principalement sur deux axes : l'étude des désintégrations $B \rightarrow K^{(*)} \ell^+ \ell'^{-}$ ($\ell^{(\prime)}$ =lepton), comprenant des canaux avec violation de la saveur leptonic, et des désintégrations du méson B en états finals sans particules charmées. De plus, l'équipe est impliquée dans plusieurs études de hadrons charmés et de spectroscopie, ainsi que dans des recherches de nouvelles particules. Parmi ces études, nous comptons celles des baryons $\Xi_b^{0,*}$, la recherche de tetraquarks dans le spectre $B_s^0 \pi^\pm$ et la découverte du baryon doublement charmé Ξ_{cc}^{++} .

L'étude du canal de désintégration $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ est l'un des sujets phares de l'expérience LHCb. Dans le modèle standard, il fait intervenir uniquement les diagrammes « pingouin électrofaible » ou « en boîte » et est donc fortement supprimé. De nouvelles particules pourraient intervenir dans ces diagrammes et avoir une contribution d'amplitude comparable aux processus standards. Ce canal est donc sensible à des phénomènes de nouvelle physique au delà du modèle standard, comme dans le cas des modèles mettant en jeu des mécanismes de Higgs non-standard ou différents modèles de supersymétrie. L'équipe du LPNHE contribue en particulier à l'analyse angulaire du mode $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ et à la mesure du

rapport d'embranchement. Le désaccord précédemment constaté entre l'observable P_S' et sa prédiction théorique s'est confirmé dans la dernière analyse, avec 3 fb^{-1} de données, et de nouvelles données sont attendues avec impatience pour savoir si ce désaccord est dû à de la physique au-delà du modèle standard. Le groupe a aussi participé à la mesure du rapport R_{K^*} , entre les rapports d'embranchement de $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ et de $B^0 \rightarrow K^{*0} e^+ e^-$. Ce rapport doit être proche de l'unité selon les prédictions du modèle standard, mais le résultat de LHCb dévie significativement de ces prédictions (voir figure p. 29).

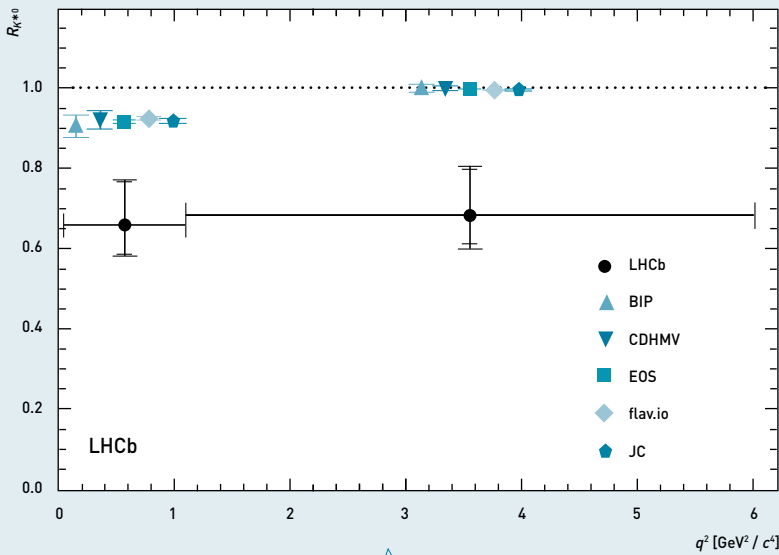
Le groupe travaille sur plusieurs analyses dans le canal $B \rightarrow K^{(*)} \ell^+ \ell'^{-}$ avec violation de la saveur leptonic.

L'étude des modes de désintégration des mésons B sans particules charmées fournit elle aussi des tests du modèle standard et présente une variété d'intérêts théoriques ; elle peut notamment fournir les mesures des phases de mélange des mésons B neutres dans des processus « en boucle » et les contraintes sur l'angle γ du triangle d'unitarité. Un aspect nouveau pour ce type d'analyses dans LHCb est la possibilité d'étudier à la fois les désintégrations du méson B_s et du méson B_d . Le groupe participe à la mesure des rapports d'embranchement des modes $B_{d,s} \rightarrow K^{*0} h^+ h^-$, ($h^{(\prime)} = K, \pi$) avec 3 fb^{-1} . Il s'agit notamment de trois modes de désintégrations du méson B_s . Une analyse



CHIFFRES CLÉS

Luminosité intégrée avec les collisions à 13 TeV depuis 2015 : **2.1 fb⁻¹**
 Articles publiés depuis 2015 : **143**
 Luminosité intégrée prévue pendant la phase d'upgrade : plus de **50 fb⁻¹**



Le rapport R_{K^*} mesuré par LHCb, dans deux intervalles de q^2 , la masse invariante du système $\mu^+\mu^-$ ou e^+e^- (points noirs), avec les prédictions du modèle standard dans les deux intervalles, obtenues par plusieurs travaux théoriques (points colorés). Le désaccord est au niveau de 2.1 à 2.5 déviations standard dans les deux intervalles.

dans le plan de Dalitz du mode $B^0 \rightarrow K^0_s K^+ K^-$, sans étiquetage de saveur ou dépendance temporelle, est en cours de finalisation. Ces analyses se poursuivent, car il s'agit d'un travail de longue haleine qui progresse par étapes de complexité croissante. A terme, le but est d'effectuer une analyse dépendante du temps et utilisant l'étiquetage de saveur, afin de mesurer les phases de mélange des mésons B neutres, β et β_s , dans ces processus. Dans le deuxième cas, une telle mesure n'a jamais été effectuée.

Des membres du groupe assurent plusieurs rôles de responsabilité dans LHCb : « deputy physics coordinator », « Early Career, Gender & Diversity Officer », coordination des groupes de travail « Tracking, Alignment & Vertexing », « Electroweak Penguins » et « Charmless 3-body decays ». Un membre du groupe faisait partie de l'« Editorial Board »

et deux autres sont responsables de la trajectographie ou de la production Monte Carlo dans leurs groupes de travail respectifs. Nous contribuons à plusieurs tâches autour de la prise des données et à la revue d'analyses. Nous contribuons aussi à des études pour la trajectographie de LHCb. Le groupe a participé à l'organisation de plusieurs événements scientifiques, notamment trois qui ont eu lieu au LPNHE : deux éditions du « LHCb Computing Workshop » en 2015 et 2016 et le « Franco-Italian Meeting on B physics » en 2016. Un projet d'un membre du groupe a obtenu un financement auprès de l'ERC, et un autre auprès de l'ANR.

Le trajectographe à fibres scintillantes (SciFi) pour l'upgrade de LHCb

Le trajectographe actuel n'est pas adapté pour la prise de données après l'amélioration de l'accélérateur qui se fera

durant l'arrêt en 2018-2019, car le taux d'occupation sera trop élevé. Il sera donc remplacé par un système (SciFi) basé sur trois stations composées de fibres scintillantes, lues à leurs deux extrémités par des photomultiplicateurs en silicium (SiPM). Ce détecteur aura une bonne résistance aux radiations, une granularité spatiale fine et permettra la reconstruction de traces au niveau du système de déclenchement. Après un premier traitement du signal des SiPM par l'électronique frontale, les données seront transmises à la ferme de calcul par liaison optique via des cartes de lecture génériques : les PCIe40. Elles constituent l'électronique dite « back-end ».

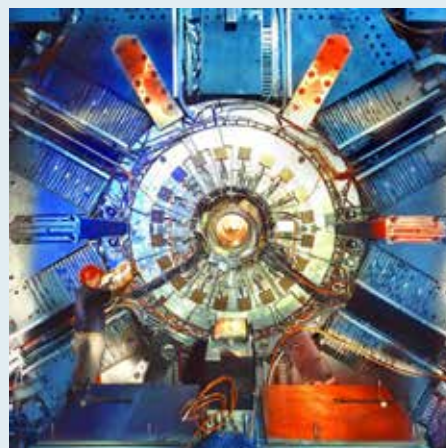
Deux axes principaux sont développés. D'une part nous contribuons aux aspects de simulation et de reconstruction. Certains de ces aspects, notamment les logiciels de géométrie du détecteur et la trajectographie « standalone », qui est nécessaire pour la reconstruction des traces issues de la désintégration de particules neutres de longue durée de vie, ont été pris en charge par le groupe. Cela nous a rapidement mené à contribuer, avec nos propres études, à la définition des choix relatifs à la conception du détecteur et au TDR. D'autre part, nous avons une activité autour de l'électronique de back-end. Le LPNHE est impliqué dans le développement du microcode des cartes PCIe40, spécifique au système SciFi. Après la phase de développement, l'équipe du LPNHE réalisera l'implantation des microcodes sur les systèmes PCIe40 finaux, l'application et le test des logiciels d'acquisition dédiés, et finalement l'installation des cartes et leur intégration dans la chaîne d'acquisition globale.

-
- Chercheurs et doctorants** : E. Ben-Haïm, E. Bertholet, P. Billoir, M. Charles, S. Coquereau, L. Del Buono, V.V. Gligorov, L. Henry, D. Milanés, A. Mogini, A. Robert, F. Polci
- Equipe technique** : O. Le Dortz, D. Terront, E. Sepulveda
-

BABAR

L'expérience BABAR a fonctionné entre les années 1999 et 2008, et a enregistré les désintégrations de 461 millions de paires de mésons B. Fin juin 2017, le nombre de publications de BABAR s'élève à 575. Le LPNHE participe à l'expérience depuis sa conception, en 1994. Il a contribué à de nombreuses analyses de physique, au fonctionnement de l'expérience et à des aspects techniques, liés essentiellement à la composante DIRC, le détecteur de lumière Čerenkov. Depuis l'année 2005, les deux principaux domaines d'expertise du groupe portaient sur les désintégrations hadroniques du méson B en trois corps sans particules charmées, et à des canaux dits « pingouins radiatifs », avec une dernière thèse soutenue en 2013. Bien que la plupart des membres de l'ancien groupe aient désormais d'autres activités, ils

restent impliqués dans les instances de la collaboration : nous assurons la coordination du « *Speakers bureau* » et du groupe de travail « *Charmless hadronic B decays* », et nous participons à l'« *Executive board* ». Nous avons également contribué à la rédaction du livre « *Physics of the B Factories* », qui résume la physique et les résultats des expériences BABAR et Belle. Enfin, nous gardons un rôle actif dans le contrôle de la qualité des publications concrétisant des travaux ayant poursuivi des analyses initiées au LPNHE.



.....
Chercheurs et doctorants : E. Ben-Haïm, M. Bomben, G. Bonneaud,
G. Calderini, J. Chauveau, G. Marchiori, J. Ocariz

T2K - OSCILLATIONS DE NEUTRINOS

Comprendre pourquoi l'Univers est aujourd'hui dominé par la matière plutôt que de contenir matière et antimatière à parts égales est une des questions fondamentales de la physique actuelle. L'une des conditions pour que se développe cette prépondérance de la matière sur l'antimatière est qu'il existe une violation de la symétrie de Charge-Parité (CP), violation qui se manifesterait par une différence entre les probabilités d'oscillation des neutrinos et des antineutrinos.

Dans l'expérience T2K, installée au Japon, un faisceau de neutrinos ou d'antineutrinos de type muoniques est produit au centre de recherche JPARC (Tokai), sur la côte Est du Japon et envoyé en direction du gigantesque détecteur souterrain Super-Kamiokande (SK), 295 km plus loin. Après une première campagne de mesures utilisant le faisceau de neutrinos, l'expérience T2K a pu établir la première observation de l'apparition d'une saveur de neutrino diffé-

rente de celle de départ par le phénomène d'oscillation. Ce résultat très important a valu à la collaboration T2K l'obtention du « *Breakthrough Prize for Fundamental Physics* » 2016. Ayant depuis accumulé également des données en antineutrinos, la collaboration T2K a pu comparer le nombre de neutrinos et d'antineutrinos dans les saveurs muonique et électronique. On a alors mis en évidence que le taux d'apparition de l'antineutrino électronique était plus faible que celui attendu dans l'hypothèse où la symétrie CP serait conservée. T2K observe 32 ν_e et 4 anti- ν_e quand on en attend 24 et 7 dans l'hypothèse où il n'y a pas de violation de CP (ce résultat est basé sur 7.48×10^{20} en neutrinos et 7.47×10^{20} en antineutrinos). Analysées dans le cadre complet des 3 saveurs de neutrinos et d'antineutrinos et combinées à la mesure de disparition des anti- ν_e dans les expériences auprès de réacteurs nucléaires, les données de T2K privilégient une violation maximale de CP.

La signification statistique de ce résultat est encore insuffisante : la probabilité que cette observation soit le résultat d'une fluctuation statistique aléatoire qui simulerait une asymétrie neutrino-antineutrino est de 10 %. Ce résultat important a fait l'objet d'une publication remarquée début 2017 et nécessitera plus de données en neutrinos et en antineutrinos pour être confirmé. C'est le but que s'est fixé la collaboration T2K qui envisage, au delà de la statistique prévue (7.8×10^{21} protons sur cible), attendue pour 2021, de poursuivre l'expérience pendant encore 4 ans avec un détecteur proche amélioré et atteindre ainsi une sensibilité de 3σ pour mettre en évidence la violation de la symétrie CP, une première pour le secteur des neutrinos.

Les contributions du groupe du LPNHE ont porté entre autres sur la maîtrise du faisceau, l'accroissement de l'acceptance du détecteur proche, l'ajustement global dans



CHIFFRES CLÉS

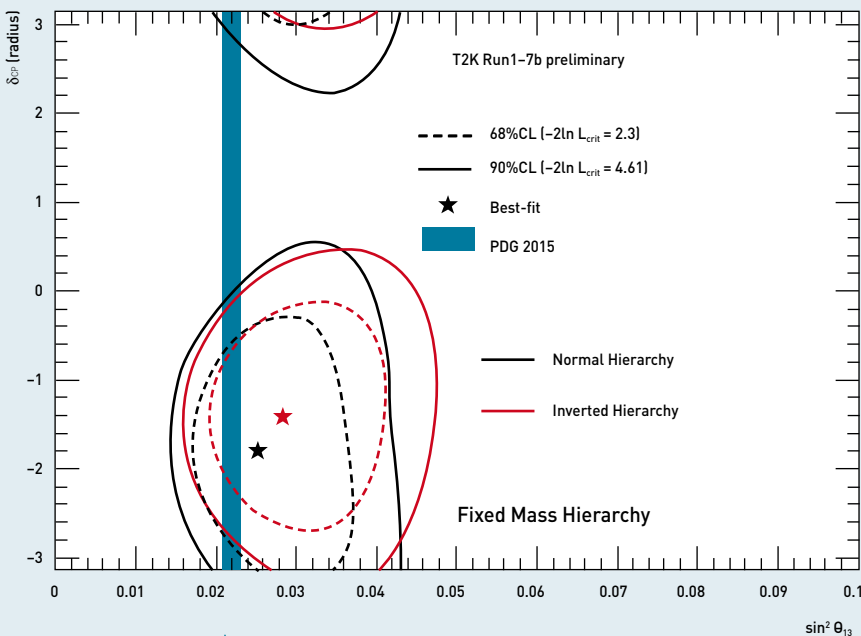
470 kW
2.2x10²¹

puissance de l'accélérateur de JPARC
protons sur cible cumulés depuis
le début de T2K

l'analyse d'oscillation et la mesure des sections efficaces d'interaction de neutrinos dans le détecteur proche. La sensibilité de l'expérience est conditionnée par une bonne connaissance du faisceau : c'est l'analyse des données de l'expérience ancillaire de hadroproduction NA61/SHINE au CERN, menée essentiellement au LPNHE, qui a permis de réduire de 20 % à 8 % les incertitudes systématiques sur la connaissance du flux de neutrinos extrapolé à Super-Kamiokande. Cette incertitude devrait être ramenée à 5 % avec l'intégration des données prises par NA61 sur une cible réplique de T2K. Une autre limitation de la comparaison des données à SK avec celles du détecteur proche (ND280) vient de l'acceptance réduite, par construction, de ce détecteur pour les traces à grand angle ou vers l'arrière. Un développement sur la reconstruction des traces dans les détecteurs à projection temporelle (TPC) a permis d'augmenter cette acceptance, en attendant qu'une meilleure couverture

angulaire soit assurée par l'upgrade du détecteur et l'adjonction de nouvelles TPC. L'analyse d'oscillation globale, incluant tout à la fois l'apparition de ν_e et la disparition de ν_μ mais également l'apparition d'anti- ν_e et la disparition d'anti- ν_μ est sensible aux paramètres du mécanisme d'oscillation, en particulier la phase de violation de CP, δ_{CP} . Pour réduire les incertitudes sur les paramètres de flux et de section efficace le groupe a contribué à un ajustement des données du détecteur proche, première étape dans les analyses d'oscillation. Cet ajustement permet de connaître les spectres attendus à SK avec une incertitude de ~5 %.

Au delà de T2K, le groupe s'intéresse à la génération suivante d'expérience d'oscillation à grande distance, qui permettra d'étudier en détail la violation de CP dans le domaine leptonique. Deux voies se dessinent. La première se place dans la continuité de T2K : le projet Hyper-Kamiokande utiliserait l'accélérateur de JPARC fonctionnant à plus haute intensité (jusqu'à 1.3 MW à comparer aux 470 kW actuels) après d'importants travaux d'amélioration. Le détecteur proche de T2K subira aussi une mise à jour à laquelle le groupe participera, s'ouvrant la voie à une intégration possible dans la collaboration Hyper-Kamiokande. La deuxième option concerne le projet américain DUNE pour lequel un prototype de détecteur à argon liquide est en construction au CERN pour valider les concepts et les performances à une échelle extrapolable au détecteur final (4 x 10 kt). Le groupe projette de contribuer au développement des programmes de reconstruction mais participe d'ores et déjà à la prise des données - spécifiques pour les faisceaux américains - de hadroproduction dans NA61/SHINE et à leur analyse. Pour les deux projets, les années 2018 et 2019 vont être décisives et le groupe choisira son orientation à cette échéance.



Intervalles de confiance dans le plan δ_{CP} - $\sin^2 \theta_{13}$ calculés indépendamment pour les 2 hypothèses de hiérarchie de masse des neutrinos, sans utiliser la mesure de θ_{13} des expériences sur réacteurs nucléaires (bande bleue).

Chercheurs et doctorants : B. Andrieu, P. Bartet-Friburg, S. Bienstock, J. Dumarchez, C. Giganti, J.-M. Lévy, M. Pavin, B. Popov, A. Robert

COMET

Le modèle standard est vraisemblablement incomplet. Au lieu d'une recherche directe de nouvelles particules à haute énergie, une recherche indirecte de processus rares est possible grâce à des faisceaux intenses et pulsés. Les neutrinos oscillent et changent de saveur, impliquant déjà une violation de la saveur leptonique dans le secteur chargé, mais à un niveau inobservable expérimentalement. La conversion de muon en électron assistée par un noyau est une des sondes les plus sensibles à la physique au-delà du modèle standard. Elle permet de rechercher un signal à une échelle d'énergie de plus de 1000 TeV. C'est le but de l'expérience COMET à J-PARC, soutenue par l'IN2P3, et à laquelle nous participons. L'expérience se déroule en deux phases. COMET Phase I vise une sensibilité à un événement de 3×10^{-15} et COMET Phase II 3×10^{-17} . La Phase I permettra aussi de caractériser le faisceau et les divers bruits de fond ainsi que de tester les détecteurs qui permettront d'améliorer la mesure de l'électron que l'on espère identifier et mesurer avec une plus grande précision dans la Phase II. Nous participons dans cette optique à l'amélioration de la reconstruction et à l'optimisation de la cible d'arrêt des muons. La contribution technique à COMET s'est réalisée naturellement, les simulations demandant un

temps de calcul conséquent et un espace important de stockage. COMET a choisi le CCIN2P3 comme centre de calcul central pour accueillir le software de l'expérience et partager les simulations massives. Depuis 2015, le CCIN2P3 fournit ainsi aux membres de la collaboration un espace de travail, du temps calcul et du stockage aisément partageable avec iRODS. Nous avons ainsi structuré l'espace COMET au CCIN2P3 à la suite de plusieurs réunions au CCIN2P3 et à Paris.

Actuellement la ligne de faisceau se met en place et les détecteurs sont en phase de construction et de test. Grâce au soutien de la FRIF et de l'UPMC, nous avons organisé en septembre 2015 la réunion de collaboration COMET CM17 à Paris. Avec l'aide du Labex ILP nous avons pu recevoir Mark Wong d'Osaka et le *spokesman* de COMET Yoshitaka Kuno, professeur à l'Université d'Osaka, pour un mois et deux mois respectivement en 2016, ainsi que Yao Zhang de l'IHEP pendant deux semaines en 2017.

.....
Chercheurs : W. da Silva, F. Kapusta
.....



Installation de l'aimant de transport des muons dans le Hall COMET à J-PARC.

PMPP - PHÉNOMÉNOLOGIE ET MODÉLISATION POUR LA PHYSIQUE DES PARTICULES

Physique hadronique

En collaboration avec E. Friedman, A. Gal et S. Wycech nous avons étudié les effets du potentiel nucléon-antinucleon de Paris dans quelques réactions antiproton-noyau. Avec D. Boito, B. El-Bennich, R. Escribano, R. Kamiński et L. Leśniak, nous construisons des paramétrisations pour les amplitudes de désintégrations, $B^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} \pi^{\pm} \pi^{\pm}$, $B \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$, $B^{\pm} \rightarrow K^{\pm} K^+ K^-$, $D^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} \pi^+ \pi^+$, $D^{\pm} \rightarrow K^{\pm} \pi^+ \pi^+$, $D^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ et $D^0 \rightarrow K_s^0 K^+ K^-$, utilisables dans les analyses expérimentales et fournissant une alternative fondée au modèle isobar. Nos amplitudes, théoriquement contraintes, donnant une bonne description du diagramme de Dalitz, devraient être utiles pour la détermination de l'angle CKM γ dans les analyses des désintégrations $B^{\pm} \rightarrow D^0 K^{\pm}$ avec $D^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ et $D^0 \rightarrow K_s^0 K^+ K^-$.

En collaboration avec S. Wycech nous expliquons le Baryonium X(1878) découvert par la collaboration BES. Nous décrivons de manière satisfaisante la distribution $p\bar{p}$ de $J/\psi \rightarrow \gamma p \bar{p}$ et améliorons la description du spectre de $J/\psi \rightarrow \omega p \bar{p}$ en introduisant la contribution de la résonance $N^* [3/2^-]$.

Le moment magnétique anormal du muon a_{μ}

La contribution hadronique à la polarisation du vide photonique (HVP) à a_{μ} est délicate à estimer précisément. Une collaboration menée depuis 2012 avec L. Delbuono (LPNHE) et F. Jegerlehner (DESY) a conduit à une nouvelle méthode d'évaluation basée sur le Lagrangien effectif du modèle HLS et sur un mécanisme de brisure des symétries SU(2) et SU(3), mis au point au LPNHE et

fournissant une solution élégante au puzzle « τ versus e^+e^- ».

L'estimation de $(g-2)_{\mu}$ basée sur notre méthode Lagrangienne donne un écart de plus de 4σ avec la mesure expérimentale effectuée à BNL. La contribution de l'ordre dominant à a_{μ} (LO-HVP) est $(681.86 \pm 3.20) \cdot 10^{-10}$ au lieu de $(683.50 \pm 4.75) \cdot 10^{-10}$ déduite auparavant par des méthodes standards. Cette amélioration de l'incertitude est cruciale pour comparer les prédictions avec les mesures planifiées à Fermilab et à J-PARC.

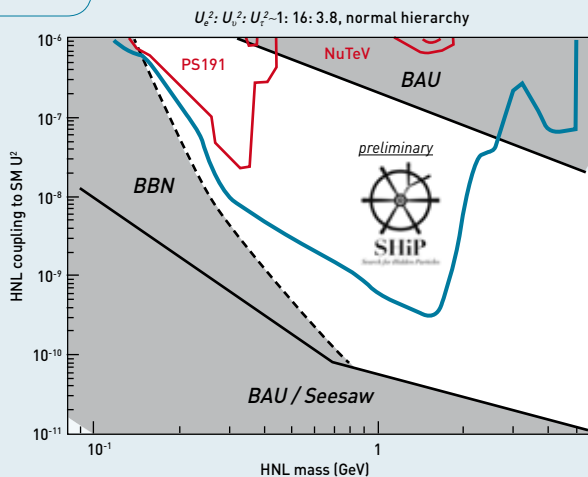
.....
Chercheurs : M. Benayoun, J.-P. Dedonder, L. Delbuono, B. Loiseau

Limite de sensibilité de l'expérience SHiP (courbe bleue donnant la constante de couplage en fonction de la masse) pour un neutrino lourd (HNL) du modèle ν_{MSM} , avec l'un des jeux de paramètres compatibles avec la baryogénèse. En rouge : les limites venant d'expériences antérieures, dont PS191. En noir : les contraintes théoriques.

SHiP

Le projet d'expérience SHiP au SPS du CERN utilise un faisceau de protons de 400 GeV de haute intensité (4×10^{13} p par déversement) pour rechercher par la technique du *beam dump* de nouvelles particules neutres (désormais notées X) très faiblement interagissantes prédites par des modèles de physique au-delà du modèle standard, notamment à basse masse (de 1 MeV à quelques GeV).

Derrière la nouvelle ligne de faisceau en cours de développement au hall Nord avec, en aval, la cible lourde (Mo et W), l'absorbeur et un filtre magnétique écartant les muons, le détecteur est double. D'abord, à 30 m de la cible un dispositif à émulsions de 10 t fiducielles, recherche directement les interactions de particules X (est-ce de la matière sombre ?) ainsi que les ν_{τ} . Viennent ensuite un tunnel long de 50 m puis un spectromètre pour reconstruire les désintégrations de particules X. Le concept revisite l'expérience PS191 du LPNHE, pionnière pour la recherche de désintégrations de neutrinos lourds. Les physiciens du LPNHE participent à la conception des éléments du spectromètre pour la calorimétrie et les mesures de temps. Ils assurent le lien entre SHiP et l'IN2P3.



.....
Chercheurs : J. Chauveau, J.-M. Lévy, F. Vannucci



RAYONNEMENT
COSMIQUE ET
MATIÈRE NOIRE

AUGER

H.E.S.S.

CTA

DAMIC

DARKSIDE

XENON

RAYONNEMENT COSMIQUE ET MATIÈRE NOIRE



Quand Victor Hess mit en évidence le rayonnement cosmique il y a plus de 100 ans, il n'imaginait pas la richesse des sujets scientifiques qui allaient se développer dans ce domaine. Aujourd'hui encore, de nombreuses questions restent ouvertes. Quelle est l'origine des rayons cosmiques – où et comment les particules sont produites ? Quels sont les processus d'accélération et de diffusion qu'elles subissent lors de leur propagation ? Quelle est la composition du rayonnement cosmique ? En plus d'apporter des réponses à ces questions, l'observation du rayonnement cosmique pourrait fournir un jour une réponse au problème de la matière « noire » dont les effets gravitationnels sont perceptibles, mais dont la nature reste une énigme.

Au LPNHE, les sujets de physique abordés avec les rayons cosmiques sont à la fois liés à l'astrophysique (émission et propagation), à la physique fondamentale (brisure des symétries en lien avec les modèles de Gravité Quantique) et à la cosmologie (détection de la matière noire). Depuis de nombreuses années, le laboratoire a des contributions importantes aux expériences H.E.S.S., Auger ainsi qu'à la préparation de CTA. Alors qu'une part des activités du groupe H.E.S.S. concerne la recherche indirecte de matière noire, le laboratoire a rejoint en 2016 les projets de recherche directe de matière noire XENON, DarkSide et DAMIC.

Les rayons cosmiques sont d'origine galactique ou extra-galactique. Jusqu'à présent, tout indique que ce sont des particules du modèle standard de la physique des particules qui sont produites dans les interactions électromagnétiques, faibles et fortes par des sources astrophysiques (Noyaux Actifs de Galaxies, restes de Supernovae, etc.). Ces rayons cosmiques « primaires » peuvent également interagir avec le milieu interstellaire ou intergalactique pour produire d'autres particules « secondaires ». L'étude de la production de rayons gamma et d'électrons d'énergie entre le GeV le TeV ainsi que la modélisation des processus d'émission et de propagation sont des sujets majeurs des expériences Cherenkov au sol et des missions spatiales. La production des photons aux très hautes énergies et la modélisation des processus d'émission ainsi que les mesures des spectres des électrons diffus ont été étudiées dans le cadre de thèses et ont donné lieu à plusieurs publications par le groupe H.E.S.S. du LPNHE.

D'autre part, les mesures du spectre en énergie des rayons cosmiques chargés montrent qu'il s'étend sur plusieurs décades en énergie et qu'il peut être représenté par une succession de lois de puissance. Les études aux énergies extrêmes de l'ordre de $10^9 - 10^{10}$ GeV contribuent à la fois à l'astrophysique et à la physique fondamentale. L'expérience Auger a fourni une réponse définitive sur la coupure (GZK) dans le spectre dû aux interactions des hadrons avec les photons du fond cosmologique (CMB). Ces résultats confirment l'absence de composante exotique (au delà du modèle standard) pour expliquer la forme du spectre. Le groupe Auger du LPNHE a fourni des contributions essentielles à l'étude des diverses composantes du rayonnement chargé extrême : protons, noyaux ou particules neutres (gamma et neutrinos).

Le domaine des Astroparticules contribue aux sujets fondamentaux de la Physique et de la Cosmologie tels que l'énigme de la composante invisible de l'Univers ou la structure de l'espace-temps à l'échelle de Planck.

Élucider la nature de la matière noire est l'un des plus grands défis de la recherche moderne. Les analyses du CMB par WMAP et PLANCK indiquent fortement que la matière noire est composée de particules massives interagissant faiblement (WIMP, *Weakly Interacting Massive Particles*) pour lesquelles le modèle standard de la physique des particules ne fournit pas de candidat satisfaisant. Au contraire, une théorie qui fait l'hypothèse de la supersymétrie (SUSY, symétrie entre les fermions et les bosons) donne lieu à des valeurs de densités reliques concordantes avec les mesures cosmologiques et propose d'excellents candidats pour les WIMP. La recherche de matière noire peut être « directe », lorsque l'on cherche à détecter l'interaction d'un WIMP avec le milieu détecteur, ou « indirecte » lorsque l'on cherche à détecter les particules produites par les interactions des WIMP entre eux ou avec d'autres particules. Ces deux méthodes sont complémentaires. La recherche directe est plus adaptée aux masses de WIMP inférieures à 100 GeV, alors que la recherche indirecte est plus sensible aux masses au delà de 100 GeV. Les télescopes Cherenkov au sol sont les seuls instruments à pouvoir détecter un WIMP dont la masse serait de l'ordre du TeV. Une part des activités du groupe H.E.S.S. du LPNHE concerne la recherche indirecte de matière noire. Le groupe a joué un rôle majeur dans la première publication scientifique de H.E.S.S.-II (réseau à cinq télescopes) sur ce sujet. D'autre part, depuis 2015, des activités de recherches directes ont démarré au laboratoire, avec les expériences XENON, DAMIC et DarkSide. En particulier, l'expérience XENON1T, actuellement en prise de données, a la meilleure sensibilité actuelle pour des masses de WIMP au-delà d'environ 10 GeV et a publié ses premiers résultats. En l'absence de détection avérée, les recherches directes et indirectes de matière noire (ainsi que les résultats du LHC) contribuent à contraindre les modèles proposés par la théorie.

La mesure des photons venant des sources astrophysiques lointaines ouvre des possibilités de sonder la structure microscopique de l'espace temps à l'échelle de Planck (10^{-35} m ou 10^{19} GeV), ouvrant ainsi une fenêtre observationnelle unique sur certains modèles de Gravité Quantique. En particulier, certaines approches théoriques font apparaître des relations de dispersions modifiées pour les photons dans le vide. Ceci se traduirait par des vitesses de propagation différentes pour des photons d'énergies différentes. Les études dites de « temps de vol » avec des photons énergétiques émis par des sources variables et lointaines tels que Noyaux Actifs des Galaxies, Sursauts Gamma et Pulsars, permettent déjà d'exclure toute une série de modèles de Gravité Quantique. Le groupe H.E.S.S. du LPNHE poursuit les études LIV (Lorentz Invariance Violation) avec les sources extragalactiques et les Pulsars détectés par H.E.S.S. et Fermi. Il a contribué à établir plusieurs des meilleures limites publiées ces dernières années.

L'équipe du LPNHE prépare également l'avenir de l'astronomie gamma au sol par sa participation au projet CTA (*Cherenkov Telescope Array*). Ce grand réseau, pourvu de centaines de télescopes, commencera à fonctionner à l'horizon 2020. Avec deux sites (un par hémisphère), CTA couvrira pratiquement tout le ciel. Sa surface effective importante, sa meilleure résolution et la vitesse de pointé des télescopes conduiront à l'augmentation de la sensibilité du détecteur d'un ordre de grandeur par rapport aux expériences actuelles tout en élargissant le domaine d'énergie de ~10 GeV à ~100 TeV. CTA permettra d'effectuer des études de populations des sources variables tels que les Pulsars, les Noyaux Actifs de Galaxies et les Sursauts Gamma, tout en ouvrant de nouvelles perspectives en astrophysique et en physique fondamentale. CTA sera aussi une expérience décisive dans les 50 ans qui viennent pour la détection indirecte de matière noire pour les énergies de 10 GeV à 100 TeV.

L'étude des rayons cosmiques est un domaine extrêmement riche. Les accélérateurs extrêmes dans l'Univers produisent des particules à des énergies inatteignables sur Terre. Les expériences qui étudient le rayonnement cosmique sont donc complémentaires à celles réalisées auprès des accélérateurs. Elles contribuent à apporter de nouvelles réponses aux questions fondamentales de la physique moderne.

AUGER

L'Observatoire Pierre Auger continue de fournir à la communauté scientifique des données précises sur les gerbes atmosphériques les plus énergétiques jusqu'à $\sim 10^{20}$ eV.

Les résultats récents ont mis en évidence une composition mixte autour de la « cheville » du spectre en énergie, contraignant ainsi des modèles nécessitant une composition pure de proton comme le « *dip model* ». Les modèles astrophysiques sont également contraints en combinant les mesures de spectres et de la composition jusqu'aux énergies de la coupure GZK. Les résultats de ces ajustements favorisent aussi une composition comportant des éléments lourds mais sont cependant sensibles aux effets de propagation de rayons cosmiques et aux incertitudes liées au développement des gerbes. Enfin, certains modèles de sources ont été exclus grâce aux limites posées sur le flux de neutrino et de photon d'ultra haute énergie. Sur ce dernier sujet, le LPNHE a eu une grande contribution aux dernières publications. Les données d'Auger ont aussi permis d'explorer la physique fondamentale. La mesure du nombre de muons dans les gerbes atmosphériques a permis de tester les modèles hadroniques à des énergies supérieures à celles des accélérateurs actuels et de mettre en évidence un excès de la production hadronique dans les gerbes observées par rapport aux simulations standards.

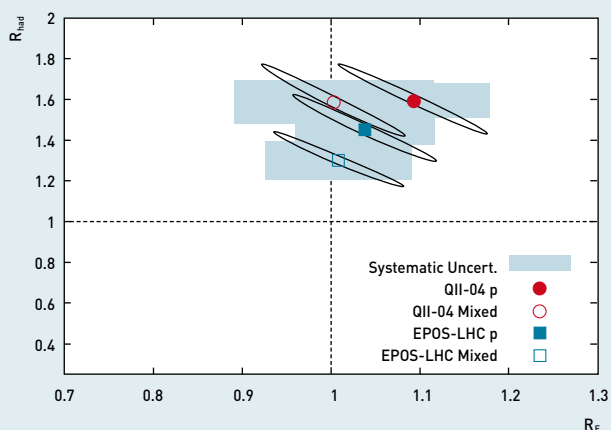
Des efforts expérimentaux ont été également menés pour confirmer l'efficacité et la précision des mesures radio autour des fréquences VHF (30-80 MHz) pour l'étude des rayons cosmiques jusqu'à des énergies de l'ordre de 10^{18} eV. La faible portée latérale de ce signal radio (quelques centaines de mètres) limite cependant l'instrumentation des surfaces nécessaires pour réunir une statistique suffisante aux plus hautes énergies.

La technique de détection radio continue d'être explorée aussi à plus hautes fréquences où le signal attendu (mais pas encore détecté), issu de la radiation de Bremsstrahlung Moléculaire (MBR), est émis de façon isotrope. Ce signal est donc observable à grande distance à condition que son intensité soit suffisante. Le LPNHE a contribué aux calculs et aux simulations précises du flux MBR des gerbes atmosphériques. En parallèle, les études expérimentales débutées au LPNHE avec le projet EASIER, réseau instrumenté dans la bande C (3.4-4.2 GHz) ont été poursuivies et améliorées avec le projet GIGAS et le détecteur associé, GIGADuck. Le détecteur unitaire de GIGADuck (une antenne suivie d'une électronique d'amplification et d'adaptation) est monté comme élément esclave d'un détecteur de surface d'Auger. GIGADuck entend augmenter la sensibilité au flux MBR grâce à deux réseaux distincts : un réseau dans la bande C dont l'antenne est choisie de gain



Photo d'une des antennes hélix installée sur un des détecteurs de surface de l'Observatoire Pierre Auger. Ces détecteurs radio pourront peut-être apporter un nouveau moyen de mesure des grandes gerbes atmosphériques.

plus important (environ 15dB) ; et un réseau dans la bande L (autour de 1.2 GHz) qui profite d'un gain important mais aussi d'une fréquence centrale plus basse donc d'une surface effective plus grande. En mars 2015, les 7 détecteurs de la bande C ont été installés sur le site d'Auger. Dans la bande L, après la défaillance d'un premier dispositif installé également en 2015, les développements d'une nouvelle électronique



Rapport données/simulation des composantes électromagnétiques et muoniques de gerbes atmosphériques $E_{CM} = 110 - 170$ TeV observées par le détecteur hybride de l'Observatoire Pierre Auger. Un excès de la composante hadronique dans la gerbe est observé.



d'amplification ont été menés au LPNHE et l'installation du nouveau détecteur a été réalisée en décembre 2016. Les deux réseaux prennent des données de manière stable mais n'ont pas vu de signature claire du MBR. Les études de calibration et d'analyse des données sont en cours et menées principalement au LPNHE.

