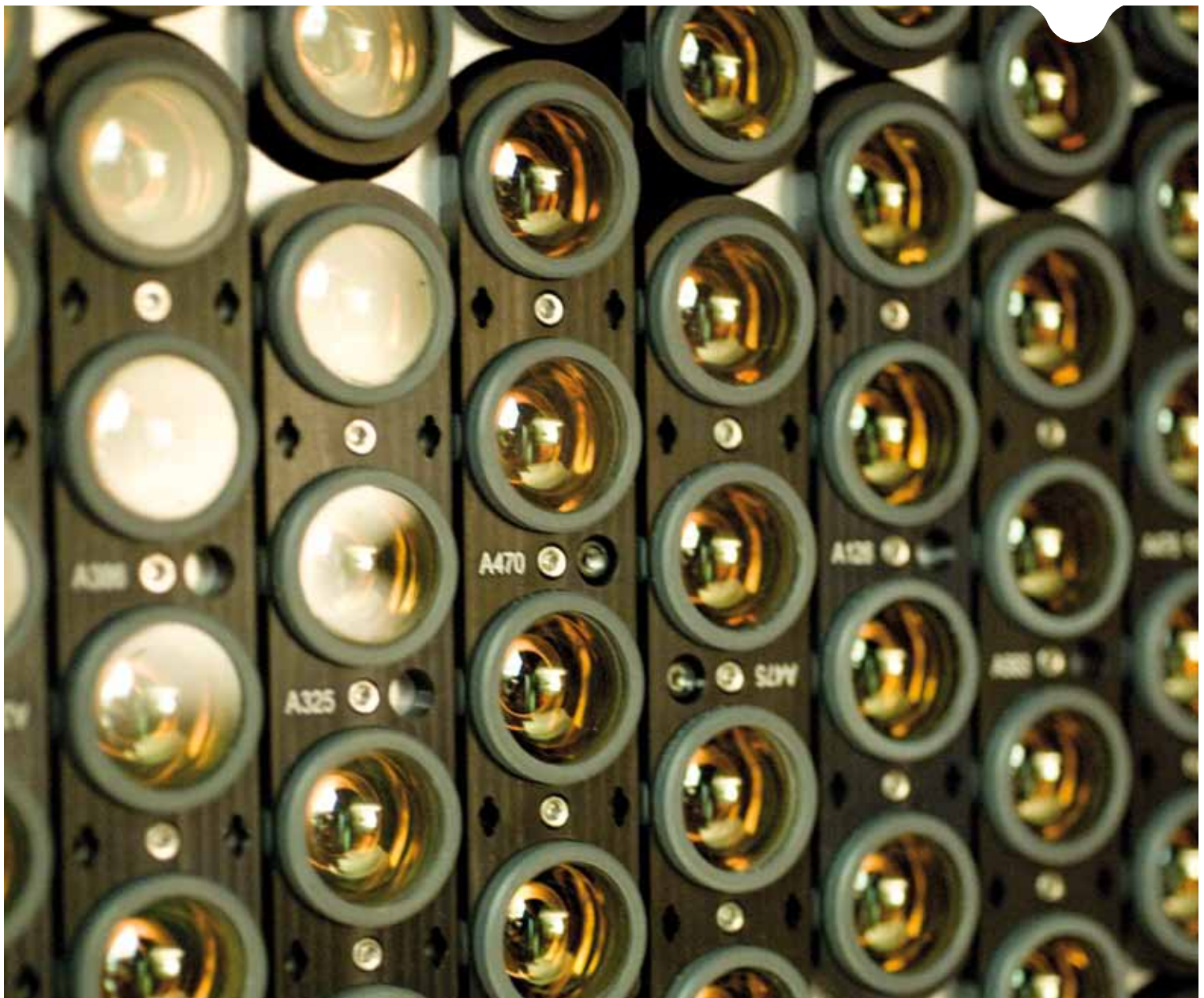


LPNHE

LABORATOIRE DE PHYSIQUE
NUCLÉAIRE ET DE HAUTES ÉNERGIES

RAPPORT D'ACTIVITÉ
2008-2009



RAPPORT D'ACTIVITÉ LPNHE

2008-2009



AVANT-PROPOS

Le LPNHE est un laboratoire de recherche de l'UPMC, de l'université Paris Diderot et du CNRS, au travers de son institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules, l'IN2P3.

Les activités scientifiques du laboratoire relèvent de la physique des particules, des astroparticules et de la cosmologie. Une centaine de chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants y effectuent leur recherche avec le soutien d'une cinquantaine d'ingénieurs, techniciens et personnels administratifs. Ces activités, principalement expérimentales, prennent place dans le cadre de programmes le plus souvent internationaux, auprès des grands accélérateurs ou observatoires mondiaux. Le présent rapport porte sur les années 2008 et 2009.

Dans l'histoire de la physique des particules, les années 2008-2009 resteront d'abord celles de la mise en service du LHC avec les espoirs qu'il porte de voir enfin résolues la question du boson de Higgs et celle de la supersymétrie. A la fin 2009, les premières collisions à 900 GeV dans le centre de masse ont précédé de peu le dépassement, survenu au début 2010, du record en énergie détenu jusque là par le TeVatron. Les équipes ATLAS et LHCb du LPNHE ont pris toute leur part à cet événement tant attendu, travaillant d'arrache-pied à la mise au point des détecteurs ou préparant fébrilement l'analyse des premières données.

La nouvelle machine et son énergie record ne doivent toutefois pas faire oublier la physique de précision qui démarrait ou se poursuivait ailleurs.

En effet, la période 2008-2009 a aussi vu l'installation et la mise en service de l'expérience T2K auprès du synchrotron à protons de J-Parc à Tokaimura au Japon, dont l'un des buts est la mesure précise des paramètres de la matrice de mélange des neutrinos. Ici encore, les chercheurs et personnels techniques du LPNHE ont montré leur savoir faire. Avec leurs collègues de T2K, ils ont observé

les premières interactions de neutrinos dans le détecteur proche dès la fin de l'année 2009.

Pendant cette même période, l'expérience Babar à Stanford publiait son 400^{ème} papier et entrait, après l'arrêt de la machine en avril 2008, dans la phase finale d'exploitation succédant à 9 années de prise de données. Les personnels du LPNHE, présents il y a plus de 15 ans aux origines du projet, sont légitimement fiers du travail accompli. Son importance pour la physique fondamentale est attestée, en particulier, par le prix Nobel attribué en 2008 aux Japonais M. Kobayashi et T. Maskawa, pour leur description de la matrice de mélange des quarks mesurée aujourd'hui avec une précision inégalée par les expériences Babar et Belle.

Dans le même temps, CDF et D0 installés sur le Tevatron à Fermilab poursuivaient leur impressionnante collecte de données et les équipes du laboratoire prenaient toute leur place dans l'extraction de nouveaux résultats : oscillation du Bs et mise en évidence du processus Single Top pour le groupe CDF, nouvelles limites sur le Higgs standard posées par CDF et D0.

Dans le domaine des astroparticules, 2008-2009 a vu l'achèvement de la construction de l'observatoire AUGER en Argentine, son inauguration fin 2008 et la mise en évidence d'une anisotropie des rayons cosmiques de très haute énergie, résultat dans lequel le groupe AUGER du laboratoire a eu un rôle déterminant après avoir participé, ici aussi dès les origines, à la conception et à la construction de l'observatoire.

Toujours dans le domaine des rayons cosmiques, l'expérience HESS d'observation des photons gamma de très hautes énergies a continué à préparer une montée en puissance majeure avec l'intégration de l'électronique de la caméra HESS-2 en 2008 et pendant la première partie de 2009. Avec un pincement au cœur, le groupe du LPNHE a vu partir, fin 2009, la caméra en convoi exceptionnel vers le laboratoire LLR de l'école polytechnique pour qu'y soient réalisés des travaux de mécanique avant qu'elle soit ultérieurement expédiée sur le site expérimental en Namibie.

En cosmologie, l'expérience SNLS de mesure des paramètres cosmologiques à l'aide de supernovae la a effectué ses dernières observations « de science » en Juillet 2008. Celles-ci furent suivies par une intense période d'analyse et de récolte de données de calibrage complémentaires obtenues à l'aide d'un dispositif original développé au LPNHE. Pour l'équipe cosmologie du laboratoire, la période 2008-2009 fut aussi celle de la publication de papiers essentiels visant à améliorer la précision de la mesure du paramètre de l'équation d'état de l'énergie noire. Le groupe SNF a, par exemple, développé une nouvelle méthode de mesure

des distances des supernovae à partir des spectres observés avec l'instrument SNIFS. Enfin, ces années virent une montée en puissance substantielle des activités de R&D pour le projet LSST.

Les années 2008 et 2009 ont donc été riches en événements scientifiques d'importance pour les équipes du LPNHE. Nos équipes ont témoigné de leur total engagement dans les projets de taille internationale auxquels prend part le laboratoire et elles ont montré leur dynamisme dans l'analyse des données récoltées dont l'importance est attestée par de très nombreuses publications. Le comité de l'AERES qui a examiné le laboratoire en 2008 a d'ailleurs classé le LPNHE en A+.

Sur un tout autre plan, 2008 et 2009 virent aussi les dernières étapes de la préparation du déménagement du laboratoire, processus engagé depuis de nombreuses années et finalement planifié pour le milieu 2010. A l'heure où j'écris ces quelques lignes, le laboratoire parachève son installation dans les locaux rénovés de l'aile ouest du campus Jussieu. Les « anciens » retrouvent le chemin de la « Tour 12 » et les plus jeunes découvrent des locaux neufs et fonctionnels. Les travaux sur le campus et la préparation du déménagement n'ont pas été sans incidences sur la vie et le travail de chacun à mesure que se rapprochait la date fatidique de mai 2010, début d'un mouvement qui n'est pas encore complètement terminé. Soumis à toutes sortes de contraintes et d'inconvénients divers, le personnel du laboratoire a traversé cette période agitée avec pragmatisme et détermination.

Enfin, la période 2008-2009 a vu un changement de direction du laboratoire puisque j'ai été nommé directeur début 2009. Je voudrais ici saluer le travail de mon prédécesseur, Pascal Debu. Sous sa direction, le LPNHE a poursuivi son développement, affirmé ses choix scientifiques et passé avec succès sa première évaluation par l'AERES. Je souhaite le remercier ici de son dévouement pour notre laboratoire.

Pour conclure, je remercie toutes les personnes qui ont participé à la rédaction de ce rapport et en particulier l'équipe de rédaction : Julien Guy, Bertrand Laforge, Jean-Michel Levy et François Toussnel qui, assistés de notre chargée de communication Isabelle Cossin et de Violaine Cardot, ont réalisé et mis en forme ce document.

Reynald Pain

FAITS MARQUANTS

DES ANNÉES

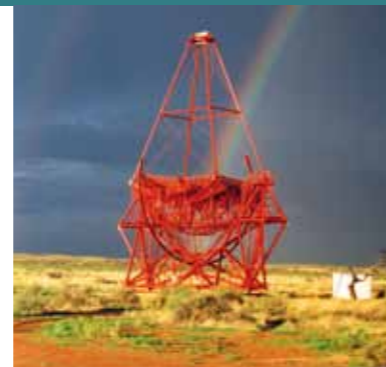
2008 • 2009

2008



Avril

- **BABAR**
Arrêt de la prise de données après 9 ans de fonctionnement.
- **Auger**
Fin de la construction (avril 2008).



Janvier

- **Auger**
Mise en évidence de l'anisotropie des rayons cosmiques au-delà de 55 EeV (Couverture de Science - novembre 2007). Article dans Astroparticle physics en Janvier 2008.
- **LSST**
Début de la R&D CCD.



Printemps

- **HESS**
Détection de la Supernova SN1006 par HESS. Source longtemps contestée par HESS mais enfin découverte à très bas flux.

Janvier

- **SNLS**
Fin de la prise de données au CFHT.
- **SNDICE**
Installation de SNDICE au CFHT.



2009

Mai

- **SNFactory**
Publication d'une nouvelle méthode de mesure des distances des supernovae à partir d'observations spectro-photométriques.



Novembre

- **ATLAS**
Redémarrage du LHC au CERN. Record d'énergie au LHC : 2,5 TeV.
- **LSST**
L'IN2P3 rejoint officiellement la collaboration LSST. Qualification de l'ASIC front end de lecture des CCD (ASPIC II).
- **Fête de la science**
Portes ouvertes du LPNHE.

Août

- **SNLS**
Publication de la calibration des champs SNLS.

28 juin

- **HESS**
Arrivée de la structure de la caméra HESS 2 au LPNHE.

Mars

- **LPNHE**
Nomination de Reynald PAIN à la direction du Laboratoire.
- **CDF-D0**
Exclusion du boson de Higgs du modèle standard entre 162 et 166 GeV.
- **CDF**
Mise en évidence de la production électrofaible du top quark (single top).



Octobre

- **Médaille d'argent**
du CNRS décernée à Pierre Astier.
- **BABAR**
Découverte du méson η_b , l'état fondamental du bottomonium. Attribution du prix Nobel 2008 à Kobayashi et Maskawa.
- **Fête de la science**
Portes ouvertes du LPNHE.

Novembre

- **Auger**
Inauguration de l'observatoire.
- **ATLAS**
Démarrage du LHC au CERN.

Décembre

- **T2K**
Premier évènement.
- **HESS**
Fin de l'intégration et du test de la caméra. Détections de muons cosmiques.





SOMMAIRE

Avant propos	03	Organisation de conférences scientifiques et écoles thématiques	101
Faits marquants	06	Responsabilités dans les comités d'évaluation, les instances scientifiques	102
Recherche	11	Distinctions	102
Masses et interactions fondamentales	13	Partenariats scientifiques	103
ATLAS : physique au LHC	14	Enseignement	105
CDF : expérience au Tevatron à FermiLab	20	L'enseignement supérieur.....	106
DØ : physique au Tevatron.....	25	Formation par la recherche	109
Collisionneur linéaire	30	Les thèses au LPNHE	111
Asymétrie, matière-antimatière	35	Les stages au LPNHE	114
L'expérience : T2K.....	36	Compétences et réalisations techniques	117
Babar : physique des saveurs lourdes	40	Électronique et Instrumentation	121
L'expérience LHCb	44	Service mécanique	127
Phénoménologie de la QCD non-perturbative	47	Service informatique	130
Matière noire et énergie noire	53	Moyens d'essai et bancs de test au LPNHE	136
Supernova Legacy Survey (SNLS), et Supernova Factory (SNF)	54	Fonctionnement du laboratoire	143
Le projet LSST	59	Organisation	145
Dynamique des systèmes auto-gravitants	64	Ressources financières	146
Nature et origine du rayonnement cosmique	69	Ressources humaines	147
L'expérience HESS	70	Formation permanente	147
CTA : futur observatoire européen pour l'astronomie γ des très hautes énergies	74	Communication et documentation	149
L'Observatoire Pierre Auger.....	77	Hygiène et sécurité	151
Activités interdisciplinaires	83	Services généraux	152
Biophysique	84	Personnel du LPNHE	153
Grille de calcul	88	Animation scientifique et communication	155
Publications, communications, partenariats	91	Communication interne	
Publications	92	Les séminaires	156
Communications à des conférences scientifiques	98	La réunion du vendredi	159
Séminaires	100	La biennale	160
Communications à des écoles thématiques	100	Communication externe	
Contributions à des ouvrages et publications sans comité de lecture	101	La fête de la science	161
		Laradioactivite.com	163
		Les masterclasses	164
		Les conférences	166



RECHERCHE

Masses et interactions fondamentales

ATLAS : physique au LHC
CDF : expérience au Tevatron à FermiLab
DØ : physique au Tevatron
Collisionneur linéaire

Asymétrie matière-antimatière

L'expérience T2K
BABAR : physique des saveurs lourdes
L'expérience LHCb
Phénoménologie de la qcd non-perturbative

Matière noire et énergie noire

Supernova Legacy Survey (SNLS), et Supernova Factory (SNF)
Le projet LSST
Dynamique des systèmes auto-gravitants

Nature et origine du rayonnement cosmique

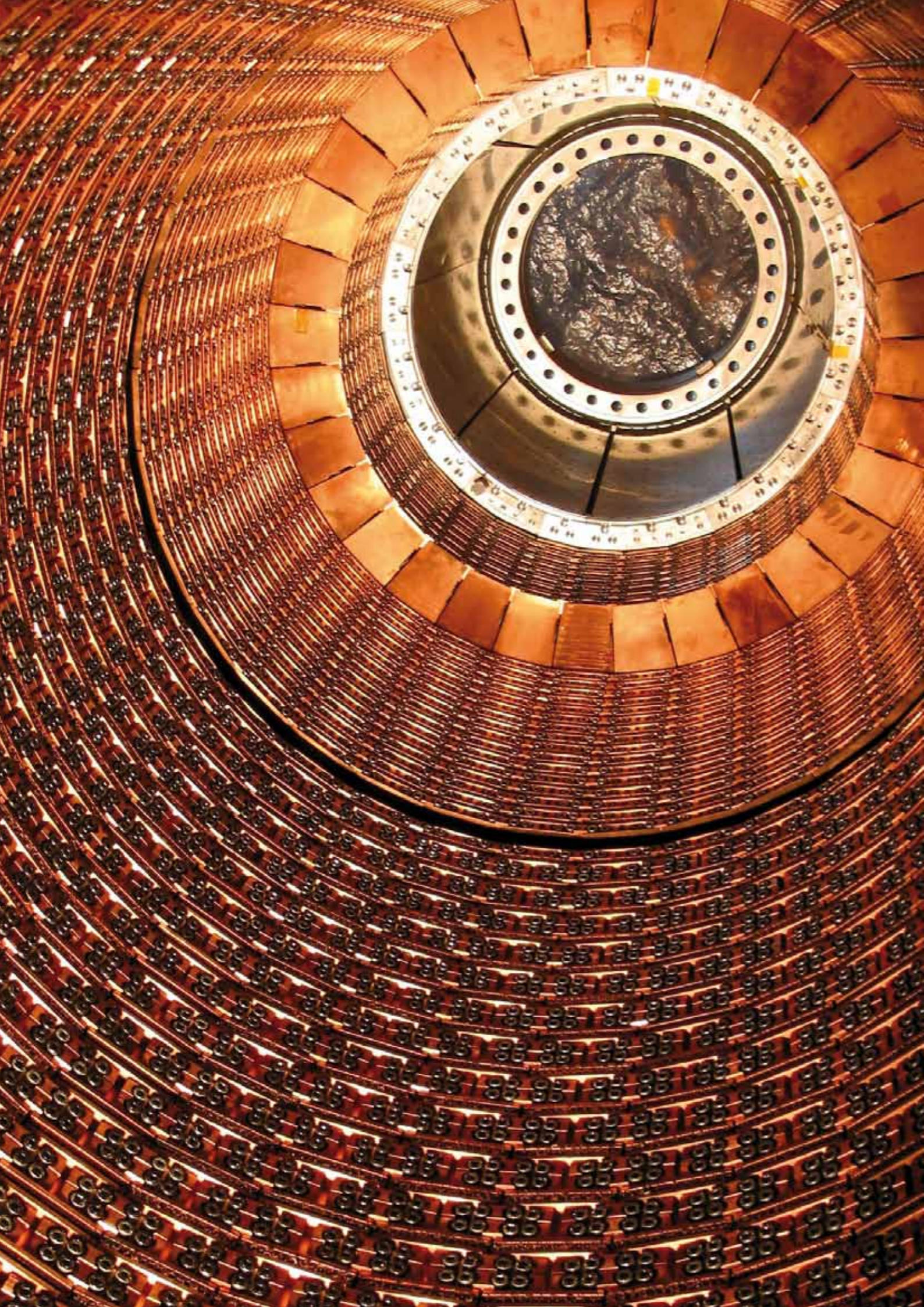
L'expérience HESS
CTA : futur observatoire européen pour l'astronomie γ des très hautes énergies
L'Observatoire Pierre Auger

Activités interdisciplinaires

Biophysique
Grille de calcul

Publications, communications, partenariats

Publications
Communications à des conférences scientifiques
Séminaires
Communications à des écoles thématiques
Contributions à des ouvrages et publications sans comité de lecture
Organisation de conférences scientifiques et écoles thématiques
Responsabilités dans les comités d'évaluation, les instances scientifiques
Distinctions
Partenariats scientifiques

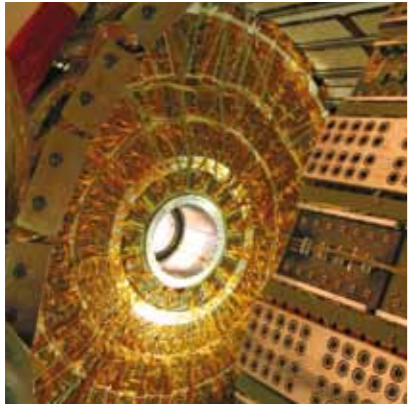


MASSES ET INTERACTIONS FONDAMENTALES

Le modèle standard de la physique des particules décrit avec précision les résultats d'expériences extrêmement variées et couvrant une gamme en énergie allant d'une fraction d'électron-volt à plusieurs centaines de milliards d'eV.

En dépit de cet immense succès, de nombreuses questions demeurent sans réponse, et il reste à découvrir une pièce maîtresse du modèle, le boson de Higgs, vecteur du mécanisme de génération des masses des particules.

La mise en évidence du boson de Higgs, l'étude détaillée de ses propriétés et la recherche de nouvelles particules et de nouvelles interactions sont les enjeux majeurs des expériences auprès des accélérateurs à la frontière des énergies accessibles (Tevatron à Fermilab, LHC à Genève, Collisionneur linéaire en projet).



Le LHC a connu un démarrage difficile fin 2008 et son exploitation a réellement commencé à l'automne 2009 avec les premières collisions à 900 GeV. Dès la fin 2009, il est monté en énergie pour devenir le plus puissant accélérateur du monde avec une énergie dans le centre de masse de 2.36 TeV. Cette période, ponctuée de moments exaltants, a été l'occasion pour l'expérience ATLAS de valider in situ le bon fonctionnement du détecteur et de son système de déclenchement, de parfaire les calibrations des différents sous-détecteurs mais également de finaliser les stratégies d'analyse de physique en vue des premières collisions à 7 TeV qui se sont produites début 2010.

Chercheurs et doctorants

T. Beau, S. Bordoni,
P. Cavalleri, E. Chareyre,
G. Calderini, S. de Cecco,
F. Derue, F. Fayette,
M. W. Krasny, D. Lacour,
B. Laforge, J. Lellouch,
Y. Li, G. Marchiori,
I. Nikolic-Audit,
J. Ocariz, M. Ridel,
A. Robert, L. Roos,
P. Schwemling
T. Thevenaux-Pelzer,
N. Trinh-Thi, F. Vannucci

Équipe technique

M. Dhellot, O. Le Dortz,
D. Martin, J-M. Parraud
G. Daubard, D. Laporte,
Y. Orain

Les expériences auprès du collisionneur LHC du CERN ont pour but d'explorer la physique des particules à une énergie de plusieurs TeV, encore jamais atteinte par un accélérateur.

L'expérience ATLAS a été conçue afin d'aborder un large éventail de sujets :

- la physique du quark top,
- l'étude de paires de bosons W ou Z,
- la recherche du boson de Higgs et de la supersymétrie ou de phénomènes plus exotiques encore,

ATLAS : PHYSIQUE AU LHC

P. Schwemling

comme l'existence de dimensions supplémentaires.

La calorimétrie tient un rôle important dans la plupart des analyses de physique, tant du point de vue de la mesure de l'énergie déposée par les particules individuelles et de leur identification que du point de vue de la mesure du flot d'énergie total à travers le détecteur.

La construction du détecteur est terminée depuis plusieurs années. Le fonctionnement de l'électronique de lecture a été validé, et elle a été largement utilisée pour des prises de données de l'interaction de rayonnements cosmiques avec les calorimètres. Après un faux départ du LHC en septembre 2008, les premières données provenant de collisions proton-proton à 900 GeV, puis 2.4 TeV ont été enregistrées et analysées fin 2009 (figure 1).

L'année 2010 a vu les premières collisions à haute énergie (7 TeV), et le LHC fonctionnera aussi à cette énergie en 2011. Les expériences

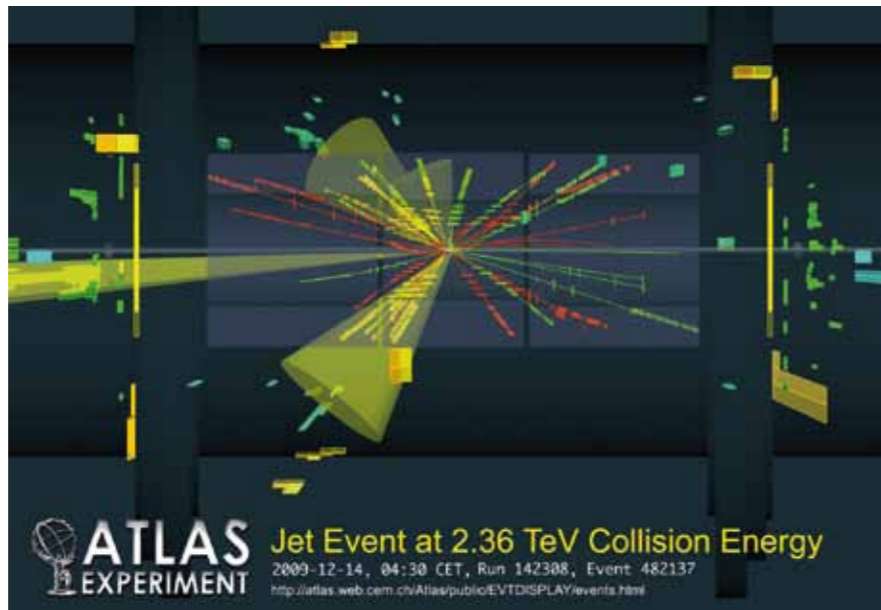


Figure 1

Vue d'un des premiers événements à haute énergie (2.36 TeV) enregistré par ATLAS. On distingue plusieurs jets de particules.

devraient engranger au cours des années 2010 et 2011 une luminosité intégrée de 1 fb^{-1} . Ce lot de données permettra les premières mesures des caractéristiques de la production de jets, de bosons Z et W, donnera les premières mesures compétitives avec le TeVatron des propriétés du quark top, et enfin permettra de resserrer la fenêtre de masse dans laquelle le boson de Higgs pourrait se trouver. Les années 2008 et 2009 ont été consacrées à la mise en place des outils d'analyse des données et à la caractérisation du détecteur, afin de s'assurer que les performances requises par les analyses de physique seront effectivement atteintes lors des prises de données. Le développement des outils d'analyse s'est accompagné d'un effort de préparation à l'analyse des données à partir de simulations et de données de tests en faisceaux.

Électronique

Le laboratoire est responsable de la carte « Contrôleur » des châssis d'électronique Front-End, ainsi que du lien série spécialisé SPAC, dont le rôle est de configurer depuis la salle de contrôle l'ensemble des cartes se

trouvant dans chaque châssis Front-End.

Tests en faisceau

L'année 2004 a donné lieu à une importante campagne de tests en faisceaux, dits combinés : pour la première fois, tous les sous-détecteurs d'ATLAS de la partie tonneau étaient associés dans la prise de données et dans la reconstruction. L'analyse des données des tests en faisceaux combinés a été finalisée au cours des années 2008 et 2009. Les algorithmes développés sur les données de tests en faisceau ont été testés sur les prises de données de cosmiques au cours de l'année 2009, et sont maintenant testés sur les premières données en collision afin de mettre en évidence des dépôts de nature électromagnétique (électrons ou photons) à l'avant du système de calorimétrie.

Calcul

Le groupe ATLAS s'est investi dans les activités de calcul, que ce soit dans le suivi de la grille de production ou dans l'apprentissage des outils d'analyse distribuée. Les activités de production Monte Carlo ou de reconstruction de données réelles

s'effectuent en France en utilisant le Tier 1 au Centre de Calcul de Lyon et les différents Tier 2 et Tier 3 qui lui sont attachés. GRIF est l'un des Tier 2, dont l'un des nœuds est au laboratoire. Ces activités sont coordonnées par le groupe Calcul Atlas France. Une équipe de quelques physicien(ne)s de chaque laboratoire est en charge du suivi des tâches soumises dans tous les sites français et dialogue avec les experts locaux pour assurer une efficacité aussi grande que possible. Cette activité est aussi assurée localement par les membres des groupes ATLAS et GRIF. En particulier, des tests systématiques ont été effectués durant les deux années écoulées. Les membres du groupe ont appris à utiliser le cadre des environnements de production et d'analyse distribuée mis en place par l'expérience et commencent à utiliser les ressources locales du Tier 3 et de leur serveur d'expérience.