Aujourd'hui, la collaboration Auger est également concentrée sur le projet de mise à niveau du détecteur de surface, Auger Prime, qui comprend l'ajout d'un scintillateur au dessus des cuves Cherenkov et un changement complet de l'électronique d'acquisition locale. Le LPNHE ne participe pas à cette mise à niveau des détecteurs

mais contribuera à la mesure plus précise des composantes de la gerbe et notamment de la composition des rayons cosmiques aux plus hautes énergies qu'elle permet.

Chercheurs et Doctorants : I. Al Samarai, P. Billoir, R. Gaïor, P. Ghia, A. Letessier Selvon, M. Settimo

Equipe technique : J. David, H. Lebbolo, P. Repain

CHIFFRES CLÉS

18 pays, 70 institutions et plus de 500 membres dans la collaboration Auger
Une surface couverte de 3000 km² dans la Pampa Argentine
24 télescopes à fluorescences, 1650 détecteurs Cherenkov à eau

H.E.S.S.

Le LPNHE est impliqué dans l'expérience H.E.S.S. depuis ses origines. Il a coordonné la construction des cinq caméras de l'expérience qui ont été installées sur le sol Namibien. Il est impliqué, depuis le début, dans des analyses de sources astrophysiques galactiques et extragalactiques ainsi que dans la recherche de matière noire. Par la suite, le groupe s'est investi dans le test de l'invariance de Lorentz et l'étude des fonds diffus. En plus de ces travaux de recherche, le groupe du LPNHE s'est consacré au développement des outils d'analyses et de simulations des données pour la collaboration ainsi qu'à la compréhension et à la maintenance du détecteur. En 2016, les quatre caméras de petite taille ont été démantelées pour accueillir une électronique nouvelle construite par le groupe de Zeuthen et conçue en collaboration avec le LPNHE.

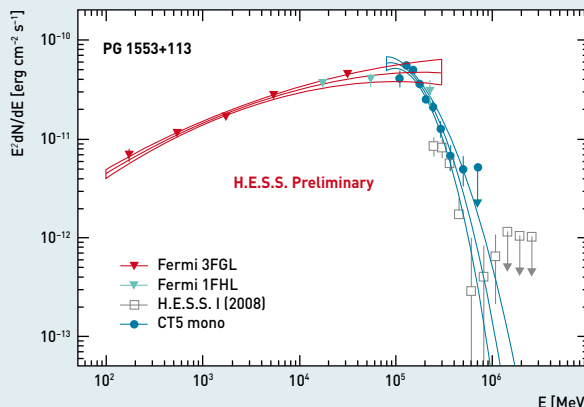
Études des sources astrophysiques

L'étude des sources astrophysiques galactiques et extragalactiques est fondamentale pour la compréhension du fonction-

nement intrinsèque de ces objets mais aussi parce que ces derniers constituent le socle des développements de bien d'autres études dans le domaine des astroparticules ou de la cosmologie. Le LPNHE a coordonné l'un des trois groupes d'analyse de la collaboration dédié au travaux dans le domaine extragalactique jusqu'en septembre 2016 et reste à ce jour co-coordonnateur de ces activités.

Récemment, les premiers spectres ont été produits sur les AGN PKS 2155+314 et

PG 1553+113 aux plus basses énergies avec la seule utilisation du dernier télescope de H.E.S.S. (cf. figure). Un membre du groupe est auteur correspondant du premier article de la collaboration paru sur ces objets. Avec l'installation du dernier grand télescope le centre de la galaxie a été observé à nouveau. Une thèse portant sur l'étude de Sagittarius A* a été soutenue récemment montrant notamment un spectre en énergie plus vaste avec un seuil bien plus bas que dans les précédentes études.



CHIFFRES CLÉS

15 années de prise de données.
83 sources astrophysiques découvertes au TeV.

• • •

Enfin, des études multi-messagers sont à l'œuvre actuellement pour comparer les résultats multi-longueur d'onde aux prédictions des détecteurs neutrinos dans la compréhension des mécanismes d'émission de sources astrophysiques. Ainsi des modèles hadroniques et lepto-hadroniques sont en cours de développement et d'étude au laboratoire.

Recherche de matière noire et études des émissions diffuses

Une piste dans la compréhension de la matière noire de l'Univers est l'existence de matière non-baryonique prédite par des modèles super-symétriques ou de dimensions supplémentaires. Le LPNHE a étudié dans le passé le centre Galactique, les amas globulaires et les galaxies naines sphéroïdales gravitant autour de la Voie Lactée. Plus récemment, il a entrepris une recherche d'anomalies dans les spectres des émissions diffuses galactiques et extragalactiques.

En 2016 est parue la première publication de la collaboration incorporant les données du nouveau télescope. Celle-ci porte sur l'étude menée au laboratoire en direction du centre de la Voie Lactée dans la région où un signal aux alentours de 130 GeV a été extrait des données de l'expérience Fermi. Une campagne d'observation a été proposée par le groupe et l'analyse des données a permis d'invalider ce signal.

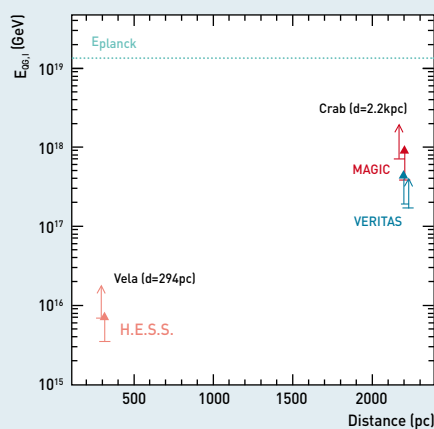
Dans la suite des études passées sur les fonds diffus de gamma, le groupe est actuellement porteur, au sein de la collaboration, de la reconstruction spectrale des électrons identifiés par H.E.S.S. depuis une quinzaine d'années.

Étude de la violation de la symétrie de Lorentz

Certains modèles de gravité quantique autorisent des fluctuations dans la vitesse de propagation des rayonnements électromagnétiques dans le vide. Expérimentalement ce phénomène peut être révélé par la détection d'écarts dans le temps d'arrivée de photons émis dans des phénomènes transitoires lointains en fonction de l'énergie.

Des études sur des sources lointaines telles que les noyaux actifs de galaxies (AGN) ou

les sursauts de rayonnements gamma détectés par *Fermi* avaient fait l'objet d'une thèse soutenue en 2014. Plus récemment l'élargissement de ces études à des sources, certes plus proches mais de variabilité constante, a été rendue possible avec la mise en service du dernier télescope et la découverte d'un second pulsar au TeV dans le système de Vela. Le groupe a été en charge de l'une des deux analyses de ce pulsar et a produit de nouvelles limites sur l'échelle d'énergie de la gravitation quantique (cf. figure).



Les recherches se poursuivent actuellement par une étude approfondie des effets de décalage temporel induits par la source elle-même. Cet effet constitue l'une des plus importantes sources d'incertitudes systématiques de cette mesure et une modélisation analytique des phénomènes de transport dans l'environnement des AGN est en cours d'étude. Enfin, pour poursuivre ces travaux, un accord de coopération, porté par le groupe, a été établi en 2016 entre les collaborations H.E.S.S., MAGIC et VERITAS.

Études du détecteur, reconstruction et outils d'analyses

Plusieurs études ont été menées tout au long de l'exploitation de l'expérience pour une meilleure compréhension de la réponse du détecteur. Citons les plus récentes :

- la reconstruction des événements muons a été intégralement revue et l'ensemble des données ont été recalibrées ;
- des travaux ont porté sur l'étude de la qualité des données acquises par le cinquième télescope. Un estimateur a été proposé pour filtrer rapidement les événements

collectés dans de mauvaises conditions de fonctionnement de l'expérience. D'autres études comme le suivi des modes communs des alimentations en puissance des photomultiplicateurs ont permis de réduire les systématiques dans les analyses ;

- un outil d'alertes journalières basé sur une analyse rapide des données prises par l'expérience FERMI/LAT a été réalisé.

Concernant les analyses, le groupe a contribué à plusieurs niveaux :

- le développement d'une vraisemblance temporelle élaborée sur l'information du temps d'arrivée du signal dans les différentes voies de lecture s'est avéré efficace pour la discrimination des photons avec le cinquième télescope ;
- une étude a porté sur la discrimination entre électrons et photons en se basant sur l'élaboration de variables discriminantes spécifiques et des méthodes d'analyses multivariées ;
- un effort particulier a été fourni pour porter les outils de simulations des gerbes atmosphériques et du détecteur sur la Grille de calcul européenne.

Au niveau national, le groupe coordonne les analyses de physique de l'expérience et l'ensemble de la production des simulations au CCIN2P3 et sur la grille de calcul.

.....
Chercheurs et Doctorants : J. Bolmont, M. Cerruti, R. Chalmé-Calvet, M. Chrétien, T. Garrigoux, A. Jacholkowska, D. Kerszberg, M. Kieffer, J.-P. Lenain, C. Perennes, M. Settimo, J.-P. Tavernet, P. Vincent
Equipe technique : P. Nayman, F. Toussenel
.....

CTA

CTA (« *Cherenkov Telescope Array* ») représente le futur de l'astronomie gamma au sol, avec deux réseaux de télescopes à imagerie Cherenkov qui seront construits dans les deux hémisphères. CTA couvrira trois grandes thématiques scientifiques à travers l'étude de l'origine des rayons cosmiques ainsi que leur influence sur leur environnement ; l'étude des environnements astrophysiques extrêmes au voisinage de trous noirs et étoiles à neutrons ; ainsi que l'exploration des frontières en physique fondamentale via la recherche de matière noire ou encore d'effets de gravitation quantique. Chaque réseau de CTA sera composé de télescopes de trois tailles différentes, afin de couvrir la plus grande gamme en énergie possible, typiquement entre quelques dizaines de GeV et quelques centaines de TeV. L'objectif est d'améliorer la sensibilité d'un facteur 10 dans la gamme centrale 100 GeV – 1 TeV par rapport aux instruments actuels, et d'améliorer également les résolutions en énergie et angulaire d'un facteur 5.

Le LPNHE est particulièrement impliqué dans le projet NectarCAM, proposé pour les caméras équipant les télescopes de taille intermédiaire. NectarCAM est une caméra modulaire dont chaque élément se compose de détecteurs de photons (photomultiplicateurs), d'une carte haute-tension, d'une carte de lecture et déclenchement. Le projet NectarCAM regroupe des laboratoires français (IN2P3, INSU et CEA), espagnols et allemands.

Fort de son expérience dans la conception d'instrumentation pour la détection de rayons gamma au sol, et ce depuis les débuts de cette thématique en France, le

CHIFFRES CLÉS

libNectarCAM : 72 000 lignes de code
Cartes front-end NectarCAM : 16 fonctionnalités
et 200 paramètres ajustables
2.7 Pétaoctets de simulations Monte Carlo

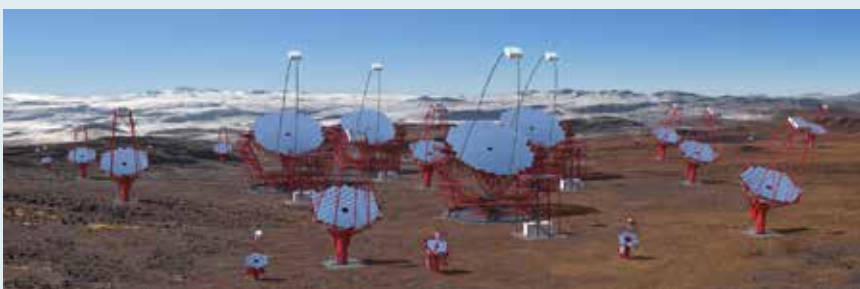
groupe a en charge le développement de cette carte de lecture et déclenchement. Durant la période 2015–2017, nous avons affiné le design de cette carte dont le prototypage avait démarré précédemment, et contribuons à la conception d'un démonstrateur de caméra équipée de 19 modules, dont les tests se déroulent actuellement dans les locaux du CEA/IRFU.

Dans le cadre du projet NectarCAM, nous coordonnons le groupe de travail sur l'électronique des caméras, et nous nous impliquons dans toutes les interfaces internes et externes du module. Le développement de la librairie de gestion et d'interfaces de la carte de lecture est pris en charge au laboratoire. De plus, une part importante de nos activités porte sur la caractérisation de cette carte. Un banc de tests complet a donc été monté et est prêt à être déployé auprès des industriels en vue de la production à grande échelle de cartes pour la phase de construction de CTA. Ce banc de test a été validé auprès d'un fournisseur lors de la dernière campagne de conception de cartes prototypes. Il permet, en utilisant quatre configurations matérielles différentes, de valider les 16 fonctionnalités

principales de la FEB et de caractériser ses performances à travers près de 200 paramètres. En dehors des quatre interventions pour changer de configuration matérielle, il fonctionne de manière entièrement automatisée et en moins d'une heure par carte.

Afin de préparer les futures analyses, nous contribuons également au développement du cadre d'analyse des données de haut niveau pour l'étude spectrale et temporelle des sources astrophysiques, à travers une implication naissante dans le développement de gammapy (<http://docs.gammapy.org>), un projet collaboratif pour l'analyse de données astrophysiques aux hautes énergies. Nous sommes aussi impliqués dans l'élaboration des cas d'utilisation des futurs télescopes dans le cadre des réseaux CTA Nord et Sud et du futur observatoire dans son ensemble. Enfin, nous participons également à des programmes faits en amont des futures observations avec CTA pour la détermination de la distance (redshift) de noyaux actifs de galaxies candidats à une émission aux très hautes énergies.

.....
Chercheurs et Doctorants : J. Bolmont, M. Cerruti, A. Jacholkowska, J.-P. Lenain, O. Martineau-Huynh, J.-P. Tavernet, P. Vincent
Equipe technique : J. Coridian, P. Corona, S. Karkar, J.-L. Meunier, P. Nayman, E. Pierre, F. Toussanel, V. Voisin
.....



DAMIC

L'expérience DAMIC (*D*ARK *M*ATTER *I*n *C*CDs) se propose de détecter le recul induit par la matière noire sur les noyaux de silicium composant les détecteurs à couplage capacitif (les CCD) qui servent habituellement de détecteur de photons en astronomie ou de particules en physique des hautes énergies. Le seuil de détection très bas des CCD (3.5 eV pour former une paire électron-trou) et la masse relativement faible du noyau de silicium permettent de sonder le domaine de masse des WIMP (*W*eakly *I*nteracting *M*assive *P*articles) et d'autres candidats matière noire entre 1 et 20 GeV. Ce domaine en énergie est peu accessible aux grands détecteurs à liquide noble du fait de leur seuil de détection plus élevé.

DAMIC utilise des CCD épais (600 μm ou plus) et de haute granularité (15 μm), ce qui permet d'avoir une sensibilité très élevée avec des masses de détection de l'ordre de seulement 100 g (DAMIC-100, en construction au SNOLAB, Canada). La figure montre les résultats obtenus en 2012 et 2014 avec des prototypes et une masse de seulement 12 g exposée pendant un mois. La projection DAMIC-100 qui correspond à l'exposition de 100 g de CCD pendant un an démontre la compétitivité de cette approche.

L'avantage des CCD en matière de réjection du bruit de fond repose sur leur résolution spatiale. Cette dernière permet en particulier de suivre les chaînes de désintégrations de certains éléments, source de bruit de fond à la recherche de matière noire, dans le temps (comme la chaîne Silicium 32 \rightarrow Phosphore \rightarrow Souffre) ce qui offre des possibilités inédites de réduction de ces fonds, autrement irréductibles. Pour en faire des

détecteurs de matière noire compétitifs, il faut cependant assembler une masse suffisante de CCD, contrôler parfaitement tous les bruits de fonds radioactifs et disposer d'une électronique ultra-bas bruit (inférieure à 0.2 électron de bruit, c'est là que le LPNHE intervient) pour ne pas polluer un éventuel signal.

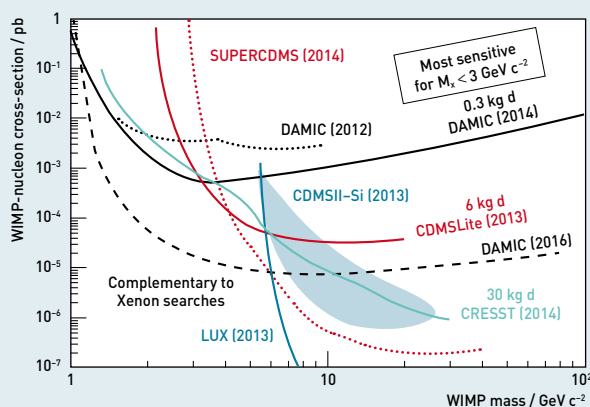
Le LPNHE a une très grande expertise en électronique de lecture et de contrôle de CCD et est le seul à avoir conçu un composant de lecture totalement intégrée (en plus d'être bas bruit). C'est sur la base de ces développements et leur amélioration vers une électronique ultra-bas bruit avec filtrage numérique que nous participons à la collaboration DAMIC. Les développements techniques qui seront faits au LPNHE pourront servir à d'autres expériences (notamment sur l'interaction cohérente de

neutrinos, axions) et offre des possibilités de valorisation (notamment en imagerie, médicale ou industrielle).

Depuis son entrée dans la collaboration DAMIC fin 2015, l'équipe de chercheurs a fourni par ailleurs un code d'égalisation des images, réalisé l'une des analyses publiées en 2016 et a développé un code de simulation complet du détecteur basé sur GEANT4 permettant d'évaluer avec précision l'impact des éléments radioactifs présents dans les matériaux entourant le détecteur.

Chercheurs et Doctorants : J. Da Rocha, R. Gaior, A. Letessier Selvon, M. Settimo

Equipe technique : P. Bailly, M. Dhellot, C. Juramy, L. Khalil, H. Lebbolo, D. Martin, P. Repain, A. Vallereau



Courbes d'exclusion à 90 % de niveau de confiance pour différentes expériences. La courbe DAMIC-100 est une projection basée sur l'exposition de 100 g de CCD pendant 1 an (30 kg.day) avec un bruit de fond limité à 0.3 dru (0.3 événement par keV/kg/day au dessus de 50 eV).

DARKSIDE

Le projet DarkSide pour la recherche de matière noire repose sur l'utilisation d'une Chambre à Projection Temporelle (TPC) à l'Argon liquide en double phase. Un détecteur de 50 kg (DS-50) est actuellement en prise de données au LNGS. Il sera suivi par un détecteur de 20 t, DarkSide-20k.

L'activité scientifique du groupe DARKSIDE au LPNHE porte sur trois activités principales :

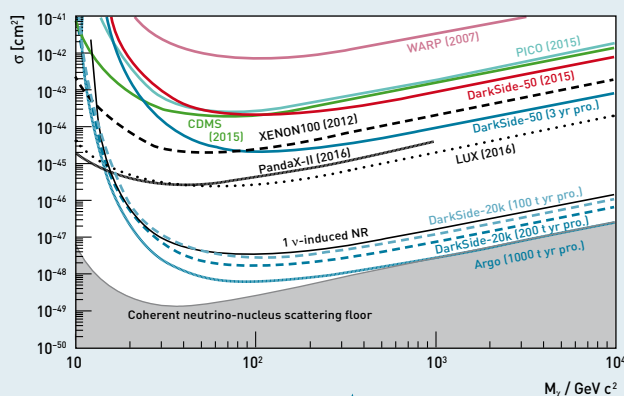
La simulation Montecarlo. La contribution au développement du code de simulation de DS-50, basé sur GEANT4, a porté sur (i) l'optimisation du pouvoir de séparation de la *Pulse Shape Discrimination* (principal avantage de l'Argon) entre les reculs d'électrons et les reculs nucléaires, (ii) sur la comparaison avec les données de sources de calibration, (iii) sur l'estimation du fond de neutrons dans la région du signal, et (iv) sur le fit multi-composantes du spectre énergétique des reculs ayant permis la première mesure du facteur d'appauvrissement de l'Argon souterrain. Ces études ont contribué significativement à l'article sur la première limite d'exclusion de WIMPs avec de l'Argon appauvri publié en 2016. Nous avons aussi utilisé la simulation Monte Carlo pour le dessin et l'étude des performances des prototypes de TPC pour faisceaux de neutrons (ARIS et RED) et pour la mesure de radio-pureté de l'Argon (DART). La description détaillée de la simulation de DarkSide est l'objet d'une publication en cours de soumission.

L'expérience ARIS (*Argon Recoil Ionization and Scintillation*) sur le faisceau de neutrons Licorne de ALTO à l'IPN d'Orsay. Les contributions ont porté sur (i) les études Monte Carlo de conception du dispositif expérimental et des performances de physique, (ii) sur la construction et l'installation des supports pour les détecteurs de neutrons, la prise de données en octobre 2016 à différentes énergies de recul et valeurs du champ électrique, et (iii) sur la reconstruction et l'analyse de physique des propriétés des reculs nucléaires de l'Argon et sa réponse en ionisation et scintillation. ARIS est une étape cruciale en vue de l'optimisation des limites sur la matière noire avec DarkSide-20k et du potentiel de détermination de la direction des reculs des noyaux d'Argon. Un article sur les résultats de ARIS est en cours de préparation.

Le Technical Proposal du projet DarkSide-20k. Les contributions à la finalisation du projet DarkSide-20k ont porté sur l'évaluation du bruit de fond irréductible de neutrons radiogéniques, sur l'estimation des performances à l'aide de la simulation, et sur la conception et le dessin du cryostat en Titane radio-pur. Le suivi de la filière complète du métal à haute pureté de la mine à la production du cryostat a également été assuré.

.....
Chercheurs et Doctorants : A. Navrer-Agasson, C. Giganti, S. De Cecco

Equipe technique : O. Dadoun, P. Ghislain



Résultats actuels pour la recherche directe de matière noire. Sont montrées les sensibilités attendues pour la prise de données finale de DS-50, pour DarkSide-20k et pour le projet futur Argo, pour les expositions prévues. Le bruit de fond irréductible de diffusion cohérente de neutrinos sur noyaux est aussi pris en compte. Le projet DarkSide a le potentiel d'arriver à une sensibilité au niveau jamais atteint du « neutrino floor » dans les prochaines années.

XENON

Le détecteur XENON1T, développé par la collaboration XENON pour la recherche directe de matière noire, est l'expérience la plus sensible à l'heure actuelle dans la gamme de masse au-delà d'environ 10 GeV. Il est constitué par une TPC (*Time Projection Chamber*) remplie de 3.5 tonnes de xénon liquide, située dans le laboratoire souterrain du Gran Sasso, en Italie. Il vise à détecter la faible charge et la petite quantité de lumière qui devraient être émises à la suite de l'interaction d'une particule de matière noire avec un noyau de xénon.

La construction de XENON1T a commencé en 2013 et s'est achevée en octobre 2015, suivie par une phase de mise en service et de calibration.

Le premier run scientifique s'est achevé en janvier 2017. Il est constitué de 34 jours de prise de données, ce qui a permis à XENON1T d'obtenir une sensibilité plus élevée que celle des autres détecteurs existants. Aucun signal n'a été trouvé, mais les prises de données se poursuivent.

En 2016, la collaboration XENON a commencé à utiliser XENON100, le détecteur de matière noire de la génération précédente, pour faire des tests de mesure et d'élimination du radon, qui est une des sources les plus importantes de bruit de fond pour XENON1T. D'autre part, les données de XENON100 font encore l'objet d'analyses spécifiques dans le but d'explorer différents modèles de matière noire, comme la diffusion inélastique de la matière noire, ou des modèles plus exotiques comme la

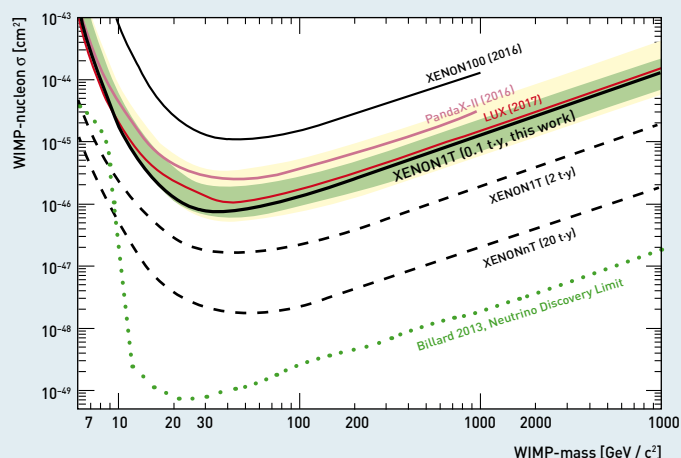
« matière noire inélastique magnétique », proposée pour concilier les résultats d'autres expériences avec ceux de DAMA/LIBRA qui observent un signal modulé en temps.

Depuis son entrée dans la collaboration XENON en novembre 2016, l'équipe du LPNHE a contribué à la phase de stockage et de traitement des données, à la mesure de la pureté du xénon et à la calibration à basse énergie des reculs électroniques. Il a aussi la responsabilité des moyens de calcul pour XENON installés au Gran Sasso. Le LPNHE (avec le LAL et Subatech) sont également impliqués dans la construction d'un nouveau système de stockage et de récupération du xénon, nommé ReStoX2,

qui sera capable de contenir jusqu'à dix tonnes de xénon en phase liquide, solide ou gazeuse. Ce nouveau système de stockage sera nécessaire pour la prochaine étape du projet, XENONnT, qui utilisera en grande partie les infrastructures déjà existantes, améliorant la sensibilité pour la recherche de matière noire d'un ordre de grandeur par rapport à XENON1T.

.....
Chercheurs et Doctorants : L. Scotto Lavina

Equipe technique : O. Dadoun,
P. Warin-Charpentier
.....



Limite (90 % CL) de la section efficace WIMP-nucléon en fonction de la masse du WIMP. Les bandes de sensibilité à 1σ et 2σ sont représentées en vert et jaune. Les deux courbes en pointillés montrent les sensibilités finales attendues de XENON1T et de sa deuxième phase XENONnT.



©Enrico Sacchetti/XENON Collaboration

Le détecteur XENON1T dans les sous-sols du LNGS.



COSMOLOGIE ET
ÉNERGIE NOIRE

Supernovae

LSST

eBOSS/DESI

**Dynamique des systèmes
auto-gravitants**

COSMOLOGIE ET ÉNERGIE NOIRE



Le modèle standard de la cosmologie fournit, avec seulement six paramètres, une description remarquablement précise de l'ensemble des observables cosmologiques. Le prix à payer pour ce succès remarquable a été l'introduction dans le modèle de constituants « sombres » (matière noire et énergie noire) de nature inconnue. Ces interrogations, et tout particulièrement le problème de la nature de l'énergie noire ont motivé un ambitieux programme observationnel, qui culminera à l'orée des années 2020, avec le démarrage des relevés DESI et LSST, et le lancement de deux missions spatiales d'envergure : Euclid et WFIRST. Le groupe du LPNHE est fortement impliqué dans la préparation de ce programme. Il contribue notamment à la construction de LSST et DESI, ainsi qu'aux efforts d'analyse des projets engagés (eBOSS, Subaru).

La stratégie mise en place pour attaquer le problème de la nature de l'énergie noire s'articule autour de deux axes principaux : tout d'abord, mesurer précisément l'histoire de l'expansion cosmique sur une grande gamme de décalage spectral (redshift $z < 2.5$) afin d'obtenir une contrainte précieuse sur l'équation d'état de l'énergie noire et une possible évolution de celle-ci avec le redshift ; ensuite, contraindre l'histoire de la formation des structures. Le taux de croissance des structures constitue en effet un test de la relativité générale aux échelles cosmologiques. Mesurer simultanément l'expansion et la formation des structures permet de discriminer entre un scénario dans lequel l'énergie noire serait effectivement un nouveau constituant physique de l'Univers, ou bien s'il faudrait faire appel à une modification de la relativité générale aux échelles cosmologiques pour expliquer le mystère de l'énergie noire.

La mesure de la relation entre distance de luminosité et redshift en utilisant des supernovae de type Ia (SNe-Ia) comme indicateurs de distance constitue la sonde historique qui a permis de mettre en évidence, au tournant des années 2000, l'accélération de l'expansion. Le groupe a développé dans ce type d'analyse une expertise reconnue internationalement. Il a notamment publié, dans le cadre d'un effort conjoint des collaborations SDSS et SNLS, un diagramme de Hubble combiné, qui a permis de contraindre le rapport pression/densité de l'énergie noire avec une précision de 6 %, et qui représente, aujourd'hui encore, l'état de l'art dans le domaine. Le groupe est maintenant engagé dans un effort ambitieux consistant à construire, à l'horizon 2020, un diagramme de Hubble s'étendant de $z \sim 0.05$ à $z \sim 1.5$, en combinant la statistique des projets SDSS et SNLS, avec un échantillon à très haut redshift collecté avec les télescopes Subaru et Hubble.

Les contraintes sur la densité et sur le paramètre d'état de l'énergie noire sont actuellement dominées par les incertitudes systématiques. Pour les réduire, le groupe s'est impliqué sur deux axes : le développement d'une activité de calibration absolue des instruments (télescope et imageur) par illumination directe (projets DICE, pour *Direct Illumination Calibration Experiment*). Et la recherche d'un troisième paramètre observable ayant une corrélation avec la luminosité des SNe-Ia, en plus de leur vitesse d'affaiblissement et de leur couleur au maximum de luminosité.

Des avancées très significatives sont attendues des autres sondes liées à l'étude des structures de l'Univers, accessibles grâce aux imageurs grand champ et à des télescopes dédiés. Depuis fin 2015, une partie du groupe s'est impliquée dans des projets de grands relevés spectroscopiques de galaxies. Il s'agit des projets eBOSS (pour *extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*) et DESI (pour *Dark Energy Spectroscopic Instrument*). L'objectif de ces projets est de compléter à plus haut décalage vers le rouge la mesure de l'histoire de l'expansion de l'univers obtenue avec le diagramme de Hubble des SNe-Ia.

Ces catalogues tridimensionnels (redshift et position angulaire) permettent d'étudier les grandes structures de l'Univers, en utilisant les galaxies et les spectres d'absorption de quasars comme traceurs du champ de densité de matière. Ces données offrent plusieurs tests du modèle cosmologique et de la relativité générale aux grandes échelles. Ainsi, les distorsions de redshift caractérisées par une différence de corrélation apparente le long et transversalement à la ligne de visée permettent de mesurer le taux de formation des structures ; la forme et l'évolution du spectre de puissance aux petites échelles permettent de tester le paradigme de la matière noire et de contraindre la masse des neutrinos ; la mesure du pic acoustique des oscillations de baryons (BAO, pour *Baryon Acoustic Oscillations*), permet une mesure de la distance angulaire et du taux d'expansion à haut redshift. Soulignons que cet indicateur de distance est complémentaire à l'indicateur de distance de luminosité que constituent les SNe-Ia.

Le groupe s'est également positionné pour participer aux mesures de cisaillement gravitationnel, c'est-à-dire de la déformation induite sur les images des objets d'arrière-plan par le champ gravitationnel des amas de galaxies, et de leur corrélation à grande échelle. Cette mesure, qui sera faite sur les relevés à grand champ produits par LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) et par le télescope spatial *Euclid*, permettra de contraindre la densité de matière noire de manière directe et apportera des contraintes sur une possible modification de la gravité.

Par ailleurs, la stratégie d'observation du grand relevé prévu pour le télescope LSST, dédié et de type *rolling search*, est propice à la découverte et au suivi de dizaines de milliers de SNe-Ia jusqu'à des distances intermédiaires ($z \sim 0.9$). Ainsi, le groupe travaille sur une stratégie de cadences d'observation favorable aux supernovae. Il participe également à l'optimisation des algorithmes de traitement massif de données de LSST.

Depuis 2007, le groupe contribue à la construction de l'imageur grand champ de LSST : système de changeur automatique de filtres ; banc de caractérisation des senseurs CCD du plan focal et d'optimisation de leur lecture ; micro-électronique de lecture des CCD et micro-code associé à l'acquisition des images. La construction sur le site Chilien du Cerro Pachón est en cours depuis 2011 et le pré-assemblage de l'imageur a débuté à SLAC en 2017. La première lumière de l'ensemble est attendue pour 2020.

Enfin, l'activité théorique sur la dynamique des systèmes auto-gravitants se poursuit par des simulations d'un grand nombre de particules pour caractériser les effets non-linéaires qui dominent la formation des structures à petite échelle.

SUPERNOVAE

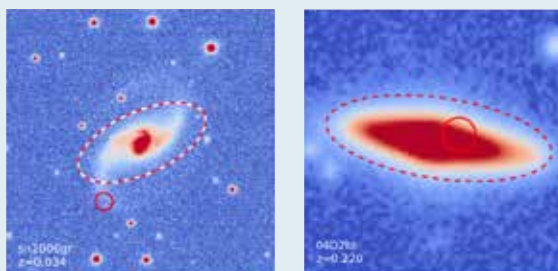
La meilleure mesure en date du paramètre d'état w de l'énergie noire a été publiée conjointement en 2014 par les collaborations SNLS et SDSS-II. Aujourd'hui, le diagramme de Hubble contient près de 1000 supernovae de bonne qualité dans la gamme de redshift $0.05 < z < 1$. D'ici 2020, les relevés au sol existants auront multiplié la statistique actuelle par un facteur 5 environ, dans le même domaine de redshift. Une alternative attrayante consiste à étendre la gamme de redshift et ainsi mesurer avec précision la période de transition entre un Univers dominé par la matière et un Univers dominé par l'énergie noire. Le but est d'ajouter au diagramme de Hubble actuel un lot de quelques centaines de SNe-Ia dans la gamme $0.8 < z < 1.5$, et bénéficiant d'une qualité de mesure comparable à ce qui a été obtenu par SNLS.

L'imageur *HyperSuprimeCam* (HSC), récemment monté au foyer primaire du télescope Subaru de 8.2 m dispose d'un pouvoir de collection dans le rouge environ dix fois supérieur à celui de *MegaCam* (utilisé par SNLS), pour un champ près de deux fois plus important. Il constitue l'un des rares instruments à même de réaliser un relevé SN profond sur le même modèle que SNLS, d'ici 2020, et sans compétition jusqu'au démarrage de LSST. Seul HSC peut mesurer des distances de grande qualité jusqu'à $z \sim 1.1$. Au-delà, l'essentiel de la luminosité des SNe-Ia n'est détectable que dans l'infrarouge, et il faut adjoindre aux mesures HSC des observations dans cette gamme de longueurs d'onde.

Actuellement, l'imageur WFC3 monté sur le *Hubble Space Telescope* (HST) est le seul instrument à même de mesurer les flux de SNe à ces redshifts. L'équipe du LPNHE a proposé, en collaboration avec D. Rubin (STScI) et S. Perlmutter (UC/Berkeley, LBNL), une stratégie combinée Subaru/HST, permettant de compléter le suivi Subaru de ~ 40 SNe à $z > 1.2$ avec seulement une centaine d'orbites HST. Ce travail a fait l'objet d'une demande HST qui a été acceptée courant 2016. La collaboration comprend donc désormais des groupes français (LPNHE), japonais (Kavli/IPMU, NAOJ) et américains (STScI, Berkeley), et a le potentiel de construire un diagramme de Hubble s'étendant jusqu'à $z \sim 1.5$.

Les prévisions établies par le groupe du LPNHE, incluant les principales systématiques, montrent qu'un tel projet dépassera significativement les relevés SN aujourd'hui engagés. Avec ces données, la précision sur w (2.5 %) et la sensibilité à d'éventuelles variations de w en fonction du redshift, prédite par certains modèles d'énergie noire, seront grandement améliorées.

Une première campagne d'observation combinée a eu lieu de novembre 2016 à mai 2017. Elle a permis de démontrer la capacité du télescope à garantir une cadence constante en dépit de conditions météorologiques défavorables, et la capacité de la collaboration à détecter des supernovae distantes et à déclencher un suivi par le HST des objets les plus lointains. Plus d'une centaine de supernovae distantes ont été détectées, et 25 événements à $z > 1.1$

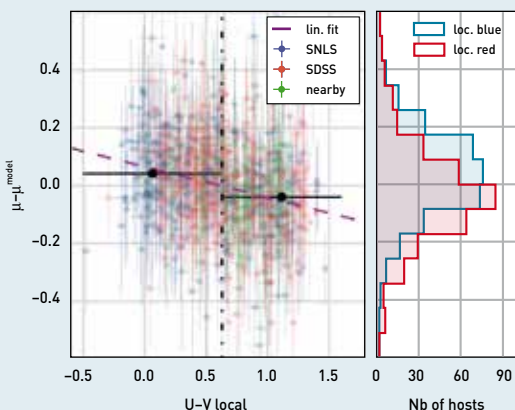


Galaxies hôtes des supernovae de type Ia SN2006gr (SDSS) et 04D2bt (SNLS) obtenues dans la bande optique g et situées respectivement à un redshift de 0.034 et 0.22.

ont bénéficié d'un suivi HST. Une seconde campagne est prévue en 2018.

La réussite du projet dépend de quatre éléments critiques : (1) un pipeline de détection robuste (2) une identification en temps réel des SNe-Ia les plus distantes à envoyer au HST parmi les objets transitoires détectés (3) une caractérisation de la contamination de l'échantillon par des SN de types différents (4) enfin, une photométrie de précision et une calibration photométrique améliorée.