Logiciel

Le groupe participe à la préparation des programmes de reconstruction et d'étalonnage du calorimètre électromagnétique. Le groupe est impliqué dans le développement du logiciel de reconstruction et

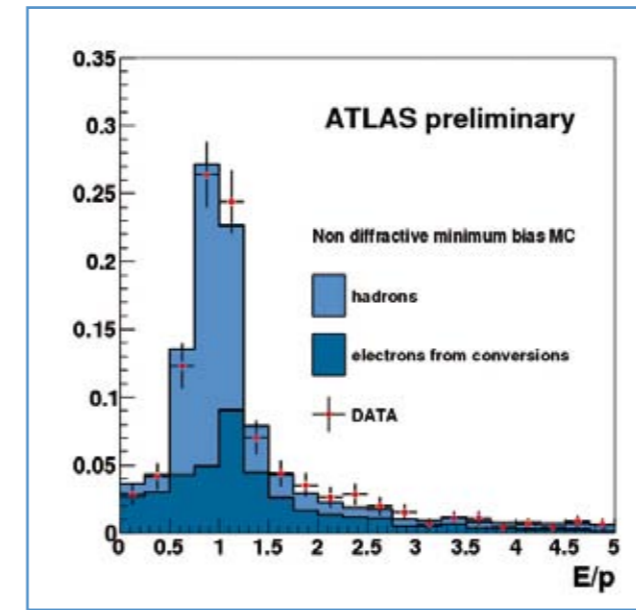


Figure 2

Distribution du rapport entre l'impulsion mesurée par le système de suivi des traces chargées et l'énergie mesurée dans le calorimètre, pour la simulation et les données. Pour des électrons, cette variable doit valoir en moyenne 1. On observe effectivement une contribution significative d'électrons provenant de paires de conversion.

d'identification des électrons (figure 2) et des photons. Il a participé activement à l'optimisation des critères d'identification pour les photons. Nous sommes aussi impliqués dans le logiciel d'étiquetage des jets de quark b, et participons à l'effort de validation quotidien des différentes versions du logiciel offline. Par ailleurs, notre groupe a une contribution importante dans le développement des algorithmes de déclenchement basés sur l'information des calorimètres qui servent à acquérir les événements riches en photons, électrons, jets ou énergie transverse manquante.

Analyses de physique

Le groupe participe à la préparation des programmes d'analyse de physique pour ATLAS.

Au démarrage du LHC, les seuils de déclenchement sur les objets électromagnétiques pourront être très bas. Ainsi, l'une des sources les plus copieuses d'électrons proviendra de désintégrations de J/ψ , typiquement 2000 par pb^{-1} la première année. Le groupe se prépare à utiliser ces résonances pour mieux comprendre

la reconstruction des électrons et du calorimètre.

Les paires d'électrons de désintégration de J/ψ , provenant d'une résonance de masse parfaitement connue, présentent l'intérêt de pouvoir être utilisées pour l'étalonnage du détecteur. Cette analyse, menée par le passé au sein du groupe sur des données simulées, pourra être reprise dès que le volume de données sera suffisant.

Outre ces contributions à la reconstruction et à la compréhension fine des performances du détecteur, nous avons choisi de développer principalement deux thèmes au sein du groupe : l'étude des propriétés du quark top, comme sa masse et sa section efficace de production, et la recherche du boson de Higgs dans son canal de désintégration en deux photons.

La compréhension du mécanisme de génération des masses et la découverte du boson de Higgs sont des enjeux majeurs du programme de physique au LHC.

Après avoir étudié par le passé les caractéristiques cinématiques de divers bruits de fond dans la recherche de la désintégration $H \rightarrow \gamma\gamma$, en utilisant les programmes de simulations théoriques les plus

récents, nous avons montré que l'utilisation de méthodes de maximum de vraisemblance exploitant principalement la différence entre le spectre en impulsion transverse du bruit de fond et du signal permettait d'améliorer sensiblement les perspectives de découverte du Higgs dans son canal de désintégration en deux photons.

En 2008-2009, les efforts ont porté sur l'exploitation de la mesure du temps d'arrivée des particules dans le calorimètre, pour rejeter les bruits de fond et pour améliorer la détermination de la position du vertex d'origine des photons. Ceci est allé de pair avec l'exploitation d'un nouveau format de données, proposé et implémenté par nous à la suite d'une analyse de la « philosophie » du système de déclenchement. Ce format de données permet au système de déclenchement un accès rapide aux informations nécessaires à une décision rapide, et en particulier aux informations de temps d'arrivée des particules dans le calorimètre. Nous avons, par la suite, poursuivi ces études par l'étude de l'efficacité de détection des photons et l'efficacité du système de déclenchement.

Les premières années de prises de données du LHC ne devant pas

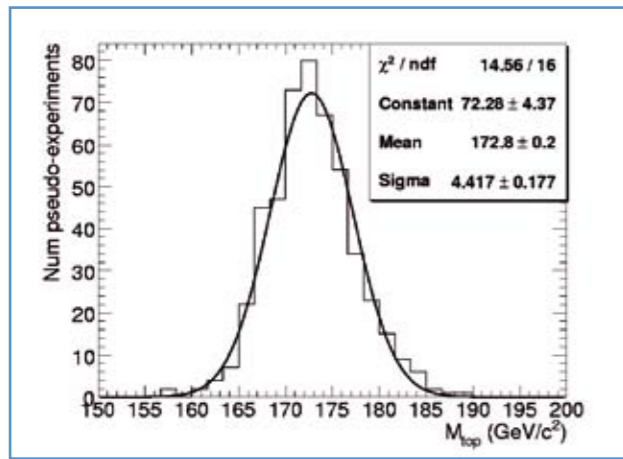


Figure 3

Valeur de la masse du quark top pour un ensemble d'échantillons tests de 90 événements chacun, ce qui correspond à 20pb^{-1} par échantillon. Pour ces événements simulés, la masse du quark top est de $170\text{GeV}/c^2$. Tous les bruits de fond sont inclus.

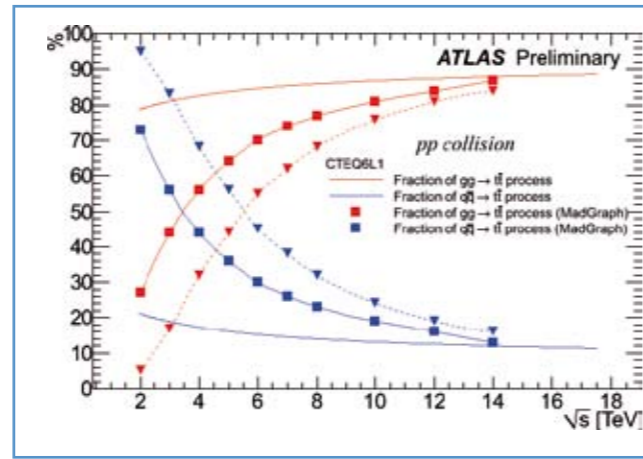


Figure 4

Part des modes de production des paires de quark top en fonction de l'énergie dans le centre de masse. La ligne continue représente une hypothèse simplificatrice valable à haute énergie. Les carrés représentent la production pour une collision protons – protons (LHC) et les triangles pour une collision protons – antiprotons (Tevatron).

permettre une découverte aisée du boson de Higgs dans son canal de désintégration en deux photons, elles seront largement consacrées à la compréhension des bruits de fonds générateurs de paires de photons et conduiront à mesurer les sections efficaces de production de plusieurs processus très intéressants pour la physique de l'interaction forte. Ce travail devrait conduire à un travail transversal avec plusieurs groupes de phénoménologues avec lesquels nous sommes en contact.

De nombreux tests de précision sur la physique du Modèle Standard seront effectués au LHC. Parmi ces tests, ceux concernant la physique du quark top représentent un domaine d'étude privilégié puisque une mesure très précise de la masse du quark top permet de contraindre celle du boson de Higgs.

Le groupe du LPNHE, impliqué dans la physique du quark top, travaille sur les canaux de désintégrations en dileptons (les deux W issus de la désintégration d'une paire top/anti-top se désintègrent leptoniquement). Malgré le rapport de branchement assez faible (environ 5 % des désintégrations du top), les états

finals ont peu de bruit de fond, rendant ce canal très propre. Deux thèmes majeurs sont étudiés : le premier concerne une étude de faisabilité de la mesure de la masse du quark top et le second a pour objectif la mesure de la section efficace de production.

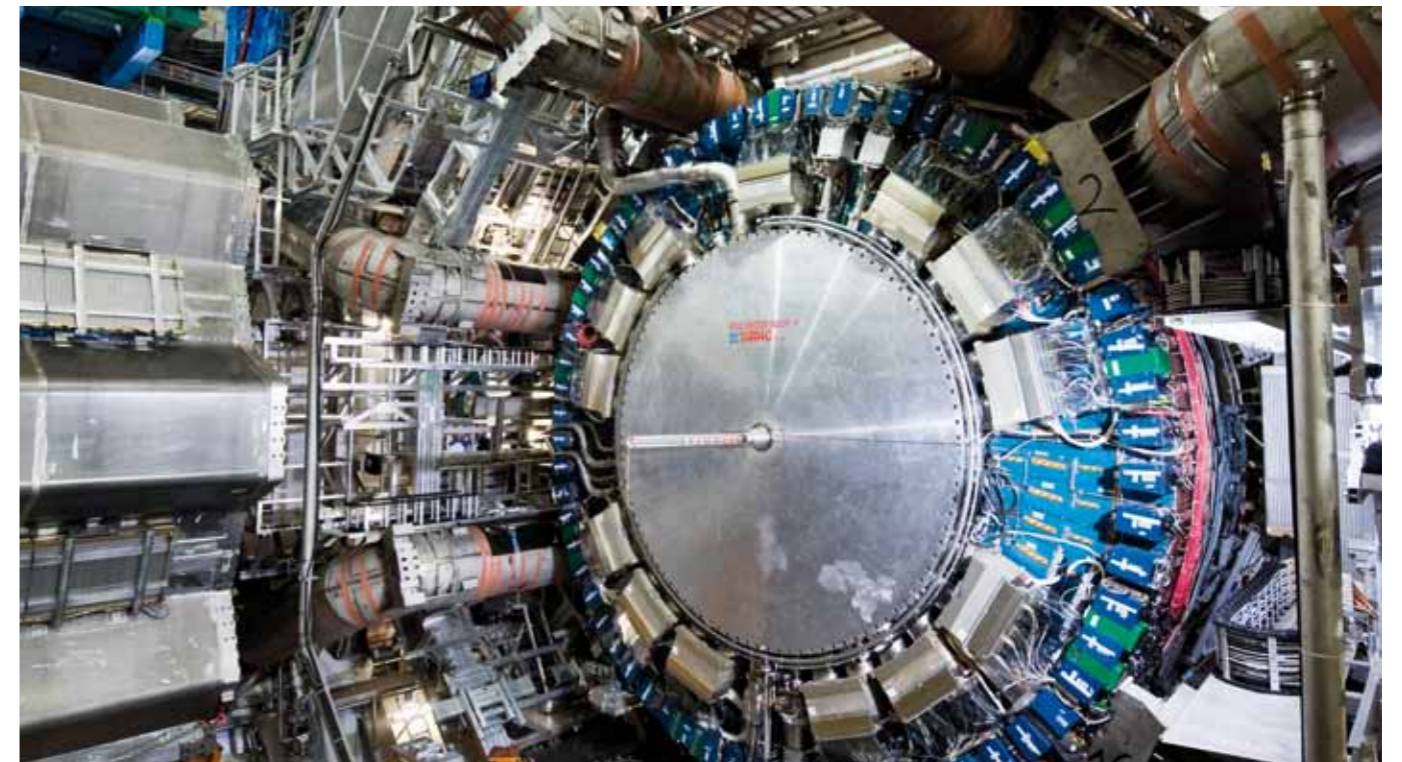
Dans le canal de désintégration dileptonique, la présence de deux neutrinos dans l'état final ne permet pas la reconstruction de la masse invariante. Pour cette raison, la méthode des éléments de matrice a été utilisée. Elle se base sur le calcul d'une densité de probabilité en fonction de la valeur de la masse nue du quark top comme paramètre. La densité de probabilité est obtenue grâce à la convolution de l'élément de matrice du processus top-antitop par les fonctions de résolution du détecteur et en intégrant numériquement sur les impulsions des neutrinos qui ne sont pas mesurées. Cette méthode pour extraire la masse repose donc sur des études de maximum de vraisemblance. L'ensemble de ce travail pour une énergie dans le centre de masse de 14 TeV, a été l'objet d'une thèse soutenue en

septembre 2009. A titre d'exemple, la figure 3 présente la valeur de la masse obtenue pour une masse générée à $170\text{GeV}/c^2$. Après corrections, pour une masse générée de $175\text{GeV}/c^2$ et pour une luminosité intégrée de 20pb^{-1} , la valeur obtenue est $176.7\text{GeV}/c^2$ avec une erreur statistique de $4.2\text{GeV}/c^2$ et une erreur systématique de $3.3\text{GeV}/c^2$.

L'expertise acquise sur la méthode des éléments de matrice pour la mesure de la masse permet d'envisager sa généralisation et son extension et notamment de conduire une prospective pour une application à une mesure de l'échelle en énergie des jets.

Par ailleurs, actuellement, une adaptation de la méthode pour des énergies dans le centre de masse de 10 et de 7 TeV est en cours. La figure 4 présente la part des différents modes de production des paires de quark top en fonction de l'énergie dans le centre de masse. L'hypothèse simplificatrice d'un mode de production dominant utilisée dans l'étude à 14 TeV devient moins évidente à 7 TeV.

Afin de préparer la mesure de la section efficace de production des paires de quarks top qui fait l'objet de



deux thèses en cours commencées avec un an de décalage, nous avons mené une étude visant à comprendre le bruit de fond dominant, dû aux jets identifiés à tort comme des leptons. Une première étude préparatoire sur les taux de production des extra-leptons a été effectuée en utilisant des échantillons d'événements simulés dans les canaux semi-leptoniques et totalement hadroniques, en collaboration avec le groupe ATLAS de NIKHEF.

Enfin, dans le but d'anticiper la première mesure de section efficace, une étude de l'impact des constantes de calibration du calorimètre électromagnétique sur l'énergie des électrons a été effectuée.

Nous menons également des réflexions à plus long terme sur la mesure de la luminosité.

Ainsi, en collaboration avec l'IFJ-PAN de Cracovie, nous étudions les possibilités d'évolution d'ATLAS, à partir de programmes de simulation, un système de déclenchement et un détecteur dédiés à la mesure de la luminosité, par comptage de paires coplanaires d'électrons de bas Pt.

Le but est de parvenir à une mesure de la luminosité à 1 % près, soit cinq fois mieux que ce qui a été fait par le passé auprès de collisionneurs hadroniques.

Une thèse étudiant la faisabilité d'une mesure de précision de la différence de masse entre les bosons W^+ et W^- a été soutenue au sein du groupe. Cette thèse fait appel à des programmes de simulations en cours de développement à l'IFJ-PAN de Cracovie, avec comme application des mesures de précision de paramètres du Modèle Standard. Une thèse en cotutelle est en cours sur ce sujet avec le LPNHE.

Améliorations et évolutions du détecteur

A plus long terme, après l'exploitation du LHC à haute luminosité ($10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), il est prévu à l'horizon 2020 d'accroître encore la luminosité, en la portant à la valeur record de $5.10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Une telle luminosité impose des modifications substantielles au système de suivi des traces chargées. Les contraintes de tenue aux radiations et le souhait de minimiser la quantité de matière

imposent de lancer dès maintenant des programmes de recherche et développement sur les matériaux, la structure mécanique du détecteur et les différentes options de détecteur au silicium. Des simulations des propriétés électriques de détecteurs au silicium avant et après irradiation ont été effectuées, en variant les paramètres du détecteur afin d'optimiser l'efficacité de détection et la tenue aux radiations. Un premier lot de détecteurs avec des paramètres basés sur nos simulations a été fabriqué, et sera irradié ; une salle propre a été préparée au laboratoire pour les caractériser et confronter les mesures aux simulations. Pour évaluer les caractéristiques thermiques d'éléments de structure de détecteur, le LPNHE a construit un banc de test thermique. Enfin, le LPNHE s'est largement impliqué dans la comparaison de la quantité de matière correspondant à différentes conceptions des lattes du détecteur. Il a également produit de multiples concepts de détecteurs et en a évalué les performances thermiques par simulation.