Le groupe contribue à chacun de ces éléments. Il est impliqué dans la classification des candidats SNe-Ia via du temps de spectroscopie obtenu sur le télescope VLT. L'activité principale du groupe est l'assemblage d'un pipeline de traitement des données Subaru/HSC, qui préfigure celui pour les données LSST. Ce travail a des synergies importantes avec plusieurs activités du groupe : la caractérisation des senseurs, et le développement d'un pipeline de mesure des corrélations du cisaillement gravitationnel. Pour la photométrie des supernovae, nous mettons à niveau et adap-



Résidus de luminosité absolue standardisée des SNe-Ia, représentés selon la couleur (U-V) de la galaxie hôte à proximité de la position des SNe-Ia (dans un rayon de 3kpc). Les sites galactiques localement bleus sont associés à des régions actives de formation d'étoiles, ceux localement rouges à des régions passives.



tons aux données HSC le pipeline développé pour SNLS, dont nous avons démontré qu'il réalisait une photométrie optimale statistiquement, avec des biais contrôlés au niveau du pour-mille. Concernant la calibration photométrique, notre objectif est ambitieux (0.1 %). Il nécessite la mise en place d'une chaîne de métrologie des flux spécifique au relevé, et surtout redondante, afin d'assurer un contrôle fin des erreurs systématiques. Notre chaîne de métrologie permettra de comparer d'une part les standards de flux du HST, et d'autre part la définition instrumentale du Watt optique maintenue par le *National Institute for Standards and Technology* (NIST) (projet StarDICE). Enfin, le groupe travaille activement à la

publication de la totalité des lots de données SNLS et SNfactory. Les séquences spectrales SNfactory sont uniques pour la compréhension de la sonde, et le groupe fait l'effort d'en documenter la réduction pour en permettre l'exploitation par la communauté. Concernant SNLS, plusieurs ingrédients de l'analyse de cosmologie du lot final de données sont en cours de publication. L'intégralité du lot spectroscopique des SNe-Ia observées au VLT est documentée (Balland et al., 2017). Une seconde étude (Roman et al., 2017) détaille les corrélations entre la luminosité des SNe-Ia et leur environnement galactique proche, et propose une manière particulièrement efficace et directe de quantifier cet effet dans l'analyse de cosmologie.

Une troisième étude est en préparation. Elle exploitera le diagramme de Hubble obtenu afin de mettre en évidence une éventuelle magnification gravitationnelle des supernovae, en s'appuyant sur la modélisation de la distribution de matière noire le long des lignes de visée des supernovae.

.....
Chercheurs et Doctorants : P. Antilogus, P. Astier, C. Balland, S. Baumont, M. Betoule, S. Bongard, J. Guy, A. Guyonnet, D. Hardin, F. Hazenberg, L. Le Guillou, N. Regnault, M. Roman, C. Saunders, K. Schahmanec
Equipe technique : M. Dhellot, S. Karkar, E. Sepulveda

LSST

LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*), un projet international implanté au Chili, commencera son exploitation scientifique en 2022. LSST comprend un télescope au sol de 8.4 mètres de diamètre et un imageur à lecture rapide (2 s) de 3.2 milliards de pixels. Son objectif scientifique principal, l'étude de l'énergie noire, est au cœur de la thématique du groupe de cosmologie du LPNHE. L'équipe contribue à la fois à l'instrumentation, au logiciel, et à la préparation scientifique du projet.

Le LPNHE participe depuis 2006 à la construction de la caméra de LSST en ayant des responsabilités dans les deux contributions principales de l'IN2P3, le plan focal d'une part et le système de changement de filtres d'autre part.

Dans le plan focal, le LPNHE contribue à différents développements techniques. L'équipe a développé et testé l'ASIC appelé ASPIC (en collaboration avec le LAL) qui traite le signal en sortie des CCD. Elle a livré en février 2017 les derniers circuits nécessaires à la lecture des 3216 canaux vidéo de LSST. Le laboratoire est également responsable du micro-code du FPGA qui contrôle l'électronique du plan focal. Le groupe est aussi impliqué dans la caracté-

risation des capteurs CCD et l'optimisation de leur lecture : depuis 2015 le banc test CCD du LPNHE est pleinement opérationnel en salle blanche. L'équipe a ainsi pu mener des études des têtes de série de production des CCD, en contact direct avec les fournisseurs, pour valider leurs caractéristiques dans le cadre de LSST. Elle a aussi optimisé la séquence de lecture en utilisant les possibilités de diagnostic implémentées au LPNHE dans la chaîne de lecture devenue inaccessible dans son cryostat. Cet effort dépend cruciallement des développements du micro-code du plan focal. Enfin, le groupe étudie les distorsions d'images causées par les CCD eux-même dont les futures analyses de cosmologies devront tenir compte.

Le LPNHE a aussi la responsabilité de la conception, construction et tests du carrousel, le sous-système qui maintient les filtres non-utilisés hors du champ de vue de la caméra. Ce carrousel doit présenter au changeur proprement dit le filtre à mettre en place sur le plan focal. Le faible espace disponible, la taille et le poids des filtres manipulés (5 filtres de 70 cm et d'environ 40 kg chacun), la vitesse d'exécution d'un changement de filtre et la fiabilité qui est demandée au carrousel font de cette réalisation un tour de force. Un démonstrateur à l'échelle 1, est en cours de montage et de test depuis fin 2016. Il a été construit pour qualifier les solutions choisies. Il utilise, dans le grand hall du LPNHE, la monture développée par le LPC

CHIFFRES CLÉS

Le carrousel de LSST peut présenter un filtre de 40 kg, et 70 cm de diamètre au système de chargement en moins de 10s.
 LSST : 37 milliard d'objets observés plus de 80 fois par an pendant 10 ans.





de Clermont-Ferrand qui permet de simuler les mouvements du télescope.

Concernant la préparation des analyses de cosmologie avec LSST, le groupe est actif sur plusieurs fronts associés à l'étude de l'Énergie Noire. Ces travaux se développent au sein de la collaboration DESC (*Dark Energy Science Collaboration*), adossée à LSST. Ces travaux s'appuient sur les compétences acquises en imagerie grand champ.

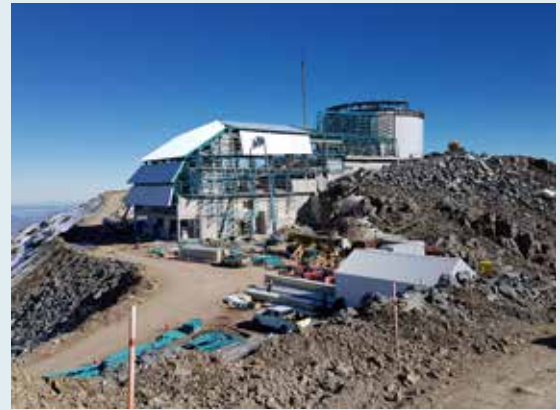
L'équipe participe aux efforts de calibration photométrique et astrométrique du relevé, car la qualité des contraintes cosmologiques que LSST atteindra dépend crucialement de la qualité des calibrations. Le groupe intervient dans ce domaine sur plusieurs points, allant de la co-coordination de cette activité dans la collaboration scientifique DESC-LSST au développement de techniques originales afin d'améliorer les méthodes en astrométrie (développement de code, utilisation des données du satellite *Gaia*), ou de repousser les limites en photométrie à travers le projet instrumental DICE qui vise à définir un réseau d'étoiles au flux calibré avec une précision de 0.1 %.

Le groupe joue un rôle moteur dans l'étude et la prise en compte dans l'analyse de distorsions d'images induites par les CCD eux-mêmes. Certains de ces effets, vues les précisions requises dans LSST, ne peuvent être ignorés, au point qu'un groupe de

travail dédié dans LSST-DESC, co-coordonné par un chercheur du LPNHE, a vu le jour. L'équipe du LPNHE a fourni l'explication physique d'un effet largement observé (dit *Brighter-Fatter*) qui redistribue les charges dans les CCD et déforme les objets les plus brillants. L'explication physique nous a permis de proposer une méthode de correction utilisée par les relevés en activité, en particulier DES et HSC.

Le groupe contribue à définir une cadence optimale des observations de LSST pour mesurer un échantillon cosmologique de SNe-Ia. Depuis 2017, cet effort s'est étendu à la définition de moyens d'observation complémentaires à LSST nécessaires pour les SNe-Ia proches (redshift < 0.1). Ces SNe-Ia donneront un accès unique à l'univers proche, hors de portée des autres sondes (lentillage faible, BAO).

Finalement, des forces sont investies dans la préparation de l'analyse du lentillage faible dans LSST, nouvelle sonde pour contraindre l'Énergie Noire et tester la relativité générale. L'exploitation des lentilles faibles avec une grande statistique nécessite d'améliorer significativement les méthodes utilisées aujourd'hui, en particulier pour la mesure des ellipticités. Cette activité de fond a débuté au sein du groupe en 2015, avec,



Le site de construction de LSST (juin 2017).

dans un premier temps, une contribution à la collaboration *Weighing the Giants* (étude de la masse des amas). Aujourd'hui cette activité vise à se développer sur des données publiques du télescope Subaru, les plus semblables à celles que produira LSST.

.....
Chercheurs et Doctorants : P. Antilogus, P. Astier, S. Baumont, M. Betoule, S. Bongard, J. Errard, A. Guyonnet, D. Hardin, F. Hazenberg, R. Le Breton, L. Le Guillou, N. Regnault, K. Schahmanche
Equipe technique : W. Ceria, G. Daubard, M. Dhellot, C. Juramy-Gilles, D. Laporte, H. Lebbolo, D. Martin, Y. Orain, P. Repain, M. Roynel, S. Russo, E. Sepulveda, D. Vincent

EBOSS/DESI

L'objectif principal du groupe est la mesure de l'échelle du pic acoustique des oscillations de baryons (BAO, pour *Baryon Acoustic Oscillations*), qui constitue un indicateur de distance angulaire et une mesure du taux d'expansion au redshift des sources analysées. On obtient ainsi une précision inégalée à haut redshift. Ce pic se mesure comme un excès de corrélation des traceurs de densités à une distance de séparation précise (en

coordonnées co-mobiles). Ce pic est le vestige de la propagation d'une onde de plasma dans l'univers primordial, gelée au moment de la recombinaison (formation d'hydrogène atomique). La distance parcourue par cette onde, communément appelée horizon du son, peut être calculée pour une hypothèse du contenu de l'univers primordial. Cet excès de corrélation, lorsqu'il est observé à une certaine séparation angulaire et en redshift dans les

catalogues de galaxies, fournit une mesure des rapports distance angulaire / horizon du son, et distance de Hubble / horizon du son aux redshifts des galaxies. Pour un choix de modèle cosmologique, ces données permettent de contraindre des combinaisons de paramètres cosmologiques (différentes sources de densité d'énergie). Vu d'une autre façon, elles offrent une mesure directe de l'évolution du taux d'expansion avec le red-





shift à un facteur multiplicatif près, à l'instar des Supernovae de type Ia.

L'avantage de cette technique est qu'elle bénéficie de faibles sources d'incertitudes systématiques à la fois du point de vue de la mesure que de l'interprétation des données. Elle demande cependant l'acquisition de millions de redshifts, ce qui nécessite le développement d'instruments dédiés : les spectrographes multi-objets, qui peuvent acquérir plusieurs milliers de redshifts simultanément. La méthode choisie pour les projets eBOSS et DESI consiste à positionner des fibres optiques sur des sources connues au plan focal d'un grand télescope. Pour eBOSS, les 1000 fibres sont fixes et insérées dans des plaques d'aluminium préalablement percées. Pour DESI, ce procédé est automatisé avec 5000 positionneurs de fibres motorisés.

Le laboratoire s'est engagé sur ces deux projets eBOSS et DESI car ils sont complémentaires. eBOSS prend des données depuis fin 2014 jusqu'à fin 2019, date à laquelle commenceront les observations du projet DESI qui auront une meilleure précision.

Activités eBOSS

Le projet eBOSS est une extension du programme BOSS s'appuyant sur le même instrument, mais ciblant des galaxies à plus haut redshift et pour la première fois des quasars en tant que traceurs de densité à des redshifts entre 0.8 et 2.2.

BAO à $z=2.4$ avec la fonction de corrélation des forêts Lyman-alpha et Lyman-beta

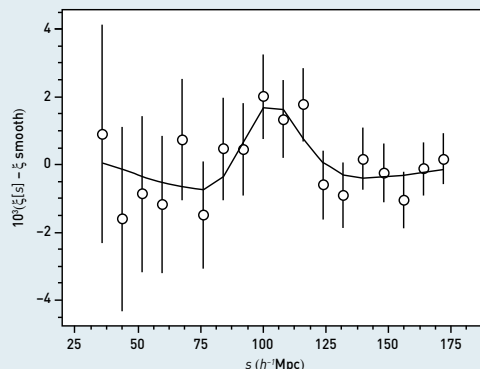
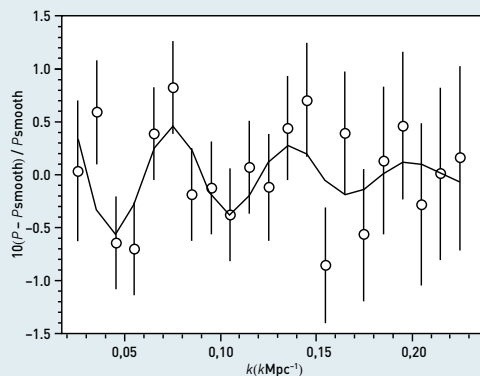
La présence d'hydrogène atomique dans le milieu inter-galactique le long de la ligne de visée de quasars se traduit par une « forêt » de raies d'absorption dans les spectres de ces derniers. Ces forêts sont dominées par la transition Lyman-alpha de l'hydrogène neutre dans des zones de surdensités situées à des redshifts plus faibles que celui des quasars (et donc observées à des longueurs d'ondes plus courtes que la raie en émission du quasar lui-même). Le pic BAO au redshift de ces absorptions peut être mesuré en corrélant les décroissements de flux de très nombreuses lignes de visées de quasars. Ceci a été

démonstré dans le projet BOSS (voir Bautista et al. 2017). Le projet eBOSS permettra une réduction de 40 % des incertitudes statistiques sur la position du pic à ce redshift.

Le groupe du laboratoire contribue à cette analyse dans le cadre d'un groupe de travail de la collaboration. Sa principale contribution est l'inclusion des forêts Lyman-beta qui demande un traitement spécifique. Ces données qui n'ont pas encore été incluses dans l'analyse permettent d'améliorer la mesure en levant des dégénérescences sur des paramètres de nuisance (biais des traceurs, contribution d'autres transitions atomiques polluant le signal).

BAO à $z=1.5$ avec la fonction de corrélation des quasars, et mesure du taux de formation des structures

Il s'agit de la mesure phare du projet eBOSS qui ouvre une nouvelle fenêtre en redshift, entre 0.9 et 2, où les galaxies sont trop faiblement lumineuses pour fournir une statistique suffisante et où les forêts Lyman-alpha, dans le domaine de longueur d'onde ultra-violet sont inaccessibles avec des observations depuis le sol à cause de l'absorption atmosphérique. Une première mesure du pic BAO a été publiée récemment (Ata et al., 2017) avec une précision statistique de 4.4 %.



Une précision de 2 % est attendue à la fin du relevé. Le groupe du laboratoire, qui participe à cette mesure, étendra l'analyse à la mesure des distorsions de redshift, une mesure qui demande à la fois plus de statistique et un meilleur traitement des inefficacités du relevé.

Activités DESI

Le projet DESI est encore plus ambitieux. L'objectif est d'obtenir plus de 20 millions de mesures de distances, couvrant une large gamme, en ciblant, par ordre croissant de redshift, des galaxies massives et passives, des galaxies à raies d'émission, et des quasars (comme traceurs du champ de densité jusqu'à $z = 2$, puis comme phares à plus haut redshift, pour sonder la densité d'hydrogène atomique en avant plan). Le projet instrumental consiste à installer sur le télescope Mayall (3.8 m de diamètre à Kitt Peak en Arizona) un spectrographe multi-objet constitué d'un correcteur grand champ (3° de diamètre), un plan focal instrumenté de 5000 positionneurs automatiques de fibres et 10 spectrographes. Chacun d'eux réceptionne 500 fibres, dont la lumière est répartie vers 3 caméras (bleu, rouge et infrarouge) permettant une mesure sur l'ensemble de la gamme spectrale accessible depuis le sol avec des CCD, de 360 nm à 1 micron. Il s'agit d'une collaboration internationale principalement financée par le département de l'énergie américain, avec une importante contribution française.

Le projet est aujourd'hui en phase de construction et verra sa première lumière en 2019. Le groupe du laboratoire participe activement à cette phase préparatoire avec des activités logicielles et instrumentales, en étroite collaboration avec des collègues Français de l'APC, du CEA, du CPPM, du LAM et de l'OHP, et dans le cadre de groupes de travail internationaux de la collaboration.

Développement du logiciel de traitement de données spectroscopiques

Le groupe du laboratoire est très actif sur le développement du logiciel de traitement, depuis les images brutes tirées des CCD jusqu'au catalogue de galaxies (identification, redshift, et spectre). Les activités portent sur le pré-traitement des images, sur l'analyse





des traces spectrales, sur la calibration des spectres et enfin sur l'analyse des spectres calibrés : identification et mesure de redshift. Ces activités de développement sont améliorées et validées sur des simulations de l'instrument, sur les données de banc de test des spectrographes, et par une analyse avec le logiciel DESI des données du projet BOSS.

Tests et validations des spectrographes pendant la phase de construction

Le laboratoire a construit en 2016 un dispositif de mesure de la réponse des spectrographes. Il s'agit d'un système de calibration du flux lumineux injecté dans le spectrographe en sortie de fibre optique. Le dispositif s'appuie sur une photo-diode calibrée par l'institut de métrologie DKD.

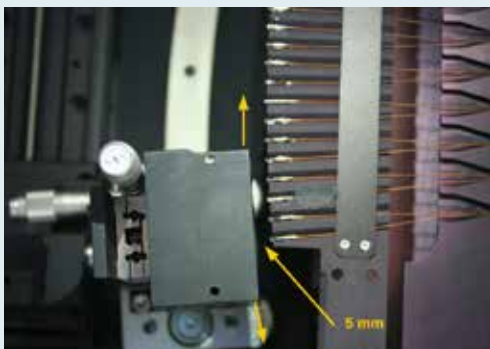
Plus de détails sur cet instrument peuvent être trouvés à la page 87. Les premières mesures acquises début 2017, ont permis d'identifier et de corriger un défaut de montage des caméras.

Développement du système de calibration spectroscopique sur site

Le laboratoire est responsable de la fourniture du système de calibration spectroscopique. Il est composé d'un ensemble de lampes éclairant un écran à réflexion lambertienne fixé sur la paroi interne du dôme du télescope. Les lampes sont disposées dans des boîtiers qui seront fixés sur l'anneau supérieur de la monture du télescope.

Mi-2017, le groupe a sélectionné et caractérisé au laboratoire le jeu de lampes (lampes à raie d'émission pour la calibration en longueur d'onde et lampes de continuum pour l'uniformisation de la réponse des fibres), et construit un premier prototype de boîtier (voir page 87).

Chercheurs et Doctorants : C. Balland, J. Guy, L. Le Guillou, H. Gil Marin, V. de Sainte Agathe
Equipe technique : J. Coridian, P. Ghislain, S. Karkar, P. Repain



CHIFFRES CLÉS

5 000 fibres optiques pour l'instrument DESI
20 millions de galaxies avec redshift mesurés à la fin du relevé DESI
14 000 degrés carré : taille angulaire du relevé spectroscopique DESI

DYNAMIQUE DES SYSTÈMES AUTO-GRAVITANTS

La motivation principale pour la recherche théorique du groupe est le problème de la formation des grandes structures de l'Univers. Le défi est de rendre compte systématiquement des observations pertinentes (distribution des galaxies, lentillage faible, CMB etc.) dans le cadre de la cosmologie standard (« Lambda CDM ») ou de ses variantes, et notamment dans le régime « non-linéaire ». L'essentiel de la recherche du groupe porte sur des questions fondamentales théoriques dans ce contexte, et il s'attache notamment à

comprendre la dynamique non-linéaire de la matière purement gravitante et non-relativiste, approximation valable pour une grande partie de l'évolution de l'univers dans le modèle standard. Depuis 2015, plusieurs projets assez différents ont mené à deux résultats particulièrement intéressants : d'un côté l'étude de systèmes gravitants évoluant à partir de conditions initiales « froides » a permis de mieux comprendre les mécanismes de brisure de symétrie rotationnelle dans la relaxation de ces systèmes ; d'un

autre côté, l'étude de modèles simplifiés à une dimension a montré le rôle prédominant qui peut être joué par des perturbations non-gravitationnelles, et notamment dissipatives, même quand celles-ci paraissent faibles.

Chercheur : M. Joyce

PUBLICATIONS, COMMUNICATIONS

Publications

La liste des publications du LPNHE de janvier 2015 à juin 2017 est disponible sur le site internet du laboratoire à l'adresse <http://lpnhe.in2p3.fr/spip.php?article1237>.

Communications à des conférences

Imen Al Samarai

- « Indications of anisotropy at large scales in the arrival directions of CRs detected at the Pierre Auger Observatory », ICRC 2015, La Hague, Pays-Bas, juillet 2015
- « An Additional Component Blurring the Transition between Galactic and Extragalactic Cosmic Rays? », ICRC 2015, La Hague, Pays-Bas, juillet 2015
- « Intensity of Microwave Signals Expected from Molecular Bremsstrahlung Radiation in Extensive Air Showers », ICRC 2015, La Hague, Pays-Bas, juillet 2015

Pierre Antilogus

- « LSST : Strategie for Transients », SVOM workshop, Les Houches, France, avril 2016
- « LSST », ESO in the 2020s, Munich, Allemagne, janvier 2015

Pierre Astier

- « Cosmology with supernovae in LSST », LSST@Europe2, Belgrade, Serbie, juin 2016

Eli Ben-Haim

- « Rare radiative and semileptonic $b \rightarrow sll$ decays at BABAR », 9th International Workshop on the CKM Unitarity Triangle, Mumbai, Inde, novembre 2016
- « Latest Results from B Factories », Rencontres de Moriond - EW Interactions and Unified Theories, La Thuile, Italie, mars 2015

Maurice Benayoun

- « VMD/HLS Approach to the muon $[g-2]$: A solution to the tau-e+e- puzzle », Photon2015, Novosibirsk, Russie, juin 2015
- « VMD/HLS Approach to the muon $[g-2]$: A solution to the tau-e+e- puzzle », Flavor changing and conserving processes FCCP2015, Anacapri, Italie, septembre 2015
- « HLS improved data input for LQCD evaluations of $[g-2]_{\mu}$ », 4^e Workshop on $[g-2]_{\mu}$, EDM and Flavor Violation in the LHC Era, Marseille, France, mai 2016
- « Review of Hadron vacuum polarisation from e+e- \rightarrow hadrons », GDR QCD « Light and Shadow among QCD and QED », Montpellier, France, novembre 2016

Gregorio Bernardi

- Precision Measurements of Electroweak Parameters with Z Bosons at the Tevatron ($\sin^2\theta_{\text{lep}^i}$, $\sin^2\theta_{\text{w}}$, M_W), Conférence de Blois-2016, France, juin 2016

- Direct and Indirect Top and W mass measurements, and constraints on the Higgs from the Tevatron, Higgs couplings conference, SLAC, USA, novembre 2016
- Recent results on Top Physics from $D\bar{0}$ & Recent Tevatron Combinations, LHC Physics conference, Shanghai, Chine, mai 2017

Marc Betoule

- « Précision des distances luminosité aux SNe Ia », LSST-France, Montpellier, France, avril 2015
- « StarDICE », LSST-France, Paris, France, décembre 2015
- « High-precision calibration: A challenge to probe the geometry of the background », Euclid ESAC calibration, Madrid, Espagne, septembre 2016
- « Traitement de données d'imagerie sur 2 architectures disques différentes au centre de calcul », LSST-France, Paris, France, mars 2017

Pierre Billoir

- « Fast and precise calculation of trajectories through a magnetic field », CTD/WID 2017, Orsay, France, mars 2017

Marco Bomben

- « TCAD simulations of LGAD devices using Silvaco software », 11th Trento Workshop, Paris, France, mars 2016

Giovanni Calderini

- « Performance of Edgeless Silicon Pixel Sensors on p-type substrate for the ATLAS High-Luminosity Upgrade », « Hiroshima » Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD), Xian, Chine, septembre 2015

Raphaël Chalmé-Calvet

- « Exploiting the time of arrival of Cherenkov photons at the 28m H.E.S.S. telescope for background rejection: Methods and Performance », ICRC 2015, La Hague, Pays-Bas, août 2015

Matthew Charles

- « Status and recent highlights from LHCb », LHCP 2016, Lund, Suede, juin 2016

Jacques Chauveau

- « Search for hidden sector at BABAR », Colloquium on Status of Hidden Sector searches by current experiments worldwide, CERN, octobre 2015
- « SHiP : Direct Search for Hidden Particles at the CERN SPS », Current Trends in Flavor Physics, Paris, France, mars 2017
- « Direct Searches of New Physics Particles with BABAR », WIN 2015, Heidelberg, Allemagne, juin 2015

- « Search for Dark Photons at BB colliders », Pierre Fayet's fest, Paris, France, décembre 2016

Mathieu Chrétien

- « Constraining photon dispersion relations from observations of the Vela pulsar with H.E.S.S. », ICRC 2015, La Hague, Pays-Bas, juillet 2015

Samuel Coquereau

- « Electroweak penguins at LHCb », EPS-HEP 2015, Vienne, Autriche, juillet 2015

Francesco Crescioli

- « FTK AMchip05 : an Associative Memory Chip Prototype for Track Reconstruction at Hadron Collider Experiments », EPS-HEP 2015, Vienne, Autriche, juillet 2015

Frédéric Derue

- « Latest measurements on top properties in ATLAS, excluding single top », 10th International Workshop on Top Quark Physics Top 2017, Braga, Portugal, septembre 2017

Audrey Ducourthial

- « Performance of Edgeless Silicon Pixel Sensors on p-type substrate for the ATLAS High-Luminosity Upgrade », 11th Trento Workshop, Paris, France, mars 2016

Paolo Francavilla

- « ATLAS+CMS Higgs run 1 Combinations », Higgs Hunting, Orsay, France, août 2016

Romain Gaior

- « DAMIC experiment at SNOLAB », Moriond, La Thuile, Italie, mars 2017
- « Recent results and developments of EASIER », Moriond VHEPU 2017, La Thuile, Italie, mars 2017

Piera Ghia

- « Highlights from the Pierre Auger Observatory », ICRC 2015, La Hague, Pays-Bas, août 2015
- « An experimental review of ultra-high energy cosmic rays », Vulcano Workshop 2016, Vulcano, Italie, mai 2016

Hector Gil Marin

- « Constraining cosmological parameters using BOSS data: Power Spectrum and Bispectrum », Moriond Cosmologie, La Thuile, Italie, mars 2016
- « Constraining cosmological parameters using BOSS data: Power Spectrum and Bispectrum », Meeting on Fundamental Cosmology, Barcelone, Espagne, juin 2016

ET RESPONSABILITÉS

- « Constraining cosmological parameters using BOSS data: Power Spectrum and Bispectrum », BAO & RSD workshop, Sesto, Italie, juillet 2016

Vladimir Gligoric

- « Summary of CKM 2016 Working Group 4: mixing and mixing-related CP violation in the B system », CKM 2016, Mumbai, Inde, novembre 2016
- « LHE Masterclasses, bringing particle physics into the classroom: present and future (CINCO) », LHCP 2016, Lund, Suède, juin 2016

Julien Guy

- « The Dark Energy Spectroscopic Instrument », Moriond Cosmologie, La Thuile, Italie, mars 2016

Louis Henry

- « Dalitz analysis of charmless b-hadron decays at LHCb », ICHEP 2016, Chicago, USA, août 2016

Michael Joyce

- « Quasi-stationary states in particle systems with power law interactions », FISMAT, Palerme, Italie, septembre 2015
- « Dynamics of weakly perturbed 1D self-gravitating systems », Secular evolution of self-gravitating systems over cosmic age, Paris, France, mai 2016
- « Cosmological Structure Formation (review talks) », Long-range interacting many-body systems: from atomic to astrophysical scales, Trieste, Italie, juillet 2016

Frederic Kapusta

- « Two Photon Physics in France : a tribute to Paul Kessler », Photon 2015, Novosibirsk, Russie, juin 2015

Frederic Kapusta

- « Two Photon Physics from LEP », Photon 2015, Novosibirsk, Russie, juin 2015
- « g-2/EDM@J-PARC », 4th Workshop on Muon g-2 and EDM in the LHC Era, Marseille, France, mai 2016

Witek Krasny

- « The Gamma Factory initiative », Physics Beyond Colliders Kickoff meetings, CERN, septembre 2016
- « The Gamma Factory as a polarized lepton source », 2016 POSIPOL workshop, Orsay, France, septembre 2016
- « The HIGS proposal and its highlights », Epiphany Conference on Future High Energy Colliders, Cracovie, Pologne, janvier 2015

Bertrand Laforge

- « Determination of the Higgs boson properties with the ATLAS detector », ICHEP 2016, Chicago, USA, août 2016

- « Overview of Higgs boson measurement and searches with ATLAS », HEP-MAD15, Montpellier, France, septembre 2015

Laurent Le Guillou

- « DESI Spectrograph: Throughput Measurement », DESI France, Saclay, France, novembre 2016
- « DESI Spectrograph: in-situ Calibration System », DESI France, Saclay, France, novembre 2016

Benoît Loiseau

- « Constrained amplitude analysis of some three-body hadronic D decay data », Multibody decays of B and D mesons, Rio de Janeiro, Brazil, juillet 2015
- « Theory overview on amplitude analyses with charm decays », CHARM 2016, Bologne, Italie, septembre 2016

Alvaro Lopez

- « Searches with the ATLAS detector for the Higgs boson produced in association with missing transverse momentum », Higgs coupling 2016, SLAC, USA, novembre 2016

Bogdan Malaescu

- « Scale choices, uncertainties and correlations for jet observables », Taming Unphysical Scales for Physical Predictions, Cambridge, UK, mars 2017
- « Hadronic contribution to (g-2)_{mu} from e+e- annihilations », First Workshop of the Muon g-2 Theory Initiative, Fermilab, USA, juin 2017
- Bogdan Malaescu, « Recent highlights of hard QCD with W and Z bosons, jets and photons by ATLAS », LHC Days, Split, Croatie, septembre 2016
- « alpha_s extractions from ATLAS (EXP status & plans) », Workshop on high-precision alpha_s measurements : from LHC to FCC-ee, CERN, octobre 2015

Stefano Manzoni

- « Electron and Photon energy measurement calibration with the ATLAS detector (poster) », ICHEP 2016, Chicago, USA, août 2016

Giovanni Marchiori

- « Search for a high mass Z-photon resonance using the ATLAS detector », ICHEP 2016, Chicago, USA, août 2016
- « Higgs Physics in ATLAS », CORFU 2015, Corfou, Grèce, septembre 2015
- « Experimental projections for rare Higgs decays », Workshop on the Physics at the High Luminosity LHC, CERN, mai 2015

- « Towards the LHC Run2 », 8th workshop of the France-Chine Particle Physics Laboratory, Hefei, Chine, avril 2015
- « Probing the Standard Model with B-meson decays at BABAR », PASCOS 2015, the 21st International Symposium on Particle, Strings and Cosmology, Trieste, Italie, juin 2015

Olivier Martineau

- « Proposal for a giant radio array for neutrino detection », ARENA 2016, Groningen, Pays-Bas, juin 2016
- « The GRAND proposal », Moriond 2017, Columbus, USA, mars 2017
- « Proposal for a giant radio array for neutrino detection », VLVnT 2015, Rome, Italie, septembre 2015
- « Proposal for a giant radio array for neutrino detection », ICRC 2015, La Haye, Pays-Bas, juillet 2015

José Ocariz

- « Higgs Physics at the LHC », Latin-American Conference on High Energy Physics : Particles and Strings II, La Havane, Cuba, juillet 2016
- « Experimental Review of Higgs Physics », Gordon Research Conference, Prospects of Particle Physics at the 13TeV Large Hadron Collider, Hong Kong, Chine, juin 2015

Carlo Pandini

- « Search for A to Zh(bb) in ATLAS at 13 TeV », Rencontres de Moriond, EW Interactions and Unified Theories, La Thuile, Aoste, Italie, mars 2016
- « A Fast hardware Tracker for the ATLAS Trigger system (poster) », 13th Pisa Meeting on Advanced Detectors, Ile d'Elbe, Italie, mai 2015

Matej Pavin

- « The NA61/SHINE Hadron Production Measurements for the T2K Experiment », Moriond QCD, La Thuile, Italie, mars 2016

Sylvestre Pires

- « Standard techniques of measurement of the top quark mass (ATLAS & CMS) », Top LHC France, Lyon, France, mai 2015

Francesco Polci

- « Hints for new phenomena in rare and forbidden decays », IPA 2016, Orsay, France, septembre 2016
- « b → sll and radiative decays at LHCb », CKM 2016, Mumbai, Inde, novembre 2016

- « Lepton flavor universality tests », LHCP 2017, Shanghai, Chine, mai 2017
- « Overview of lepton flavor violating decays at LHCb », Novel aspects of $b \rightarrow sll$ transitions, Marseille, France, octobre 2015

Boris Popov

- « Recent results from T2K », PLANCK 2016, Valence, Espagne, mai 2016

Nicolas Regnault

- « Energie noire & Formation des structures », Journées PNCG, Orsay, France, décembre 2016
- « MegaCam halo Modeling », Next Generation Virgo Cluster Survey (NGVS) collaboration meeting, Paris, France, septembre 2015

Matthieu Roman

- « Science with the Planck SZ 2015 cluster sample », 14th Marcel Grossmann meeting, Rome, Italie, juillet 2015
- « Local environment of SNLS5 type Ia supernovae », Moriond Cosmologie, La Thuile, Italie, mars 2016
- « Local environment of SNLS5 type Ia supernovae », LSST-DESC meeting, Oxford, UK, juillet 2016
- « Local environment of SNLS5 type Ia supernovae », Preparing for Supernova Science in the LSST era: a kick-off Workshop, Pittsburgh, USA, novembre 2016
- « Local environment of SNLS5 type Ia supernovae », Supernovae: the LSST revolution, Evanston, USA, mai 2017

Lydia Roos

- « Higgs boson studies in ATLAS », Second Iran & Turkey Joint Conference on LHC Physics, Teheran, Iran, octobre 2017
- « Higgs properties and measurement (including BSMH) », Kruger 2016, Kruger Park, Afrique du Sud, décembre 2016

Mariangela Settimo

- « Cosmic particles », ICHEP 2016, Chicago, USA, août 2016
- « Review on the detection of ultra-high energy cosmic rays », ECRS 2016, Turin, Italie, septembre 2016
- « Measurement of the mass composition with the Pierre Auger Observatory », TAUP 2015, Turin, Italie, septembre 2015

Sophie Trincaz-Duvoid

- « Top quark pair production measurements using the ATLAS detector at the LHC », QCD 2015, Montpellier, France, juin 2015

Dimitris Varouchas

- « Jet calibration overview in ATLAS », Top LHC France, Lyon, France, mai 2016
- « ATLAS - LHC Run 2 jet performance », Boost 2015, University of Chicago, USA, août 2015
- « Experimental reinterpretation and differential measurements (ATLAS & CMS) », Top LHC France, Lyon, France, mai 2015

Yee Yap

- « Search for high mass resonances through 2 gamma channel in ATLAS », LHC Days, Split, Croatie, septembre 2016

Séminaires

Pierre Antilogus

- « LSST », IAP, Paris, 3 mars 2017
- « LSST », Collège de France, Paris, 6 février 2017
- « LSST: toward a new window on the dark universe », IPHC, Strasbourg, 27 mars 2015

Pierre Astier

- « Réduction des données SNLS au CC IN2P3 », Centre de Calcul, Lyon, 30 janvier 2015
- « Énergie Noire: Supernovae et cisaillement gravitationnel », Collège de France, Paris, 28 novembre 2016

Marc Betoule

- « Réduction des données SNLS au CC IN2P3 », Centre de Calcul, Lyon, 30 janvier 2015

Marco Bomben

- « TCAD - simulation and the implementation of radiation damage in silicon detectors, Refresher Course, 2016 IEEE NSS/MIC/RTSD Symposium », Strasbourg, France, novembre 2016

Matteo Cerruti

- « Photons, neutrinos, and cosmic rays from quasars, a how-to guide on blazar hadronic models », LUTH, Meudon, 10 novembre 2016
- « Photons, neutrinos, and cosmic rays from quasars, a how-to guide on blazar hadronic models », IPAG, Grenoble, 2 décembre 2016
- « The TeV extragalactic sky », IRAP, Toulouse, 2 mars 2017

Sandro De Cecco

- « Le projet DarkSide », LUPM, Montpellier, juin 2015

Piera Ghia

- « Ultra-high energy cosmic-ray astronomy: where do we stand after 10 years of data of the Pierre Auger Observatory? », Bartol Research Institute, University of Delaware, USA, mai 2015
- « Highlights on ultra-high energy cosmic rays from the Pierre Auger Observatory' after 10 years of operation and 25 years from the conception », CEA, Saclay, octobre 2015

Claudio Giganti

- « Le projet DarkSide », LLR, Palaiseau, avril 2015
- « Past, present and future of neutrino oscillations in Japan », LPSC, Grenoble, 22 juin 2016

Hector Gil Marin

- « Nonlinear evolution of the LSS of the Universe », IAP, Paris, mai 2016
- « Cosmological constraints from the BOSS survey », IAP, Paris, 11 février 2016
- « Constraining cosmological parameters using BOSS data: Power Spectrum and Bispectrum », IAP, Paris, 22 septembre 2016
- « Constraining cosmological parameters using BOSS data: Power Spectrum and Bispectrum », ITP, Université d'Heidelberg, Allemagne, 23 novembre 2016

Vladimir Gligorov

- « Real-time precision searches for New Physics », Josef Stefan Institute, Ljubljana, 3 avril 2017
- « Real-time precision searches for New Physics », University of Manchester, UK, 8 avril 2016
- « Real-time precision searches for New Physics », INFN Florence, Italie, 18 juillet 2016
- « Real-time precision searches for New Physics », University of Cincinnati, USA, 19 janvier 2017

Julien Guy

- « The Dark Energy Spectroscopic Instrument », LPSC, Paris, 29 novembre 2016

Michael Joyce

- « Quasi-stationary states in particle systems with power law interactions », Département de Physique, Université de Rome 1, « la Sapienza », Italie, avril 2015
- « Quasi-stationary states in particle systems with power law interactions », Département de Physique, ENS de Lyon, juin 2015
- « Non-linear structure formation in scale-free cosmological models », Université de Helsinki, Finlande, novembre 2015
- « Non-linear structure formation in scale-free cosmological models », IAS, Orsay, janvier 2016
- « The physics of long-range interacting systems », Nanyang Institute of Technology, décembre 2015
- « The physics of long-range interacting systems », Mahidol University, Bangkok, Thailand, décembre 2015

Frederic Kapusta

- « Recherche de nouvelle physique avec des muons: COMET à J-PARC », IPNL, Lyon, 10 février 2017
- « Recherche de violation de saveur leptonique avec des muons : COMET à J-PARC », LPC, Caen, 28 février 2017

Witek Krasny

- « Higgs revisited », Université Jagellonian, Cracovie, Pologne, 25 avril 2016
- « Acceleration, storage and physics opportunities of partially stripped ions at CERN », Université de Mainz, Allemagne, 10 février 2016
- « QED radiative corrections and their impact on $H \rightarrow \tau\tau$ background at the LHC », LPNHE, Paris, 22 janvier 2016
- « The HIGS proposal and its highlights », DES, Hambourg, Allemagne, mai 2015
- « The HIGS proposal and its highlights », Berlin, Allemagne, mai 2015
- « The HIGS proposal and its highlights », CERN, mars 2015

Bertrand Laforge

- « La découverte du boson de Higgs et l'étude de ses propriétés », ENS Cachan, Paris, novembre 2015

Laurent Le Guillou

- « DESI Spectrograph: Throughput Measurement », IAP, Paris, 17 novembre 2016

- « DESI Spectrograph: in-situ Calibration System », CEA/IRFU, Saclay, 18 novembre 2016

Olivier Martineau

- « Proposal for a giant radio array for neutrino detection », Chicago University, USA, 15 décembre 2015
- « Proposal for a giant radio array for neutrino detection », Karlsruhe Institute for Technology, Allemagne, 4 avril 2016
- « Proposal for a giant radio array for neutrino detection », Radboud University, Pays-Bas, 12 avril 2016
- « Proposal for a giant radio array for neutrino detection », Observatoire de Paris, Meudon, 10 juin 2016
- « Proposal for a giant radio array for neutrino detection », XinJiang University, Urumqi, Chine, 14 décembre 2016

José Ocariz

- « Higgs boson physics at the LHC », Centrol virtual de altos estudios de altas energias, Venezuela, janvier 2015

Francesco Polci

- « Etat de l'art en physique du b », LPSC, Grenoble, 16 juin 2015

Matthieu Roman

- « Local environment of SNLS 5 years Type la supernovae », Institutt for teoretisk astrofysikk, Oslo, Norvège, décembre 2015

Matthieu Roman

- « Local environment of SNLS 5 years Type la supernovae », CPPM, Marseille, mars 2016
- « Local environment of SNLS 5 years Type la supernovae », LPC, Clermont Ferrand, juillet 2016
- « Local environment of SNLS 5 years Type la supernovae », Université d'Utah, Salt Lake City, USA, novembre 2016

Lydia Roos

- « Higgs studies and related searches in ATLAS », CoEPP, Université d'Adélaïde, Australie, 21 juin 2017

Mariangela Settimo

- « Results of the Pierre Auger Observatory after 10 years of operation », APC, Paris, février 2016

Jean-Paul Tavernet

- « The sky through the H.E.S.S. eyes: a ground-based gamma-ray astronomy experiment », University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 24 mars 2017

Interventions dans les écoles thématiques

Pierre Astier

- « Point Source Astrometry, Getting ready to do science with LSST data », Lyon, juin 2017
- « Joint Astrometry, Getting ready to do science with LSST data », Lyon, juin 2017

Marc Betoule

- « Cosmology with type Ia Supernovae », ISAPP 2015, Paris, juin 2015

- « Cosmology with type Ia Supernovae, Cosmology after Planck: What is next », Les Houches, avril 2016

Marco Bomben

- « Silicon detectors », Cinquième école de l'International Doctorate Network in Particle Physics, Astrophysics and Cosmology (IDPASC), Paris, février 2015

Matthew Charles

- « Experimental flavour physics », International Doctorate Network in Particle Physics, Astrophysics and Cosmology (IDPASC), Paris, février 2015

Romain Gaior

- DAMIC, Journée Matière Noire IN2P3, Paris, septembre 2016

Piera Ghia

- « Ultra-high Energy Cosmic Rays », International School of Cosmic-Ray Astrophysics Maurice Shapiro, Erice, Italie, août 2016

Claudio Giganti

- DARKSIDE, Journée Matière Noire IN2P3, Paris, décembre 2016

Vladimir Gligorov

- « Analysis from detector to publication », CERN-Fermilab 2017 summer school, CERN, septembre 2017

Lydia Roos

- « High Energy Physics Experimental Class : Higgs at LHC », Cinquième école de l'International Doctorate Network in Particle Physics, Astrophysics and Cosmology (IDPASC), Paris, février 2015

Organisation de conférences et d'écoles thématiques

Pierre Astier

- membre du comité scientifique, Moriond Cosmologie, La Thuile, Italie, mars 2016

Eli Ben-Haim

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité scientifique, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Gregorio Bernardi

- membre du comité d'organisation, Higgs hunting 2017, Orsay, Paris, juillet 2017
- membre du comité d'organisation, Higgs hunting 2016, LPNHE, août 2016
- membre du comité d'organisation, Higgs hunting 2015, Orsay, juillet 2015
- Chair du comité d'organisation, LHCP-2015 Conference, St-Petersbourg, Russie, juin 2015
- Chair du comité d'organisation, LHCP-2016 Conference, Lund, Suède, mai 2016

- Chair du comité d'experts internationaux, LHCP-2017 Conference, Shanghai, Chine, mai 2017

Emilie Bertholet

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Pierre Billoir

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Marco Bomben

- membre du comité scientifique, 11th « Trento » Workshop on Advanced Silicon Radiation Detectors, Paris, février 2016
- membre du comité scientifique et d'organisation, Ecole thématique internationale Sim-Détecteurs, LPNHE, septembre 2016

Giovanni Calderini

- membre du comité scientifique, Ecole « Trans-European School of High Energy Physics », Cerklje na Gorenjskem, Slovenie, juillet 2017
- membre du comité scientifique, Ecole « Trans-European School of High Energy Physics », Yaremche, Ukraine, juillet 2016
- membre du comité scientifique, Ecole « Trans-European School of High Energy Physics », Morsko, Pologne, juillet 2015
- membre du comité scientifique, 11th « Trento » Workshop on Advanced Silicon Radiation Detectors, Paris, février 2017
- organisateur et président du comité scientifique, CNRS School of Simulation of Silicon Detectors SIM-détecteurs, Paris, 2016
- responsable de la session « Radiation Damage Effects », IEEE NSS-MIC Conference, San Diego, USA, 2015
- membre du comité scientifique et d'organisation, Ecole thématique internationale Sim-Détecteurs, LPNHE, septembre 2016

Matthew Charles

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Samuel Coquereau

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Luigi Del Buono

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Frédéric Derue

- co-chair du comité d'organisation du workshop, Dissecting the LHC results, LPNHE, avril 2017

Jacques Dumarchez

- organisateur, Moriond EW, La Thuile, Italie, mars 2015, 2016 et 2017
- organisateur, Moriond QCD, La Thuile, Italie, mars 2015, 2016 et 2017
- organisateur, Rencontres de Blois, Blois, juin 2015, mai 2016 et 2017
- chair de la conférence, Moriond 2015 Gravitation, La Thuile, Italie, mars 2015
- chair de la conférence, Vietnam 2015 Cosmology, Quy Nhon, Vietnam, août 2015
- chair de la conférence, Moriond 2016 Cosmology, La Thuile, Italie, mars 2016
- organisateur, Vietnam 2015 Nufact, Quy Nhon, Vietnam, août 2016
- chair de la conférence, Moriond 2017 VHEPU, La Thuile, Italie, mars 2017
- chair de la conférence, Moriond 2017 Gravitation, La Thuile, Italie, mars 2017

Piera Ghia

- membre du comité scientifique, ICRC 2015, La Hague, Pays-Bas, juillet 2015

Vladimir Gligorov

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité scientifique, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16
- membre du comité scientifique et d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Julien Guy

- responsable de la session de cosmologie, EPS HEP2017, Venise, Italie, juillet 2017

Louis Henry

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Agnieszka Jacholkowska

- membre du comité d'organisation des conférences COSPAR, section « Astroparticules », 2006-2016

Michael Joyce

- membre du comité d'organisation, École de GIF, Strasbourg, septembre 2015
- membre du comité d'organisation, École de GIF, Aussois, septembre 2016

Frédéric Kapusta

- membre du comité d'experts internationaux, Photon 2015, Novosibirsk, Russie, juin 2015
- co-organisateur, 4th Workshop on muon g-2 and LFV in the LHC Era, Marseille, mai 2016
- membre du comité d'experts internationaux, Photon 2017, CERN, juin 2017

Bertrand Laforge

- co-chair du comité d'organisation du workshop, Dissecting the LHC results, LPNHE, avril 2017
- coordinateur national du réseau IDPASC et co-organisateur de l'école doctorale IDPASC 2015, IDPASC 2015, LPNHE, APC, février 2015

Jean-Philippe Lenain

- membre du comité scientifique et d'organisation, Journées France Grilles et Groupe Calcul SUCCES 2015 (Rencontres Scientifiques des Utilisateurs de Calcul intensif, de Cloud Et de Stockage), Paris, novembre 2015
- membre du comité scientifique, Workshop MACROS 2016 (Multi-messenger Approaches to Cosmic Rays: Origins and Space frontiers), Penn State University, USA, juin 2016

Giovanni Marchiori

- membre du comité scientifique et d'organisation, Ecole thématique internationale Sim-Détecteurs, LPNHE, septembre 2016
- membre du comité scientifique, Ecole thématique « XIII Seminar on Software for Nuclear, Subnuclear and Applied Physics », Alghero, Italie, juin 2016
- membre du comité scientifique, Ecole « XIII Seminar on Software for Nuclear, Subnuclear and Applied Physics », Alghero, Italie, juin 2017

Olivier Martineau

- organisateur et chair du comité scientifique, France China Particle Physics Laboratory colloquium, USTC, Heifei, Chine, avril 2015
- organisateur et chair du comité scientifique, France China Particle Physics Laboratory colloquium, IPHC, Strasbourg, mars 2016
- organisateur et chair du comité scientifique, France China Particle Physics Laboratory colloquium, Tsinghua University, Pékin, Chine, avril 2017

Diego Milanés

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Andrea Mogini

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16

- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

José Ocariz

- co-organisateur de l'école doctorale IDPASC 2015, LPNHE, APC, février 2015

Francesco Polci

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16
- membre du comité scientifique et d'organisation, SciFi Electronics workshop, LPNHE, 26/04/17
- membre du comité scientifique et d'organisation, Current trends in flavor physics, workshop, IHP, mars 2017

Arnaud Robert

- membre du comité d'organisation, 11th Franco-Italian meeting on B physics, LPNHE, 11/04/16
- membre du comité d'organisation, 6th LHCb computing workshop, LPNHE, 16/11/15
- membre du comité d'organisation, 8th LHCb computing workshop, LPNHE, 14/11/16

Mariangela Settimo

- membre du comité d'experts internationaux, conférence PHOTON, depuis août 2015

Responsabilités dans les instances scientifiques et techniques**Imen Al Samarai**

- coordinatrice de la tâche GHz dans la collaboration Pierre Auger, 2013-2016

Pierre Antilogus

- responsable IN2P3 LSST, 2009-2016
- membre du Board DESC-LSST, 2014-2016
- responsable Scientifique pour la contribution de l'IN2P3 au plan focal de LSST, depuis 2007
- responsable Scientifique pour la contribution de l'IN2P3 au changeur de filtre de LSST, depuis 2017
- panel member for the ESO Observing Programmes Committee, 2015-2016

Pierre Astier

- membre du Conseil Scientifique de l'IPNL, 2015-2017

Christophe Balland

- membre du comité de pilotage du DIM-ACAV de la région Ile-de-France, 2015
- expert projets SESAME, Région Ile-de-France, 2014
- coordinateur de la classification spectroscopique et de la mesure des redshifts des galaxies du projet DESI, depuis 2015
- responsable de la production du code de mesure des redshifts du pipeline spectroscopique de DESI, depuis 2015

- membre de la commission d'interclassement régional des propositions d'avancement des ITA BAP C - DR02, 2015
- responsable de l'organisation des stages de L3 et de M1 au LPNHE, 2014-2016
- responsable du comité web du LPNHE, 2014-2016
- directeur adjoint du LPNHE, 01/2014-10/2015
- directeur par interim du LPNHE, de janvier à juillet 2015
- membre du Conseil Scientifique du LPNHE, 2014-2015
- membre du Conseil de Laboratoire du LPNHE, 2014-2015
- membre du Comité Local d'Hygiène et Sécurité et des Conditions de Travail (CLHSCT) du LPNHE, 2014-2015
- correspondant Formation du laboratoire, 2013-2017
- coordination de la spectroscopie du SNLS pour l'analyse cosmologique 5 ans, 2013-2016
- membre élu du Conseil d'UFR de Physique à l'UPMC, 2017

Julien Bolmont

- directeur adjoint du LPNHE, depuis octobre 2015
- Personne Compétente en Radioprotection (PCR) du LPNHE, depuis 2016
- responsable de l'organisation des stages de L3 et de M1 au LPNHE, depuis 2016
- membre du comité web du LPNHE, depuis 2016
- membre du Conseil Scientifique du LPNHE, depuis 2015
- membre du Conseil de Laboratoire du LPNHE, depuis 2015
- membre du Comité Local d'Hygiène et Sécurité et des Conditions de Travail (CLHSCT) du LPNHE, depuis 2015
- responsable de la maintenance des caméras H.E.S.S., 2009-2016
- referee pour Astroparticle Physics, 2014

Eli Ben-Haïm

- coordinateur du groupe de travail "b-hadrons decays with no charm" de l'expérience LHCb, 2017
- coordinateur du groupe « Rare Decays » de « Heavy Flavour Averaging Group » (HFLAV), 2013-2017
- membre élu du Conseil Scientifique du LPNHE, 2008-2017
- coordinateur du collège B du comité d'experts de la section CNU 29 au LPNHE, 2010-2015
- coordinateur du groupe de travail « Charmless Hadronic B decays » de l'expérience BABAR, 2009-2017

Gregorio Bernardi

- directeur du LPNHE, depuis juillet 2015

Marco Bomben

- coordinateur des tests en faisceaux pour ATLAS Upgrade Pixel Sensor R&D, depuis 2014
- co-coordinateur du pixel offline radiation damage sub-working group, depuis 2017
- co-responsable des réunions du vendredi, 2015-2017

- referee pour « IEEE Transactions On Nuclear Science », 2015 et 2016
- referee pour NIM A, 2017
- coordinateur du « Speakers Bureau » de BABAR, 2012-2017

Giovanni Calderini

- membre de l'Institute Board - Pixels ATLAS, depuis 2008
- responsable du projet ANR FastTrack (FTK), 2013-2017
- responsable Itk France, depuis 2016
- membre élu du conseil scientifique du LPNHE, jusqu'en 2017
- président du Advanced European Infrastructure for Accelerators and Detectors (AIDA-2020), depuis 2017
- coordinateur de la tâche « Task Micro-Channel Cooling (WP9) » dans AIDA-2020, depuis 2015
- referee pour Nucl. Instrum. Meth and Trans. Nucl. Sci. (IEEE), ANR, Italian Ministry of University and Research, Quebec Administration of Research, depuis 2005

Matteo Cerruti

- co-coordinateur du groupe de travail "Extragalactique" de la collaboration H.E.S.S., depuis 2016

Matthew Charles

- membre du conseil de Rédaction (Editorial Board) de LHCb, 2015-2017
- responsable du « Early Career, Gender and Diversity Office » de LHCb, depuis 2016
- organisateur des séminaires du LPNHE, 2015-2016
- membre élu du Conseil Scientifique du LPNHE, 2017

Jacques Chauveau

- membre du « Executive Board » de BABAR, 2015-2017

Wilfrid da Silva

- membre du Conseil Scientifique de l'IN2P3, depuis 2011
- membre du CB de COMET, depuis 2012

Sandro De Cecco

- L3 manager - DarkSide20k Cryostat, depuis 2015

Frédéric Derue

- co-responsable du groupe Top Fake lepton, 2013-2015
- responsable du projet GRIF-UPMC de grille de calcul au LPNHE, depuis 2005
- chargé de mission pour les projets européens, depuis 2016
- membre du comité de pilotage BigData de l'UPMC, 2015-2016

Giulio Dujany

- liaison entre les groupes de travail « rare decays » et « stripping » de LHCb, 2017

Paolo Francavilla

- contact « énergie transverse manquante » pour le groupe « Higgs » dans ATLAS, 2014-2016

- co-responsable du groupe HSG5 (HDbb) d'ATLAS, 2014-2015

Romain Gaior

- coordinateur de la tâche GHz dans la collaboration Pierre Auger, 2016-2017

Piera Ghia

- membre du comité de sélection pour les Tenure tracks fellowships Ramon y Cajal, 2016
- membre du conseil scientifique du LPNHE, 2015-2016
- coordinatrice de la tâche physique dans la Collaboration Pierre Auger, 2015-2016

Claudio Giganti

- L3 manager - DarkSide20K Montecarlo Simulation, depuis 2016
- coordinateur du T2K Oscillation Analysis working group, 2015-2017

Hector Gil Marin

- co-responsable du groupe de travail « eBOSS Galaxy & QSO clustering cosmology », 2017

Vladimir Gligorov

- Deputy Physics Coordinator de LHCb, depuis janvier 2016
- membre élu du Conseil d'UFR de Physique à l'UPMC, 2017

Julien Guy

- responsable du DESI spectroscopic pipeline, 2015-2017

Delphine Hardin

- membre de la section 01 du comité national CNRS, 2012-2016

Louis Henry

- liaison entre les groupes de travail « b-hadrons decays with no charm » et « Simulation » de LHCb, 2014-2016

Frédéric Kapusta

- membre du Conseil Scientifique de l'IN2P3, depuis 2015
- responsable COMET-France, depuis 2014

Bertrand Laforge

- chargé de mission pour les liens avec le LABEX Institut Lagrange de Paris (ILP), depuis 2011
- membre du conseil scientifique du LABEX Institut Lagrange de Paris (ILP) : responsable du volet enseignement, depuis 2011
- responsable de la qualité des données pour le groupe e/gamma d'ATLAS, depuis 2017
- co-responsable du groupe Combined Calo monitoring d'ATLAS, depuis 2017
- animation des activités du groupe ATLAS H/gamma du LPNHE, depuis 2016
- corresponsable d'analyse pour le sous-groupe Dark Matter + Higgs (diphoton) d'ATLAS, depuis 2016
- animation de l'activité recherche de matière noire dans le groupe ATLAS du LPNHE, depuis 2013

Sandrine Laplace

- co-responsable du groupe e-gamma d'ATLAS, depuis 2016

- co-responsable du forum sur l'Isolation, 2014-2016
- co-coordonateur du groupe Higgs dans le GDR terascale, depuis 2013

Laurent Le Guillou

- membre du Conseil Scientifique du LPNHE, depuis 2017

Jean-Philippe Lenain,

- coordinateur du groupe de travail « Extragalactique » de la collaboration H.E.S.S., 2014-2016

Bogdan Malaescu

- représentant d'ATLAS dans le « Steering group » du projet HERAFitter, depuis 2012
- contact entre le groupe Modèle Standard et le groupe de statistique dans ATLAS, depuis 2011
- co-responsable du forum de statistique dans ATLAS, 2014-2016
- représentant du LPNHE dans le groupe de travail « Physique Atlas France », 2014-2016
- co-responsable du sous-groupe « Jet and photon physics », partie du groupe « Standard Model » dans ATLAS, 2014-2015
- referee pour JINST, NIM A, EPJ C, PRD, depuis 2012

Giovanni Marchiori

- co-responsable du groupe Higgs→diphoton et Zgamma dans ATLAS, depuis 2016
- responsable des xAOD dans egamma dans ATLAS, depuis 2014
- co-responsable du groupe egamma-photon ID dans ATLAS, 2014-2016
- membre élu du conseil du laboratoire du LPNHE, depuis 2014
- referee pour APS (Phys. Rev. D, Phys. Rev. Lett.), depuis 2006

Olivier Martineau

- directeur du LIA France China Particle Physics Laboratory, 2011-2017
- porte parole de la collaboration GRAND, depuis mai 2017
- membre du comité national de l'école de physique distribuée (EPHYD), depuis 2015

Victor Mendoza

- représentant du LPNHE dans le groupe de travail « Calcul Atlas France », depuis 2015

Diego Milanes

- coordinateur du groupe de travail « b-hadrons decays with no charm » de LHCb, 2015-2016

Andrea Mogini

- liaison entre les groupes de travail « rare decays » et « tracking, alignment and vertexing » de LHCb, 2016-2017

Irena Nikolic-Audit

- représentante du LPNHE au Liquid Argon Group Representatives Comity d'ATLAS, depuis 2013
- membre du CNU - section 29, depuis 2015

José Ocariz

- responsable de la production de simulations Monte Carlo sur la grille pour les analyses et les études de performances pour egamma dans ATLAS, depuis 2012

Reynald Pain

- directeur de l'IN2P3, depuis 2015

Francesco Polci

- coordinateur du groupe de travail « Electroweak penguin decays » de LHCb, 8/2015-03/2017
- coordinateur du groupe de travail « Tracking, alignment and vertexing » de LHCb, 2016-2017
- membre élu du Conseil du Laboratoire du LPNHE, 2013-2016
- membre nommé du Conseil Scientifique du LPNHE, 2017
- directeur du GDR « Intensity frontier », 2017

Boris Popov

- coordinateur du groupe de travail T2K beam working group, 2015-2017
- coordinateur du NA61 NCR analysis working group, 2015-2017
- membre du T2K speakers board, 2016-2017

Nicolas Regnault

- secrétaire scientifique du PNCG, 2013-2017
- membre du Conseil Scientifique de l'Institut Lagrange de Paris, depuis 2014
- coordinateur du Photometric Calibration Working Group (PCWG) / LSST-Dark Energy Science Collaboration, depuis 2015

Mélissa Ridel

- membre du conseil du laboratoire du LPNHE, jusqu'en 2016
- responsable des propositions de thèses et stages de M2 au laboratoire, depuis 2012
- membre du conseil scientifique de l'IN2P3, depuis 2015

Lydia Roos

- membre du Speakers Committee d'ATLAS (chair), 2012-2015
- membre élue du conseil scientifique du LPNHE, 2011-2016
- membre de la section 01 du comité national CNRS, depuis 2016

Luca Scotto Lavina

- responsable du groupe de travail du système de stockage de xénon pour XENON1T, 2013-2017
- coordinateur du groupe de travail « liquides nobles » pour DARWIN, 2014-2017

Mariangela Settimo

- coordinatrice de la tâche « recherche de photon » dans la collaboration Pierre Auger Collaboration, 2015-2016

Jean-Paul Tavernet

- membre du conseil scientifique du LPNHE, 2012-2016
- membre du conseil scientifique du réseau européen ISAPP, depuis 2012

Sophie Trincaz-Duvoid

- représentante du LPNHE dans le groupe de travail « Physique Atlas France », depuis 2016
- responsable des doctorants aux laboratoires (Parrains, Pages Web...), depuis 2005

- chargée de mission pour le LPNHE pour la liaison avec le Master 2 NPAC, depuis 2007
- membre du comité Web, depuis 2011
- membre nommée au Comité Local Hygiène et sécurité et Conditions de Travail (CLHSCT) du LPNHE, depuis 2015
- membre élue au conseil de laboratoire du LPNHE, depuis 2014
- membre externe du jury d'admission de la commission 01 du CNRS, 14 juin 2016
- experte interne élue (collège B) pour la 29^e section de l'UPMC, jusqu'en 2015

Dimitris Varouchas

- responsable « Jet Data Quality et offline monitoring » d'ATLAS, 2015
- contact sur les Jets pour le groupe de travail sur le quark top d'ATLAS, 2014-2016
- co-responsable du groupe de mesure de section efficace Top d'ATLAS, 2016
- représentant d'ATLAS au groupe de travail « LHC Top » pour les études des corrélations des incertitudes de calibration en énergie des jets, entre ATLAS et CMS, 2015-2016

Pascal Vincent

- membre de la section 01 du comité national CNRS, 2012-2016
- membre nommé de la commission interdisciplinaire 53 du comité national du CNRS, 2012-2015
- membre du conseil scientifique et du bureau scientifique de la DIM ACAV (reconduite récemment sur le label ACAV+) de la région Ile-de-France, depuis 2011

Distinctions

Collaboration T2K

- « Breakthrough Prize for Fundamental Physics », 2016

Giulio Dujany

- « LHCb Early Career Award », 2017

Kun Liu

- prix de la meilleure thèse du LIA FCPPL, 2016

Conférences grand public

Christophe Balland

- « Cosmologie observationnelle: mesurer l'expansion de l'Univers », intervention en classes préparatoires, lycée Charlemagne, Paris, mars 2017

Jacques Chauveau

- « SHiP : à la recherche des particules cachées », Fête de la Science, LPNHE, 15 octobre 2016

Sandro De Cecco

- « The DarkSide of the Universe », Rencontres du Ciel et de l'Espace, AFA, Cité des Sciences de la Villette, Paris, 10 novembre 2016

Piera Ghia

- « Dal cosmo alla pampa: l'avventura dei raggi e dei fisici cosmici », Asti, Italie, avril 2016
- « I raggi cosmici », La Fisica incontra la Città, Roma, Italie, décembre 2015

Bertrand Laforge

- « La découverte du boson de Higgs et l'étude de ses propriétés », Fête de la science, LPNHE, octobre 2015

François Vannucci

- « Antimatière », Fête de la Science, LPNHE, 15 octobre 2016

Activités de vulgarisation**Sylvain Baumont**

- visite du laboratoire lors de la fête de la science, octobre 2015

Eli Ben-Haim

- implication dans l'organisation et des visites guidées du LPNHE à la fête de la science, 2015-2017
- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017
- conférence aux étudiants dans le cadre des Masterclasses LHCb, mars 2015, 2016, 2017

Emilie Bertholet

- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Pierre Billoir

- conférences NEPAL (Lycée Gerson, Paris), septembre 2015
- conférences NEPAL (Lycée Saint Laurent, Lagny), octobre 2015
- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Sebastien Bongard

- visite du laboratoire lors de la fête de la science, octobre 2015, septembre 2016
- conférences NEPAL au Lycée Militaire d'Autun, 3 interventions par an, mai-juin 2015, 2016 et 2017
- main à la pâte, École Bouteiller et École de Cussy, 05/2015 et 05/2016

Matteo Cerruti

- animation scientifique lors de la fête de la science, septembre 2016

Matthew Charles

- participation à l'émission « Où est donc passée l'anti-matière ? » de « La Méthode scientifique », France Culture, 20 décembre 2016
- implication dans l'organisation et des visites guidées du LPNHE à la fête de la science, 2015-2017
- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Samuel Coquereau

- implication dans l'organisation et des visites guidées du LPNHE à la fête de la science, 2015-2017
- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Luigi Del Buono

- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Frédéric Derue

- organisation et visites pour le grand public, Fête de la Science, LPNHE Paris, octobre 2016
- organisation et visites pour le grand public, Fête de la Science, LPNHE Paris, octobre 2015

Jacques Dumarchez

- conférence Lycée Etampes (2 terminales), 29/05/15

Piera Ghia

- carrefour des métiers 2015 (Lycée International Saint Germain en Laye), décembre 2015

Vladimir Gligorov

- responsable de l'organisation des Master Classes au LPNHE, depuis 2017
- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Louis Henry

- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Jean-Philippe Lenain

- intervention en école primaire, « Une promenade dans le ciel », école primaire de Vitry-Beaussais (79), avril 2015
- animation scientifique lors de la fête de la science, septembre 2016

Antoine Letessier-Selvon

- publication du roman « Kosmos » sur les rayons cosmiques, mars 2017

Bogdan Malaescu

- « Activités d'un chercheur », Amphi métiers recherche, Ecole Polytechnique, Palaiseau, janvier 2015
- co-éditeur d'un document à destination du grand public. « Physics Briefing » ATLAS : « Particle-hunting at the energy frontier », mars 2017

Diego Milanés

- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Andrea Mogini

- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017

Irena Nikolic-Audit

- responsable de l'organisation des Master Classes au LPNHE, jusqu'en 2016

Francesco Polci

- organisation de trois journées Masterclass LHCb au LPNHE, mars 2015, 2016, 2017
- implication dans l'organisation et des visites guidées du LPNHE à la fête de la science, 2015-2017

Matthieu Roman

- référent-chercheur auprès d'étudiants en médiation scientifique (projet UniverCité, association « Les Petits Débrouillards »), décembre 2016

- animation scientifique lors de la fête de la science, septembre 2016

Lydia Roos

- publication du livre « L'aventure du grand collisionneur LHC. Du Big Bang au boson de Higgs », 2014
- contribution au développement de l'encyclopédie scholarpedia en physique des hautes énergies, depuis 2014

Francois Vannucci

- « Les neutrinos », participation à l'émission « La Méthode scientifique », France Culture, 14 mars 2017



L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET
LA FORMATION PAR
LA RECHERCHE

**L'enseignement supérieur
et le LPNHE**

**Responsabilités dans les
instances universitaires**

Les thèses au LPNHE

**Liste des thèses soutenues
au LPNHE entre janvier 2015
et juin 2017**

Les stages au LPNHE

L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET LA FORMATION PAR LA RECHERCHE



Les activités de formation et de diffusion des connaissances constituent une des missions principales du LPNHE. Les 24 enseignants-chercheurs du laboratoire, rattachés soit à l'UPMC, soit à l'UPD, dispensent des enseignements à tous les niveaux, du L1 au doctorat, en abordant les concepts de base aussi bien que les avancées les plus récentes de la recherche. La majorité des chercheurs et enseignants-chercheurs du LPNHE sont impliqués dans l'encadrement de thèses de doctorat.

La formation par la recherche est également essentielle au laboratoire. Les équipes scientifiques et techniques accueillent chaque année une cinquantaine de stagiaires de tout niveau (du collègue au M2), ainsi qu'une demi-douzaine de nouveaux doctorants. La prise en charge des stagiaires est coordonnée par un responsable des stages. Le suivi des doctorants est continu et un comité de thèse assure pour chaque doctorant des conditions de travail optimales tout au long de sa présence au laboratoire.

D'autre part, des chercheurs, enseignants-chercheurs et personnels techniques ou administratifs participent chaque année, en tant que formateurs, à des écoles thématiques.

L'implication particulièrement forte des enseignants-chercheurs du LPNHE dans les parcours d'enseignement et la gestion de différents Masters permet d'établir un lien fort entre le laboratoire et les étudiants, et de renforcer la visibilité du LPNHE auprès de ces derniers et auprès des universités de tutelle.

L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET LE LPNHE

Environ la moitié des chercheurs du LPNHE sont des enseignants-chercheurs (EC) de l'UPMC et de l'UPD. Le tableau ci-dessous montre que le nombre total d'EC est stable depuis plusieurs années.

Evolution des effectifs enseignants-chercheurs au LPNHE entre 2014 et juin 2017

Université d'appartenance	Catégorie	2014	2015	2016	2017
Université Pierre et Marie Curie (P6)	PR	6	5	5	5
	MCF	11	11	11	11
Université Paris-Diderot (P7)	PR	2	2	2	2
	MCF	6	6	6	6
Total		25	24	24	24

A l'enseignement des EC titulaires, s'ajoute celui d'une quinzaine de doctorants chargés de mission d'enseignement. Des chercheurs et ingénieurs du CNRS participent aussi à des enseignements à l'Université, dans des grandes écoles, des écoles thématiques de l'IN2P3 ou des écoles d'été.

Les enseignements sont dispensés en Licence, en Master, à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan (devenue depuis 2016 l'Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay) ou encore dans les cursus de Médecine. Les disciplines enseignées à l'Université dans lesquelles le LPNHE possède une expertise sont la physique des particules et des astroparticules, la cosmologie observationnelle, l'instrumentation, l'analyse et le traitement de données, ainsi que l'électronique et la programmation scientifique.

La Licence

Les EC du LPNHE participent aux enseignements des trois années de la licence dans les différentes mentions proposées par les universités de tutelle. Ils sont impliqués non seulement dans l'enseignement des matières correspondant aux activités du laboratoire, mais aussi dans l'enseignement de la physique générale (Mécanique, Électromagnétisme, Thermodynamique, Ondes, Optique, Physique quantique, Physique atomique, Physique nucléaire, Relativité, etc.) dans tous les cycles. Outre les enseignements proprement dits, ils assurent la responsabilité d'une trentaine d'unités d'enseignement, certaines ayant des effectifs de plus de 1000 étudiants. Un EC du laboratoire est responsable de la coordination des enseignements de physique au niveau de la première année de Licence et directeur des études L1-L2 au sein de l'équipe de direction de la licence de physique.

Le Master

En première année de master, les EC assurent les enseignements liés aux activités du laboratoire : physique nucléaire et des

particules, interaction particule-matière, physique numérique et projets expérimentaux dans les mentions « Physique et Applications » (PA) et « Sciences De l'Ingénieur » (SDI) du master « Sciences et Technologies » de l'UPMC, et dans la mention « Physique Fondamentale et Sciences pour l'Ingénieur » (PFSI) du master « Sciences, Technologie et Santé » de Paris-Diderot.

En deuxième année de master, le laboratoire est impliqué dans quatre spécialités et accueille, pour certaines, leurs enseignements.

- **Spécialité Noyau, Particules, Astroparticules et Cosmologie (NPAC)**
Dans les domaines de la physique des hautes énergies, cette spécialité offre aux étudiants une formation équilibrée sur trois plans – théorie, modélisation, instrumentation. Les personnels du LPNHE interviennent dans les enseignements de physique des particules, cosmologie, astroparticules et instrumentation en physique des hautes énergies. La co-responsabilité de cette spécialité est assurée par deux EC UPMC du laboratoire.

Co-habilitation : UPMC, Paris-Diderot, Paris-Sud et INSTN

- **Spécialité Capteurs, Instrumentation et Mesures (CIMES)**
Cette spécialité propose un enseignement généraliste dans des domaines variés recouvrant l'environnement, le médical ou l'industrie. Elle donne aux étudiants une formation large et diversifiée en physique des capteurs, en acquisition et traitement du signal, ainsi qu'en analyse des données. Les personnels du LPNHE y enseignent les interactions particules-matière, le traitement du signal, les grands instruments ou les modélisations d'expériences. La co-responsabilité de cette spécialité est assurée par un EC du laboratoire.

Co-habilitation : UPMC et ESPCI

- **Spécialité Ingénierie Nucléaire (IN)**
Cette spécialité a pour objectif de former

des étudiants dans les domaines du génie civil, l'instrumentation pour le nucléaire, la gestion des ressources et la modélisation du stockage des déchets. Dans le cadre de cette formation, des personnels du LPNHE ont la responsabilité des cours et des travaux pratiques de physique nucléaire et d'instrumentation. Depuis 2016, un EC du laboratoire est en charge du cours de neutronique.

Habilitation : UPMC

- **Spécialité Ingénierie Physique des Énergies (IPE)**

Cette spécialité forme des ingénieurs spécialistes de l'énergie, un secteur aujourd'hui dynamisé par l'évolution mondiale des besoins énergétiques et des problèmes environnementaux. Des enseignants du LPNHE ont la responsabilité des cours d'énergétique nucléaire (du réacteur au traitement des déchets).

Habilitation : Paris-Diderot

Le Doctorat

Depuis 2014, le LPNHE est rattaché à l'ED « Sciences de la Terre et de l'Environnement, et Physique de l'Univers » (ED 560, STEP'UP), et intervient dans la branche « Physique de l'Univers ». Un EC du laboratoire est dans le bureau de cette ED, un autre fait partie du Conseil de l'ED.

Le laboratoire est également impliqué dans la formation à l'enseignement des doctorants chargés de mission d'enseignement affectés à l'UFR de physique. Un de ses EC assure la coordination de cette formation en lien avec l'Institut de Formation Doctorale de Sorbonne Universités.

Un EC du laboratoire participe également chaque année à l'enseignement doctoral transdisciplinaire « Forme et fonction du vivant : morphogenèse, épigénétique et évolution » à l'interface de la physique et de la biologie organisée par l'école pratique des hautes études.