L'expérience CDF a enregistré à la fin 2009 environ 5 fb^{-1} . Les années 2008-2009 ont vu des résultats très importants avec notamment la poursuite de l'exploration de la Physique du B par les nouvelles études sur la violation de CP dans le secteur du méson B_s (après la découverte des oscillations de mélange du méson B_s), sur la Physique du Top avec la découverte du processus de production d'un top solitaire (single top) et les avancées sur la recherche d'un possible Higgs léger. Ces résultats ont fait l'objet de communiqués de presse et d'articles notamment dans les médias scientifiques. L'équipe CDF au LPNHE a contribué à progresser sur ces trois fronts, qui sont chacun une ouverture sur la Physique au-delà du modèle standard. Elle compte poursuivre sur ces sujets jusqu'à la complétion du programme Tevatron à FNAL. L'implication de l'équipe du LPNHE dans la recherche du Higgs léger est une conséquence du travail accompli dans l'analyse en single top ainsi que dans la recherche des désintégrations de paires de top en leptons τ .

Des collaborations établies par un PICS avec la Russie et une LIA avec la Corée renforcent ces recherches. Le groupe contribue aussi au bon fonctionnement du système de trajectométrie silicium, pièce cruciale dans ces recherches et l'une des plus délicates du détecteur CDF. En collaboration avec le CCIN2P3, il participe à la production GRID de Monte Carlo nécessaire pour ces analyses. Ces deux dernières années, le travail du groupe a donné lieu à une thèse soutenue, une autre en cours et des stages de master 2, de diplômes de l'université MEPHI-Moscou, et de licence UPMC.

Chercheurs et doctorants

C. Ciobanu,
M. Corbo,
N. Ershaidat,
G.P. Di Giovanni,
N. D'Ascenzo,
A. Savoy-Navarro

CDF : EXPÉRIENCE AU TEVATRON À FERMILAB

A. Savoy-Navarro

Il permet la mesure de la différence, $\Delta\Gamma_s$, des largeurs des états propres lourd (B_H) et léger (B_L) du B_s , fonction aussi de la phase de violation de CP, Φ_s . Cette étude a abouti à la mesure directe du temps de vie moyen du B_s :

- $c\tau_s = 456 \pm 13(\text{stat}) \pm 7(\text{sys}) \mu\text{m}$, et de $\Delta\Gamma_s$, en supposant la conservation de CP :

- $\Delta\Gamma_s = 0.076_{-0.063}^{+0.059} \pm 0.006 \text{ ps}^{-1}$.

Un enjeu essentiel est la mesure de $\sin 2\beta_s$, égal à 0.04 selon le Modèle Standard. Une valeur plus élevée signifie donc de la Nouvelle Physique (NP) car :

- $2\beta_s = 2\beta_s^{\text{SM}} - \Phi_s^{\text{NP}} - \Phi_s^{\text{NP}}$.

Le LPNHE a participé aux différentes phases de cette analyse nouvelle en collisionneur hadronique. Elle comporte la reconstruction et la sélection des candidats B_s selon ce mode de désintégration avec l'étude du processus : $B_d \rightarrow J/\psi K^{*0}$ comme échantillon de contrôle. L'étude de cet échantillon a été faite par le LPNHE. Initialement

Violation de CP du méson B_s

Après la découverte des oscillations du méson B_s , en collaboration avec les universités de Cantabria, Chicago, Karlsruhe, MIT, l'équipe du LPNHE poursuit l'étude du secteur B_s en deux phases :

- Première étude de la violation de CP avec 1.4 fb^{-1} :

En collaboration avec le MIT et Karlsruhe l'étude est basée sur l'analyse du processus privilégié :

- $B_s \rightarrow J/\psi \phi$.

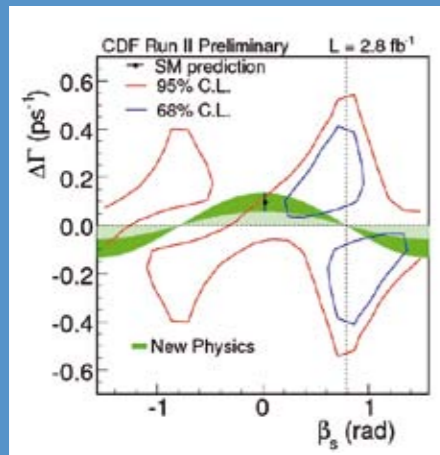


Figure 1
Délimitation de la région de confiance dans le plan $(\Delta\Gamma_s, \beta_s)$ dans l'étude de la violation de CP du processus $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ par CDF sur 2.8 fb^{-1} .

Figure 2
Résumé des mesures de section efficace de production du single top par CDF.

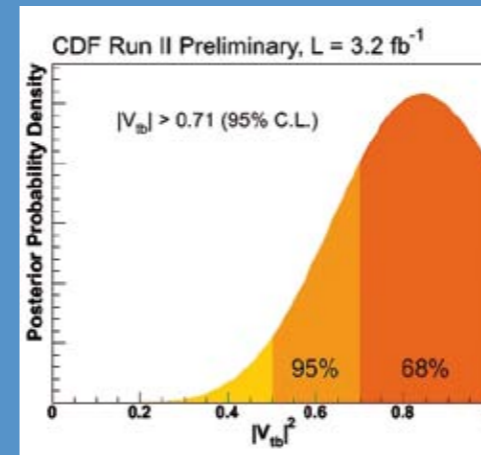
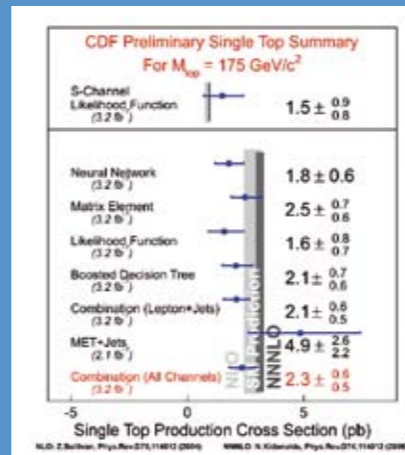


Figure 3
Limite sur le couplage $|V_{tb}|$ mesurée par CDF dans la production de single top.

simple vérification de la sélection des candidats, cette étude a abouti à une mesure des amplitudes dans l'analyse angulaire de ce processus. Le résultat, tout à fait compatible et d'une précision comparable à ceux obtenus par Babar et Belle, a donné lieu à une publication.

Le LPNHE a aussi pris une part active à l'analyse angulaire du processus $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ pour en séparer les parties CP paire et impaire. Cette analyse en « transversité » a été effectuée pour la première fois dans ce contexte. Un ajustement en maximum de vraisemblance inclut les paramètres fondamentaux du processus (masse et temps de vie du B_s , angles pour séparer les composantes CP paire et impaire de l'état final, étiquetage de saveur) et les paramètres du secteur B_s qu'il détermine.

Le LPNHE a contribué enfin à l'analyse à la Feldman-Cousins, développée pour la première fois par CDF, pour délimiter la région de confiance dans le plan $(\Delta\Gamma_s, \beta_s)$ (figure 1).

Les premiers 1.4 fb^{-1} de données analysées mi 2008, donnent un résultat important ; en supposant le Modèle Standard, la fluctuation observée est de 1.5σ .

Le travail sur le secteur du méson B_s incluant la découverte des oscillations et la première étude exploratoire sur

la violation de CP dans ce secteur, constituent la thèse de G.P. Di Giovanni, soutenue en juin 2008. Ce résultat est renforcé fin 2008, avec deux fois plus de données, par une déviation de 1.8σ (figure 1). CDF a transmis sa méthode d'analyse à D0 pour combiner les résultats sur 2.8 fb^{-1} de manière cohérente. Elle a conduit à une déviation de 2.1σ par rapport au Modèle Standard.

► **Violation de CP dans le secteur B_s .** Avec toute la statistique, l'équipe du LPNHE a entamé une nouvelle phase de cette analyse à partir de fin 2008. Nous avons renouvelé l'analyse avec un outil d'ajustement plus puissant et l'apport de nouvelles données. Nous avons adjoint aux déclenchements dimuons utilisés jusqu'à présent dans cette recherche, ceux fournis par le déclenchement dits à deux traces (Two Tracks Trigger, TTT), utilisé pour les désintégrations hadroniques des mésons B. Ce déclenchement renforce la sélection des deux Kaons provenant du $\phi \rightarrow K^+ K^-$ au lieu des deux muons du J/ψ .

De nouvelles méthodes de sélection et de reconstruction des données ont été développées. L'analyse est menée en parallèle sur ces deux ensembles de données. Le LPNHE a démontré un gain d'environ 30 % de données supplémentaires en excluant le

recouvrement de 7 % entre ces deux ensembles. Un nouveau résultat très important est attendu pour l'été 2010.

Physique du Top

L'équipe du LPNHE a poursuivi cette Physique sur deux aspects cruciaux : la découverte du processus de production du Top solitaire et la poursuite de l'étude de sa désintégration en lepton τ .

► **Découverte du Top solitaire :** Le couplage du top au quark b (V_{tb}) est une de ses propriétés fondamentales. Ce couplage doit être proche de l'unité à moins qu'il n'existe une quatrième génération de quarks. Expérimentalement, V_{tb} peut être extrait en mesurant le taux de production de top produits par interaction électrofaible, (événements single top). La recherche du single top dominée par un rapport signal-bruit de 10 % rend nécessaire l'utilisation des techniques d'analyse multivariée. CDF a utilisé plusieurs types d'analyse dans cette recherche : réseaux de neurones, arbres de décision, fonctions de probabilité à plusieurs variables, technique basée sur les éléments de matrice. Toutes ces techniques combinent l'information de dizaines de variables qui caractérisent l'événement

(énergies, moments, angles) pour chaque particule ou combinaisons de particules entrant en jeu. Bien qu'il existe des corrélations importantes entre ces analyses, on gagne en sensibilité statistique en les combinant. L'équipe CDF du LPNHE a joué un rôle crucial en concevant une technique dite de « Super-Discriminant » pour réaliser la combinaison de toutes les analyses multivariées et extraire les mesures de la compatibilité inter-analyse. Un ingrédient de cet approche est que des ensembles de données communs sont formés où les discriminants individuels sont écrits pour tous les échantillons produits par Monte Carlo et pour les données. L'idée n'est pas de combiner les résultats finaux des analyses individuellement mais plutôt de combiner les discriminants individuels eux-mêmes en utilisant un algorithme de neuro-évolution connu sous le nom de NEAT. Dans cette approche, le super-discriminant est construit itérativement en maximisant le potentiel de découverte (p-valeur) pour le signal single top.

Cet effort a abouti en mars 2009 quand les données analysées de CDF (3.2 fb^{-1}) ont montré une preuve concluante (5σ) pour le signal de single top, établissant de ce fait, sa découverte (figure 2).

La figure 3 montre le résultat de la mesure du couplage V_{tb} . Ce résultat important, attendu depuis longtemps, a marqué un nouveau niveau de précision dans la compréhension des collisions proton-antiproton à Fermilab. Il a été largement commenté dans les médias scientifiques, et l'article annonçant la découverte du single top a été maintes fois cité depuis.

Il faut souligner que la plupart des outils utilisés pour estimer les bruits de fond du single top sont directement appliqués pour estimer le fond du signal de Higgs dans le canal $WH \rightarrow \tau \nu \bar{b} b$. En fait, la technique des super-discriminants elle-même est employée pour optimiser le potentiel de découverte du boson de Higgs. La recherche du single top a été étendue à la recherche de bosons chargés lourds, W' , se désintégrant en paires top-bottom. Ce type de bosons est prévu par nombre de théories au delà du modèle standard telles que les modèles symétriques gauche-droite ($SU(2)_L \times SU(2)_R$), excitations de Kaluza-Klein du boson de W, les modèles de Higgs légers. Le spectre de masse invariante des paires top-bottom ne donne aucune indication significative d'un tel signal, ce qui permet d'exclure des masses de W' jusqu'à 0.8 TeV en supposant des

couplages standards aux fermions.

► **Désintégration du top en τ .** Le déclenchement du lepton τ , signé par un électron ou un muon et une trace de bas Pt, initié et développé par un membre du LPNHE au moment de la préparation de CDF au Run II, a été amélioré ces deux dernières années par l'utilisation de processeurs plus puissants. Le but est d'optimiser la sélection en ligne de Physique Nouvelle et de Higgs en lepton τ .

L'équipe du LPNHE a poursuivi l'étude de la désintégration du quark top en lepton τ , processus du modèle standard avec signature similaire à celle de nombre de processus non standards avec signature multi-leptons. Cette étude a pour but d'extraire les événements contenant une paire de quarks top dont les produits de désintégration en deux leptons incluent un τ ; le deuxième lepton, électron ou muon venant de la désintégration d'un autre τ ou de celle du W produit par le quark top directement.

Outre l'observation des canaux top en leptons τ , la mesure du rapport d'embranchement du top en τ pourrait indiquer de la physique nouvelle si un excès par rapport aux taux en électrons ou en muons est observé. Cet excès peut provenir d'une désintégration du top autre

que celles prédites par le Modèle Standard c'est-à-dire : $t \rightarrow H^+ b$. De plus, la signature en dileptons τ d'une paire de top est semblable à celle d'un Higgs léger se désintégrant en : $H^0 \rightarrow \tau^+ \tau^-$.

Menée dans son intégralité par l'équipe du LPNHE sur 1 fb^{-1} , la recherche du top en τ n'a pu aboutir faute de statistique suffisante, mais la limite sur un possible H chargé a été fortement resserrée avec aussi une analyse originale et sophistiquée du taux de faux jets τ . Cette recherche se poursuit en collaboration avec un physicien du FNAL. Elle bénéficiera de toute la statistique du Run II (dix fois plus que la première étude) avec une méthode d'analyse plus sophistiquée et de nouveaux déclenchements. L'amélioration de l'étiquetage du τ et l'ajout de l'étiquetage d'un jet b sont parmi les ingrédients qui sont aussi inclus dans cette nouvelle analyse, laquelle bénéficie du travail en cours sur le Higgs. Une thèse est en cours qui inclut aussi l'impact de cette analyse sur le secteur du Higgs.

Recherche d'un Higgs léger

Les recherches en Physique du top ont un impact sur la recherche d'éventuel(s) boson(s) de Higgs légers.

Par leurs signatures et leur faible section efficace de production au Tevatron (inférieure au pb), single top et Higgs léger présentent bien des similitudes. Les techniques d'analyse multivariées qui ont été développées pour le single top sont ainsi applicables à cette recherche du Higgs.