RESPONSABILITÉS DANS LES INSTANCES UNIVERSITAIRES

INSTANCES NATIONALES

Membre du CNU section 29 :

- Depuis 2015 : Iréna Nikolic-Audit (Suppléante)
- Depuis 2015 : Delphine Hardin (Suppléante)
- Jusqu'en 2015 : Jean-Paul Tavernet (Suppléant)

Membre du CNU section 34 :

- Jusqu'en 2015 : Christophe Balland (titulaire), vice-président B

Membre de la Commission Permanente du CNU (CP-CNU) :

- Jusqu'en 2015 : Christophe Balland, assesseur du groupe 8 de la CP-CNU

Membre de l'instance nationale pour l'avancement au grade par la voie spécifique :

- Jusqu'en 2015 : Christophe Balland

UPMC

Conseils, groupes, commissions

Membre de la Commission de la Formation et de la Vie Universitaire et du Conseil Académique :

- Depuis 2016 : Bertrand Laforge

Membre du directoire de la recherche :

- Reynald Pain

Membre du conseil scientifique d'UFR :

- Depuis 2017 : Christophe Balland

- Depuis 2015 : Daniel Vincent

- Jusqu'en 2017 : Didier Lacour

Membre du Conseil d'UFR :

- Depuis 2017 : Christophe Balland

- Depuis 2017 : Vladimir Gligorov

Membre du bureau de l'UFR :

- Depuis 2017 : Christophe Balland

Membre du groupe d'experts de l'UFR de physique :

- Delphine Hardin (membre A)

Membre de la commission des thèses et HDR :

- Bertrand Laforge

Membre de l'institut de formation doctorale (IFD) :

- Pascal Vincent

Membre du conseil des enseignements :

- Bertrand Laforge (nommé, responsable L1)

Membre du conseil du Département du Cycle d'Intégration (DCI) :

- Bertrand Laforge

Membre du jury d'attribution de la PIR :

- 2016 et 2017 : Christophe Balland

Membre de la commission des personnels enseignants :

- Jusqu'en 2017 : Bertrand Laforge

- Depuis 2017 : Christophe Balland (Président)

Charges de mission - structures partenaires

Institut Lagrange Paris (ILP) :

- Nicolas Regnault, Bertrand Laforge, Antoine Letessier-Selvon
- Domaine d'Intérêt Majeur - Astrophysique et Conditions d'Apparition de la Vie (DIM-ACAV+) :

- Pascal Vincent

Chargé de mission auprès de la Vice-Présidence Recherche :

- Pascal Vincent

International Doctorate Network in Particle Physics, Astrophysics and Cosmology (IDPASC) :

- Bertrand Laforge

Responsabilités dans l'enseignement

Responsables de la spécialité M2 NPAC :

- Delphine Hardin
- Sophie Trincaz-Duvoid

Responsable de la spécialité M2 CIMES :

- Pascal Vincent

Conseil de département de master de physique et applications :

- Delphine Hardin
- Sophie Trincaz-Duvoid
- Pascal Vincent

Membre du bureau de l'ED STEP'UP :

- Pascal Vincent

Co-responsabilité du tableau de service:

- Depuis 2015 : Sophie Trincaz-Duvoid
- Jusqu'en 2015 : Laurent Le Guillou

Responsable de plateforme de L1 :

- Bertrand Laforge

Membre de l'Equipe de Formation Universitaire (EFU) :

- Bertrand Laforge (directeur des études L1-L2)

Responsable de la plateforme de travaux pratiques de physique nucléaire du Master :

- Jusqu'en 2016 : Jean-Paul Tavernet

- Depuis 2016 : Julien Bolmont, Wilfrid Da Silva

Responsable de la formation des doctorants chargés de mission d'enseignement de l'UFR de physique :

- Bertrand Laforge

Rapporteur du Groupe de travail pour la mise en place de la nouvelle UE d'électromagnétisme et d'Optique en L3 (3P021) :

- 2015 : Christophe Balland

Membre du jury de l'Agrégation externe de Sciences Physiques, option Physique :

- Depuis 2017 : Christophe Balland

UPD

Conseils, groupes, commissions

Membre du conseil de l'UFR de physique :

- Depuis 2016 : Mélissa Ridel

Membre du conseil scientifique de l'UFR de physique :

- Jusqu'en 2016 : José Ocariz

- Depuis 2016 : Mélissa Ridel

Membre du conseil des enseignements de l'UFR de physique :

- Jusqu'en 2016 : Tristan Beau

Membres du groupe d'experts thématiques (GET) pour le domaine « Particules et Astroparticules » :

- José Ocariz, Tristan Beau

Charges de mission - structures partenaires

Fédération de Recherche Interactions Fondamentales (FRIF) :

- Sandro de Cecco

Paris Center for Cosmological Physics (PCCP) :

- Kyan Shahmanche

Responsabilités dans l'enseignement

Membre du conseil de département de sciences exactes :

- Jusqu'en 2016 : Tristan Beau

Responsable du niveau licence dans la filière « Enseignement des Sciences Physiques et Chimiques » :

- Jusqu'en 2016 : Tristan Beau

Responsables de la spécialité M2 NPAC :

- Jusqu'en 2016 : José Ocariz

Membre du conseil de l'ED STEP'UP (ED 560) :

- Mélissa Ridel

Membre du conseil de l'ED PHENIICS :

- Mélissa Ridel

Responsable de formation à l'ED STEP'UP pour la composante « physique de l'univers » :

- Mélissa Ridel

LES THÈSES AU LPNHE

Le LPNHE s'investit particulièrement dans l'accueil des doctorants en agissant à trois niveaux : la visibilité du laboratoire pour les étudiants en recherche de thèse, l'accueil des doctorants et enfin leur suivi durant la thèse. Ces actions sont menées par un comité des thèses. Depuis 2012, une demi-douzaine de nouveaux doctorants rejoint le LPNHE à chaque rentrée universitaire.

L'attractivité du laboratoire

À la pointe de la recherche dans les domaines de la physique des particules, des astroparticules et de la cosmologie, le LPNHE est un environnement naturellement stimulant pour de nouveaux doctorants, à la fois par l'excellence de la recherche qui y est conduite et par sa situation exceptionnelle sur le campus de l'UPMC, au cœur de 5ème arrondissement de Paris. Les enseignants-chercheurs du laboratoire contribuent largement à le faire connaître auprès des étudiants, que ce soit lors de leurs enseignements dans les cursus de Licence ou Master de l'UPMC et de l'UPD, ou par l'organisation de visites du laboratoire et une politique de stages volontariste auprès des étudiants de L3 et M1 de l'UPMC et de l'UPD. Ainsi, une grande majorité des stagiaires de M2, futurs doctorants, ont déjà fait un stage au laboratoire les années antérieures.

Le laboratoire jouit par ailleurs d'une bonne visibilité internationale, grâce à des coopérations, en particulier avec la Chine, la Colombie, le Venezuela et l'Italie. Les collaborations internationales dans lesquelles travaillent les chercheurs contribuent aussi à la visibilité du LPNHE à l'étranger. Ainsi, entre 2014 et 2016, sur 22 doctorants arrivés au laboratoire, 9 viennent de pays étrangers.

Les financements des thèses

Le financement des thèses au LPNHE est assuré par l'ED 560 « STEPUP » (contrats UPMC et UPD), par le Labex ILP (jusqu'en 2016), par l'IN2P3, par la région Ile-de-France (à travers le Défi d'Intérêt Majeur Astrophysique et Conditions d'Apparition de la Vie - DIM-ACAV -), ainsi que par des financements provenant de programmes internationaux (citons, par exemple, l'European

Research Council - ERC-, le Laboratoire Franco-Chinois de Physique des Particules - FCPPL -, les bourses de l'Ambassade de France pour les étudiants Vénézuéliens, ou encore le programme de co-tutelle avec l'Italie « International Doctorate on AstroParticle Physics » - IDAPP -). Le graphe ci-dessous montre l'origine des financements des thèses au LPNHE.

L'accueil et le suivi des étudiants

Une journée d'accueil des nouveaux entrants est organisée chaque année, traditionnellement un vendredi de novembre. Au cours de cette journée, une rencontre avec le directeur et une présentation des activités et des services du LPNHE sont organisées. Les nouveaux doctorants sont également invités à se présenter lors de la réunion hebdomadaire du laboratoire.

Afin d'assurer un suivi de thèse de qualité, un système de « parrainage » a été mis en place. Chaque étudiant de première année choisit un « parrain », membre du laboratoire mais extérieur à son domaine de thèse. Le parrain s'assure du bon déroulement de la thèse, des bonnes relations entre l'étudiant et l'encadrant. Il informe le doctorant des possibilités qui lui sont offertes (financement d'une école d'été, d'une conférence

internationale au cours de la thèse, de leur participation aux journées Jeunes Chercheurs de la SFP). Une réunion des parrains se tient deux à trois fois par an pour faire un bilan et discuter, pour chaque étudiant, des problèmes éventuels et des actions à mener pour y remédier.

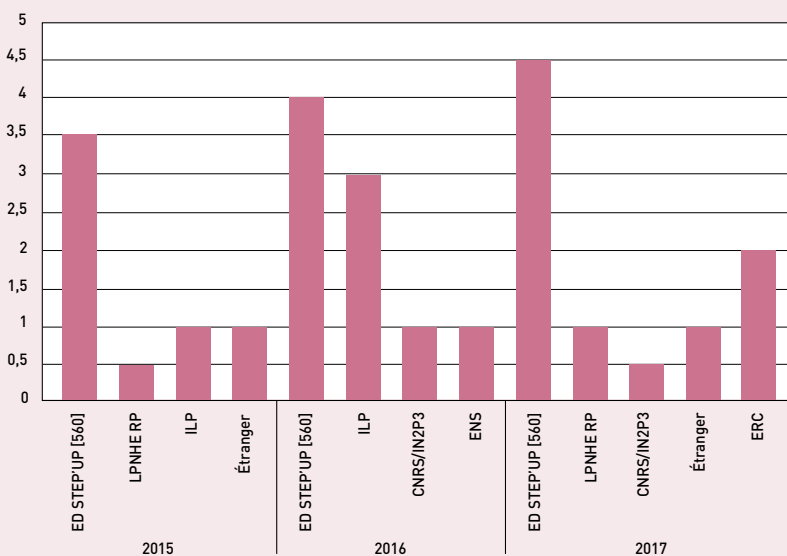
Un espace web dédié aux doctorants sur le site du laboratoire centralise les informations importantes pour le bon déroulement de la thèse. Il recense les offres de stages M2 et de thèses et propose des liens vers des sites utiles. Cet espace constitue aussi un début de réseau des anciens doctorants du laboratoire, permettant d'apporter par le partage d'expérience et des témoignages, une aide à l'insertion professionnelle après la thèse.

Enfin, depuis 2011, un représentant des doctorants siège au conseil de laboratoire.

Comité des thèses :

<http://lpnhe-doctorants.in2p3.fr>
 Mélissa Ridet (Liaison avec les M2 et les ED)
 Sophie Trincaz-Duvoid (Fonctionnement du système des parrains, Gestion de la base de données des doctorants et webmaster)

Origine des financements des thèses obtenus en 2015, 2016 et 2017



LISTE DES THÈSES SOUTENUES AU LPNHE ENTRE JANVIER 2015 ET JUIN 2017

En 2017

Yee Yap

GROUPE : ATLAS
TITRE : Search for 2HDM pseudoscalar
A decaying into Zh in the H→gamma gamma decay channel with the
ATLAS experiment
SOUTENANCE : 23/01/2017

En 2016

Pierre Bartet-Friburg

GROUPE : T2K
TITRE : Etude des propriétés des neutrinos dans l'expérience T2K
SOUTENANCE : 20/10/2016

Louis Henry

GROUPE : LHCb
TITRE : Recherche de nouvelle physique dans les désintégrations à
trois corps de mésons B sans particule charmée dans l'état final avec
l'expérience LHCb
SOUTENANCE : 30/09/2016

Ayan Mitra

GROUPE : SUPERNOVAE
TITRE : Gravitational lensing on Supernovae Type IA
SOUTENANCE : 30/09/2016

Carlo Pandini

GROUPE : ATLAS
TITRE : Etude des propriétés du Boson de Higgs au LHC dans les
désintégrations en deux quark b dans l'expérience ATLAS au LHC
SOUTENANCE : 21/10/2016

En 2015

Lorenzo Caccianiga

GROUPE : AUGER
TITRE : Identification de la masse des rayons cosmiques de haute
énergie pour des études d'astrophysique
SOUTENANCE : 14/09/2015

Raphaël Chalmé-Calvet

GROUPE : HESS
TITRE : Etalonnage de la caméra de HESS II et observation du Centre
Galactique au-delà de 30 GeV
SOUTENANCE : 23/11/2015

Mathieu Chrétien

GROUPE : HESS
TITRE : Recherche de l'émission périodique des pulsars et étude de la
violation de l'invariance de Lorentz avec HESS II
SOUTENANCE : 2/10/2015

Samuel Coquereau

GROUPE : LHCb
TITRE : Recherche de nouvelle physique à l'aide de mésons beaux
avec LHCb
SOUTENANCE : 23/09/2015

Tania Garrigoux

GROUPE : HESS
TITRE : Recherche de matière noire super-symétrique dans les
canaux $\chi\chi \rightarrow \bar{l}l$ et $\chi\chi \rightarrow X$ gamma et étude de l'émission diffuse galac-
tique avec l'expérience H.E.S.S.
SOUTENANCE : 18/05/2015

Matthieu Kieffer

GROUPE : HESS
TITRE : Recherche indirecte de matière noire avec l'expérience HESS
et étude des contraintes communes avec les accélérateurs
SOUTENANCE : 28/09/2015

Sylvestre Pires

GROUPE : ATLAS
TITRE : Mesure de la masse du quark top dans les canaux en dileptons
avec l'expérience ATLAS
SOUTENANCE : 3/07/2015

LES STAGES AU LPNHE

Le laboratoire accueille en moyenne chaque année une cinquantaine de stagiaires issus de formations diverses : étudiants en Licence (principalement en niveau L3), Master (M1 comme M2) mais aussi écoles d'ingénieurs et formations professionnalisantes. On peut également citer l'accueil régulier de collégiens en classe de 3^e et de lycéens pour une semaine de découverte du monde professionnel.

Les formations d'origine des stagiaires

Les stagiaires en recherche sont issus à part égale de masters de physique (niveau M1 et M2), et de Licence (L3). Devant l'afflux de demandes spontanées, priorité est donnée aux étudiants originaires des universités de tutelle, de bon niveau et motivés par la perspective de continuer vers un M2 recherche. Les étudiants de l'UPMC sont majoritaires du fait de l'implantation du

laboratoire sur son campus. Dans le cadre de la formation de Licence de physique de l'UPMC, les étudiants de L3 ont un stage obligatoire de 15 jours en janvier. Le LPNHE participe pleinement à ce programme de découverte du milieu de la recherche en accueillant une dizaine de ces étudiants chaque année.

Niveau Année	Collège	Lycée	BTS	Licence	M1	M2	IUT. ingé	Formation continue / Alternance	Total
2014	12	5		21	10	9	2	2	61
2015	4	1	3	19	10	8	3	1	49
2016	5	3		17	15	12	3	2	57

L'offre de stages

C'est souvent par le biais des enseignants-chercheurs que les étudiants ont un premier contact avec le LPNHE. Un responsable des stages au laboratoire assure le lien entre les étudiants en recherche de stage, les responsables de leur formation et les encadrants du laboratoire. Trois référents stages (un par grande thématique du laboratoire) relaient les demandes auprès des équipes, en fonction des thématiques souhaitées par les étudiants. Ils encouragent ainsi les encadrants potentiels à déposer un sujet, et les mettent en lien avec les étudiants. Le laboratoire envoie des propositions aux responsables des stages du M1 de physique et applications de l'UPMC (et du L3 de l'UPMC pour les stages de janvier). Des propositions

de stages dans les services techniques sont également transmises à des écoles d'ingénieurs, IUT ou Licences professionnelles. De nombreuses candidatures spontanées sont également reçues tout au long de l'année. Les stages de M2 sont un cas à part puisqu'ils constituent le plus souvent un prélude à une thèse effectuée dans le même groupe de recherche avec le même encadrant. Les propositions de stages pour les M2 sont couplées aux sujets de thèse et diffusées aux étudiants via les M2, les écoles doctorales et le site internet du laboratoire. Dans certains Masters de la région parisienne (NPAC par exemple), le directeur de l'ED et les directeurs des laboratoires présentent les sujets de thèse (et donc de stages M2) aux étudiants.

Les thématiques des stages

Le tableau ci-dessous montre la répartition des stagiaires selon les équipes. Tous les projets accueillent des stagiaires chaque année et le taux de stagiaires par membre permanent (enseignant-chercheurs ou chercheurs) est d'environ un par an. Ces dernières années, des contacts ont été noués par la direction technique avec des écoles d'ingénieurs de l'UPMC pour accroître le nombre de stages dans les services techniques. On notera enfin que les différents services sont encouragés à recruter des apprentis en alternance. Actuellement, le LPNHE en accueille deux : l'un en informatique, l'autre en électronique.

Thématique Année	Masses et Interactions Fondamentales	Asymetrie Matière-Antimatière	Nature et Origine du Rayonnement Cosmique et matière noire	Cosmologie et Energie Noire	Services administratifs et techniques communs
2014	32 %	8 %	14 %	17 %	29 %
2015	37 %	10 %	12 %	18 %	22 %
2016	39 %	12 %	18 %	14 %	18 %



• • •

L'accueil au laboratoire

L'arrivée massive de stagiaires au laboratoire à certaines périodes de l'année a nécessité la mise en place d'une procédure d'accueil spécifique permettant à chacun de s'insérer au mieux. Les futurs stagiaires (de manière

plus générale, tous les nouveaux arrivants) sont inscrits plusieurs semaines à l'avance dans la base de données de gestion des personnels, ce qui déclenche l'attribution d'un bureau et la programmation d'une clef, ainsi que la préparation d'un poste informatique.

Un « guide d'accueil du stagiaire » a été rédigé et est disponible sur le site internet du laboratoire. Couplé à une information régulière en réunion du vendredi, il contribue à sensibiliser les encadrants à la préparation de l'accueil des stagiaires au LPNHE.





COMPÉTENCES
ET RÉALISATIONS
TECHNIQUES

**Service Electronique et
Instrumentation**

Service Informatique

Service Mécanique

Pôles d'expertise

Plateforme Calcul

Plateaux techniques

Upgrade d'ATLAS

Upgrade de LHCb

ILD-CALICE

GRIF

CTA

TREND et GRANDproto

DAMIC

CHAMP

LSST

DESI

**Publications, communi-
cations et responsabilités
techniques**

COMPÉTENCES ET RÉALISATIONS TECHNIQUES



Le LPNHE est engagé dans les développements techniques associés à ses projets de recherche. Que ce soit dans la conception et la réalisation d'un instrument ou des programmes de R&D, les équipes techniques s'investissent avec les physiciens porteurs des projets pour proposer des solutions innovantes, basées sur leur expertise.

Les ingénieurs et les techniciens du laboratoire sont sous la responsabilité d'un chef de service (eux-mêmes sous la responsabilité du directeur technique) et participent à un ou plusieurs projets relevant de leurs compétences. La direction technique du laboratoire supervise les quatre services techniques du laboratoire, favorisant ainsi la coordination entre services et projets. Durant la période 2015-2017, le laboratoire a géré quatorze projets de développement technique engageant 40 ingénieurs et techniciens appartenant aux services informatique, électronique, mécanique ainsi qu'aux services généraux qui gèrent l'infrastructure et la logistique du laboratoire et des projets. Les projets sont régulièrement évalués au cours de réunions semestrielles de la Cellule de Suivi de Projet (CSP), structure animée par le directeur technique sous la responsabilité du directeur et qui comprend les chefs des services électronique, mécanique et informatique. La CSP permet de revoir les affectations des ingénieurs et techniciens sur les projets expérimentaux demandés par les chefs de projet. Au cours de cette réunion le responsable scientifique et le responsable technique de chaque projet présentent l'avancement du projet ainsi que les besoins en personnels techniques et en matériel, demandes arbitrées à l'issue de toutes les réunions en fonction des priorités du laboratoire. C'est en CSP que sont également évalués les projets associés aux activités scientifiques considérées en émergence par les responsables scientifiques, tant qu'ils n'ont pas été présentés au conseil scientifique. Ce fut par exemple le cas des projets DESI, DAMIC ou XENON, sur lesquels le laboratoire s'est impliqué techniquement.

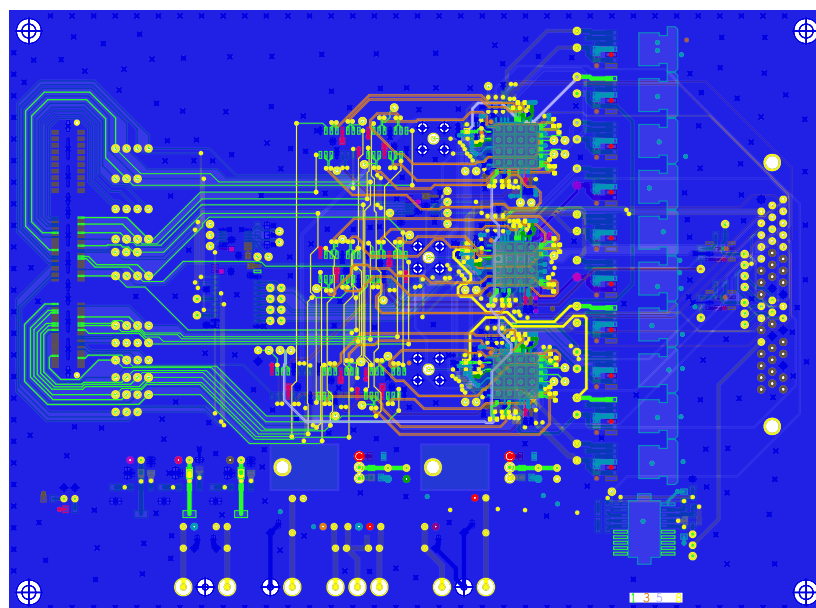
Service Électronique et Instrumentation

Le service *Électronique et Instrumentation* du LPNHE comprend 18 personnes dont 8 ingénieurs de recherche, 4 ingénieurs d'étude, 4 assistants-ingénieurs, 1 technicien et 1 apprenti. Le service est impliqué dans des projets de physique auprès des grands accélérateurs (CERN, SLAC, FERMILAB, DESY), d'astroparticules ou de cosmologie au sol. Un pôle CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et Câblage offre toute l'assistance nécessaire pour la réalisation de cartes d'électronique. Les électroniciens du laboratoire assurent la conception, la réalisation, le test et le suivi de systèmes destinés à fonctionner sur les sites d'expériences dans des environnements souvent difficiles (rayonnements ionisants, températures extrêmes, vibrations). Pour ces raisons, les différentes réalisations suivent des critères de qualité stricts imposés par les collaborations afin d'assurer un fonctionnement correct des matériels dans la durée. Ces systèmes font appel à différentes compétences en électronique : analogique rapide faible bruit et grande dynamique, numérique rapide ou très basse puissance. Par ailleurs, ils mettent en œuvre diverses technologies : composants discrets, circuits intégrés bipolaires ou CMOS, analogiques, numériques ou mixtes, programmables ou spécifiques. Les circuits numériques programmables (FPGA) sont couramment utilisés dans les différents développements, ils sont généralement programmés dans des langages adaptés tels que VHDL ou encore VERILOG. Des circuits intégrés spécifiques sont également développés pour optimiser, au mieux, les parties analogiques des projets (amplificateurs bas bruit par exemple) ou des parties mixtes (analogiques/numériques). D'autre part, le très bon niveau des ingénieurs et techniciens du laboratoire permet de considérer les instruments dans leur ensemble et de proposer des solutions qui optimisent les interfaces et les différents sous-systèmes. Certains ingénieurs ont des responsabilités de chef de projet dans des composantes nationales ou internationales de grandes expériences.

En instrumentation, le service réalise des bancs de mesure et de contrôle d'instruments selon les différentes normes en vigueur.

La compatibilité électromagnétique (CEM) et l'intégrité du signal sont prises en compte à tous les niveaux des conceptions de façon à obtenir un haut niveau de performance.

Les différentes expériences font de plus appel à la qualité et à la gestion de projet. Ces méthodologies sont désormais mises en place dès le début des projets.



Routage d'un circuit imprimé réalisé pour le projet DAMIC.

• Pôle CAO et câblage

Le groupe « CAO et Câblage » offre à l'ensemble des électroniciens du laboratoire les outils et les services nécessaires à la réalisation de cartes électroniques, de circuits programmables et de circuits intégrés spécifiques submicroniques.

Au niveau logiciel, le groupe assure, en collaboration avec le service informatique, l'installation, l'administration et le support de l'ensemble des outils de CAO des sociétés Altera, Cadence, MentorGraphics, Xilinx et des kits de conception de fonderies (TSMC, AMS, XFAB). Ces logiciels de CAO permettent de concevoir tous types de systèmes électroniques numériques ou analogiques :

Systèmes électroniques	Outils de CAO
Modélisation et simulation de circuits numériques à l'aide des langages de haut niveau	Modelsim, Quartus, ISE, Vivado
Synthèse logique de circuits programmables	Quartus, ISE, Vivado
Synthèse logique de circuits intégrés VLSI	Ambit, Encounter
Modélisation, simulation, et dessin de circuits intégrés analogiques (65 nm, 0,35 μm à 0,13 μm)	Virtuoso, Assura, Calibre
Design kits	TSMC, AMS, XFAB
Conception et saisie de schémas de cartes	Allegro Design Entry
Étude du placement/routage et simulation de cartes	Allegro PCB Designer, Allegro Sigrity
Gestion des bibliothèques de composants	Allegro PCB Librarian

Leurs schémas de cartes terminés, les ingénieurs sollicitent le groupe « CAO et Câblage » pour effectuer le placement et le routage des cartes (ou PCB pour *Printed Circuit Board*). L'opérateur CAO réalise en moyenne 25 à 30 études par an, allant du PCB double face au PCB 12 couches, de la classe 4 au hors classe (cas des composants de type BGA). Un dossier de suivi de fabrication, une demande de devis et la génération de fichiers nécessaires au sous-traitant sont remis aux concepteurs.

Les circuits imprimés nus (fabriqués en interne ou de retour de sous-traitance) peuvent être câblés soit manuellement soit en mode semi-automatique à l'aide d'une machine de dépôt de pâte à braser, d'une machine de placement et d'un four à refusion. Le service dispose d'une machine de soudage et dessoudage de composants complexes ainsi que d'un endoscope professionnel permettant d'inspecter, souder et dessouder tout type de composants. Un outil d'usinage (Charly Robot), permet également de faire de la petite mécanique telle que faces avant de prototypes, boîtiers et maquettes.

• Activités de micro-électronique

Le service possède une expertise en micro-électronique et conçoit des circuits qui s'intègrent dans les développements de cartes d'électroniques dédiées à l'instrumentation de détecteurs.

De 2015 à 2017, l'activité micro-électronique s'est concentrée sur la réalisation et la soumission d'ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) en technologie CMOS 0,35 μm pour les projets LSST, DAMIC et un projet transverse de dosimétrie, et en technologie 65 nm pour le projet d'upgrade du LHC. Il s'agit des circuits :

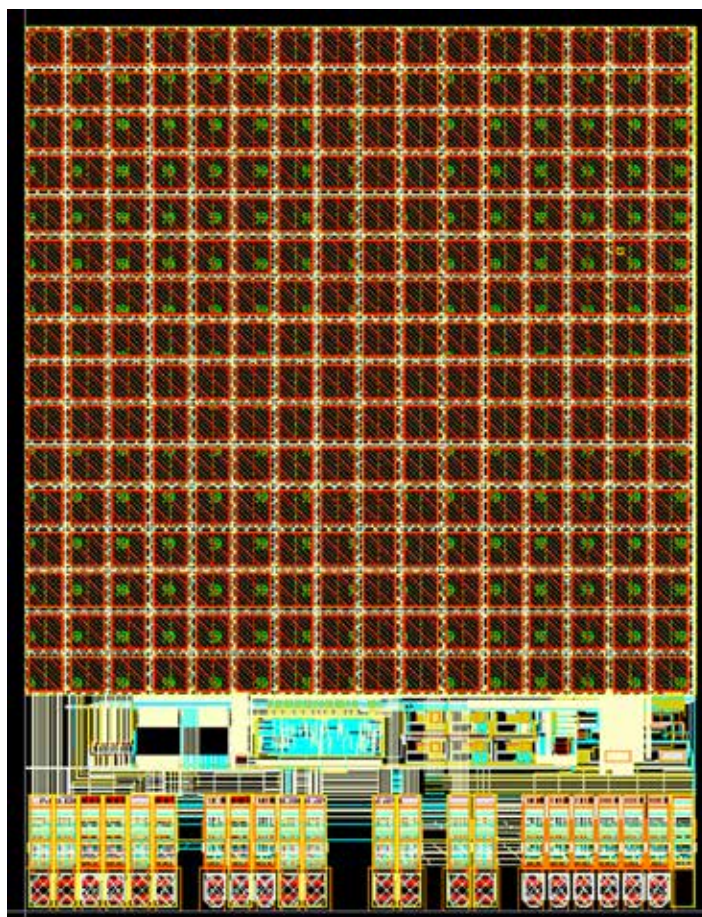
- ASPIC, dédié au traitement des signaux issus des CCD de la caméra du projet LSST. Il répond à un cahier des charges extrêmement sévère en matière de bruit et de diaphonie, les gains et les temps d'intégration sont programmables et un mode veille a été implémenté. La totalité des circuits nécessaires pour l'expérience (environ un millier) a été testée au laboratoire en 2016 et 2017.

.....
Equipe :

P.Bailly, J.Coridian,
P.Corona, F.Crescioli,
J.David, M.Dhellit, M.Garci
(CDD), C.Juramy, S.Karkar,
L. Khalil (doctorante),
O.Le Dortz (chef de service),
H.Lebbolo, D.Martin,
J.L.Meunier (CDD),
P.Nayman, J.M.Parraud,
E.Pierre, S. Russo, A.Samb
(apprenti), F.Toussanel,
A.Vallereau

.....

- CABAC, qui fournit les horloges et les polarisations de CCD. Ce circuit a été développé pour la toute première fois en technologie CMOS 0,35 μm haute tension. Il contient un multiplexeur permettant l'accès à tous les signaux et des entrées externes à des fins de diagnostic.
- CROC, circuit de lecture de CCD pour l'expérience de recherche de matière noire DAMIC-1000. Tout comme l'ASPIC précédemment réalisé, il répond à un cahier des charges extrêmement sévère et devra fonctionner au froid très proche du détecteur (à 120 degrés Kelvin). Sa soumission est prévue pour le second semestre 2017.
- Alpharad4 (Collaboration IPHC/LPNHE). Matrice de diodes CMOS pour la détection de neutrons pour des applications de dosimétrie. Puce soumise au 1^{er} semestre 2017.
- AMchip : mémoire associative pour le déclenchement rapide à partir des données du trajectographe pour l'upgrade du détecteur ATLAS (projet FTK).



Alpharad4. Dosimètre et son électronique associée. Technologie Xfab CMOSOpto 0,35 μm .

Service Informatique

Le service informatique du LPNHE est composé de 11 personnes, dont 5 ingénieurs de recherche, 3 ingénieurs d'étude, 2 techniciens et 1 apprenti.

Quatre personnes ainsi que l'apprenti assurent le bon fonctionnement et la sécurité de l'ensemble des systèmes d'information du laboratoire, à savoir le réseau, le wifi, les serveurs (virtualisation, physiques, généralistes ou affectés aux groupes et services), les postes de travail des utilisateurs, les services d'impression, d'authentification, de surveillance, de log, de sauvegarde et les différents services web. Ils assistent également les utilisateurs au quotidien. Deux personnes assurent le développement et l'exploitation du nœud de la grille de calcul local (GRIF) et cinq ingénieurs réalisent des développements spécifiques dans les expériences scientifiques auxquelles le laboratoire participe.

• Infrastructure serveurs et réseau

Le service informatique administre une quarantaine de serveurs physiques (dont 8 dédiés à la virtualisation hébergeant plus de 30 machines virtuelles et 15 dédiés au stockage de données pour un total de près de 500 To), plus de 200 postes de travail et 150 ordinateurs portables, une quarantaine de switchs réseau et 8 copieurs multifonctions.

Le service informatique concentre ses efforts sur trois axes principaux :

- Sécurisation des systèmes

Le LPNHE dispose de trois salles informatiques. Les deux salles principales de 65m² chacune, en sous-sol, hébergent l'essentiel de l'infrastructure et des matériels du laboratoire :

- puissance électrique non ondulée : 2x5 prises de 32 A ;
- puissance électrique ondulée : 2x100 KVA sur 2x12 prises de 32A ;
- climatisation : 4 armoires/salle, dont la moitié en double détente pour un total de 200 KW ;
- protection incendie : système à argon (2x5 bouteilles de 24m³ à 200 bars).

Une salle supplémentaire au 2^e étage a été aménagée afin d'héberger une infrastructure redondante susceptible de faire redémarrer les services vitaux pour le laboratoire et ainsi assurer une continuité de service en cas de défaillance ou d'indisponibilité des salles principales.

La sécurité des données des utilisateurs est assurée par deux serveurs de fichiers NetApp réalisant des « instantanés » des données utilisateurs (snapshots) trois fois par jour, conservés pendant 48 heures. Une copie quotidienne de ces données est réalisée et conservée pendant 15 jours, une copie hebdomadaire pendant 6 mois, et l'intégralité est également sauvegardée au centre de calcul de Lyon deux fois par jour.

Afin de répondre à un besoin croissant d'espace de stockage de la part des expériences scientifiques, nous exploitons également un système de stockage basé sur GPFS.

Enfin, le service informatique assure quotidiennement la surveillance des infrastructures serveurs et réseau (à l'aide d'outils spécialisés comme *check_mk*), la sécurité et la mise à jour des différents systèmes informatiques.

CHIFFRES CLÉS

99,95% de disponibilité du réseau
au LPNHE, hors coupures
électriques.

40 serveurs,

200 postes de travail et

150 ordinateurs portables.

500 To de données.

- Rationalisation des installations

Afin de réduire les coûts d'exploitation et d'utiliser au mieux les ressources matérielles, la majorité des services et des serveurs d'expériences sont virtualisés. Cela permet, en cas de défaillance matérielle, de migrer les serveurs sur une autre machine physique et ainsi de minimiser l'indisponibilité des services.

Pour les postes de travail, des procédures d'installation automatique par le réseau ont été mises en place (postes Linux, Mac et Windows) et pour l'ensemble du parc serveur un outil d'administration et de déploiement centralisé est utilisé (Ansible).

- Infrastructure réseau

Afin d'assurer la plus haute disponibilité possible du réseau un investissement conséquent dans des switchs Cisco de haute qualité a été réalisé avec l'aide financière de l'IN2P3. Le cœur de réseau fonctionne maintenant avec des débits de 10 Gbit/s. Différents sous-réseaux (vlans) permettent de sécuriser les activités les plus sensibles et d'assurer la qualité de service. La connexion vers l'extérieur est actuellement réalisée avec deux fibres 10 Go et devrait prochainement passer à 2x40 Go puis 100 Go. Différents outils de métrologie ont été également mis en place pour assurer une surveillance continue de l'activité. Enfin, l'architecture wifi a été révisée ce qui a permis au laboratoire de rejoindre la fédération *Eduroam*.

.....

Equipe :

T. Audo, A. Bailly-Reyre,
O. Dadoun, L. Gromb, T. Ho,
F. Legrand (chef de service),
V. Mendoza, P. Warin-Char-
pentier (chef de service
adjointe), E. Sepulveda,
D. Terront, V. Voisin

.....



CHIFFRES CLÉS

-20°C de température minimale pour le caisson froid de 16 m³.

3000 éléments en nomenclature pour le carrousel LSST.

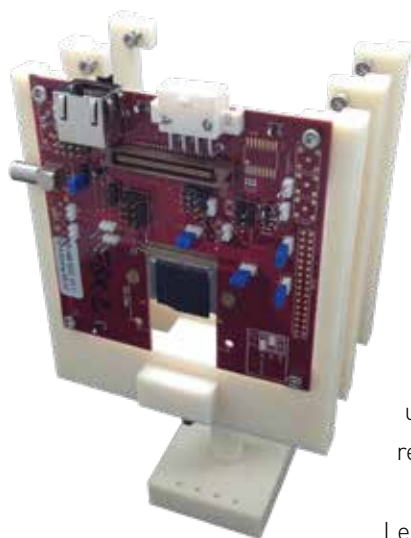
2000 heures de fonctionnement pour l'imprimante 3D.

20 000 points de colles déposés par le robot de collage.

Service Mécanique

Le service de mécanique conçoit, étudie, réalise, monte et met au point des sous-ensembles destinés à être intégrés dans des détecteurs en physique des particules, implantés auprès des grands accélérateurs, ou pour des expériences en astroparticules. Ces réalisations sont menées dans le cadre de collaborations internationales.

En 2017, le service comprend deux ingénieurs de recherche, trois ingénieurs d'étude et trois assistants ingénieur. Le service assure la maîtrise globale du processus, de la rédaction du cahier des charges jusqu'à la livraison au laboratoire ou sur site du projet réalisé et réceptionné. Dans ce cadre, les collaborateurs assurent régulièrement des responsabilités de chefs de projet.



Support imprimé en 3D pour le test de capteurs à pixels dans le cadre de l'upgrade d'ATLAS.

Pour répondre aux demandes des chercheurs, le service dispose d'un bureau d'études équipé de logiciels de CAO (CATIA) et de calcul aux éléments finis performants (ANSYS, ABAQUS) et utilise les systèmes de gestions de données techniques Smarteam et ATRIUM. L'atelier est équipé de machines-outils classiques mais également d'un centre d'usinage à commande numérique et d'un tour numérique. Pour réaliser les fabrications, les prototypistes disposent d'un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (Alphacam). Le contrôle des pièces est effectué sur une machine de mesure tridimensionnelle implantée dans une salle dédiée. L'acquisition en 2013 d'une imprimante utilisant la technique du fil fondu en ABS a permis au service de fabriquer des maquettes pour une meilleure évaluation de l'intégration des pièces. L'imprimante 3D permet également de réaliser des pièces définitives de formes complexes.

Le service possède également de nombreux matériels : pompes à vide, détecteurs de fuite, étuves, enceinte climatique et cryothermostats permettant d'équiper des bancs de tests et de réaliser des prototypes afin de démontrer la faisabilité des solutions développées. En effet, celles-ci intègrent souvent des domaines connexes à la mécanique tels que la mécatronique, le vide, la thermique, la cryogénie, et l'optique. Des outillages spécifiques sont régulièrement développés. Les fabrications de série, ou nécessitant des techniques spéciales, sont effectuées en sous-traitance. Dans ce cas, le service rédige le dossier technique nécessaire à l'appel d'offre et en assure le suivi et la recette. Une démarche qualité a été mise en place depuis plusieurs années.

Un Ingénieur du service, en collaboration avec un physicien de l'équipe ATLAS, a mis au point un outil lié à la CAO qui évalue de manière précise la quantité de matière présente dans un détecteur. Cette expertise est reconnue au sein de la communauté de physique des particules.

Equipe :

B. Canton, W. Ceria,
G. Daubard, F. De Matos,
P. Ghislain, D. Laporte,
Y. Orain, P. Repain,
D. Vincent (chef de service)

Par ailleurs, les membres du service sont impliqués dans des formations ou dans des jurys de concours du CNRS, dans des groupes de travail (Atrium, Smarteam, qualité, calcul, FAO) et plus largement dans des actions de présentation du service au grand public. Un ingénieur du service est membre du comité de pilotage du réseau national des mécaniciens du CNRS. Plusieurs membres ont contribué à l'organisation de formations dans le cadre des réseaux du CNRS et de l'IN2P3.

Pôles d'expertise

L'expérience acquise par les groupes de recherche et les services techniques au cours des différents projets en développement au laboratoire a permis de dégager des pôles de compétences reconnus au sein de l'IN2P3, qu'il s'agisse de détecteurs, de plateforme de calcul ou d'installations spécifiques.

Ainsi, les développements pour les caméras de H.E.S.S. ont conduit à mettre en place des bancs de tests pour les photomultiplicateurs et à approfondir la connaissance sur ces capteurs.

Les activités sur les détecteurs silicium segmentés de l'expérience ATLAS et du projet ILD-CALICE ont nécessité non seulement de caractériser ces capteurs, mais aussi d'investir dans les outils de simulation afin d'améliorer les procédés de fabrication en collaboration avec des industriels du domaine, sans oublier la mise en œuvre de bancs de test.

Enfin, la longue expérience des équipes de cosmologie sur les détecteurs CCD fait du laboratoire un pôle central pour la caractérisation et l'instrumentation de ces capteurs pour les caméras des télescopes au sol.

Plateforme Calcul : le calcul haute performance

Le calcul haute performance (HPC), ou intensif, et son écosystème (moyens de calcul, de communication et de stockage, traitement et exploitation de données) sont au cœur de la plupart des projets du LPNHE. Maîtriser tous les aspects du calcul intensif requiert un travail interdisciplinaire, reposant sur la connaissance d'un domaine applicatif et d'un savoir-faire en modélisation, simulation numérique et exploitation de l'outil informatique dans lequel le LPNHE est impliqué. Toutefois, une grande partie des logiciels exploités jusqu'ici en physique des hautes énergies ne peut être porté tel quel sur des architectures matérielles massivement parallèles.

Pour faciliter cette transition, le LPNHE est en relation étroite avec l'UPMC et son Institut des Sciences du Calcul et des Données (ISCD) qui gère les clusters de calcul parallèle de l'université.

Le LPNHE a aussi acquis deux cartes GPU (Nvidia K2200) et deux cartes Xeon Xphi, chaque paire étant accessible via des serveurs de calcul dédiés. Ces machines doivent permettre aux membres du laboratoire de se familiariser avec ces technologies avant d'utiliser les clusters existant au CCIN2P3 et à l'UPMC. Enfin, le LPNHE bénéficie depuis début 2017 du recrutement d'un ingénieur d'étude en informatique de l'UPMC, à 50 % pour le LPNHE et à 50 % pour l'ISCD, ce qui permettra à terme de renforcer nos liens avec cet institut. Ces moyens de calcul sont complémentaires à ceux déjà utilisés au CC-IN2P3 ou sur la grille de calcul et du *cloud*.



Plateaux techniques : les salles propres

Les salles propres du LPNHE sont en fonctionnement depuis 2010. Elles comportent deux salles dédiées aux détecteurs silicium des projets de R&D ATLAS et ILD et deux salles consacrées aux détecteurs CCD pour le projet LSST. Les classes de propreté vont de l'ISO8 à l'ISO6. Elles occupent une surface totale de 95 m² et la Centrale de Traitement d'Air (CTA) est située dans un local attenant. Une opération financière importante menée conjointement avec l'UPMC a permis d'installer en 2014 un dispositif de déshydratation de l'air qui permet de maintenir un niveau d'humidité relative autour de 50% quelles que soient les conditions climatiques extérieures. Une surveillance automatisée de la température et de l'hygrométrie de chaque salle a été mise en place la même année. Les salles bénéficient depuis le local technique d'un approvisionnement centralisé en air comprimé filtré, en azote gazeux et, quand cela s'avère nécessaire en azote liquide. Par ailleurs une pompe à vide commandée de l'intérieur des salles est située dans la coursive pour alimenter tous les dispositifs nécessitant un vide primaire.

L'évolution des projets a amené le laboratoire à procéder à des modifications sur l'infrastructure des salles : des traversées étanches ont été installées pour déporter du matériel contaminant, bruyant et volumineux hors des salles, une ouverture à guillotine a été percée entre deux salles ISO6 et ISO7.

L'organisation des salles propres s'appuie sur la direction technique du laboratoire et sur le support quotidien d'un technicien des services généraux. Tout nouvel utilisateur des salles doit obtenir l'autorisation du responsable et suivre une initiation aux précautions d'usage et de sécurité. Cela permet de garantir la qualité des salles pour les activités qui y sont effectuées.

Les salles propres sont également sous contrat de maintenance et de nettoyage.

La sécurité des personnels est une priorité du laboratoire. Plusieurs dispositifs sont présents dans les salles :

- une centrale de détection du taux d'oxygène gérant 5 sondes, une dans chaque salle et dans le local technique comportant les bouteilles d'azote ;
- un dispositif de secours en cas de déclenchement de l'alarme oxygène ;
- un dispositif d'alarme pour travailleur isolé (DATI) présent dans chaque sas.

Ces salles propres, leur fonctionnement contrôlé et les activités qui y sont menées en font un plateau technique de plus en plus spécialisé qui permet d'augmenter l'expertise des équipes en moyens de caractérisation et de manipulation des capteurs silicium et CCD.

Par ailleurs, dans le cadre des tests de l'ensemble du « changeur de filtres » du carrousel LSST, une salle ISO7 temporaire a été aménagée dans l'atelier de montage. Celle-ci a une hauteur sous plafond de 3,50 m sur une surface de 7m x 7m. Elle est accessible par un sas à lamelles souples et possède une trappe de 1,5m x 3m dans son plafond permettant un accès par pont roulant.

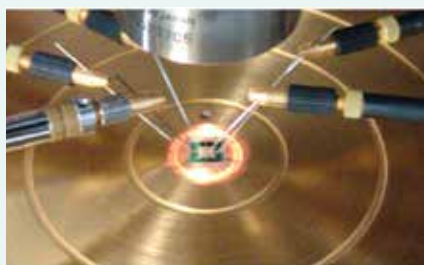
Le robot de collage développé pour l'ILD a été équipé d'un plafond soufflant d'une surface de 3,2m x 3,2m sous 2,2m sous plafond. Cette structure souple permet une classe ISO7 tout en ayant un ensemble déplaçable.

UPGRADE D'ATLAS

L'équipe technique engagée sur l'upgrade d'ATLAS travaille sur quatre activités de R&D.

R&D sur le détecteur central à pixels ITk

Les capteurs en silicium constituant le détecteur ITk devront fonctionner à basse température. Pour valider les prototypes, des essais en laboratoire seront effectués jusqu'à -20 °C. Pour mesurer leurs caractéristiques électriques, les prototypes sont déposés dans une machine à pointes équipée d'une platine doublement réfrigérée, par effet Peltier et par la circulation d'un liquide frigorigène. Un système de ventilation avec anneau de soufflage a été conçu et réalisé pour éviter la formation de condensation. Par ailleurs, un système laser (TCT) est utilisé pour mesurer les caractéristiques de collecte de charge des prototypes.



Le projet RD53

RD53 est un projet indépendant du CERN, mené par une collaboration dont le LPNHE fait partie et dont le but est de développer la prochaine génération de puces de lecture

pour les capteurs de pixels. La puce RD53 sera la base de la future puce de lecture ATLAS ITk. Le LPNHE est responsable de la mise en œuvre du protocole de communication Aurora 64b66b qui sera utilisé par le prototype RD53A. Celui-ci devrait être produit au second semestre de 2017.

Développement d'un circuit de mémoire associative

Le LPNHE participe, en collaboration avec l'INFN (Italie) et l'Université de Melbourne (Australie), au développement d'un circuit de mémoire associative nommé AM chip, pour le projet FTK/FTK++ d'ATLAS. La puce en technologie TSMC 65 nm nommée AM06 a été produite en 2015 et testée en 2015-2016. Elle a été sélectionnée comme puce pour FTK. La production de masse de cette puce a débuté en 2016. Le test industriel de l'AM06 est basé sur le banc de test développé au LPNHE. Parallèlement, le développement de la puce pour l'upgrade ATLAS Phase-II a commencé en utilisant une technologie TSMC 28 nm. Un premier prototype réduit a été produit et testé en 2016. Un prototype plus large, AM07, a été produit en 2017 et il sera testé d'ici la fin de 2017. Un nouveau prototype, AM08, est prévu pour la production en 2018-2019.

HGTD

Le LPNHE est partie prenante d'une proposition de détecteur hautement granulaire permettant une mesure précise du temps à

l'avant («*High Granularity Timing Detector*», HGTD) dans le cadre de l'amélioration de détecteur ATLAS pour la phase de haute luminosité. Le groupe contribue aux tests des capteurs en silicium en utilisant la machine à pointes, un laser ou une source radioactive en fonction du type de mesures à effectuer. Il a par ailleurs contribué à l'assemblage d'un premier prototype grâce au robot de collage mis au point dans le cadre de la collaboration Calice. Ce plan de détecteur ainsi que certains capteurs caractérisés au LPNHE ont été testés en faisceau au CERN en 2016 et le groupe contribue à l'analyse des données ainsi recueillies. Par ailleurs, une version de capteur a été dessinée au LPNHE. Il est prévu que la conception de la carte de lecture, l'assemblage et les tests soient assurés par le laboratoire.

.....
Equipe : F. Crescioli, J. David, M. Garci, F. de Matos, D. Laporte, O. Le Dortz, V. Voisin
.....



UPGRADE DE LHCb

Le LPNHE est impliqué dans le développement de l'électronique de lecture du trajectographe à fibres scintillantes de l'upgrade de LHCb (SciFi tracker), qui remplacera en 2019 les stations du trajectographe situées après l'aimant du détecteur actuel.

Les fibres scintillantes du trajectographe SciFi sont lues par des photomultiplicateurs à silicium (SiPM), dont les signaux sont

traités dans des cartes *front-end*, proches du détecteur. Dans ces cartes, les signaux des SiPM sont amplifiés, mis en forme et numérisés dans un circuit intégré appelé PACIFIC (*low-Power ASIC for the sCIntillating Fibres traCker*). Les données sont ensuite transmises à un circuit programmable FPGA qui exécute un algorithme rapide de « clusterisation » afin de réduire le volume

de données. Les clusters issus de plusieurs SiPM sont ensuite conditionnés et transférés vers l'extérieur du détecteur, par l'intermédiaire de liens optiques multi-gigabit GBT, développés par le CERN.

Les données issues de plusieurs cartes front-end et transmises par ces liens optiques sont recueillies, hors du détecteur, par des cartes « *back-end* » nommées

• • •



TELL40, construites sur la base d'un FPGA puissant. Dans ce FPGA, les données séries issues des liens optiques sont d'abord décodées, les clusters récupérés sont ensuite rassemblés par événement puis conditionnés sous forme de « multi-événements » pour être ensuite traités et enregistrés vers une ferme de processeurs.

Le LPNHE a pris en charge l'implantation des cartes back-end TELL40 du détecteur SciFi. Ces cartes, développées par le CPPM, équiperont tous les sous-détecteurs de l'upgrade de LHCb, mais le microcode présent dans le FPGA principal doit être adapté aux besoins de chaque sous-détecteur.

Une première version de ces cartes a été réalisée sous la forme de modules AMC pour carte ATCA et de FPGA Altera Stratix V et, à terme, les cartes TELL40 prendront la forme de modules PCIe et de FPGA Aria GX 10, dont des prototypes sont actuellement en phase de production. Dans une première étape, le laboratoire s'est attelé à effectuer des simulations poussées de la chaîne complète du détecteur à base d'un *firmware* (microprogramme) générique pour les cartes TELL40, afin de définir précisément le dimensionnement et la modularité de la chaîne d'acquisition. Désormais, les efforts se concentrent sur le développement

d'un *firmware* de FPGA TELL40 spécifique adapté à l'architecture du détecteur SciFi. Il a également contribué à l'amélioration de l'algorithme de « clusterisation » implanté dans les cartes *front-end*. Par ailleurs, durant l'année 2016, la collaboration a produit un prototype de carte *front-end*. Le laboratoire a contribué aux tests sur banc de ce prototype et poursuit ces tests en 2017, notamment sous irradiation.

.....
Equipe : O. Le Dortz, E. Sepulveda, D. Terront

ILD-CALICE

La collaboration CALICE s'est constituée pour mettre au point un prototype de calorimètre électromagnétique silicium-tungstène pour le futur accélérateur linéaire ILC (*International Linear Collider*). Dans ce cadre, le laboratoire s'est engagé en 2012 dans l'assemblage automatisé de capteurs silicium sur les circuits imprimés assurant la lecture et le traitement des signaux. Ces détecteurs, pour la plupart fabriqués par Hamamatsu, possèdent les caractéristiques suivantes :

- Dimensions : 89,7 x 89,7 mm²
- Epaisseur : 300 µm ou 500 µm
- Résistivité : 5000 ohm.cm
- Segmentation : 16x16 pixels sur une face.

Les cartes électroniques ont été développées par le LLR et les ASICs (du type SKIROC) par le laboratoire OMEGA.

L'équipe du LPNHE a pris en charge la confection des capteurs actifs du détecteur

CALICE (ASU), constitués sur la même carte support, d'un côté les 4 capteurs silicium, et de l'autre l'électronique associée à ces 1024 canaux.

Pour cela, les dimensions des circuits imprimés nus sont contrôlées de façon rigoureuse, à l'aide d'une machine de mesures tridimensionnelles de précision 5 µm.

Ensuite, une fois l'électronique installée sur les circuits imprimés, les capteurs sont connectés par dépôt de colle conductrice et l'ensemble est pressé, le tout à l'aide d'un robot automatique conçu et fabriqué au laboratoire (précision 20 µm en X et Y, 10 µm en Z). Le robot est piloté par LabView, et grâce à une caméra embarquée, permet à l'opérateur de vérifier chaque phase de l'opération, avant de lancer la suivante.

Enfin, le bon fonctionnement de la connexion est contrôlé à l'aide d'un banc de test électrique développé en collaboration avec

le LLR. Ce banc sert aussi à vérifier les capteurs silicium avant collage.

Le laboratoire a ainsi fourni à la collaboration 11 ensembles fonctionnels, qui ont été assemblés au LAL pour être testés sur accélérateur au CERN et à DESY, afin de finaliser un démonstrateur de calorimètre viable, capable de convaincre les concepteurs du détecteur ILD du bien-fondé de ce type de détecteur.

Dans le cadre d'une démarche de qualité, l'équipe tient à jour une base de données de toutes les opérations effectuées, afin d'en assurer la traçabilité.

.....
Equipe : *Electronique et instrumentation :*

J. David, J.-M. Parraud

Mécanique : P. Ghislain, D. Vincent

GRIF

Le projet de « Grille de Calcul Régionale en Ile de France » (GRIF) est un effort des six laboratoires de physique des hautes énergies d'Ile de France pour mettre en place une ressource unique de calcul et de stockage basée sur les technologies des grilles de calcul et du *cloud*. GRIF est un centre de calcul majeur (Tier 2 et Tier 3) pour le LHC dans le cadre de la collaboration « *World LHC Computing Grid* » (WLCG) et répond aux besoins d'autres expériences dans le cadre de la grille « *European Grid Initiative* » (EGI). Il est physiquement réparti sur plusieurs sites de la région parisienne et géré par une équipe d'une quinzaine de personnes appartenant aux différents laboratoires participants (APC, IPNO, LAL, LLR, LPNHE et CEA-IRFU).

La capacité du site GRIF est assurée par 151 nœuds de calcul permettant de traiter 3432 tâches simultanément. L'espace de stockage (SAN et DAS) est de 2,75 pétaoctets utiles sur des disques accessibles à travers un système basé sur DPM (*Disk Pool Manager*). Le réseau se fait avec des liens à 10 Gbit/s entre les membres de GRIF, vers le CCIN2P3 et les autres centres, à travers RENATER.

Un ingénieur a assuré l'administration et l'exploitation du site en 2015-2016, puis deux depuis janvier 2017. Cette équipe a contribué

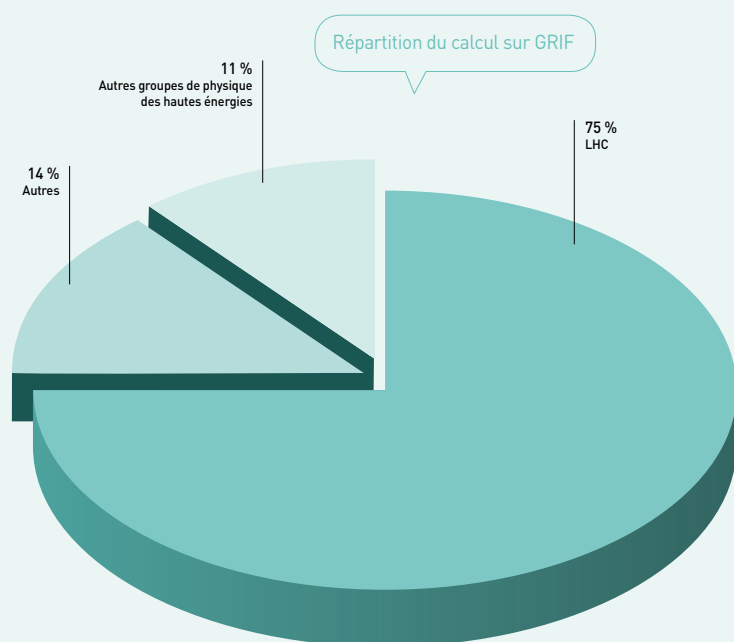


au déploiement de l'intergiciel, au développement de l'outil Quattor dans l'ensemble du projet GRIF qui permet de définir et maintenir une configuration générique des services de la grille et au développement d'outils de monitoring. L'opération des ressources des sites français de la Grille est coordonnée par la direction de France-Grilles. Un démonstrateur de *cloud* est actuellement en cours de développement. Dans le cadre du projet LCG France, des réunions entre les différents sites ont lieu deux fois par an et des réunions

de coordination des Tier 2 et des Tier 3 ont lieu par vidéo-conférence tous les mois.

GRIF au LPNHE est un Tier 2 pour les expériences ATLAS et LHCb. Sur la période 2015-2017, les ressources de calcul sont utilisées par les expériences auprès du LHC, par les autres groupes de physique des hautes énergies et par des collaborations d'autres disciplines provenant de l'UPMC. Pour la période 2015-2016, GRIF a contribué à 1,91 milliards d'heures de temps de calcul effectif, dont 356 millions avec le site du LPNHE.

Les ressources de stockage au LPNHE sont dédiées à 90% pour les expériences auprès du LHC (ATLAS, LHCb). Les ressources sont accessibles depuis un serveur configuré comme point d'accès utilisateur de la grille. Les laboratoires de l'UPMC peuvent utiliser une organisation virtuelle locale pour envoyer des tâches sur la grille. Le site du LPNHE a été largement soutenu par l'IN2P3 et l'UPMC. Son budget d'investissement pour le matériel, intégré depuis 2005, a dépassé 1,4 millions d'euros. Le projet continuera dans les années à venir, en particulier sa politique d'ouverture vers d'autres disciplines au sein de l'UPMC.



.....
Equipe : A. Bailly-Reyre, F. Derue, V. Mendoza
.....

CTA

L'expérience CTA (*Cherenkov Telescope Array*) sera le prochain observatoire d'astronomie gamma de très hautes énergies au sol. Une centaine de télescopes de 3 tailles différentes (*Small, Medium and Large Size Telescope* : SST, MST, LST) seront déployés sur les deux sites expérimentaux choisis pour l'expérience : le premier dans l'hémisphère Nord sur l'île de La Palma aux Canaries et le second dans l'hémisphère Sud, au Chili.

Le LPNHE, dans la continuité de son activité dans l'expérience H.E.S.S. avec la maîtrise d'œuvre de l'instrumentation des 5 caméras, a une implication technique majeure dans le projet de caméra NectarCAM qui équipera une partie des MST avec la responsabilité du groupe de travail pour l'électronique frontale de la caméra (FEE WP). Cette activité se fait en collaboration étroite avec les autres groupes de travail chargés de l'instrumentation du plan focal « FPM : *Focal Plane Equipment WP* » (IRAP, Toulouse), du système d'acquisition et du transfert des données « *Processing WP* » (CPPM, Marseille), du système de déclenchement et de distribution d'horloge « *Trigger and Clock WP* » (UCM, Madrid) et de la mécanique « *Mechanics and cooling WP* » (LLR, Palaiseau).

Ce groupe de travail se divise en deux activités, le développement d'ASICs et la conception de la carte électronique de lecture (FEB : *Front End Board*) incluant le firmware embarqué dans un FPGA. Le LPNHE a la responsabilité de la carte FEB. Les ASICs sont eux réalisés :

- à l'IRFU pour le circuit NECTAr, assurant l'échantillonnage, le stockage puis la conversion des signaux des détecteurs (1855 photomultiplicateurs pour une caméra) ;



- en Espagne (ICC-UB, Barcelone ; UCM, Madrid ; Ciemat, Madrid) pour ce qui est des amplificateurs (ACTAf2chF) et des circuits dédiés au système de déclenchement, L0ASIC et L1 ASIC.

Tous ces circuits sont installés sur la carte FEB qui en gère le contrôle et la configuration. La carte comporte 7 voies de mesures, pour les 7 photomultiplicateurs constituant le module. Le signal de chaque voie est d'abord amplifié puis aiguillé vers 3 voies, deux pour la mesure (haut gain et bas gain) et une pour le système de déclenchement. Un circuit NECTAr échantillonne les 2 voies de mesure d'un pixel puis stocke le signal échantillonné avant de le numériser au déclenchement de la caméra. Les données ainsi obtenues sont ensuite stockées par le FPGA, mises en forme selon la configuration choisie et transmises au *camera server*. Ce dernier rassemble les événements provenant des différents modules, vérifie l'intégrité des données et assure le transfert des événements ainsi reconstitués vers l'acquisition centrale.

Durant l'année 2015, l'équipe du LPNHE a réalisé les cartes (20 exemplaires) pour équiper le démonstrateur de caméra installé à l'IRFU à Saclay. Ce démonstrateur, permet de valider le concept de la caméra modulaire à une échelle réduite mais avec l'ensemble des constituants, du plan focal jusqu'au système d'acquisition. Les quelques cartes restées au laboratoire,

ont permis d'avancer sur le développement du *firmware* intégré, de l'environnement logiciel, de contrôle et d'interface, notamment le serveur OPCUA : NMC (*Nectar Module Controller*) qui doit être fourni avec la carte et l'interface graphique QNectarCam qui permet le test approfondi de la carte au laboratoire et enfin sur le développement des programmes de test et du banc de test entièrement automatisé qui sera fourni à l'industrie lors de la production en masse des cartes FEB pour CTA.

En 2016, l'équipe a réalisé le prototype de la carte FEB, qui équipera le modèle de qualification attendu pour 2018. Dans cette version, tous les ASICs développés pour l'électronique frontale sont soudés directement sur la carte, évitant l'utilisation de mezzanines préalablement utilisées pour les circuits de déclenchement. Cette version plus intégrée et plus compacte doit permettre d'accroître la fiabilité tout en réduisant les coûts de production. Ces trois cartes prototypes FEB2 V4, testées début 2017, ont permis de détecter quelques anomalies et de préparer la version finale de la carte. La carte FEB2 V5 est actuellement en cours de production et sera livrée en juin 2017.

Le projet CTA a reçu l'aval du comité TGIR en janvier 2017, pour la construction des caméras NectarCAM qui équiperont une partie des télescopes MST. L'équipe continue à travailler sur l'amélioration du firmware et du logiciel et finalise le développement des outils qui permettront un test de production entièrement automatisé. La production de la totalité des cartes FEB nécessaires pour équiper toutes les caméras NectarCam devrait commencer fin 2017 pour s'achever vers 2022.

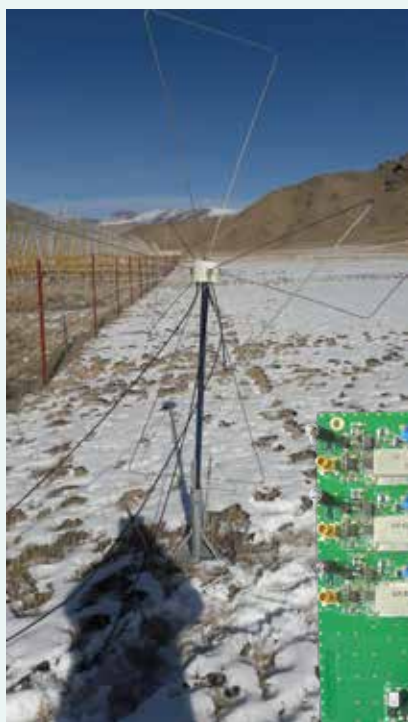
.....
Equipe : P. Corona, S. Karkar, J. L. Meunier, P. Nayman, F. Tousseneil, V. Voisin
.....



TREND ET GRANDPROTO

L'activité GRANDproto s'inscrit dans la continuité des développements passés de l'expérience TREND, un réseau de 50 antennes autonomes, conçu pour détecter les émissions radio provenant des gerbes de particules produites par l'interaction des rayons cosmiques de haute énergie dans l'atmosphère. L'expérience TREND est opérationnelle depuis 2011 et se situe dans la province du Xinjiang en Chine, sur le site du radio-observatoire 21CMA.

Déployé au même endroit, GRANDproto est un réseau de 35 antennes réparties sur 2 km², auquel s'ajoute un système de 21 scintillateurs utilisés pour valider a posteriori l'origine cosmique des événements détectés. Ces nouvelles antennes et leur nouveau système d'acquisition doivent permettre d'améliorer significativement l'efficacité de détection et d'identification des gerbes atmosphériques.



Antenne papillon GRANDproto.

Via un contrat de prestation de service signé avec le NAOC (laboratoire chinois porteur du projet GRANDproto), le LPNHE s'est engagé en 2015 à étudier le système d'acquisition des antennes, à délivrer deux prototypes fonctionnels puis à lancer la production d'une trentaine de ces cartes. Ce système d'acquisition est une carte électronique très rapide incluant à la fois des composants sur mesure et des composants programmables.

Chaque antenne est équipée de trois voies permettant de mesurer la polarisation du champ électrique détecté. Cette information est une signature forte des gerbes atmosphériques, et constitue donc un outil précieux pour la réjection du bruit de fond. Chaque voie reçoit son signal à travers un préamplificateur intégré bas-bruit, les signaux détectés sont ensuite filtrés dans la bande 30-100 MHz, puis séparés en deux :

- une voie de déclenchement, qui par un seuil programmable, va initier l'acquisition ;
- une voie d'acquisition qui mesure la puissance du signal reçu, le numérise par un Convertisseur Analogique-Numérique 12 bits - 100 MHz - série et le stocke dans une mémoire circulaire à l'intérieur d'un FPGA cadencé à 300MHz.

Le signal PPS d'un GPS est utilisé pour identifier temporellement les événements.



- D'autres fonctionnalités existent incluant :
- un générateur interne d'amplitude variable pour étalonner en ligne chaque voie de mesure ;
 - le réglage des différents paramètres (seuils de déclenchements, activation des voies, adresse IP, mode calibration, mode ADC-pattern, etc.) ;
 - la lecture de la température et des tensions d'alimentation.

Ce système d'acquisition est relié à un PC par un lien Gigabit Ethernet soit cuivré soit optique (distance testée jusqu'à 10 km). Une interface graphique sous Labview ou des commandes en ligne sous Python permettent de le contrôler.

Durant l'année 2015, l'ensemble de ces éléments et fonctionnalités ont été conçus, mis en œuvre et testés grâce à deux cartes distinctes, l'une analogique et l'autre numérique. Au cours de l'année 2016, ces cartes ont été associées et installées sur site pour évaluation.

Les résultats obtenus étant très satisfaisant (avec notamment un taux d'acquisition des données de 100% jusqu'à des fréquences de trigger de 2kHz), la décision d'unifier les deux cartes en une seule et de lancer la fabrication de 2 exemplaires de pré-série a été prise fin 2016. Le premier semestre 2017 est consacré à la mise en place d'un banc de tests des cartes unifiées et la conception d'un boîtier étanche qui permettront de finaliser la réalisation du contrat de prestation.

Equipe : J. Coridian, J. David, M. Dhellot, D. Martin, O. Martineau, J.-M. Parraud, E. Pierre

Carte unifiée GRANDproto.

DAMIC

Les engagements techniques du LPNHE pour l'expérience DAMIC concernent la conception, le développement et la validation d'un système de lecture de CCD autonome et ultra bas bruit. L'objectif est d'atteindre un bruit de lecture inférieur à 0,2 électron (environ 0,5 μV pour les CCD de DAMIC) avec une vitesse de lecture supérieure à 10000 pixels/seconde. Les développements s'articulent autour de l'expertise et des réalisations effectuées pour la caméra de LSST et en particulier pour les puces de lecture et de contrôle/horloge ASPIC et CABAC.

Les études préliminaires ont conduit à l'architecture suivante :

- Pour la lecture un ASIC nommé CROC (pour CCD *ReadOut Chip*) dérivé de ASPIC et qui sera situé dans le froid (150 K) au plus près des CCD de DAMIC. CROC dispose d'une série de gains programmables et est uniquement chargé d'amplifier le signal

vers une carte de numérisation située au chaud.

- Pour le contrôle et la numérisation une carte nommée ODILE (*Online Digital Interface for Low noise Electronics*) comprend (entre autre) trois modules CABAC pour la génération des horloges, des biais et des signaux de contrôle du CCD, un FPGA pour la gestion des ADC et des chips CABAC, le filtrage numérique en ligne et le transfert des données sur une liaison Ethernet gigabit, un ADC d'au moins 18 bits avec une vitesse de lecture de 2MHz. Le choix final n'est pas encore optimisé.

L'ensemble CROC+ODILE forme un module complet et autonome de lecture de CCD et peut être reproduit au besoin pour accommoder le design final de l'expérience DAMIC-1000 qui envisage de disposer d'une masse d'au moins 1kg de CCD (environ une centaine de CCD) pour la recherche de

matière noire. Cette architecture offre donc une totale flexibilité et une grande indépendance de chaque CCD pour l'assemblage du système complet.

Depuis 2016, le chip ASPIC a été testé sur les CCD de DAMIC existants. Un câble en Kapton portant ASPIC et permettant de transporter le signal vidéo depuis les CCD dans le cryostat vers l'interface au monde extérieur a été conçu et produit. Ce Kapton entre en phase de test tandis que les premiers schémas d'ODILE sont dessinés.

.....
Equipe : *Electronique* : P. Bailly, M. Dhellot, C. Juramy-Gilles, L. Khalil (doctorante), H. Lebbolo, D. Martin, A. Vallereau
Mécanique : P. Repain
.....

CHAMP (CONTRÔLE HAPTIQUE ET ASSERVISSEMENT DE LA MÉCANIQUE DES PIANOS DE CONCERT)

Le projet CHAMP concerne la réalisation d'un système de motorisation asservie de la mécanique d'un piano à queue afin d'offrir de nouvelles couleurs aux préparateurs de pianos et de nouvelles voies d'expressions musicales aux interprètes tout en gardant intact le toucher traditionnel des mécaniques à répétition.

Ce projet interdisciplinaire associe de nombreuses compétences, en lutherie artisanale, en technique de préparation de piano, en physique, en électronique rapide et en mécanique de précision. Il comporte trois phases : la première concerne la réalisation d'un modèle numérique et d'un modèle physique de quelques notes comprenant chacune un capteur de mouvement afin de tester le système d'asservissement et le positionnement des moteurs. Une deuxième

phase concerne l'exploration des possibilités sonores offertes par cet asservissement (entre autres l'introduction de marteaux lourds, le déplacement du point de frappe ou la modification du système de répétition). Elle conduira à la réalisation d'un prototype avancé d'une ou deux octaves pour le calibrage et l'étude des réglages de l'asservissement qui devront être offerts aux préparateurs et aux artistes. La troisième phase comporte la réalisation d'un clavier complet de 88 ou 102 notes avec présentation lors d'un concert public. Les phases une et deux (en partie) ont été financées début 2017 par la mission interdisciplinaire du CNRS.

Depuis mars 2017 plusieurs accéléromètres ont été testés et installés sur un profil de mécanique de piano à queue, un petit programme de contrôle d'un moteur linéaire

a été écrit et un prototype de carte d'intégration analogique du signal des accéléromètres a été réalisé pour obtenir les informations de vitesses et de positions. Les premiers tests de connexion de l'ensemble (moteur + carte d'intégration + accéléromètre) bien que très préliminaires, sont encourageants.

En parallèle un châssis mécanique capable de soutenir un ensemble de 4 notes (premier, deuxième et troisième do grave du piano C1, C2, C3) a été conçu pour faire les premiers tests de contrôle et d'harmonisation. Ce châssis est en cours d'assemblage.

.....
Equipe : H. Lebbolo, P. Repain
.....

LSST

Pour l'expérience en préparation LSST, l'équipe technique du LPNHE a développé et produit l'électronique de lecture des CCD sous forme d'un ASIC, conçu le microcode de contrôle et de configuration de l'électronique du plan focal, et construit un banc de test complet des CCD intégrant cette électronique. Au cours de ces activités, elle a acquis une expertise reconnue dans la collaboration sur les CCD, sur leur électronique, et en particulier sur le diagnostic de leur fonctionnement. L'équipe a également la responsabilité de la mécanique du carrousel des filtres du télescope.

Electronique de lecture et de contrôle des CCD

Les CCD de LSST incluent des caractéristiques jamais assemblées dans un même capteur à ce jour : 16 sorties par CCD de 4000 x 4000 pixels pour une lecture à 550 kHz avec un bruit total pour la chaîne de lecture inférieur à 5 électrons en moyenne, une épaisseur de 100 μm , et une efficacité quantique élevée sur le spectre entre 320 nm et 1070 nm.

Le nombre de CCD (201) et de canaux de lecture (3216) impliquent une électronique compacte pour le plan focal de LSST. Le LPNHE, en collaboration avec une équipe du LAL, a eu la charge de la conception, du test, de la qualification et de la production de l'ASIC ASPIC (*Analog Signal Proces-*

sing Integrated Circuit) pour le traitement analogique du signal directement à la sortie du CCD : depuis 2007, quatre générations d'ASPIC ont été conçues. La version finale remplit l'ensemble des besoins de LSST, avec en particulier un bruit maximum de 13.2 $\mu\text{V RMS}$ à 550 kpixels/s (2.3 électrons), une diaphonie entre les huit canaux du circuit inférieure à 0.02% et une dissipation de puissance inférieure à 30 mW par canal. L'équipe a également développé un ASIC pour le contrôle des CCD, le CABAC (*Clocks And Biases Asic for Ccids*), qui n'a finalement pas été retenu pour les cartes de production de LSST car une solution commerciale plus économique a vu le jour à la fin du processus de conception.

Le banc de test modulaire (voir photo) vérifie automatiquement les fonctionnalités des circuits en trois minutes en mode de production. Suite à des problèmes de délamination apparus dans certains circuits prototypes, le test de production comporte aussi un volet en chambre climatique, où les circuits sont soumis à un cycle thermique.

1187 circuits testés ont été livrés à SLAC pour intégration sur les cartes électroniques de LSST. Les données produites ont été insérées dans la base de données de la caméra de LSST, où chaque circuit est ensuite associé à la carte à laquelle il a été intégré.

Banc de test des CCD

La période 2015-2016 a vu la mise en route effective du banc de test CCD, comportant des éléments mécaniques, optiques, cryogéniques, et l'électronique de la caméra de LSST, au sein de deux salles blanches. En 2016, lorsque les vendeurs des CCD de LSST (ITL et E2V) ont commencé à fournir les senseurs de production, certains défauts sont apparus qui étaient éliminatoires dans les spécifications de LSST. À la demande de la collaboration, le banc du LPNHE a servi à tester un CCD du vendeur E2V qui présentait des défauts, à analyser leur origine, et à valider les solutions proposées et les nouveaux critères à appliquer aux senseurs.

Depuis fin 2012, le LPNHE assure la responsabilité du développement du microcode des FPGA contrôlant l'électronique du plan focal. Outre les fonctionnalités de base, des outils innovants de contrôle des CCD (via les séquences d'horloges) et de diagnostic ont été ajoutés au microcode. Ces outils ont été essentiels pour les diagnostics avancés qui ont été effectués sur le banc du LPNHE. La responsabilité du LPNHE dans LSST a été étendue en 2016 à la définition des séquences d'horloges pour tous les modes d'opération de la caméra, dans le respect des contraintes de bruit et de temps de lecture. Ce travail se continue à la fois sur les premiers éléments construits de LSST (« raft » de 9 CCD) à BNL, et sur le banc de

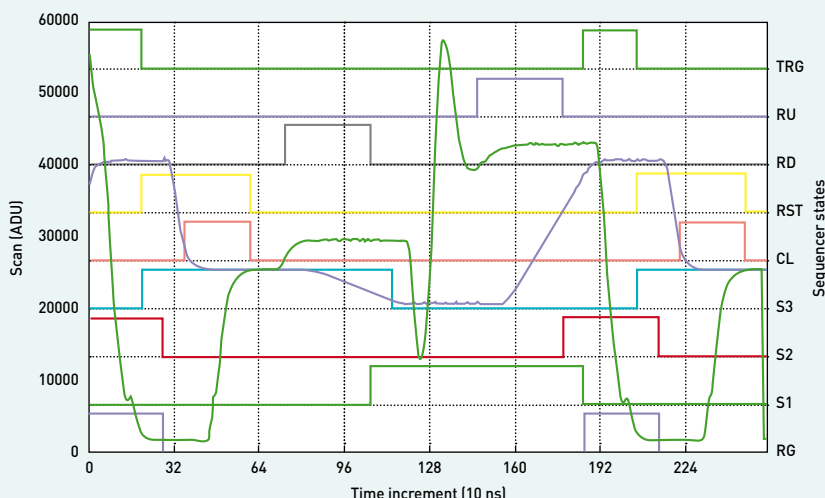


Tests de production de l'ASIC analogique de lecture des CCD : l'ASPIC.



Banc CCD complètement équipé avec l'électronique de lecture de LSST.





Un des outils de diagnostic pour la lecture de CCD : la superposition des états des horloges de contrôle et de l'état de la sortie du CCD, vue à travers la chaîne de lecture vidéo.

test au LPNHE pour la quantification des effets fins.