De même, l'étude de la désintégration du top en lepton τ , a comme « sous-produit » la possibilité de mise en évidence d'un Higgs chargé léger et se couple à la recherche d'un Higgs neutre se désintégrant en paires de lepton τ .

Maintenance du trajectomètre au silicium

Un membre du LPNHE fait partie du groupe en charge du trajectomètre au

silicium, une des pièces cruciales et des plus délicates de CDF.

Production GRID au CCIN2P3

Avec le CCIN2P3, l'INFN-CNAF, et CDF une ligne de production GRID de données M.C. pour CDF a été installée à Lyon. Nous assurons le lien entre CDF et le CCIN2P3 pour l'utilisation du Centre de Calcul pour la production GRID MC nécessaire en ces années de production de données.

PiCS France-Russie

Ce programme d'échanges a un fort impact sur le renforcement de la collaboration avec nos collègues de la National Research Nuclear University en Russie. Il leur a permis de participer à CDF, par affiliation à notre groupe. Ils ont rejoint CDF en 2008 en même temps qu'ils renforçaient notre groupe sur la Physique du B_s .

LIA France Corée

En 2008, sur invitation de nos collègues Coréens de CDF, a été lancé un programme d'échanges pour développer des lignes de recherche communes. Elles se basent sur nos expertises complémentaires en physique du top et du B. Elle inclut aussi la production GRID de Monte Carlo avec nos centres de calcul respectifs (KISTI en Corée et CCIN2P3 en France). Une série d'échanges avec participation à la première conférence e-Science à Daejeon, aux workshops FKPL et à des réunions par vidéo-conférence, se sont développés.

Workshop CDF France Corée

Un Workshop, dédié aux domaines de Physique d'intérêt plus spécifiques à nos deux groupes a été organisé du 29 juin au 1^{er} juillet 2009, sur le Campus de l'Université Pierre et Marie Curie, avec la participation d'autres collègues de CDF ainsi que des théoriciens locaux ou d'autres

Instituts en Europe. Ces workshops vont se poursuivre chaque année.

Conclusions

Seul laboratoire français dans CDF, le LPNHE s'est assuré une place reconnue sur trois sujets de Physique cruciaux de cette expérience.

Le nombre de publications en 2008 est de 50 et en 2009 de 61. L'équipe du LPNHE a eu une contribution significative sur une dizaine d'entre elles, non incluses les contributions à conférences. Elle a contribué à des conférences internationales et Ecoles de Physique.

Une thèse a été soutenue le 30 juin 2008, la troisième depuis le démarrage du LPNHE dans CDF en Novembre 2004 ; une quatrième est en cours. Un stage de Master 2, deux de Diplôme de l'Université Russe MEPHI (2) et deux de licence UPMC ont été encadrés ces 2 dernières années.

Le Tevatron doit tourner jusqu'à fin 2011 donnant environ 10 fb^{-1} enregistrés sur la durée de l'expérience. Nous désirons poursuivre pour bénéficier dans nos analyses de toute la statistique. Des résultats importants, et peut-être même des découvertes en particulier sur les sujets clés que nous étudions, peuvent être espérés.

DØ : PHYSIQUE AU TEVATRON

G. Bernardi



Alors que le Tevatron a atteint des performances excellentes et continuera à prendre des données jusqu'à fin 2011, le groupe DØ-LPNHE continue à moissonner les résultats avec les données accumulées depuis le début du Run II (8 fb^{-1}), et ce après avoir achevé ses réalisations techniques sur le calorimètre et sur les algorithmes de reconstruction.

Le programme de physique du Top du groupe est désormais achevé et tous nos efforts se concentrent sur la recherche du boson de Higgs Celui-ci est désormais exclu par les résultats combinés de DØ et CDF pour une masse entre 162 et 166 GeV, tandis qu'à basse masse l'exploitation de plus de données est encore nécessaire pour pouvoir le mettre en évidence.

Chercheurs et doctorants

G. Bernardi,
J. Brown,
Y. Enari,
J. Lellouch,
N. Huske





Malgré le démarrage du LHC, le Tevatron restera compétitif pendant encore plusieurs années grâce à ses excellentes performances, et aussi du fait que c'est un collisionneur proton-antiproton. Depuis le début du Run I, au printemps 2001, une luminosité

intégrée d'environ 8 fb^{-1} a été délivrée à chacune des expériences CDF et DØ, soit environ 60 fois plus que lors de l'intégralité du Run I (1992-96) et avec une énergie supérieure. Une première série de publications avait été réalisée sur environ 1 fb^{-1} de données montrant que les détecteurs permettaient d'exploiter la haute luminosité du Run II et d'améliorer sensiblement les résultats du Run I. Ceci est désormais confirmé par plusieurs publications récentes

sur environ 5 fb^{-1} de données, en particulier sur la recherche du boson de Higgs, partie centrale de notre programme de recherche. L'équipe DØ du LPNHE a concentré ses activités techniques sur le calorimètre Uranium-Argon liquide, tant par le suivi de son fonctionnement au jour le jour que par de nombreuses responsabilités et contributions dans la reconstruction calorimétrique et dans l'identification des objets. L'expertise acquise dans ce domaine s'avère d'une grande valeur pour la compétitivité des analyses de physique entreprises : la recherche du boson de Higgs et les propriétés du quark top. Ces sujets ont fait l'objet de quatre thèses soutenues en 2004, 2005 et 2008 (S. Beauceron, E. Busato, J-R. Vlimant, J. Lellouch), tandis que deux autres thèses sur la recherche du boson de Higgs sont en cours.

État du Tevatron et de DØ

Les performances du Tevatron ont dépassé les valeurs nominales attendues pour le Run II. Ainsi, une luminosité instantanée de $4 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ a été atteinte, et la date de fin de prise de données a été reportée à 2011, date à laquelle une luminosité intégrée de 12 fb^{-1} devrait être disponible. Durant l'arrêt machine de trois mois du printemps 2006, les dernières améliorations ont été faites au détecteur pour exploiter pleinement la phase de haute luminosité : une couche supplémentaire de détecteur de microvertex autour du tube à vide a été ajoutée et ses performances se sont révélées excellentes. En outre, le système de déclenchement calorimétrique a été remplacé ce qui a permis l'utilisation d'algorithmes plus performants. Les performances atteintes aujourd'hui devront être maintenues tout au long des prochaines années. Seuls des arrêts brefs sont maintenant prévus pour maximiser la quantité de données enregistrées.

Pour la recherche du boson de Higgs de basse masse ($< 135 \text{ GeV}$), la qualité de la reconstruction des jets de quark b est cruciale. L'amélioration des algorithmes d'identification de ces jets permet maintenant d'atteindre une efficacité d'étiquetage des jets issus des quarks b supérieure à 60 %, pour un taux de mauvaise identification de 1 %. Les algorithmes visant à améliorer la résolution en énergie des quarks b sont en cours de développement, avec une forte participation de notre groupe.

Auparavant, l'implication du groupe dans la calorimétrie de DØ avait surtout porté sur l'amélioration des performances des algorithmes utilisés, tant pour obtenir de meilleures efficacités d'identification des objets (électrons, photons, jets, énergie transverse manquante) que pour l'amélioration de leur résolution en énergie. Après la réalisation du système de calibration électronique, projet réalisé avec le LAL-Orsay sous la responsabilité du laboratoire, le LPNHE a assuré l'exploitation et la maintenance du système en collaboration avec le groupe « Calorimeter Operation » de DØ.

Physique du Top

Avec son énergie dans le centre de masse de 1,96 TeV, le Tevatron a permis de découvrir, puis d'étudier le quark top. Dans ce domaine de physique, comme dans la recherche du boson de Higgs, les signatures expérimentales, basées sur la présence d'un lepton, d'énergie transverse manquante et de jets de b, sont semblables. Cette particularité nous avait incité à poursuivre en parallèle ces deux champs de recherche, ce qui nous a permis de développer des outils et des techniques communs à ces différents sujets de physique. Nous avons progressivement concentré nos efforts sur la recherche du Higgs mais nous rappelons brièvement ci-dessous nos résultats en physique du top.

La section efficace

Avec une luminosité intégrée de 1 fb^{-1} , les mesures des sections efficaces ont atteint le niveau de précision des calculs théoriques. L'analyse dans le canal électron+jets publiée en 2005 a été poursuivie avec toutes les données accumulées jusqu'en 2005 et une luminosité intégrée de 1 fb^{-1} . Dans ce canal, les deux bosons W issus de la désintégration des quarks top en quarks b se désintègrent l'un dans le canal hadronique et l'autre dans le canal leptonique. Cette signature a une meilleure statistique que les canaux di-leptoniques et une meilleure pureté que le canal « tout hadronique ». Notre groupe s'est concentré sur la mesure de cette section efficace par une méthode cinématique : les événements top sont séparés du bruit de fond par un discriminant de maximum de vraisemblance exploitant les propriétés cinématiques des événements top. La précision de cette mesure est légèrement inférieure à celle utilisant des méthodes de réduction du bruit de fond avec un étiquetage des jets de b, mais la cohérence entre les deux mesures est une importante vérification des efficacités d'étiquetage des jets b. La section efficace mesurée est en bon accord avec la valeur attendue dans le modèle standard.

Production électrofaible du top

La production électrofaible du quark top a une section efficace comparable à la production par interaction forte, mais son observation est plus difficile à cause d'un rapport signal/bruit plus faible, car le nombre de jets dans l'état final est plus faible. Notre groupe s'était concentré sur le canal électron+jets, avec identification des quarks b par une méthode basée sur le paramètre d'impact. La mise en évidence du « single top » a eu lieu en janvier 2007 sur un échantillon de 1 fb^{-1} . Son observation indiscutable

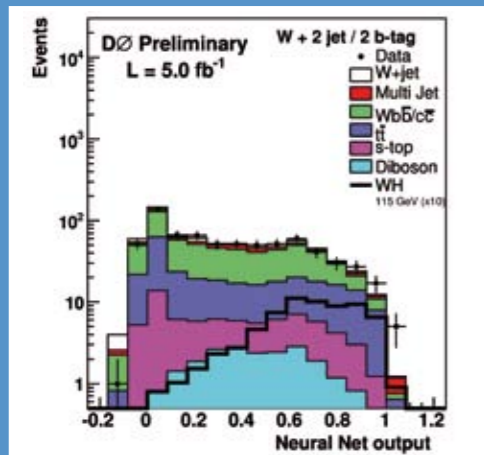


Figure 1

Distribution de la variable discriminante du réseau de neurones sur les événements contenant deux jets de b étiquetés comparée aux contributions des processus de bruit de fond et de la production du boson de Higgs. À grande valeur du discriminant, où se concentreraient les événements Higgs, l'excès de données observé n'est pas significatif lorsque l'on tient compte des incertitudes systématiques.

a été réalisée en 2008 avec 2.7 fb^{-1} de données par les collaborations CDF et DØ. La mesure de la section efficace de production, donne directement accès à l'élément V_{tb} de la matrice CKM et cette mesure est particulièrement intéressante à réaliser au Tevatron, car le rapport signal/bruit dans la voie s est environ 10 fois plus important que pour les interactions pp au LHC. Par ailleurs, la production électrofaible du quark top est un des bruits de fond principaux pour la recherche du boson de Higgs.

Recherche du boson de Higgs

Avec la luminosité accumulée, le Tevatron permet la recherche directe du boson de Higgs, particulièrement dans le domaine de basse masse entre 115 et 130 GeV, qui est favorisé par les ajustements du modèle standard sur les mesures électrofaibles, mais aussi pour des masses proches de deux fois la masse du boson W (160 GeV) car à cette masse le Higgs se désintègre préférentiellement en deux W. Néanmoins, une luminosité importante sera nécessaire pour atteindre un nombre d'événements suffisant pour espérer une telle découverte, et à basse masse il

faut également combiner plusieurs canaux de recherche pour atteindre la sensibilité voulue.

Notre groupe a joué un rôle pionnier dans la recherche du boson de Higgs au Tevatron, avec quatre thèses et deux habilitations à diriger des recherches sur ce sujet (la première thèse ayant démarré dès 2002) et des responsabilités centrales sur cette recherche au niveau de la collaboration, y compris sur la combinaison des résultats de DØ et CDF.

La première étape dans la recherche du boson de Higgs à basse masse a consisté à comprendre avec une bonne précision la section efficace $Wb\bar{b}$, bruit de fond principal avec la production électrofaible du top. L'analyse a d'abord été effectuée dans le canal électron en demandant que les 2 jets présents dans l'état final soient étiquetés. Cette analyse, basée sur $0,2 \text{ fb}^{-1}$ de luminosité intégrée a permis d'établir une limite supérieure sur la section efficace de production WH de 12 pb, en supposant que le boson de Higgs a une masse de 115 GeV, soit environ 60 fois au dessus de la section efficace attendue dans le modèle standard (2005). Nous avons ensuite étudié le canal « muon » sur une statistique de $0,4 \text{ fb}^{-1}$, et la combinaison de

ce nouveau résultat avec le canal électron a conduit en 2006 à une amélioration importante du résultat. En 2008, une plus grande luminosité (1 fb^{-1}), ajoutée à l'amélioration de la sélection des événements et de l'étiquetage des jets de b , ainsi qu'une utilisation d'un réseau de neurones pour discriminer le signal du bruit de fond (figure 1, dans sa version la plus récente) a permis d'améliorer la limite à 1.4 pb, laissant présager une mise en évidence possible, si le boson de Higgs est léger, avec une statistique de l'ordre de 10 fb^{-1} , après avoir combiné ce canal avec le canal équivalent dans l'expérience CDF, et avec les autres canaux à basse masse (ZH, lorsque le Z se désintègre en 2 leptons ou en 2 neutrinons).