La mécanique du carrousel de filtres

Le LPNHE participe depuis 2007 à la construction du système de changeur de filtres de la caméra de LSST en collaboration avec le CPPM, le LPSC, le LPC Clermont et l'APC. La validation de la conception, en octobre 2015, des différents sous-systèmes lors de la « *Final Design Review* » a permis de lancer la fabrication du démonstrateur à l'échelle 1 dans le hall de montage du LPNHE. Après réception

d'un prototype de *back-flange* étudié et construit par le LPC Clermont, le montage des différents sous-systèmes du LPNHE a commencé : rail de guidage, collecteur slip ring, anneaux d'entraînement et motorisation. En interaction avec les collègues de SLAC, les derniers calculs par éléments finis ont été réalisés à l'automne 2016, permettant de valider le design. Après une période de réglage et de mise au point, le système d'entraînement du carrousel fonctionne depuis décembre 2016. Les plans de tests établis précédemment pour valider la motorisation et la partie contrôle commande sont en cours d'exécution.

Parallèlement, les équipes travaillent sur la finalisation des plans pour le modèle final afin de commander les pièces qui ont un temps important de fabrication. Les collègues américains ont de leur côté lancé la fabrication du *back-flange* et du corps de la caméra qui permettent la mise en place du chargeur de filtres.

En juin 2017, l'ensemble du projet a passé la « *Manufacturing Readiness Review* » qui a donné le feu vert pour lancer la fabrication du modèle final. Le début de l'intégration du modèle final devrait commencer en mars 2018 à Paris.

Equipe : *Electronique* : P. Bailly, M. Dhellot, C. Juramy-Gilles, S. Karkar, H. Lebbolo, D. Martin, S. Russo
Mécanique : W. Ceria, G. Daubard, P. Ghislain, F. De Matos, D. Laporte, Y. Orain, P. Repain, D. Vincent
Informatique : O. Dadoun, E. Sepulveda, D. Terront

DESI

Le LPNHE a rejoint la collaboration internationale DESI (*Dark Energy Spectroscopic Instrument*) à l'automne 2015. DESI est un projet international de cosmologie qui utilisera les oscillations acoustiques des baryons pour apporter des réponses aux questions actuelles sur la nature de l'énergie noire. Les dix spectrographes installés sous le télescope Mayall, à Kitt Peak en Arizona, analyseront la lumière de 5000 objets observables simultanément à chaque pose. La participation technique du laboratoire à la collaboration DESI se divise en deux parties.

La première partie concerne les tests de caractérisation et de validation des spectro-

graphes. En 2016, le LPNHE a proposé et réalisé un système permettant de mesurer la transmission optique d'un spectrographe après son assemblage. Le système a été installé et utilisé avec succès lors de la campagne de mesure de caractérisation du premier spectrographe début 2017. Le système de mesure est intégré au banc de tests réalisé par les collaborateurs et restera en place pour les tests des 9 spectrographes suivants.

La deuxième partie concerne la calibration des spectrographes sur site. Le LPNHE a la responsabilité du système de calibration des spectrographes qui sera utilisé pendant la

campagne de mesure de DESI. Ce système est constitué de lampes spectrales (fournissant des lignes de longueur d'onde connues) et de lampes blanches, ainsi que d'un écran attaché au dome du télescope. En 2016 le LPNHE a repris l'étude d'agrandissement de l'écran existant et le nouvel écran a été acheté en mai 2017. Egalement en 2017, le LPNHE construit les 4 boîtes contenant chacune, dans une architecture modulaire, 5 lampes spectrales et 2 lampes halogènes.

Equipe : S. Karkar, P. Ghislain, P. Repain

PUBLICATIONS, COMMUNICATIONS

Publications

Philippe Bailly, Marc Dhellot, Claire Juramy-Gilles, Hervé Lebbolo, David Martin et al.

- DOI : 10.1088/1748-0221/12/03/C03017

Francesco Crescioli et al.

- DOI : 10.1088/1748-0221/11/02/C02063
- DOI : 10.1016/j.nima.2015.09.086
- DOI : 10.1088/1748-0221/11/06/P06008
- DOI : 10.1109/TNS.2017.2688586
- DOI : 10.1109/TNS.2017.2703908
- DOI : 10.1109/ICECS.2015.7440331
- DOI : 10.1109/NSSMIC.2015.7581783
- DOI : 10.1109/NSSMIC.2015.7581789
- DOI : 10.1109/MOCAST.2016.7495145
- DOI : 10.1109/MOCAST.2017.7937676
- DOI : 10.1109/MOCAST.2017.7937632

Francesco Crescioli, Olivier Le Dortz et al.

- DOI : 10.1088/1748-0221/11/12/C12058

Mohammed Ali Mirzaei, Francesco Crescioli et al.

- DOI : 10.1109/IPDPSW.2016.21

Mohammed Ali Mirzaei, Vincent Voisin, Francesco Crescioli et al.

- DOI : 10.1109/MOCAST.2017.7937638

Eduardo Sepulveda et al.

- DOI : 10.1109/ISBI.2017.7950461

Communications à des conférences scientifiques, écoles ou enseignement

Thomas Audo

- « OpenVPN au LPNHE », Journées informatiques IN2P3, Le Lioran, septembre 2016

Francesco Crescioli

- « FTK AMchip05: an Associative Memory Chip Prototype for Track Reconstruction at Hadron Collider Experiments », EPS HEP 2015, Vienne, 24/07/2015
- « A Novel Associative Memory Based Architecture for Sequence Alignment », 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), 23/5/2016

Didier Laporte

- Participation au forum « Tracking Detector Mechanics », Amsterdam, Pays Bas, 2015

Hervé Lebbolo

- « L'électronique dans les expériences », Ecole IN2P3 «du détecteur à la mesure», Roscoff, juin 2015

François Legrand

- « Load Balancing avec Keepalived », Journées informatiques IN2P3, Le Lioran, septembre 2016

Vincent Voisin

- « Heterogeneous computing system platform for high-performance pattern recognition applications », MOCAST 2017, Thessalonique (Grèce), mai 2017

Séminaires et présentations diverses

Philippe Repain

- Présentation de l'analyse de l'enquête sur l'Impression 3D au CNRS, ANF 2015 École de technologies du Réseau Des Mécaniciens, octobre 2015

Organisation de Conférences scientifiques et écoles thématiques

Bernard Canton

- Membre du Comité d'organisation de la 1ère Ecole technologique du réseau des mécaniciens du CNRS (Autrans, octobre 2015)
- Membre du Comité d'organisation des Journées des réseaux de la MI du CNRS (Paris, janvier 2016)
- Membre du Comité d'organisation pour le thème Programmation de la matière et fabriques personnelles des JDEV 2017 du réseau du développement logiciel du CNRS (Marseille, juillet 2017)
- Membre du Comité d'organisation de l'Ecole technologique du réseau des mécaniciens du CNRS (Carqueiranne, septembre 2017)

Francesco Crescioli

- Membre du Comité de Programmation de « International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST) » pour les éditions 2016 et 2017.
- Organisation de la « Journée thématique du Réseau Semi-conducteurs -Fabrication de détecteurs semi-conducteurs » (14 juin 2017)

Didier Laporte

- Organisateur de l'école IN2P3 « Du plan à la mesure », Aussois, France, 2016

François Legrand

- Membre du comité d'organisation des Rencontres de Moriond, La Thuile (Italie), mars 2015, 2016 et 2017

ET RESPONSABILITÉS TECHNIQUES

David Martin

- Membre du comité d'organisation de la 1ère école technologique du Réseau des électroniciens du CNRS « Electronique embarqué », Bordeaux, 10-14/10/2016

Philippe Repain

- Responsable de l'atelier Impression 3D, JDEV 2017 (07/17)
- Animateur de l'atelier Impression 3D, ANF 2017, École de technologies du Réseau Des Mécaniciens (09/17)

Responsabilités dans les comités d'évaluation et les instances techniques

Bernard Canton

- Membre du Comité de pilotage du réseau des mécaniciens du CNRS
- Membre du Comité régional d'hygiène et sécurité et des conditions de travail (CRHSCT) du CNRS Paris B
- Expert auprès de l'Observatoire des Métiers pour la relecture des profils de concours
- Membre du groupe de travail Bâtiment et logistique du réseau des administrateurs de la DR2

Olivier Dadoun

- Membre expert jury concours CNRS n°45 BAP E, octobre 2016

Guillaume Daubard

- Membre du réseau qualité de l'IN2P3
- Membre du réseau expert en management de projet
- Correspondant pour le réseau instrumentation IN2P3 « contrôle commande »

Didier Laporte

- Membre du comité de pilotage d'Atrium de l'IN2P3
- Membre de jury de concours externe CNRS
- Membre élu du comité technique de l'université UPMC

Hervé Lebbolo

- Membre de jurys de concours CNRS interne et externe
- Membre élu de la commission administrative paritaire des IR du CNRS (second mandat)

François Legrand

- Membre de la commission d'interclassement régionale des propositions d'avancement des ITA BAP E (2015 et 2016)
- Membre du jury de recrutement IGE en BAP E Externe – Calcul Scientifique UPMC, juin 2016

David Martin

- Membre du comité de pilotage du réseau régional des électroniciens du CNRS (IDF-DR4)

Victor Mendoza

- CSSI GRIF

Philippe Repain

- Membre du groupe de travail : Impression 3D Métal pour l'IN2P3

Daniel Vincent

- Membre de Jury de concours externes
- Coordinateur du réseau R&D instrumentation IN2P3 « Mécanique »
- Membre du conseil scientifique de l'IN2P3
- Membre du conseil scientifique de l'UFR de Physique de l'UPMC
- Membre de la Commission Administrative Paritaire des TPN

Patricia Warin-Charpentier

- Correspondante Sécurité des Systèmes d'Information (CSSI) CNRS
- Autorité d'enregistrement pour les certificats CNRS
- Membre expert de jury de concours externe CNRS en 2017
- Présidente de jury d'Examens Professionnels Réservés (EPR) CNRS en 2015
- Membre de la Commission d'Évaluation des Ingénieurs (CEI) de l'INRA en 2015 et 2016
- Membre du Comité de Pilotage de la Fédération de Réseaux Métiers RESINFO depuis 2016

Distinction

Didier Laporte

- Portrait représentant l'activité mécanique des collaborateurs de l'IN2P3 et CEA/IRFU pour les 60 ans du CERN



FONCTIONNEMENT
DU LABORATOIRE

Organisation

Partenariats scientifiques

Ressources financières

**Ressources humaines
du LPNHE**

**Activités d'intérêt
général CNRS**

**La formation permanente
au LPNHE**

**Communication et
documentation**

**Santé et sécurité -
Radioprotection**

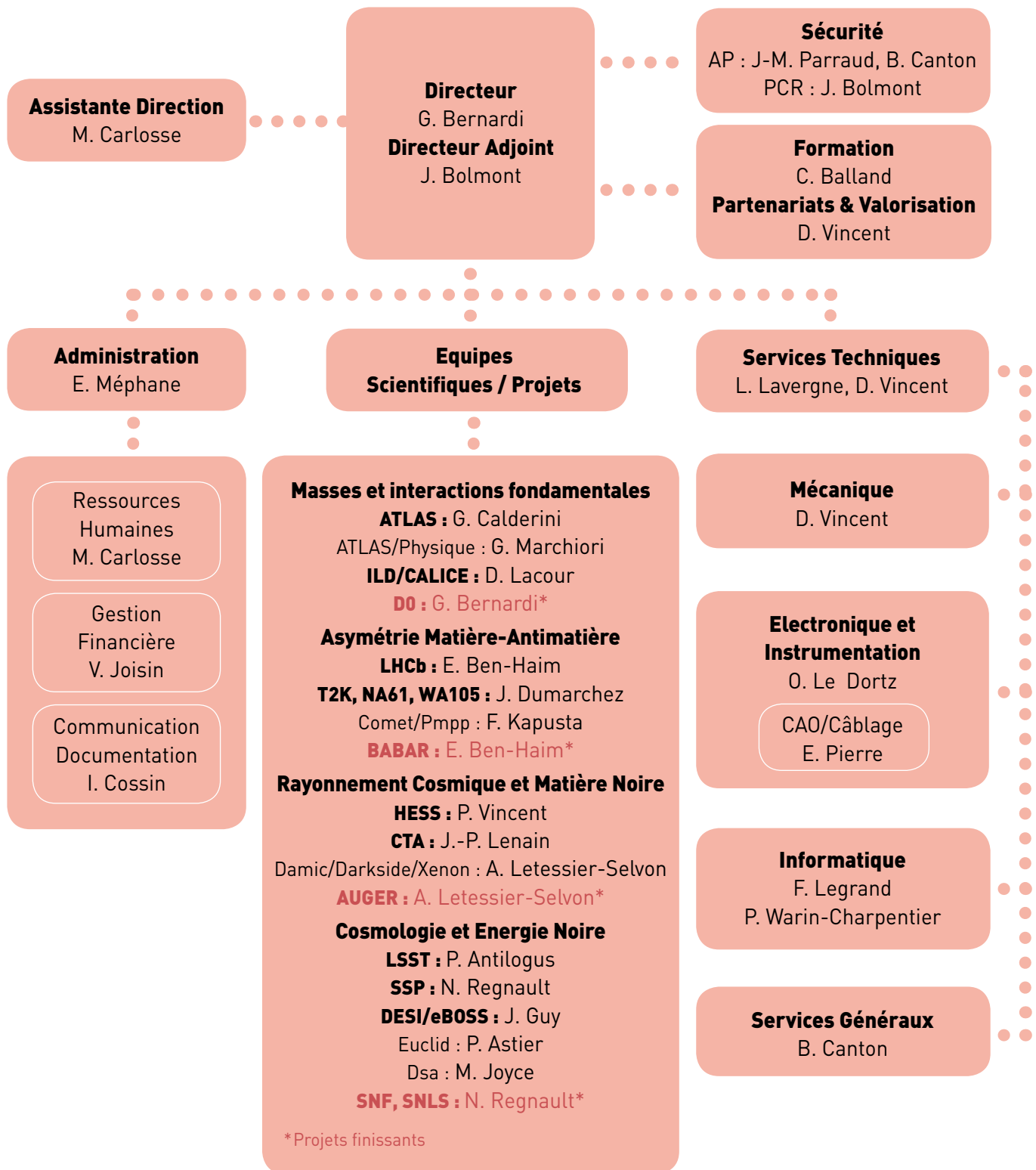
Services généraux

**Personnel du laboratoire
au 30/06/2017**

FONCTIONNEMENT DU LABORATOIRE

Organisation

Les activités de recherche du LPNHE sont centrées très majoritairement sur des projets scientifiques expérimentaux. Les personnels sont répartis en groupes de recherche, services techniques et administratifs. Les groupes de recherche comptent des chercheurs et enseignants-chercheurs permanents et non permanents ainsi que des étudiants en thèse ou en stage. Les services techniques - mécanique, électronique, informatique et services généraux - sont assurés par une quarantaine d'ingénieurs et de techniciens. Ils réalisent les instruments nécessaires aux équipes de recherche et font fonctionner la partie technique et logistique du laboratoire. Également essentiels au fonctionnement du laboratoire, les services de l'administration comprennent une dizaine de personnes, réparties en trois pôles : ressources humaines, gestion financière et communication. Une vaste majorité des personnels administratifs et techniques sont des personnels CNRS.



PARTENARIATS SCIENTIFIQUES

Les équipes de recherche du laboratoire entretiennent de nombreuses collaborations scientifiques avec des équipes de recherche en France et à l'étranger. Le laboratoire est, par ailleurs, formellement partenaire de plusieurs accords de collaboration nationaux et internationaux.

Au niveau local, le laboratoire est membre de la Fédération de Recherche des Interactions Fondamentales (FRIF), qui regroupe, sous la tutelle de l'UPMC, les chercheurs du LPNHE et les théoriciens du LPTHE, du LPTENS et de l'APC. Le Collège de France est également associé à la FRIF via la Chaire de Gabriele Veneziano (Particules Élémentaires, Gravitation et Cosmologie). L'affiliation à la fédération a permis de développer les interactions avec théoriciens et phénoménologues sur des thèmes, prioritaires au laboratoire, principalement liés à la physique au LHC et à l'étude de la matière et de l'énergie noires.

Toujours sur la place parisienne, le laboratoire est membre du « Laboratoire d'excellence » (Labex) Institut Lagrange de Paris (ILP) et est partenaire du Paris Center for Cosmological Physics (PCCP) dirigé par G. Smoot. Le Labex ILP comprend le LPNHE, l'IAP, le LPTHE, la FRIF, l'IHP ainsi que les équipes de recherche de Françoise Combes du LERMA et de Gabriele Veneziano du Collège de France. L'ILP s'inscrit à l'interface entre la physique théorique, la physique des particules, l'astrophysique et la cosmologie. Jusqu'en 2016, le soutien de l'ILP a permis de financer chaque année des contrats doctoraux et post-doctoraux, de soutenir des programmes de visiteurs et des actions importantes de communication scientifique. En 2017, l'ILP est en attente de renouvellement.

Au niveau de la région Ile-de-France, le laboratoire est partenaire du groupement de recherche GRIF, « Grille au service de la Recherche en Ile de France ». Ce groupement vise à doter les laboratoires d'Ile-de-France impliqués dans le LHC (IRFU, LAL, IPN, LLR) de moyens de calculs et de stockage de type « grille de

calcul ». L'UPMC participant fortement au financement de l'infrastructure locale de GRIF, un accès à ces ressources a été ouvert à des équipes du campus Jussieu ayant besoin de calculs intensifs (LHC, CTA...).

Le laboratoire est également partenaire du groupe de recherche ACAV « Astrophysique et Conditions d'Apparition de la Vie », labellisé « domaine d'intérêt majeur » (DIM) par le conseil régional d'Ile-de-France. Il regroupe les équipes de recherche et laboratoires franciliens internationalement reconnus dans ces domaines. Durant la période 2014-2017, le laboratoire a reçu de ce groupement un soutien pour l'achat de matériel d'instrumentation, des crédits d'animation scientifique et le financement d'un contrat doctoral.

Au delà des frontières, le laboratoire est membre de plusieurs « Laboratoires Internationaux Associés » (LIA) comme le Laboratoire Européen pour l'astrophysique gamma (ELGA), le Laboratoire Franco-chinois de physique des particules (FCPPL) et son équivalent Japonais et Coréen (FJPPL, FKPPL), et le Laboratoire International pour la Physique des Particules et la Cosmologie (ILPPC), une collaboration entre le LPNHE et le département de Physique du Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) aux Etats-Unis. Ces accords de collaboration permettent de financer principalement les séjours de scientifiques étrangers au laboratoire et réciproquement ceux de chercheurs du LPNHE dans les laboratoires partenaires. De nombreuses collaborations existent également par le biais d'accords de coopération spécifiques passés par l'IN2P3 ou le CNRS avec les pays concernés (Espagne, Pologne, Russie, ...).

Enfin, le laboratoire est impliqué dans le programme EPLANET d'échanges scientifiques avec l'Amérique latine qui vise à favoriser les échanges entre le CERN, les pays d'Amérique latine et les pays dits « latino-européens » sur une thématique scientifique, principalement liée au LHC.

RESSOURCES FINANCIÈRES



Le LPNHE dispose de ressources financières qui lui sont attribuées par ses trois tutelles, CNRS/IN2P3, les Universités Pierre-et-Marie-Curie et Paris-Diderot, ainsi que de ressources propres représentant un budget global hors salaires d'environ 2 millions d'euros par an. Ces ressources sont gérées par le pôle de gestion financière, composé de 4 gestionnaires. Le pôle gère l'ensemble des achats de l'unité pour les groupes et les services du laboratoire en conformité avec les règles de la comptabilité publique.

A titre d'exemple, la répartition des ces ressources est représentée sur la figure ci-dessous pour l'année 2016.

En 2016, la dotation annuelle (soutien de base non affecté, SBNA) du CNRS représentait 14 % du budget et celle de ses tutelles universitaires (UPMC et UPD) 4 %. Ces budgets sont alloués au fonctionnement du laboratoire pour les dépenses d'infrastructure, de vacations et pour financer colloques, écoles et conférences.

Le reste du budget, destiné aux projets du laboratoire, provenait, en 2016, essentiellement du CNRS/IN2P3 (38%), de contrats ANR, Européens, Région et LABEX (42%).

Affectations des ressources dans les projets

Thématiquement, le budget « Projets » s'est réparti en 2016 selon :

- Masses et interactions fondamentales (28 %)
- Asymétrie Matière et antimatière (16 %)
- Rayonnement cosmique de haute énergie (17 %)
- Matière noire et énergie noire (39 %)

Gestion des ressources financières

La gestion financière du LPNHE est assurée avec l'aide de deux applications dont une relativement récente :

- GESLAB : la base gestion des unités de recherche du CNRS ;
- SIFAC : le Système d'Information, Financier Analytique et Comptable des 2 universités, beaucoup moins utilisé depuis la mise en place, en 2010, de la Délégation Globale de Gestion financière (DGG) par le CNRS.

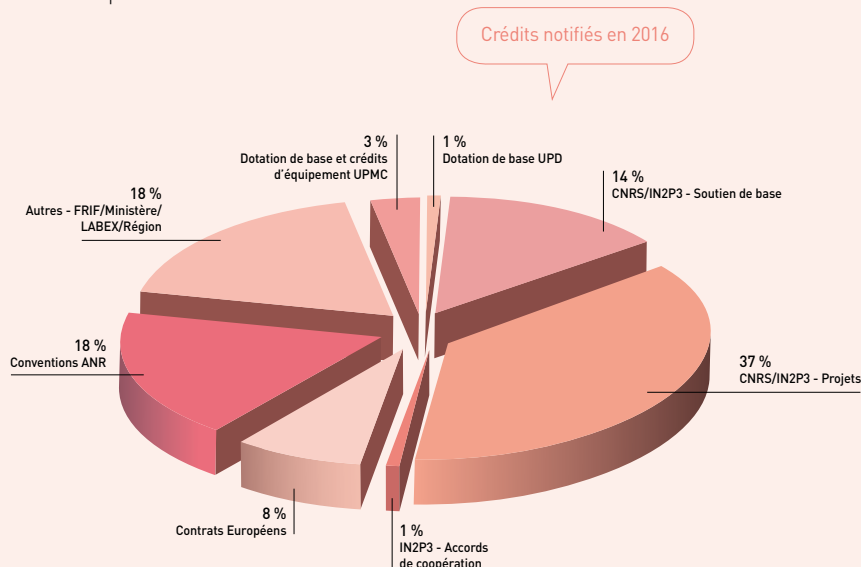
Evolutions

Le budget projet IN2P3 est apparu en relative stagnation en 2015 et 2016 par rapport aux années précédentes.

Ces dernières années ont vu un accroissement conséquent des ressources propres provenant de contrats ANR, Européens, Région et des financements LABEX.

Les gestionnaires ont dû se former et s'adapter à la mise en place de la GBCP ainsi qu'au fonctionnement du nouveau Service Centralisé du Traitement de la Dépense (SCTD) au niveau national, alors que jusqu'en 2016, il était traité au niveau régional. Cela a entraîné de grandes évolutions dans les méthodes de travail et dans l'acquisition de nouvelles compétences techniques et professionnelles.

Pôle Gestion : Hager Baalouchi, Bernard Caraco, Véronique Joisin (responsable du pôle Gestion financière), Evelyne Mephane (Responsable administrative de l'unité), Souad Rey



RESSOURCES HUMAINES DU LPNHE

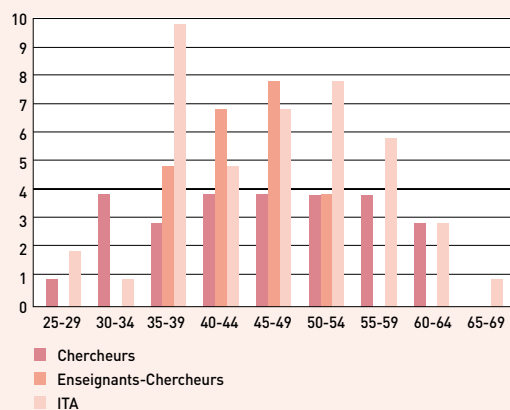
Le pôle RH assure la gestion administrative des personnels. Cette gestion consiste à réaliser le suivi de 156 agents permanents et non permanents, auxquels il faut ajouter une cinquantaine de stagiaires par an qui séjournent au laboratoire pour des périodes allant d'une semaine à 6 mois. Le pôle est en charge des procédures de recrutement (concours, mobilité interne, auxiliaariat), des procédures d'accueil des visiteurs étrangers, de stagiaires ou de doctorants (constitution des dossiers, aide dans les démarches auprès des tutelles, etc.). Il aide au mieux l'ensemble des personnels dans l'établissement des dossiers de carrière, de concours et de formation.

Il gère les congés, absences des agents et diffuse toutes les informations utiles aux agents de l'unité.

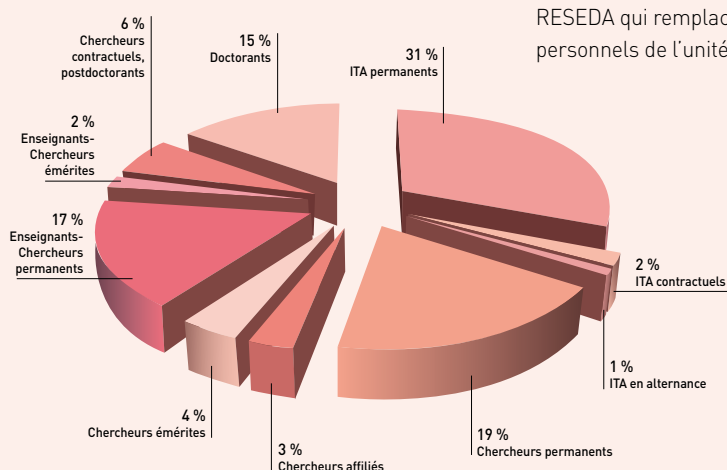
En juin 2017 le laboratoire comptait 51 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents, 2 chercheurs contractuels, 13 émérites et bénévoles, 25 doctorants et post-doctorants, 41 ingénieurs techniciens et administratifs (ITA) permanents, 3 IT en alternance, et 21 stagiaires, soit un total de 156 personnes.

Le graphique ci-dessous montre la pyramide des âges des personnels permanents. On note principalement le « trou » d'une quinzaine d'années chez les enseignants-chercheurs au delà de 55 ans qui se traduit mécaniquement par une baisse très importante des recrutements universitaires ces dernières années.

Pyramide des âges des personnels permanents au 30/06/2017



Répartition du personnel au 30/06/2017



En 2016, les gestionnaires ont dû se former à l'outil RESEDA qui remplace LABINTEL pour le suivi des personnels de l'unité.

Pôle Ressources Humaines :

Magali Carlosse (responsable du pôle RH), Hager Baalouchi, Evelyne Mephane

Ces dernières années, le nombre de chercheurs et d'enseignants-chercheurs permanents est essentiellement stable. Depuis 2012, le nombre des ITA permanents et celui des personnels temporaires a diminué en raison de départs non remplacés.

ACTIVITÉS D'INTÉRÊT GÉNÉRAL CNRS

Véronique JOISIN :

- Formatrice dans le domaine réglementaire GBCP (Gestion Budgétaire et Comptable Publique).
- Formatrice dans le cadre du dispositif du traitement dématérialisé de la dépenses (SCTD).

Evelyne MEPHANE :

- Membre de jury de concours externes CNRS et MEN.

- Présidente fondatrice du CREDAU - Réseau des Administrateurs de la DR2.
- Expert auprès de l'Observatoire des Métiers pour relire les profils de concours.

Isabelle COSSIN :

- Responsable de l'animation du réseau des communicants de l'IN2P3, structure qui coordonne, au niveau de l'Institut du CNRS, les actions de communication nationales.
- Membre du groupe de travail pour la mise

en place du réseau « Com'on » des Chargés de Communication du CNRS.

- Experte auprès de l'observatoire des métiers pour la modification de la fiche emploi-type « Assistant-Ingénieur - Chargé de communication ».
- Formatrice dans le cadre des séminaires organisés par l'ARCES (Association des Responsables de Communication de l'Enseignement Supérieur).

LA FORMATION PERMANENTE AU LPNHE

La formation permanente au LPNHE répond à la nécessité de maintenir et développer le haut niveau de compétences technologiques du laboratoire. Chaque année, un plan de formation de l'unité (PFU) est élaboré, sous la supervision du Correspondant Formation. Il permet de recenser les besoins de formation dans les différents services du laboratoire mais également d'accompagner les agents dans l'évolution de leur carrière.

Entre juillet 2014 et juillet 2016, 84 actions de formation ont été réalisées pour un total d'environ 240 jours. Sur ces deux années, on dénombre :

- Une quarantaine d'actions de formation financées en partie ou en totalité par une délégation du CNRS, ce qui représente environ cent jours de formation.
- Une dizaine d'actions de formation financées par l'IN2P3, soit une quarantaine de jours de formation.
- Quelques actions cofinancées ou financées par le laboratoire auprès d'organismes de formation extérieurs.

Au total, une quarantaine d'agents par an ont suivi une formation, principalement des personnels ITA ou IATSS (permanents et CDD), mais aussi quelques chercheurs,

notamment en Hygiène et Sécurité et en apprentissage de langage informatique.

En terme de nombre de jours de formation, le domaine de formation principal des agents du LPNHE ces deux dernières années est celui des Connaissances Scientifiques. Les formations en Techniques Spécifiques viennent ensuite. Les demandes en Efficacité Personnelle et Hygiène et Sécurité sont en baisse, de nombreux agents ayant pu se former dans ces domaines au cours des années antérieures. L'intérêt pour les formations en Management/Qualité se confirme et on note un niveau important de demandes de formation en Finance, comptabilité et droit (11 agents sur deux ans pour 30 jours de formation). Les besoins en langues étrangères, notamment en anglais, sont toujours très présents, avec en moyenne une demi-douzaine d'agents suivant ces formations chaque année. A noter le succès des formations en e-learning, mieux adaptées aux contraintes d'emploi du temps des agents que les formations intensives sur quelques jours.

Le LPNHE offre à chaque postdoc ou docteur de langue étrangère une formation en français. Il s'agit soit de formations inten-

sives, comme celle dispensée par l'Alliance Française, soit de cours dispensés au long de l'année universitaire.

Certains membres du LPNHE participent à l'offre de formation du laboratoire, soit comme intervenants dans des écoles thématiques, soit comme organisateurs d'écoles ou de rencontres. H. Lebbolo est intervenu en 2015 dans l'école d'instrumentation « Du détecteur à la mesure ». L'école « Techniques de base des détecteurs » initiée par P. Nayman a lieu chaque année depuis 1996 avec un succès jamais démenti. P. Nayman y a participé en 2015 en tant qu'organisateur et intervenant. Suite à l'organisation en 2014 de la première école « SIM-détecteur » par L. Lavergne, M. Bomben et G. Calderini, qui a réuni 24 participants sur le thème de la simulation de détecteurs avec les outils Synopsys et Silvaco, une nouvelle édition a eu lieu en 2016. G. Marchiori a rejoint l'équipe des organisateurs, et Claire Juramy y est intervenue. Enfin, V. Criart est formatrice en gestion financière pour les gestionnaires de la DR2.

Correspondants Formation :

Christophe Balland



COMMUNICATION ET DOCUMENTATION

Le pôle « Communication et Documentation » du LPNHE est composé de trois personnes : une responsable de communication, une technicienne de communication et une spécialiste de l'organisation d'événements internationaux. Un plan de communication pluriannuel élaboré avec le directeur du laboratoire assure la mise en œuvre de ses missions : d'une part la diffusion des activités et des résultats scientifiques et techniques du LPNHE, d'autre part la promotion auprès des divers publics de la recherche scientifique en physique des particules, astroparticules et cosmologie.

Accompagner l'animation scientifique

Le laboratoire organise ou participe à une dizaine de manifestations scientifiques internationales par an. Le pôle assure l'organisation des « Rencontres de Moriond », qui rassemblent chaque année à La Thuile en Italie environ 400 physiciens du monde entier autour de thèmes de physique des hautes énergies : interactions électrofaibles et théories unifiées (2015, 2016, 2017), cosmologie (2016), QCD et interactions à haute énergie (2015, 2016, 2017), phénomènes de très haute énergie dans l'Univers (2017), gravitation : 100 ans après la relativité générale (2015), gravitation (2017).

Le pôle organise chaque année en décembre, avec la Société Française de Physique, les Journées Jeunes Chercheurs de l'IN2P3. Elles ont eu lieu en 2015 à Chédigny (Indre-et-Loire) et en 2016 à La Pommeraye (Maine-et-Loire). Une conférence grand public est organisée à cette occasion et une rencontre avec les journalistes locaux a lieu.

Mettre en valeur les métiers de la recherche

Le pôle « Communication & Documentation » organise chaque année les portes ouvertes du LPNHE qui se déroulent sur 3 jours pour promouvoir les sciences auprès des scolaires. Le format adopté inclut des visites guidées, des conférences, des expositions, des présentations d'expériences. Des ateliers pédagogiques sont animés par des volontaires et des expériences contre-intuitives sont présentées pour éveiller la curiosité scientifique chez les plus jeunes. Une équipe de plus de 30 personnes se mobilise pour accueillir un millier de visiteurs.

Les liens tissés entre le LPNHE et le milieu éducatif se manifestent également par l'organisation chaque année de MasterClasses, la participation aux conférences NEPAL (Noyaux Et Particules Au Lycée) ou la mise en place d'actions « passion recherche » liant une classe et un intervenant scientifique ou technique.

Diffuser l'information scientifique et technique en interne et à l'extérieur du laboratoire

De nombreux outils de communication permettent la diffusion des activités scientifiques et techniques du LPNHE, en interne et vers l'extérieur :

- la conception et la réalisation du rapport d'activité (bisannuel), document institutionnel diffusé à l'ensemble de la communauté scientifique et administrative ;
- l'organisation de journées de réflexion « biennales » : les dernières ont eu lieu du 3 au 7 octobre 2016 à Tirrenia, en Italie ;
- l'organisation logistique des séminaires hebdomadaires ;
- la mise à jour des actualités du laboratoire sur le site web et les supports multimédia. Un comité web de cinq personnes est chargé du contenu éditorial et de la mise en ligne de ces actualités ;
- La communication interne est assurée via des listes de diffusion et via une page web appelée « La vie du labo » dont le contenu est aussi diffusé sur les écrans plats disposés dans les cafétérias du 1^{er} étage et du rez-de-chaussée. C'est le comité web qui est également chargé de la mise à jour de cette page.

Par ailleurs, le personnel du LPNHE dispose d'une bibliothèque de recherche associée à l'UPMC. Le physicien chargé de la gestion de la documentation veille à la continuité des abonnements aux périodiques scientifiques et magazines spécialisés et prépare l'achat de nouveaux livres. Un système automatisé avec codes-barres permet le suivi du prêt des ouvrages.

Participer au dialogue entre science et société

A travers un partenariat avec la Bibliothèque Nationale de France, le pôle organise les rencontres « Physique et Interrogations Fondamentales » tous les 2 ans. Elles sont l'occasion pour un public d'environ 350 personnes de dialoguer avec des spécialistes de champs disciplinaires différents, intervenant sur un sujet commun. En 2016, le sujet de la quinzième rencontre était « La science, l'information, la connaissance ».

.....
Equipe : Isabelle Cossin, Frédéric Derue, Vera de Sa-Varanda, Jacques Dumarchez, Laurent Le Guillou, Laurence Marquet

Comite web : Christophe Balland, Julien Bolmont, Vera de Sa-Varanda, François Legrand, Sophie Trincas-Duvoid
.....

SANTÉ ET SÉCURITÉ - RADIOPROTECTION

Le domaine de la « Santé et Sécurité » est devenu un enjeu majeur, et nécessite que le Directeur d'Unité soit assisté dans sa mission par un *Assistant de Prévention* (AP) placé sous sa responsabilité directe. Depuis 2005, cette fonction est assurée au LPNHE par un assistant ingénieur. Un ingénieur d'études le seconde dans cette tâche en tant qu'AP-adjoint. Une étroite collaboration est indispensable autant avec les services Hygiène & Sécurité de la délégation CNRS-Paris B et ceux des universités UPMC et UPD, qu'avec le service Sécurité Incendie de l'UPMC.

Le CLHSCT du LPNHE (*Comité Local d'Hygiène, Sécurité, et Conditions de Travail*), où chaque tutelle est représentée ainsi que des médecins de prévention, se réunit une fois par an depuis sa création en 2001 afin de débattre et de proposer des solutions en matière d'hygiène, de sécurité, et de conditions de travail. Les dernières réunions se sont déroulées au LPNHE les 8 décembre 2015 et 5 décembre 2016.

En ce qui concerne le suivi des expériences, un travail de conseil est apporté aux groupes du laboratoire pour que les appareillages qu'ils conçoivent soient conformes aux normes de sécurité. Un travail de prévention est essentiel pour la bonne utilisation des appareils et des produits présentant un risque comme par exemple : diodes laser, bouteilles de gaz comprimés, produits chimiques pour la gravure des circuits imprimés, ...

Pour les missions auprès des expériences (sur des sites à l'étranger essentiellement) le personnel s'informe des consignes de sécurité particulières auprès des responsables de ces sites, et se prémunit des risques liés aux lieux géographiques : vaccinations spécifiques, visite médicale préalable au travail à haute altitude, ...

Concernant le matériel de premiers secours, le laboratoire est désormais équipé de 3 défibrillateurs cardiaques et de 3 armoires de premiers secours, afin de desservir l'ensemble des locaux. Les locaux du LPNHE

sont également pourvus d'équipements pour la lutte contre l'incendie, en particulier une installation de détection et d'alarme incendie, pour laquelle l'UPMC a la charge de l'entretien. En cas de détection incendie, le PC de surveillance incendie de l'UPMC est automatiquement mis en alerte pour intervention.

Au vu du risque élevé, une installation dédiée a également été mise en place à l'intérieur des salles serveurs-informatiques, dotée d'un système d'extinction automatique par gaz inerte.

Afin d'anticiper d'éventuels sinistres, des exercices d'évacuation sont organisés deux fois par an par le personnel du service incendie.

Depuis 2011, le LPNHE s'est pourvu de dispositifs de protection pour travailleurs isolés :

13 salles, principalement des salles à risques et isolées comme les salles blanches, les salles serveurs informatiques, et maintenant l'atelier de montage, sont équipées d'émetteurs « DATI/PTI ». Ces appareils permettent la surveillance du personnel en situation isolée (détection d'absence de mouvements et/ou de verticalité) et donnent l'alerte via une centrale connectée au réseau téléphonique.

En matière de formation, le personnel est régulièrement informé des formations « Hygiène et Sécurité » mises à sa disposition 2 fois par an par le CNRS et l'UPMC.

En interne, un accueil des nouveaux entrants au laboratoire a été instauré annuellement, incluant un volet d'information et de sensibilisation « Santé et Sécurité ». Des séances d'informations ponctuelles sont également organisées en fonction des arrivées saisonnières de personnels temporaires.

Concernant les questions de sécurité liées spécifiquement à la radioprotection, une Personne Compétente en Radioprotection (PCR), un enseignant-chercheur, supervise toutes les actions nécessitant un suivi dans ce domaine : détention de sources radioac-



tives scellées au laboratoire, suivi des agents se rendant en zones contrôlées ou surveillées lors de leurs missions. Ainsi a été mis en place avec l'UPMC un suivi dosimétrique des personnels se rendant sur les sites d'expériences auprès d'accélérateurs de particules (Japon, CERN, USA...). Le LPNHE ne détient plus de sources radioactives scellées depuis 2013. Une nouvelle demande d'autorisation de détention est en phase de finalisation avant l'acquisition de nouvelles sources.

Concernant les questions de sécurité liées aux rayonnements optiques artificiels (dont le risque « laser »), une personne Référent Sécurité Laser (RSL) est en phase de nomination.

L'évaluation des risques professionnels constitue un élément clé de la prévention des risques au sein du laboratoire. Depuis 2014, cette évaluation – ou « Document Unique » – est réalisée à l'aide de l'application en ligne « EvRP », consultable directement par nos tutelles. La dernière mise à jour date de mai 2016, la suivante est en cours de rédaction.

Les acteurs de la prévention comptent sur l'implication de tout le personnel pour réussir dans une démarche de sécurité et de conditions de travail optimales pour tous.

Personnel Hygiène et Sécurité - Radioprotection :

AP du LPNHE : Jean-Marc Parraud

AP-adjoint du LPNHE : Bernard Canton

PCR du LPNHE : Julien Bolmont

SERVICES GÉNÉRAUX

Les services généraux sont composés de deux techniciens et d'un ingénieur qui en assure la responsabilité. Leurs tâches se répartissent en activités courantes et en actions spécifiques d'aménagement. La période 2015-2017 aura vu le début de l'exploitation de l'ensemble des locaux, la dernière tranche ayant été livrée fin 2014, avec la mise en service de l'amphithéâtre G. Charpak.

Les tâches courantes consistent à :

- Répondre aux demandes d'intervention faites par le personnel en assurant leur suivi par un programme de gestion d'intervention ;
- Assurer le suivi du bon fonctionnement des installations techniques : installations de climatisation, de sécurité (alarmes incendie, d'absence d'oxygène, de détection de travailleur isolé...), des salles blanches, téléphonies, électricité, sanitaires. Etre l'interlocuteur privilégié des services techniques de l'UPMC et des entreprises de maintenance ;
- Gérer le parc automobile du LPNHE (3 véhicules à Paris et 1 au CERN), assurer son entretien, assurer le suivi des réservations se faisant par un logiciel spécifique ; assurer des transports épisodiques en Ile de France ;
- Maintenir en état l'aménagement des salles de réunions (projection, sonorisation, vidéoconférence) ;
- Gérer et entretenir le mobilier et les équipements généraux. Etablir et maintenir à jour leur inventaire ;
- Etablir le planning d'occupation des bureaux avec l'aide d'un logiciel de gestion du personnel et permettre l'installation des nouveaux arrivants. Gérer les accès avec le système de clef programmable mis en place par l'UMPC ;
- Gérer l'utilisation de l'amphithéâtre Charpak ouvert à la réservation pour des équipes hors LPNHE. Assurer l'accueil des organisateurs.

Les tâches spécifiques à la période (2015 à 2017) incluent :

- L'installation d'un équipement audiovisuel polyvalent et performant dans l'amphithéâtre Charpak. L'accent a été porté sur la facilité d'usage pour les utilisateurs de la salle ;
- L'étude, la mise en service et le suivi d'installation d'une salle blanche pour le projet LSST dans l'atelier de montage ;
- Le recensement et le suivi des dysfonctionnements des locaux livrés en 2014 afin d'en informer l'UPMC pour obtenir des interventions correctives.

Après la livraison de la dernière tranche de locaux rénovés, le service est entré dans une phase d'activités techniques et de logistiques plus régulières. Depuis

la réception de l'amphithéâtre Charpak et de l'atelier de montage, des dysfonctionnements subsistent, en particulier pour l'éclairage de l'amphithéâtre.

Le service contribue à les résoudre avec les services de l'Université. Des investissements ont été réalisés dans les salles serveurs et de l'onduleur pour assurer une redondance des climatiseurs afin d'augmenter la fiabilité de fonctionnement. Un suivi permanent des températures est assuré avec un système d'alerte mis en place par le service informatique. L'usage de l'amphi Charpak a été ouvert à tous les laboratoires du campus et à l'IN2P3. Le service a mis en place avec l'administration une procédure pour les réservations et la gestion des demandes logistiques des utilisateurs. Cette activité est devenue importante pour l'équipe avec des contraintes horaires pour l'accueil des utilisateurs. Le service a dû se réorganiser après le départ en mutation en janvier 2016 de l'un des techniciens. Depuis début 2017, le service accueille en mission de réadaptation un adjoint technique travaillant à 50 %.

Equipe : B. Canton, J.-F. Goulian (50 %) (depuis 2017), F. Leclercq (jusqu'en 2015), M. Roynet



PERSONNEL DU LABORATOIRE AU 30/06/2017

Chercheurs CNRS

Directeurs de recherche

ANTILOGUS Pierre
ASTIER Pierre
BERNARDI Gregorio
CALDERINI Giovanni
DUMARCHEZ Jacques
KRASNY Mieczyslaw
LACOUR Didier
LETESSIER-SELVON Antoine
PAIN Reynald
POPOV Boris
REGNAULT Nicolas
ROOS Lydia

Chargés de recherche

ANDRIEU Bernard
BETOULE Marc
BONGARD Sébastien
DEL BUONO Luigi
DERUE Frédéric
GIGANTI Claudio
GLIGOROV Vladimir
GUY Julien
KAPUSTA Frédéric
LAPLACE Sandrine
LENAIN Jean-Philippe
MALAESCU Bogdan
MARCHIORI Giovanni
POLCI Francesco
SCOTTO LAVINA Luca

Directeurs de recherche émérite

BARRELET Etienne
BENAYOUN Maurice
BONNEAUD Gérard
JACHOLKOWSKA Agnieszka
LOISEAU Benoit

Chercheurs bénévoles

AUGUSTIN Jean-Eudes
LEVY Jean-Michel

Enseignants-chercheurs UPMC

Professeurs

HARDIN Delphine
JOYCE Michael
LAFORGE Bertrand
TAVERNET Jean-Paul
VINCENT Pascal

Maîtres de conférences

AUBLIN Julien
BALLAND Christophe
BAUMONT Sylvain
BEN-HAIM Eli
BOLMONT Julien
CHARLES Matthew
DA SILVA Wilfrid
LE GUILLOU Laurent
MARTINEAU-HUYNH Olivier
ROBERT Arnaud
TRINCAZ-DUVOID Sophie

Professeurs Émérites

BILLOIR Pierre
CHAUVEAU Jacques

Enseignant-chercheur bénévole

KRIVINE Hubert

Enseignants-chercheurs UPD

Professeurs

OCARIZ José
SCHWEMLING Philippe

Maîtres de conférences

BEAU Tristan
BOMBEN Marco
DE CECCO Sandro
NIKOLIC-AUDIT Iréna
RIDEL Méliissa
SCHAHMANECHE Kyan

Enseignants-chercheurs émérites

DEDONDER Jean-Pierre
VANNUCCI François

Enseignant-chercheur bénévole

PONS Yvette

Doctorants (2014 - 2017)

CACCIANIGA Lorenzo (2012-2015)
CHALME-CALVET Raphaël (2012-2015)
CHRETIEN Mathieu (2012-2015)
COQUEREAU Samuel (2012-2015)
FLEURY Mathilde (2012-2015)
KIEFFER Matthieu (2012-2015)
MITRA Ayan (2012-2015)
PIRES Sylvestre (2012-2015)
BARTET-FRIBURG Pierre (2013-2016)
HENRY Louis (2013-2016)
PANDINI Carlo Enrico (2013-2016)
YAP Yee (2013-2017)
HEMERY Nicolas (2014-2015)
KERSZBERG Daniel (2014-2017)
LE BRETON Remy (2014-2017)
LOPEZ SOLIS Alvaro (2014-2017)
MANZONI Stefano (2014-2017)
PAVIN Matej (2014-2017)
BIENSTOCK Simon (2015-2018)
DUCOURTHIAL Audrey (2015-2018)
LI Changqiao (2015-2018)
MOGINI Andréa (2015-2018)
PERENNES Cédric (2015-2018)
PORTILLO Dilia (2015-2018)
BERTHOLET Emilie (2016-2019)
D'ERAMO Louis (2016-2019)
DA ROCHA Joao (2016-2019)
DE SAINTE AGATHE Victoria (2016-2019)
HANKACHE Robert (2016-2019)
HAZENBERG François (2016-2019)
LUISE Ilaria (2016-2019)
NAVREY-AGASSON Anyssa (2016-2019)
TAREK ABOUELFADL

MOHAMMED Ahmed (2016-2019)
KHALIL Latifae (2017-2020)

Chercheurs CDD et post-doctorants (2014 - 2017)

AGOSTINO Lucas (2014-2015)
AL SAMARAI Imen (2015-2016)
BECCHERLE Roberto (2014-2015)
CERRUTI Matteo (2015-)
EL-HAGE Patrick (2014-2015)
FRANCAVILLA Paolo (2013-2017)
GAIOR Romain (2016-)
GIL MARIN Hector (2015-)
GUYONNET Augustin (2013-2016)
MIRZAEI Mohammad (2015-2017)
ROMAN Matthieu (2014 -)
SETTIMO Mariangela (2014-2016)
VAROUCHAS Dimitris (2013-2016)

Ingénieurs, techniciens, administratifs (30/06/2017)

Ingénieurs de recherche

CRESCIOLI Francesco
DADOUN Olivier
DAUBARD Guillaume
JURAMY Claire
KARKAR Sonia
LE DORTZ Olivier
LEBBOLO Hervé
LEGRAND François
MENDOZA Victor
MEPHANE Evelyne
RUSSO Stefano
SEPULVEDA TAULIS Eduardo
TOUSSENEL François
VINCENT Daniel
WARIN Patricia

Ingénieurs d'études

CANTON Bernard
CORONA Pascal
DAVID Jacques
LAPORTE Didier
MARTIN David
MERCERON COSSIN Isabelle
REPAIN Philippe
TERRONT Diego Fernando
VALLEREAU Alain
VOISIN Vincent

Assistants ingénieurs

BAILLY Philippe
CERIA William
DHELLOT Marc
GHISLAIN Patrick
JOISIN Véronique
ORAIN Yann
PARRAUD Jean-Marc
PIERRE Eric

Techniciens de recherche

AUDO Thomas
BAALOUCHI Hager

CARACO Bernard
CARLOSSE Magali
CORIDIAN Julien
HO Tan Trung
ROYNEL Michael

Adjoint technique de recherche

GOULIAN Jean-François

Personnels techniques UPMC

BAILLY-REYRE Aurélien
MARQUET Laurence

ITA Autres

DE SA-VARANDA Vera

Instances du laboratoire

Conseil du laboratoire (2017)

Président ex-officio
BERNARDI Gregorio

Membres nommés
CRIART Véronique
GUY Julien
SCOTTO-LAVINA Lucas
BIENSTOCK Simon, représentant
des étudiants

Membres élus
DAUBARD Guillaume
DUMARCHEZ Jacques
LAPORTE Didier
MARTIN David
MARCHIORI Giovanni
LENAIN Jean-Philippe
TRINCAZ-DUVOID Sophie
WARIN-CHARPENTIER Patricia

Membres invités ex-officio
BOLMONT Julien
MÉPHANE Evelyne
VINCENT Daniel

Conseil scientifique (2017)

Président ex-officio
BERNARDI Gregorio

Secrétaire ex-officio
BOLMONT Julien

Membres extérieurs nommés
CIRELLI Marco
HEINEMANN Beate

Membres nommés
JURAMY Claire
LE GUILLOU Laurent
POLCI Francsco

Membres élus
ASTIER Pierre
CHARLES Matthew
GIGANTI Claudio
OCARIZ José

Membre invité ex-officio
VINCENT Daniel

Comité local hygiène et sécurité et conditions de travail (2017)

Président
BERNARDI Gregorio

*Directeur adjoint et personne
compétente en radioprotection*
BOLMONT Julien

Directeur technique
VINCENT Daniel

Administrateur
MEPHANE Evelyne

Assistant de prévention
PARRAUD Jean-Marc

Assistant de prévention adjoint
CANTON Bernard

Représentants du personnel
DAUBARD Guillaume
DUMARCHEZ Jacques
TRINCAZ-DUVOID Sophie
WARIN-CHARPENTIER Patricia

*Responsable du service hygiène et sécurité de
l'UPMC*
NEBBACHE Soraya

Responsable du service hygiène et sécurité de l'UPD
CAILLOT Sébastien

*Ingénieure régionale de prévention et de sécurité du
CNRS - Paris B*
MAZE-CORADIN Frédérique

*Responsable de la cellule sûreté nucléaire et radio-
protection de l'IN2P3*
THIEFFRY Cyril

Médecin de prévention de l'UPMC
LACOSTE-RENARD Nathalie

Médecin de prévention du CNRS
VASSEUR Arnaud

Commission des personnels du laboratoire (2017)

Membres nommés
CANTON Bernard
MÉPHANE Evelyne

Membres élus
CORIDIAN Julien
LAPORTE Didier
SEPULVEDA Eduardo

Chargés de mission

Bibliothèque

LE GUILLOU Laurent

Comité Biennale 2016

MARCHIORI Giovanni
LEGRAND François
BOLMONT Julien
LAVERGNE Laurence
POLCI Francesco
COSSIN Isabelle

Formation

BALLAND Christophe

Partenariats et valorisation

VINCENT Daniel

Masters 2

NPAC
HARDIN Delphine
TRINCAZ-DUVOID Sophie
VINCENT Pascal

Réunions du vendredi (2015-2017)

BAUMONT Sylvain
GIGANTI Claudio
BOMBEN Marco
SCOTTO-LAVINA Lucas

Sécurité

Assistants de Prévention (AP)
PARRAUD Jean-Marc
CANTON Bernard
Personne Compétente en Radioprotection (PCR)
BOLMONT Julien

Séminaires (2015-2017)

CHARLES Matthew
BETOULE Marc
BONGARD Sébastien
OCARIZ José

Stages, Thèses, Ecoles Doctorales, Nouveaux Entrants

Suivi des doctorants du laboratoire
TRINCAZ-DUVOID Sophie
Stages L3/M1
BOLMONT Julien
Stages M2
TRINCAZ-DUVOID Sophie
Ecole Doctorale
RIDEL Mélissa
VINCENT Pascal
Nouveaux entrants
CARLOSSE Magali

Structures partenaires (Labex, DIM, etc)

ILP
LAFORGE Bertrand
LETESSIER-SALVON Antoine
REGNAULT Nicolas
ACAV +
VINCENT Pascal
FRIF
DE CECCO Sandro
PCCP
SCHAHMANECHE Kyan
IDPASC
LAFORGE Bertrand
PNCG
REGNAULT Nicolas

Web

BALLAND Christophe
BOLMONT Julien
LEGRAND François
TRINCAZ-DUVOID Sophie
DE-SA-VARANDA Vera

A photograph of a modern building with a glass facade and a vertical garden in the foreground. The building has a brown facade and a glass facade with a grid of silver pipes. The vertical garden is lush with green plants and colorful flowers. The sky is blue with some clouds.

ANIMATION
SCIENTIFIQUE ET
COMMUNICATION

Les séminaires

Liste des séminaires

La réunion du vendredi

La biennale

La fête de la science

Les masterclasses

ANIMATION
SCIENTIFIQUE ET
COMMUNICATION



LES SÉMINAIRES

Le LPNHE invite chaque lundi des spécialistes des thématiques du laboratoire, ou d'autres domaines à venir présenter leurs travaux. Ces séminaires offrent non seulement une base d'information et de communication scientifique pointue, mais aussi d'ouverture et de culture scientifique. Ils s'accompagnent d'une collation permettant aux personnes intéressées d'approfondir les thématiques développées dans un cadre informel favorisant les discussions.

Les thématiques abordées dans les dernières années ont ainsi couvert les découvertes et avancées récentes en physique des particules, astroparticules et en cosmologie, les développements instrumentaux présents et à venir connexes à ces disciplines, mais aussi des sujets de géophysique et de biologie. En particulier, une initiative récente vise à inviter régulièrement des collègues d'autres laboratoires de l'UPMC afin de découvrir leurs spécialités.

Les séminaires du LPNHE sont ouverts à tous les membres du campus, mais la venue de personnes extérieures au laboratoire reste rare. Une réflexion pour améliorer ce point est en cours.

.....
Responsables : Jean-Philippe Lenain (jusqu'à 2015), Francesco Polci (jusqu'à 2015), Marc Betoule (2015-2016), Matthew Charles (2015-2017), Sebastien Bongard (depuis 2016), José Ocariz (depuis 2017)

Logistique :

Laurence Marquet

.....

Année 2017

26/06/2017 - Yao Zhang (IHEP) : Introduction of tracking on BESIII and CEPC

19/06/2017 - Pierre-François Cohadon (ENS Paris/LKB) : Virgo

12/06/2017 - Jérôme Beugnon (LKB) : Two-dimensional Bose gases in custom-shaped potentials

06/06/2017 - Sébastien Lambert (Syrté Observatoire de Paris) : Effet de El Niño sur la rotation terrestre

29/05/2017 - Hannah Arnold (CERN) : Search for a heavy, CP-odd Higgs boson A decaying to Zh in the $Z \rightarrow w/l/l$ and $h \rightarrow bb$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector

22/05/2017 - Valeria Pettorino (CEA-DAP) : Dark Energy and modified gravity: from Planck to future surveys

24/04/2017 - Paolo Privitera (University of Chicago) : The DAMIC experiment: searching for WIMPs and beyond with CCDs

20/04/2017 - Patrice Perez (CEA-Irfu) : The GBAR experiment: overview and status

27/03/2017 - Ramiro Godoy-Diana (ESPCI) : Spatial organisation and synchronisation in collective fish swimming

27/03/2017 - Ali Mirzaei (LPNHE) et Vincent Voisin (LPNHE) : AMchip Research, Development and Applications

13/02/2017 - Sébastien Procureur (CEA/IRFU) : Une application du rayonnement cosmique : muographie de la pyramide de Chéops dans le cadre de la mission ScanPyramids

Année 2016

12/12/2016 - Jean-Loup Puget (IAS) : Les données polarisées de Planck HFI aux grandes échelles

05/12/2016 - Camille Couturier (LPSC) : Directional detection of Dark Matter

28/11/2016 - Thibaut Louis (IAP) : La carte de polarisation du CMB mesurée par ACTPol

07/11/2016 - Gordana Milutinovic-Dumbelovic (University of Belgrade) : Higgs to electroweak bosons and rare Higgs decays at CLIC

- 27/10/2016** - Yoshitaka Kuno (Osaka University) : Search for Muon to Electron Conversion at J-PARC - the COMET Experiment
- 24/10/2016** - Michael Riordan (UC Santa Cruz) : A Bridge Too Far: The Demise of the Superconducting Super Collider
- 17/10/2016** - Begoña Ascaso (APC) : Cluster cosmology with Euclid, LSST and J-PAS
- 10/10/2016** - Carine Babusiaux (GEPI) : The first Gaia data release
- 05/09/2016** - Maximilian Swiatkowski (U. Chicago) : SUSY Hunting: New ATLAS Results from Searches at $\sqrt{s} = 13$ TeV
- 20/07/2016** - Krijn De Vries (IIHE, Vrije Universiteit Brussel) : Radio emission from high-energy particle cascades
- 11/07/2016** - Antoine Petiteau (APC), « From LISAPathfinder first results to eLISA : observing gravitational waves from space »
- 27/06/2016** - Daniel Johnson (CERN) : Central Exclusive Production at LHCb
- 20/06/2016** - David Rousseau (LAL) : Advances in Machine Learning tools in High Energy Physics
- 14/06/2016** - Peter Biermann (MPI, Bonn) : Dark Matter, Super-Massive Black Holes and Gravitational Waves
- 13/06/2016** - Martin White (Adélaïde) : The Global And Modular BSM Inference Tool (GAMBIT)
- 06/06/2016** - Anders Knospe (Houston) : Hadronic Resonances in Heavy-Ion Collisions at ALICE
- 30/05/2016** - Charles Timmermans (Radboud University Nijmegen) : AERA: Radio detection of cosmic rays in the Pierre Auger Observatory
- 23/05/2016** - Stéphane Blondin (LAM) : The width-luminosity relation for Type Ia supernovae: physical origin and implications for cosmology
- 19/05/2016** - Miguel Mostafa (Penn. State) : The High Altitude Water Cherenkov Observatory (HAWC)
- 11/05/2016** - Mauricio Bustamante (Ohio State) : High-energy astrophysical neutrinos: where do we stand, where do we go?
- 02/05/2016** - Matthew Kenzie (CERN) : Results of LHCb combination of CKM angle gamma
- 25/04/2016** - Cédric Delaunay (LAPTH) : « Dark Matter from muon and diphoton anomalies »
- 11/04/2016** - Eric Chassande-Mottin (APC), « Première observation des ondes gravitationnelles issues de la coalescence de deux trous noirs »
- 04/04/2016** - Elisa Pueschel (Dublin) : Fundamental physics studies using VHE gamma-ray astronomy
- 29/03/2016** - Marcelle Soares-Santos (Fermilab) : The Dark Energy Survey and Gravitational Waves
- 07/03/2016** - Paschal Coyle (CPPM) : Astroparticle & Oscillations Research with Cosmics in the Abyss (ANTARES & KM3NeT)
- 22/02/2016** - Anna Mangilli (IAS) : Constraining the reionization era and inflation with the CMB polarization at large angular scales: new preliminary Planck results and future prospects
- 11/02/2016** - Julian Bautista (Utah) : Baryon Acoustic Oscillations in the Lyman-alpha forest of BOSS
- 08/02/2016** - Aion Viana (MPI Heidelberg) : The Galactic Centre as a powerful cosmic PeVatron
- 04/02/2016** - Mathieu Perrin-Terrin (CERN) : Status and perspectives of the NA62 experiment at CERN
- 25/01/2016** - Yves Sirois (LLR) : The H Boson, Lost Loves, and the New Hopes
- 18/01/2016** - João Coelho (APC) : The NOvA Experiment
- 11/01/2016** - Pasquale Serpico (LAPTH) : Cosmic ray « anomalies »: some possible causes and implications
- Année 2015**
- 14/12/2015** - Sheldon Stone (Syracuse) : Recent results on pentaquark baryons and selected tetraquark mesons
- 10/12/2015** - Luca Scotto Lavina (SUBATECH) : Recent results of XENON100 and commissioning of XENON1T
- 03/12/2015** - Tania Garrigoux (North-West University, South Africa): Observing GRB
- 30/11/2015** - Konstantinos Nikolopoulos (Birmingham) : Probing the Higgs Yukawa couplings at the LHC
- 30/11/2015** - Mathieu WALTER (CCIN2P3) : Atrium : Gestion documentaire de l'IN2P3
- 26/11/2015** - Christophe Pichon (IAP) : Spin alignments within the cosmic web: a theory of constrained tidal torques near filaments
- 19/11/2015** - Roland Bacon (CRAL) : Beyond Hubble, MUSE offer a new view of the high redshift universe
- 05/11/2015** - Nathalie Deruelle (APC) : 1915-2015 : One hundred years of General Relativity
- 29/10/2015** - Stéphanie Roccia (CSNSM, Paris Sud) : Upper limit on the neutron EDM
- 22/10/2015** - Patrick Robbe (LAL): LHCb startup and early results from Run 2
- 15/10/2015** - Francesco Pace (Manchester) : Reliability of analytical and numerical techniques on lensing studies
- 24/09/2015** - Adrian Bevan (QMUL) : C, P, and CP asymmetry observables based on triple product asymmetries
- 17/09/2015** - Giulio Fabbian (SISSA) : Modeling and measuring CMB lensing in the cross-correlation era
- 10/09/2015** - Simone Pagan Griso (LBNL) : Charged particle reconstruction in the ATLAS experiment at the LHC
- 09/09/2015** - Yoshitaka Kuno (Univ. Osaka) - Search for Muon to Electron Conversion in a Muonic Atom with high Experimental Sensitivity - COMET Experiment at J-PARC
- 03/08/2015** - Dmitri Denisov (FNAL) : Fermilab Program and Plans
- 23/07/2015** - Bjorn Penning (Imperial College London) : Discovering dark matter at the LHC
- 16/07/2015** - Roman Pöschl (LAL) : Top quark physics at a future linear collider
- 09/07/2015** - Roberto Salerno (LLR) : Higgs boson @ CMS: Run1 results, perspectives for Run2 and HL-LHC
- 02/07/2015** - Hamish Gordon (CERN): Results from the CLOUD experiment
- 25/06/2015** - Enrico Conti (INFN Padova): Microwave radiation emitted by Extended Air Showers
- 18/06/2015** - Robert Cahn (LBNL) : DESI
- 11/06/2015** - Michel Piat (APC) : A la recherche des modes B de polarisation du rayonnement fossile: vers de nouveaux instruments
- 21/05/2015** - Pierre-Alain DUC (CEA) : Probing the mass assembly of galaxies with ultra-deep optical images
- 07/05/2015** - Igor Garcia Irastorza (Université de Saragoza) : Search for axions with the International Axion Observatory (IAXO)
- 16/04/2015** - Marc-Antoine Miville-Deschênes (IAS, Orsay) : « Les modes B pris dans les mailles du filet. »
- 09/04/2015** - Giovanni Carugno (Padova): « QUaerere AXion, A proposal in a search for Galactic axions »
- 02/04/2015** - F. Suekane (Tohoku University) : « Neutrino Oscillations: where are we now and where to go? »
- 19/03/2015** - Patrick Spradlin (University of Glasgow) : « Heavy flavor production at LHCb in LHC Run I and Run II »
- 17/03/2015** - Bernd Reinhold (University of Hawaii, Manoa), « Latest results from the DarkSide-50 direct dark matter search experiment »
- 12/03/2015** - Christian Olivetto (APC Paris) et Philippe Laborie (LPC Caen) : « MAP et MAQ : politique du Management de Projet et du Management de la Qualité au sein de l'IN2P3 pour et par les acteurs de la recherche »
- 09/03/2015** - Marco Pappagallo (University of Glasgow) : « Heavy hadron spectroscopy at LHCb »
- 06/03/2015** - Luis Alejandro Perez Perez (Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien) : « Phenomenology of $B \rightarrow K\pi\pi$ modes »
- 02/03/2015** - Eduardo Rodrigues (University of Manchester) : « Charm-less decays of beauty-full hadrons - highlights and outlook »
- 19/02/2015** - Anton Poluektov (University of Warwick) « Interference and quantum coherence in beauty and charm »
- 16/02/2015** - Héctor Gomez (APC, Paris VII), « Search for the neutrinoless double-beta decay with SuperNEMO and its radiopurity control with the BiPo detector »
- 12/02/2015** - Vladimir Gligorov (CERN), « Findings in a Heartbeat »
- 09/02/2015** - Marc Goulette (Université de Genève) : « Présentation des travaux effectués dans les expériences BABAR et ATLAS, et projet de recherche dans LHCb »
- 29/01/2015** - Till Moritz Karbach (CERN) : « Precision flavour physics: Recent measurements of the CKM angle gamma at LHCb »
- 29/01/2015** - Richard Jacobsson (CERN), « L'expérience SHiP » (Séminaire commun LAL - LPNHE) »
- 22/01/2015** - Hervé Dole (IAS, Université Paris-Sud), « Planck and the large scale structures
- 08/01/2015** - David Valls-Gabaud (LERMA, Observatoire de Paris-Meudon), « The MESSIER satellite: unveiling galaxy formation »

LA RÉUNION DU VENDREDI

La « réunion du vendredi » est un forum hebdomadaire auquel l'ensemble du personnel du laboratoire est convié chaque vendredi matin, de 11 h à midi. Depuis 2014, elle se tient dans l'amphithéâtre *G. Charpak* du LPNHE.

Cette réunion régulière permet une communication directe entre les chercheurs des différentes équipes, ITA et direction. Elle débute par une séance de questions diverses et de partage d'informations à caractère

général au cours de laquelle la direction fait part à l'ensemble du personnel des décisions prises au CNRS, à l'IN2P3, dans les Universités de tutelle, ou dans les différents conseils du laboratoire.

Elle se poursuit par un ou plusieurs exposés sur un thème de physique ou sur une réalisation technique, un compte-rendu de conférence ou le bilan d'activité d'un service. Il est d'usage que les doctorants de deuxième année et les post-doctorants

présentent leurs travaux devant un public extérieur à leur équipe. Toutes les présentations sont enregistrées sur le site internet du LPNHE depuis de nombreuses années, donnant accès à un panorama complet et détaillé des activités du laboratoire.

.....
Organisation et animation :

S. Baumont, C. Giganti (jusqu'en 2016)
M. Bomben, L. Scotto Lavina (depuis 2016)
.....

LA BIENNALE



La Biennale 2016 du LPNHE s'est tenue en Italie près de Pise, à Tirrenia, du 3 au 7 octobre 2016.

Cette réunion, qui a lieu tous les 2 ans et demi, a pour but de permettre à l'ensemble du personnel de discuter du bilan des activités techniques et scientifiques du laboratoire, de ses perspectives et orientations futures, mais aussi de débattre de son fonctionnement dans un cadre informel et convivial.

Malgré l'éloignement de Paris, la participation a été bonne, au niveau de celle des années précédentes, avec environ 65 participants, dont un tiers de personnels ITA et deux tiers de physiciens. Le budget de cette biennale a été comparable à celui des précédentes grâce à l'achat de billets d'avion « low-cost » plusieurs mois à l'avance.

Le programme a été dense mais très apprécié par les participants, avec une revue complète des activités scientifiques du laboratoire et des différents services et équipes

de support. Au total, les présentations ont duré environ 20h, avec 70 interventions, dont 25 sur les activités scientifiques dans les grands axes de recherche du LPNHE (masses et interactions fondamentales, physique de la saveur, astroparticules, cosmologie, matière noire), une dizaine sur des réalisations techniques effectuées au laboratoire, 7 présentations sur la direction technique et les différents services, et une intervention du président du conseil du LHC, qui avait été invité par les organisateurs.

Parmi les présentations, 28 courts exposés donnés par les nouveaux arrivants (étudiants en première année de thèse et post-docs) et par les étudiants en 2ème et 3ème année de thèse ont été aussi beaucoup appréciés pour leur clarté et aussi parce qu'ils ont permis à tous de mieux connaître cette composante essentielle du laboratoire. Les sessions de la dernière matinée, qui étaient en concomitance avec le créneau de la réunion hebdomadaire du laboratoire, ont été retransmises en vidéoconférence dans l'amphithéâtre *Charpak*, pour permettre à ceux qui n'avaient pu se déplacer de suivre les présentations et discussions sur l'évolution des instances universitaires et les conclusions du directeur du LPNHE.

Des discussions (5h) ont aussi eu lieu, sur différents sujets comme l'évolution future du support, des projets et des compétences techniques, des sujets de thèse, des ins-

tances universitaires et sur la possible future fédération avec d'autres laboratoires de la région Francilienne.

La proximité géographique a permis aussi une visite de l'expérience Virgo, dont les physiciens venaient de découvrir les ondes gravitationnelles avec leurs collègues de Ligo. La biennale a été aussi l'occasion d'une visite de la magnifique Piazza dei Miracoli et de la tour de Pise où Galilée a réalisé quelques unes de ses expériences.

En conclusion, le suivi, la qualité des présentations et des débats, et les retours des participants ont été excellents et la tenue de la biennale à l'étranger a été un grand succès.

.....
Coordination :

Giovanni Marchiori, François Legrand,
Laurence Lavergne, Francesco Polci,
Isabelle Cossin, Julien Bolmont
.....



LA FÊTE DE LA SCIENCE



Pour répondre à sa mission de diffusion scientifique, le laboratoire participe chaque année à la «fête de la science». Les thèmes choisis étaient pour 2014 « L'essentiel est invisible », pour 2015 « La lumière », et pour 2016 « Aux origines de l'Univers : quelles évolutions, quelles innovations ? ».

Le LPNHE a accueilli en 2014 935 visiteurs dont 250 scolaires, en 2015 950 visiteurs

dont 250 scolaires et en 2016 850 visiteurs dont 200 scolaires.

Pour ce rendez-vous récurrent, une équipe de plus de 30 personnes du LPNHE (physiciens et ITA) est mobilisée. Des visites-guidées par des membres du laboratoire permettent aux visiteurs d'appréhender les thématiques de recherche ainsi que les outils et méthodes utilisées. Des ateliers pédagogiques abordent la physique ou l'instrumentation sous un aspect plus concret. Des conférences grand public présentent les recherches menées au laboratoire en permettant d'approfondir certains sujets. De plus, grâce à un partenariat avec l'Institut des NanoSciences de Paris et le Laboratoire Kastler-Brossel, des visites de l'accélérateur SAFIR de Jussieu

et de l'accélérateur SIMPA sont organisées chaque année.

Par ailleurs, depuis six ans le laboratoire s'associe avec l'Association Française d'Astronomie pour organiser le « Festival des 2 Infinis ». Depuis 2014 une nouvelle animation a vu le jour: « 5 minutes pour ma thèse », avec le triple objectif de faire découvrir aux lycéens la recherche en astronomie, de faire se rencontrer jeunes physiciens et astrophysiciens et de sensibiliser les doctorants à la médiation vers le grand public. À l'issue de cette rencontre, le jury et le public décernent un prix aux trois meilleures présentations.

Coordination :

Isabelle Cossin, Vera de Sa-Varanda, Laurence Marquet

LES MASTERCLASSES

Entre 2015 et 2017, le LPNHE a poursuivi sa participation au programme européen des Masterclasses. Les Masterclasses sont organisées depuis 2005 par l'EPPOG (European Particle Physics Outreach Group) et le CERN. Une cinquantaine de pays participent à ce programme, à travers 200 instituts ou laboratoires qui accueillent plus de 13000 élèves pendant 4 semaines, généralement en mars.

Le but des Masterclasses est de sensibiliser les élèves des lycées à ce qu'est la recherche, et en particulier la recherche en physique des particules, en les faisant travailler dans des conditions réelles pendant une journée dans un laboratoire et en leur montrant l'exemple de ce qu'est une démarche scientifique. Chaque année, le LPNHE accueille plusieurs classes pendant deux ou trois jours. Les lycées Blaise-Cendrars (Sevran), Pablo-Picasso (Fontenay-sous-Bois), Lavoisier (Paris), Janson-de-Sailly (Paris), Edouard-Branly (Créteil) et Antoine-de-Saint-Exupéry (Créteil) sont venus ces dernières années, avec une participation d'environ 100-140 élèves par an.

Le programme d'une journée type se déroule en deux parties. La matinée est consacrée à une présentation des activités du laboratoire, des filières universitaires et des métiers de la recherche, puis à un exposé d'introduction sur la physique des particules, sur les accélérateurs et sur les détecteurs de particules. Ces exposés présentent un domaine nouveau pour les élèves, et les prépare en même temps pour la session de travaux pratiques de l'après-midi pendant laquelle ils travaillent sur une analyse de physique.

Après une pause où les élèves peuvent rencontrer le personnel du laboratoire, les travaux pratiques (TP) débutent. Les élèves, répartis en binômes travaillent sur de vraies données issues des collisions au LHC, et collectées par les expériences ATLAS ou LHCb. C'est la partie de la journée pendant laquelle les élèves mettent en pratique les connaissances acquises pendant la matinée. Ces TP ont lieu dans les salles d'informatique de l'UPMC.

À la fin de la journée, comme dans une collaboration internationale, les élèves reçoivent



dans les 5 laboratoires participant en parallèle aux Masterclasses comparent puis combinent leurs résultats lors d'une vidéo-conférence, qui se déroule en anglais. Ils peuvent aussi poser des questions aux modérateurs qui sont en liaison vidéo depuis le CERN à Genève. La journée se termine par un quizz sur la physique des particules, avec des questions relatives au LHC.

Lors de la séance de TP, les lycéens sont encadrés par des membres du laboratoire, la plupart du temps des étudiants en thèse où des jeunes chercheurs qui les aident à interpréter les informations, très nouvelles pour eux. Cet encadrement est indispensable à la bonne réussite des journées. Une dizaine de membres du laboratoire participe à chaque journée des Masterclasses à travers des exposés oraux, une aide à l'encadrement et à l'organisation.

Animation : Irena Nikolic et Vladimir Gligorov

**Directeur de la publication**

Gregorio Bernardi

Coordination éditoriale

Julien Bolmont

Comité de rédaction

Sylvain Baumont
Julien Bolmont
Bogdan Malaescu
Francesco Polci
Luca Scotto Lavina
Daniel Vincent

Remerciements à

Isabelle Cossin, Rémi Cornat
Vera de Sa-Varanda

Conception graphique

Jean-Jacques Daigremont

Crédits photos

Couverture : Kamioka Observatory, Institute for Cosmic Ray Research, Université de Tokyo.
Event display, collaboration T2K.
Pages 6 et 7 : J. Bolmont, ATLAS/CERN, SDSS, LPNHE, E. Sacchetti/XENON
Page 8 : S. Derozier/UPMC
Autres : CERN, COMET, LSST, BABAR, V. de Sa-Varanda, I. Cossin, J. Bolmont, LPNHE

Publié par

Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Énergies
Ce document est consultable sur le site du laboratoire : <http://lpnhe.in2p3.fr>

Impression

COPYMÉDIA
CS 20023 33
693 Mérignac Cedex
3^e trimestre 2017



Laboratoire de physique nucléaire et de hautes énergies
4, place Jussieu • 75252 Paris Cedex 05 •
Tél. : 33 (1) 44 27 63 13 • Fax : 33 (1) 44 27 46 38
<http://lpnhe.in2p3.fr>