Les deux thèses en cours

actuellement poursuivent cet effort, et les résultats les plus récents nous permettent d'atteindre une valeur d'environ 1 pb, soit 5 fois au dessus de la valeur du modèle standard. À chaque itération de l'analyse nous avons aussi effectué une combinaison avec les autres canaux et avec ceux de l'expérience CDF. L'état actuel de cette combinaison à basse masse, basée sur des analyses d'échantillons de données entre 2.0 et 5.4 fb^{-1} , est présenté en figure 2, en rapportant la

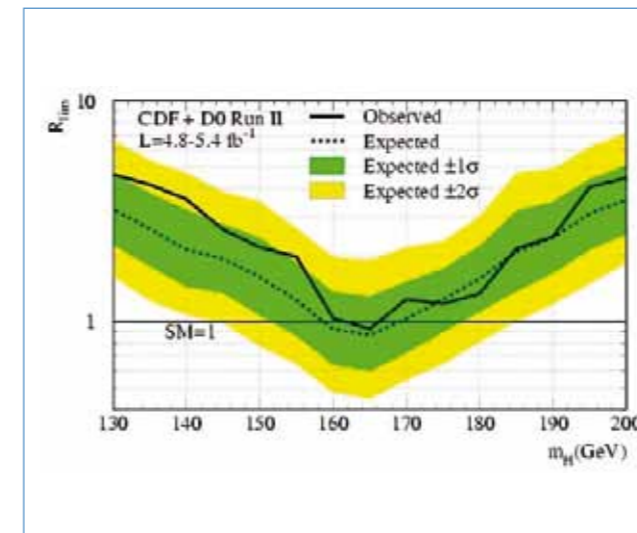


Figure 2

Limite d'exclusion (à 95 % N.d.C.) du boson de Higgs rapporté à la valeur attendue de sa section efficace de production dans le modèle standard. Une valeur de 1 sur l'axe des y impliquerait l'exclusion pour la masse du Higgs donnée sur l'axe des x . La courbe noire donne la valeur actuelle obtenue en combinant toutes les recherches de DØ et CDF et montre qu'à 115 GeV, la valeur attendue est de 1,5 fois supérieure au modèle standard et que nous devrions atteindre la sensibilité au modèle standard avec 10 fb^{-1} , en tenant compte des améliorations des techniques d'analyses en cours.

limite combinée à la valeur attendue dans le modèle standard. Une valeur de 1 correspond donc à une sensibilité ou exclusion à 95 % de niveau de confiance, et l'on observe que pour $m_{\text{higgs}} = 115 \text{ GeV}$, le facteur manquant auquel on s'attendrait est de l'ordre de 1,5, mais on observe un facteur plus grand, compatible, sans que ce soit statistiquement significatif, avec la présence d'un boson de Higgs de cette masse. Une amélioration de la luminosité et de la sensibilité des analyses nous permettra de mieux cerner cette région de masse. A plus haute masse, comme on peut utiliser la production directe du boson de Higgs par fusion de gluons, la sensibilité est meilleure, et nous avons atteint la sensibilité au Higgs du modèle standard ayant une masse entre 162 et 166 GeV. Cette masse est désormais exclue, comme le montre la figure 3. Cette recherche a aussi permis d'exclure des modèles ayant une quatrième famille de quarks et

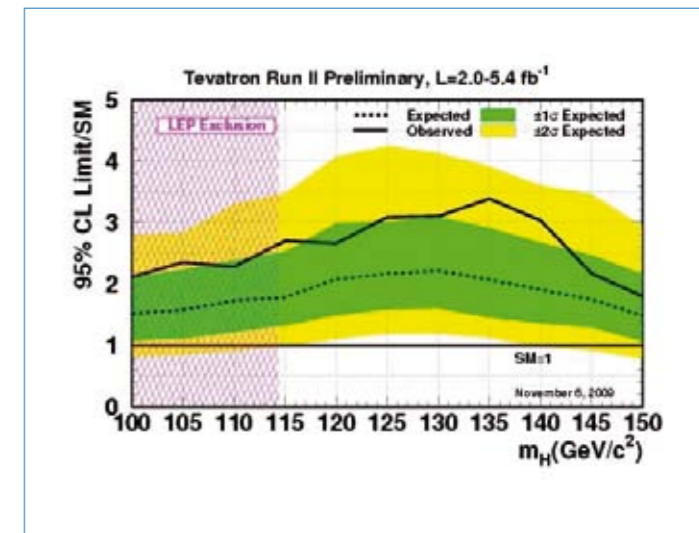


Figure 3

Limite d'exclusion (à 95 % N.d.C.) du boson de Higgs rapporté à la valeur attendue de sa section efficace de production dans le modèle standard. La courbe noire donne la valeur obtenue en combinant toutes les recherches de DØ et CDF et montre qu'une masse du Higgs entre 162 et 166 GeV est exclue.

de leptons et un boson de Higgs entre 130 et 210 GeV.

Perspectives

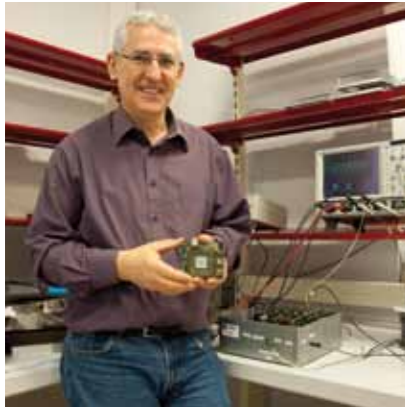
Une luminosité intégrée supérieure à 8 fb^{-1} a déjà été accumulée, et les prévisions pour le futur sont excellentes.

Sur les données du Run IIa (qui s'est terminé en mars 2006), nous avons finalisé notre programme de mesure des propriétés du quark top. La maîtrise du lot d'événements top a permis une mesure précise de la masse du top avec une erreur $\Delta m_{\text{top}} \sim 1 \text{ GeV}$ qui contraint davantage le domaine de masse prédit pour le boson de Higgs dans le modèle standard et vient en complément de sa recherche directe.

Sur l'ensemble des données (Run IIa et IIb \rightarrow 2011) nous continuerons à concentrer nos efforts sur la recherche du boson de Higgs du modèle standard, sur laquelle

nous avons obtenu des résultats importants avec les données déjà analysées.

Avec une luminosité analysée de 10 fb^{-1} nous serons sensibles, à 95 % de niveau de confiance, à tout Higgs dont la masse est inférieure à environ 185 GeV, avec des perspectives de mise en évidence à basse masse ($< 130 \text{ GeV}$) ou autour de 2 fois la masse du boson W ($\sim 160 \text{ GeV}$). Vu les perspectives, la discussion d'une prise de données au-delà de 2011 est en cours.



Les collisions électron-positron autour du TeV offrent synergie et complémentarité avec le LHC et sLHC tant en physique qu'en instrumentation. Le LPNHE poursuit activement son implication dans cette ligne de recherche. L'activité de R&D sur les trajectomètres au silicium de grandes dimensions en préparation des détecteurs du futur Collisionneur Linéaire (LC) en constitue l'aspect majeur.

La physique au TeV des collisions électron-positron exige des précisions sans précédent en impulsion et en résolution spatiale ainsi qu'une couverture angulaire complète. Les trajectomètres au silicium jouent un rôle essentiel et les performances requises exigent de développer une nouvelle génération de ces détecteurs et font appel aux techniques innovantes dans plusieurs domaines.

Le LPNHE poursuit cette R&D dans la collaboration mondiale SiLC (Silicon tracking for the Linear Collider) sur les trajectomètres au silicium, avec les groupes français travaillant sur la préparation du futur collisionneur linéaire dans le cadre du groupe LC France. Ces deux dernières années ont vu un tournant important dû au travail de préparation des Lettres d'Intention (LOI) sur les concepts des détecteurs proposés. Ce travail a exigé de développer des concepts de détecteurs réalistes et détaillés avec les problématiques de leur construction et intégration dans le cadre des projets ILD ou SiD.

Ces tâches se sont ajoutées à celles de R&D menées jusque-là sur: les senseurs silicium, l'électronique de lecture, les enjeux sur la mécanique et les tests de prototypes en laboratoire et en faisceau. Le travail pour les LOI a renforcé la demande d'une simulation détaillée permettant d'appréhender les différentes questions telles, que budget en matériel, alignement, câblage, intégration.

Le LPNHE mène avec succès nombre de ces activités et la collaboration SiLC a joué un rôle essentiel et reconnu par le comité IDAG, dans l'élaboration des LOI, avec en particulier la responsabilité des trajectomètres au silicium pour le concept ILD.

COLLISIONNEUR LINÉAIRE

A. Savoy-Navarro

Avancées, organisation, planning du projet LC au niveau mondial

Ces deux dernières années le projet LC s'est organisé et développé non seulement autour du projet de la machine elle-même, conduit par B. Barish, mais également des détecteurs. Le comité ILCSC (International Linear Collider Steering Committee), instance internationale regroupant, entre autres, les directeurs des principaux accélérateurs dans le monde, a nommé S. Yamada research director (équivalent de B. Barish) pour les détecteurs. Il lui est adjoint différents panels d'experts et un comité, IDAG, d'évaluation des concepts de détecteurs. Un membre du LPNHE est membre du Panel de Physique et du Panel de R&D. La nouvelle direction du CERN a défini, en 2009, une ligne volontariste pour le futur LC. Au CERN le groupe détecteur associé au projet CLIC est renforcé et travaille en collaboration avec les projets ILD et SiD pour le ILC et certaines des R&D. La collaboration sur un projet mondial LC, incluant les deux projets ILC (International Linear Collider) et

CLIC (CERN) se concrétise. C'est une avancée significative pour le futur LC. Un planning est établi, où machine et concepts de détecteur se développent en parallèle. Les deux dernières années ont été centrées sur la préparation des Lettres d'Intentions (LOI) pour les trois concepts de détecteurs en lice. Soumises au 31 mars 2009, l'évaluation par le comité IDAG a retenu deux des LOI, celles du concept ILD (Internal Large Detector) et du SiD (Silicon Detector). Le LPNHE a signé la LOI ILD comme l'ensemble des groupes français, quelques membres ont aussi signé SiD de même que le LAPP et aussi quelques membres de l'IRFU. Les deux prochaines années doivent aboutir à une autre étape pour la machine ILC et les détecteurs, à savoir un Detector Baseline Document (DBD) à soumettre fin 2012 avec une description détaillée des différentes composantes du détecteur proposé sur un projet de référence réaliste c'est-à-dire « prêt-à-construire ». En même temps que se développe la ligne de R&D axée sur les technologies choisies dans les projets de base pour 2012, doivent aussi se poursuivre des lignes de R&D technologiques plus avancées, notamment sur des aspects tels que les trajectomètres pour rester en phase avec l'évolution de la technologie. L'activité de R&D s'est donc intensifiée ces deux dernières années et va encore monter en puissance entre 2010-2012.

Chercheurs et doctorants

A. Charpy,
C. Ciobanu,
A. W. Da Silva,
F. Kapusta,
A. Savoy-Navarro

Equipe technique

J. David,
M. Dhellot,
J-F. Genat,
P-H. Hung,
R. Sefri,
N. Roche,
D. Imbault,
P. Ghislain,
P. Repain,
D. Vincent



Figure 1

Layout et photographie de l'ASIC 88 voies en CMOS 130nm UMC.



Figure 2

Photographie du banc de test en faisceau au CERN avec cage de Faraday. Table 3D motorisée et système de PM pour le déclenchement sur faisceau.



Figure 3

Système d'acquisition avec FPGA et cartes-fille de lecture pour les tests en faisceau de prototypes de la trajectométrie silicium pour le collisionneur linéaire.

SiLC : collaboration internationale

Parmi les collaborations de R&D qui se sont développées au niveau international autour du projet LC, quatre jouent un rôle majeur : CALICE (R&D calorimétrie), FCAL (Forward Calorimetry), SiLC (R&D sur les trajectomètres silicium) et LCTPC (sur les trajectomètres TPC). Elles sont à la fois génériques (transversales) et s'impliquent dans la R&D spécifiques d'un ou des détecteurs concepts. Le LPNHE joue un rôle moteur dans le développement de cette collaboration qu'il a initiée avec UC Santa Cruz en 2002 et dont il assure la coordination. Le but est de développer la nouvelle génération de trajectomètres silicium à partir de l'expérience acquise, notamment avec la construction des trajectomètres au silicium pour le LHC. Cette activité de R&D s'inscrit en synergie avec le LHC et les futures améliorations des détecteurs du LHC. SiLC inclut plus de vingt institutions d'Asie (Consortium d'universités coréennes, le Japon avec HPK et maintenant KEK), des USA (University of Michigan, UC Santa Cruz et SCIPP), de la Russie (Universités d'Etat de Moscou et d'Obninsk), de nombreux instituts européens dont certains importants dans la construction de ces détecteurs pour le LHC : HEPHY-Vienne, IEKP Karlsruhe, RAL, IFIC-Valencia, Turin université et INFN, et des instituts de recherche en semi-conducteurs comme VTT en Finlande, SiLab à Moscou, IMB-CNM/CSIC en Espagne, IRST-FKB en Italie. L'équipe du LPNHE est à l'initiative du développement de la collaboration, de ses objectifs, des liens avec l'industrie et de l'obtention de moyens au niveau international (contrats européens et accords bilatéraux).

SiLC a établi des contacts étroits avec DESY, FNAL et le CERN.

R&D sur senseurs au silicium

Les détecteurs à micro pistes restent la solution de base, mais développés suivant de nouvelles technologies pour en améliorer les caractéristiques. Les objectifs pour les micro pistes sont des wafers plus grands (huit pouces), plus fins (au plus 200 μm d'épaisseur), des distances entre pistes de 50 μm , un bon rendement et éventuellement une structure double face. Ils doivent être à bords actifs et avec une option de haute transparence à la lumière laser infrarouge pour ceux utilisés dans l'alignement. L'équipe du LPNHE poursuit cette R&D en collaborant avec l'industrie, notamment HPK Hamamatsu et en suscitant des lignes de recherche alternatives parmi les instituts compétents dans SiLC. HEPHY et KNU sont les autres partenaires du LPNHE dans cet aspect de R&D. La caractérisation de ces détecteurs se fait sur bancs de test et en faisceau après construction de modules équipés de ces nouveaux senseurs et de l'électronique associée. HPK a fourni une première série de ces nouveaux senseurs microbandes, délivrée fin 2007. Ils équipent les bancs de test de SiLC depuis 2008. Une nouvelle série de senseurs plus avancée est en cours de discussion avec HPK. En parallèle, des détecteurs micro pistes d'un type nouveau, en technologie 3D à bords actifs de type SOI, développés par VTT ont été fournis fin 2009 au LPNHE et seront testés en collaboration avec Turin et Prague, en 2010. Ils sont minces, à bords actifs et à

basse tension de polarisation. Pour le plus long terme le LPNHE poursuit une étude de nouveaux senseurs à granularité plus fine (pistes courtes, « Strixels » ou pixels) et basés sur la technologie 3D, en collaboration avec les laboratoires spécialisés en semi-conducteurs de SiLC et dans le cadre de l'ANR Vitesse. Le LPNHE et HEPHY développent une R&D sur la connexion électronique directe sur senseur en plusieurs étapes technologiques et en collaboration avec les firmes et laboratoires développant les senseurs adéquats.

R&D en électronique de lecture

L'équipe du LPNHE a développé depuis fin 2004 une R&D sur l'électronique de lecture de micropistes au silicium pour l'ILC. Il a été décidé, dès le départ, de développer un ASIC en technologie CMOS profondément submicronique (DSM), afin de bénéficier des avancées de cette technologie vu l'échéancier du projet LC. Un développement en plusieurs étapes a permis de construire pas à pas une architecture de traitement complet du signal en mode mixte analogique/numérique. Elle comprend : un préamplificateur bas bruit et une mise en forme relativement longue (cycle lent de l'ILC) ; un circuit de sparsification avec sommation des signaux de trois canaux adjacents et application d'un seuil de décision ; une mémoire analogique 2D qui reconstruit l'impulsion et assure le stockage de l'information ; une conversion analogique/numérique à simple rampe avec multiplexage d'un certain nombre de voies. Des ensembles de DAC permettent d'ajuster les

différents paramètres en courant et tensions de fonctionnement du circuit. La partie numérique assure, par la programmabilité, le contrôle et l'ajustement du fonctionnement du circuit, ce qui donne flexibilité et haute tolérance aux fautes. La possibilité de mise en veilleuse entre trains de faisceau est incluse. En 2008, une version à 88 voies a été développée avec, pour la première fois, l'architecture complète. La partie analogique a été entièrement réalisée par le LPNHE, la partie numérique par l'Université de Barcelone. Envoyé en fonderie en juin 2008, le circuit revenu fin 2008 est testé au LPNHE (figure 1). Il y est démontré que la partie analogique fonctionne comme attendu. En 2009, un redesign du circuit est lancé avec la décision de passer de la technologie CMOS 130 nm UMC au 130 nm CMOS IBM. De plus le LPNHE a introduit dans le design de l'ASIC une architecture plus modulaire à laquelle collaborent des collègues du LPSC de Grenoble. Le développement de cartes de lecture et d'infrastructure de tests est un autre aspect des travaux en électronique (voir section tests). Ce développement a donné une thèse en microélectronique, soutenue en janvier 2009 et 3 stages de master 2 en microélectronique en 2009. Il a donné lieu à un brevet d'invention et l'obtention d'un poste ITA-IR valorisation en électronique.

R&D sur les enjeux en mécanique

Le service de mécanique du LPNHE a développé les outils et l'expertise nécessaire pour construire des modules à un ou plusieurs senseurs à micro pistes y

compris ceux basés sur de nouvelles technologies (plus fins, plus petites dimensions, bords actifs etc.) ainsi que des infrastructures de tests. L'équipe du LPNHE a construit également une cage de Faraday, prototype d'enceinte isolante électriquement et thermiquement (refroidissement), qui permet d'abriter ces modules et leur électronique de lecture des perturbations extérieures (Voir aussi le chapitre consacré au service de mécanique). Un nouveau volet d'activités a également été développé sur l'intégration des détecteurs (design détaillé, alignement, câblage, intégration avec TPC ou calorimétrie notamment).

Tests en laboratoire et en faisceaux

Différents bancs de test sont développés. Pour EUDET*, l'équipe du LPNHE développe une infrastructure de test en faisceau autonome et transportable, pour tester tout type de nouveau senseur ou nouvelle électronique de lecture (figure 2).

Études en simulations

Le développement de la simulation complète basée sur GEANT 4 est en cours dans SiLC. L'équipe du LPNHE développe le design détaillé de l'ensemble de la trajectométrie silicium pour les concepts de détecteur ILD (figure 3) et SiD.

Évaluations de la R&D SiLC

Dès 2003, SiLC s'est soumis comme toutes les R&D pour LC, à l'évaluation du PRC-DESY avec suivi tous les deux ans et a passé avec succès l'évaluation du panel R&D-ILCSC en 2007. SITRA-EUDET est évaluée chaque année. L'équipe

du LPNHE est éditeur des rapports associés à ces évaluations.

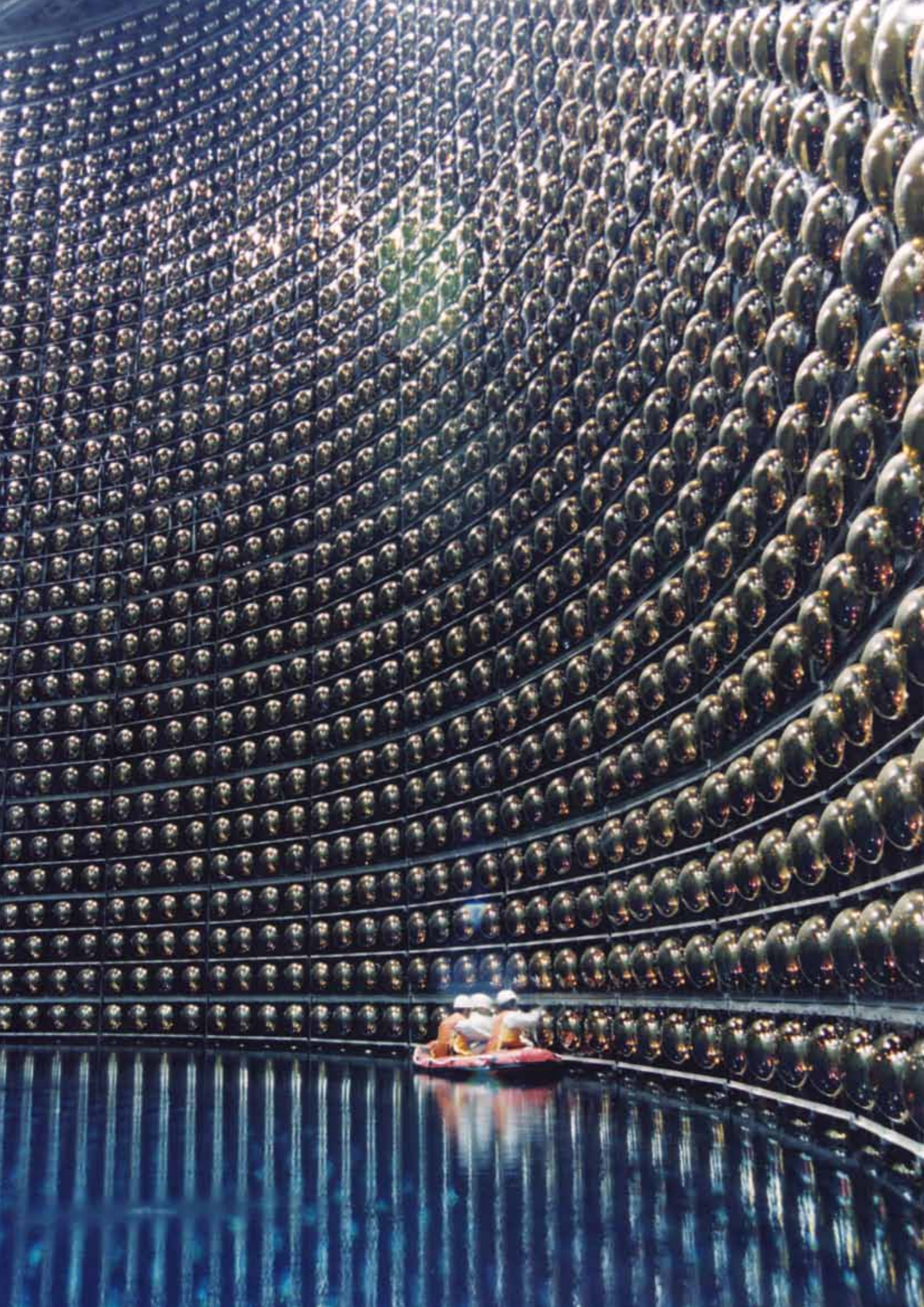
Contrats européens et autres

Depuis Janvier 2006 et jusqu'à fin 2010, le LPNHE fait partie d'un programme Européen FP6-I3 (EUDET*) destiné à développer les infrastructures de tests en faisceau de la R&D détecteurs LC. Le LPNHE est chargé des détecteurs au silicium (SITRA) avec sept autres instituts Européens. Les livrables en électronique, les prototypes et infrastructure mécanique ont été fournis en temps. Le LPNHE coordonne les six groupes de l'IN2P3 dans ce projet. Des contrats bilatéraux sont en cours : un PiCS-Russie avec OSU et MSU, MEC-IN2P3 avec IFCA et IFIC, un accord LIA-Japon avec KEK et l'ANR Vitesse.

Conclusion

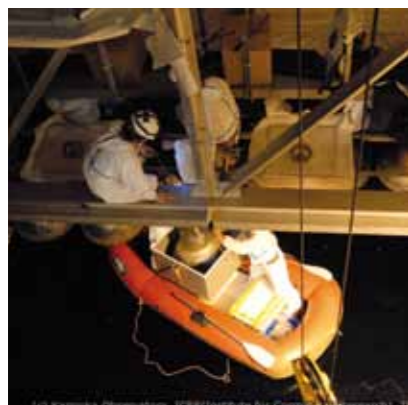
SiLC a conquis une place de tout premier plan parmi les R&D pour LC. Le LPNHE a œuvré en première ligne et assure la coordination. Il est éditeur de la section silicium de la LOI-ILD, et co-auteur des LOI SiD et 4th concept et du document soumis par SiLC au Comité de PRC-DESY en avril 2008. Un membre du laboratoire fait partie de l'Executive Board ILD. Avec une participation et des présentations à de nombreuses conférences et ateliers (LCWS08, EPS09, TILC08 et TILC09, TIPP09, CLIC08, ALCPG09, Meetings EUDET, ILD, PRC-DESY etc.), des publications associées et des publications dans NIM, le groupe du LPNHE et la collaboration SiLC ont une excellente visibilité.

* EUDET : programme Européen FP6-I3



ASYMÉTRIE MATIÈRE-ANTIMATIÈRE

Peut-on comprendre le déficit d'antimatière dans l'univers à partir de l'infime différence de comportement entre les particules et les antiparticules, découverte dans les désintégrations des particules dites « étranges ». Aujourd'hui, l'étude des propriétés des particules dites « belles » et des neutrinos offre de nouvelles perspectives pour observer des phénomènes très rares et rechercher des déviations par rapport aux prédictions du Modèle Standard.



L'expérience T2K, qui vient de démarrer au Japon, recherche des oscillations de neutrinos à grande distance et plus particulièrement l'apparition de ν_e dans un faisceau de ν_μ . Les années 2008 et 2009 ont vu la fin de la construction de la ligne de faisceau et du détecteur proche ND280, leur mise en route et l'observation des premières interactions de neutrinos. L'intensité actuelle est encore modeste, mais les améliorations prévues et les 5 années de prise de données à venir permettront à l'expérience d'atteindre une sensibilité 10 fois meilleure que la limite actuelle sur l'angle de mélange θ_{13} encore inconnu.



L'EXPÉRIENCE T2K

J. Dumarchez

Chercheurs et doctorants

B. Andrieu,
J. Dumarchez,
J-M. Lévy,
B. Popov,
A. Robert

Equipe technique

O. Le Dortz,
D. Terront,
A. Vallereau

La physique des neutrinos est depuis une dizaine d'années le lieu de la première manifestation de l'existence d'une physique au-delà

du Modèle Standard : les neutrinos sont massifs et oscillent, comme l'ont montré les résultats récents des expériences sur les neutrinos atmosphériques, solaires et de réacteurs (SuperKamiokande, SNO et KamLAND). Cependant, trois paramètres fondamentaux

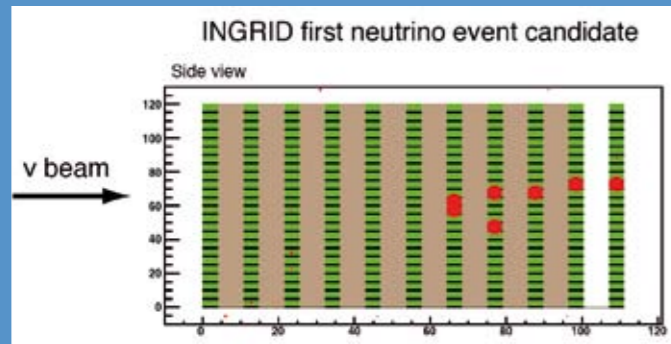


Figure 1
Premier neutrino dans INGRID.

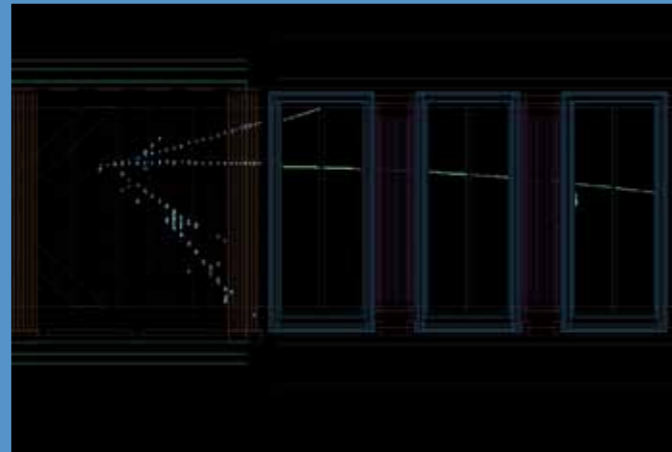


Figure 2
Premier neutrino dans ND280.

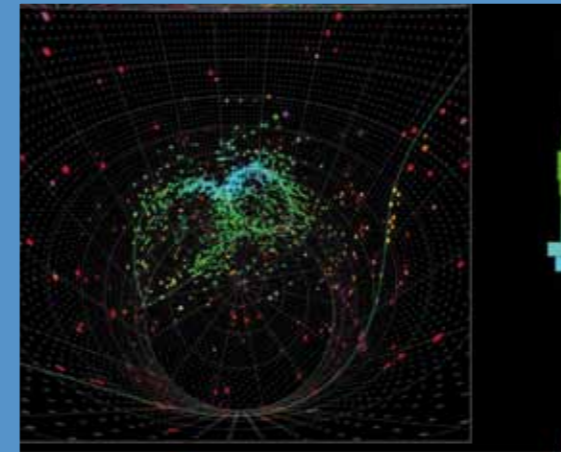


Figure 3
Premier neutrino de JPARC dans SuperKamiokande.

sont encore indéterminés dans le panorama des oscillations de neutrinos : le troisième angle de mélange (θ_{13}), la hiérarchie des masses (signe de Δm_{23}^2) et la valeur de la phase δ violant CP. Mais l'observation d'une violation de CP dans le secteur leptonique est conditionnée à l'existence d'un angle θ_{13} « pas trop petit ». Il est donc important de tenter de mesurer θ_{13} avant de pouvoir accéder aux propriétés CP des neutrinos et à leur éventuel lien avec l'asymétrie matière-antimatière dans l'Univers, via la leptogénèse. C'est le but essentiel de l'expérience T2K qui vise à gagner un ordre de grandeur en sensibilité sur la meilleure limite aujourd'hui disponible, celle de l'expérience CHOOZ. Un angle θ_{13} non nul se manifesterait par la présence sous la forme d'une oscillation $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ sous-dominante, superposée à l'oscillation $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ dominante: le principe de l'expérience va donc consister à rechercher l'apparition de ν_e entre deux détecteurs situés à une distance L dans un faisceau de nm d'énergie E telle que le rapport L/E maximise la probabilité d'oscillation $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$, et telle

que cette énergie soit insuffisante pour permettre les interactions de ν_{τ} par courant chargé. Au cours des années 2008 et 2009, le projet T2K est passé du stade de la conception à celui de la réalisation et du démarrage. Le faisceau de neutrinos et son instrumentation associée (cible, cornes magnétiques, moniteurs de muons, ...) ont été installés en 2008 et validés en 2009, avec une première salve de neutrinos dès avril 2009, comme annoncé au début du projet. La validation a occupé le reste de l'année 2009 pour arriver en décembre à un mode de fonctionnement encore instable mais permettant le démarrage de la prise de données de l'expérience. La construction et l'installation des détecteurs proches (INGRID et ND280) se sont également étalées sur ces deux années, avec une validation réussie à l'automne 2009 par l'observation des premières interactions de neutrinos, successivement dans INGRID, dans ND280 et finalement dans SuperKamiokande. Les figures 1 à 3 illustrent cette phase décisive.

Aimant

Le LPNHE a en charge l'alimentation électrique de puissance de l'aimant de T2K. Cet aimant dipolaire, utilisé précédemment au CERN dans les expériences UA1 puis NOMAD, a été transporté au Japon et remonté dans le puits de ND280. Son alimentation électrique a été fabriquée par la société Bruker, suivant un cahier des charges écrit en collaboration avec l'IPN Lyon, le GANIL et le CERN. La réception sur site, en août 2009, a mis en lumière des limitations de l'installation électrique existante, limitations qu'il a fallu dépasser par une installation complémentaire à l'automne. Aujourd'hui le courant atteint 2700 A dans l'aimant, fournissant un champ magnétique de 0.19 T : une deuxième modification interviendra à l'été 2009 pour pouvoir obtenir les 0.2 T nominaux prévus pour atteindre la résolution et la sensibilité de l'expérience.

TPC : électronique et acquisition

Associé aux groupes de Saclay, Barcelone, Genève, Valencia et

Triumf pour la construction et la mise en œuvre des chambres à projection temporelles (TPC) de T2K, l'équipe du LPNHE avait la charge de l'électronique « arrière » (back end) et de l'acquisition. Un prototype de la carte concentratrice des données (DCC) a été conçu au laboratoire et produit dans l'industrie. Les tests de validation n'ont malheureusement pas tous abouti et pour ne pas retarder l'ensemble du projet, il a fallu se rabattre sur une solution de rechange à base de cartes du commerce (kit de démonstration du gros FPGA au cœur du projet). Cette solution, établie en collaboration avec Saclay et Triumf, a été testée en condition réaliste sur un faisceau test au Canada et, s'étant révélée viable, a été adoptée. La production et l'installation des 18 cartes nécessaires ont pu se faire à temps pour la phase de commissioning du détecteur dans le puits de T2K à l'automne 2009. Le programme d'acquisition des données a été développé dans le cadre du logiciel MIDAS : il récupère les données des 18 cartes DCC, les structure et les transmet à l'acquisition centrale. Il gère aussi les interruptions du

système de déclenchement, les « busy » et les divers modes de prise de données (faisceau, cosmiques, calibration-laser, piédestaux). La quantité de données brutes générées par les 124 000 canaux des TPC étant incompatible avec la vitesse d'acquisition requise, une phase d'optimisation de la réduction des données et de la vitesse de transmission a été nécessaire : elle s'est faite en collaboration avec Barcelone et Saclay.

NA61

Au niveau de précision requis par l'expérience, une bonne compréhension du faisceau est indispensable. Elle est actuellement limitée par les incertitudes sur les sections efficaces de production de pions/kaons au niveau de la cible. Une partie de la collaboration T2K, dont l'équipe du LPNHE, participe donc au CERN à une expérience dédiée : après une première prise de données en 2007, NA61 a de nouveau collecté en 2009 des données de collisions proton - carbone dans les conditions du faisceau de T2K. L'analyse en cours vise non

seulement à mesurer les spectres (angulaire et en énergie) des hadrons produits, mais aussi à distinguer les contributions des hadrons primaires de celles des hadrons ayant subi des réinteractions dans la cible : la transposition dans T2K et la maîtrise des systématiques en dépendent. L'intégration des données de NA61 dans la simulation du faisceau de T2K devrait permettre la première mesure des oscillations $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ dans T2K. En comparant les données observées dans SuperKamiokande avec les prédictions tirées de la simulation du faisceau, T2K atteindra fin 2010 une sensibilité sur l'angle θ_{13} comparable à la limite actuelle de Chooz.



L'expérience BABAR a arrêté la prise de données en avril 2008.

La collaboration continue de produire nombre de résultats physiques de premier plan dans le domaine des saveurs lourdes, et a déjà dépassé 400 publications. La violation de CP est activement étudiée au LPNHE dans les désintégrations des mésons B, radiatives ou non, vers des états finals en trois corps sans particule charmée, possédant un ou trois kaons. L'investissement du groupe dans des analyses en amplitude de diagrammes de Dalitz porte ses fruits. Une bonne partie des études entreprises au LPNHE font partie des analyses à mener de façon prioritaire sur l'ensemble complet des données collectées par BABAR.

Chercheurs et doctorants

P. del Amo Sánchez,
E. Ben-Haïm,
G. Bonneaud,
H. Briand,
G. Calderini,
J. Chauveau,
O. Hamon,
P. Leruste,
G. Marchiori,
J. Ocariz,
A. Pérez,
J. Prendki,
S. Sitt

BABAR : PHYSIQUE DES SAVEURS LOURDES

E. Ben-Haïm

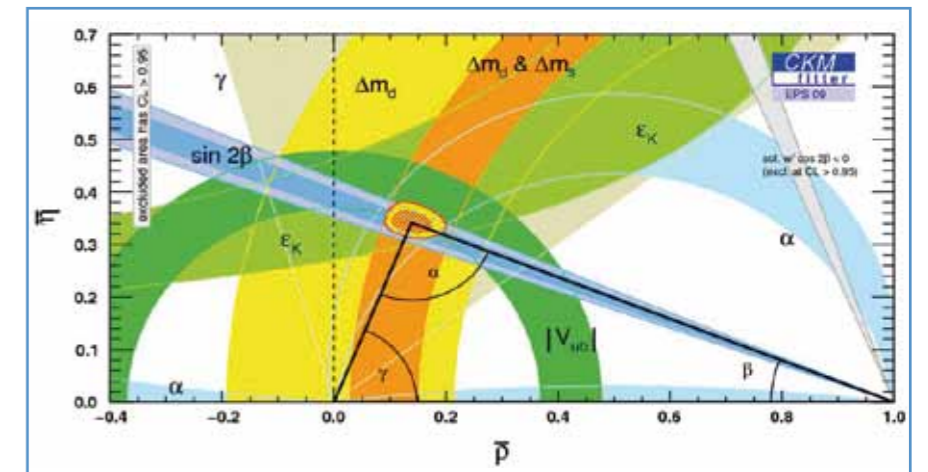
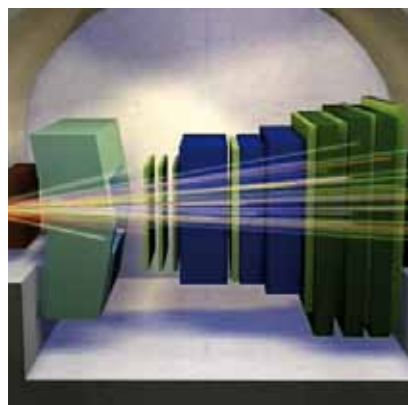


Diagramme $(\bar{\rho}, \bar{\eta})$ avec les lieux géométriques du sommet du triangle d'unitarité contraints par les diverses mesures disponibles lors de la conférence EPS en juillet 2009 à Cracovie en Pologne. Cette figure est l'œuvre du groupe CKMfitter. Toutes les mesures sont compatibles à 95 % de confiance avec la zone représentée en jaune, qui se réduit comme une peau de chagrin d'année en année à mesure que la statistique s'accroît.

Les usines à mésons B, BABAR auprès du collisionneur PEP-II au SLAC National Accelerator Laboratory et Belle, sur l'anneau KEK-B au Japon arrivent au terme de leur période d'exploitation. L'expérience BABAR a terminé sa prise de données le 7 avril 2008. Au cours des deux dernières années, elle a poursuivi des études de précision sur les quarks b et c et le lepton tau. Le résultat majeur de

l'expérience dans cette période est la découverte du η_b , l'état fondamental du bottomonium. La recherche dans le secteur des saveurs lourdes, effectuée aux usines à B et au TeVatron, s'est concentrée sur l'exploration de la marge d'incertitude affectant la validation du modèle standard de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM), reconnue par l'attribution du prix Nobel 2008 à Kobayashi et Maskawa. Le diagramme de la figure 1 résume l'ensemble des contraintes sur les éléments de la matrice CKM tels qu'elles ont été présentées à la conférence EPS de Cracovie (Pologne)



Au cours des deux dernières années, le groupe LHCb au LPNHE a développé l'étude et les logiciels d'analyse du mode de désintégration $B \rightarrow K^{\pm} \pi^{\pm} \pi^{\mp}$ en le promouvant pour une mesure précise de l'angle γ du triangle d'unitarité. D'autre part, ce groupe a travaillé sur l'identification et la reconstruction rapide de K^0 et a fourni les logiciels correspondant.

L'EXPÉRIENCE LHCb

E. Ben-Haïm

LHCb, l'une des quatre expériences auprès du collisionneur LHC, est consacrée à l'étude de la violation de CP dans les désintégrations du méson B. Dans ce secteur, le Modèle Standard est particulièrement prédictif et susceptible de vérifications expérimentales poussées.

L'intérêt de la physique des mésons B au LHC est déterminé par la grande section efficace de production de paires quark-antiquark b (environ 500 μb), ce qui fait qu'en quelques heures la statistique accumulée de désintégrations des mésons B sera plus grande que celles collectées dans les deux Usines à B, BaBar et Belle, soit environ 200 millions par heure à la luminosité nominale ($2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$).

Le principal avantage du LHC est de donner accès à tous les hadrons porteurs du quark b avec de grandes statistiques. Ainsi, ces hadrons seront produits dans des rapports $B_u : B_d : B_s : \Lambda_b : B_c$ de 0.4 : 0.4 : 0.1 : 0.1 : 0.01 et tous les modes de désintégration à relativement faible multiplicité (3 ou 4 particules par exemple) pourront être explorés en détail.

Le détecteur LHCb se compose de plusieurs éléments (figure 1) : près du point d'interaction des faisceaux, un détecteur de vertex permet de reconstruire le point de désintégration du B avec une précision de l'ordre de quelques microns (10 à 20), puis un aimant de courbure et un jeu de chambres (T) permettent ensemble une mesure précise de l'impulsion des particules produites et, enfin, un système de calorimètres électromagnétique et hadronique suivi d'un système d'identification des muons qui permet de les utiliser dans le déclenchement. Insérés dans ce dispositif, on trouve, en amont de l'aimant un compteur RICH

Chercheurs et doctorants

M. Benayoun,
P. David,
W. Da Silva,
L. Del Buono,
F. Kapusta

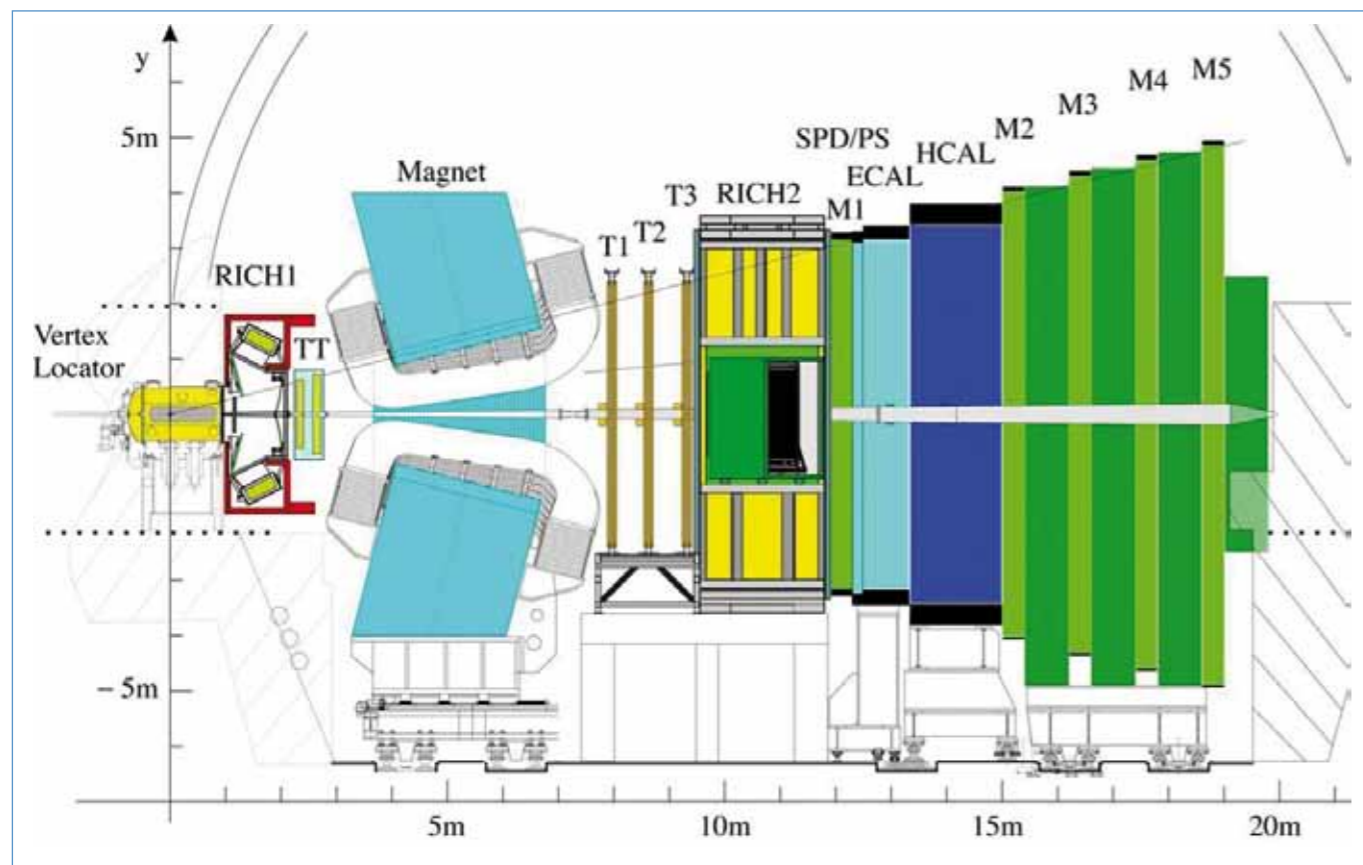


Figure 1
Schéma du détecteur LHCb

(Ring Imaging Cerenkov Counter) pour l'identification des particules de basse impulsion (inférieure à 40 GeV/c environ) et un jeu de chambres à micropistes de silicium (pour la reconstruction des K^0), en aval un second compteur RICH pour l'identification des particules de haute énergie (supérieure à 40 GeV/c).

L'activité en physique du groupe du LPNHE est concentrée sur l'étude du mode de désintégration $B \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+$ dans laquelle apparaissent de nombreuses résonances $\pi\pi$ comme le $\rho(770)$, le $\omega(782)$, le $\sigma(600)$ ou le $f^0(980)$ et plusieurs résonances $K\pi$ (de masses 892 et 1430 MeV par exemple). L'intérêt de ce mode est de permettre d'envisager une mesure

précise à 3 degrés près de l'angle γ du triangle d'unitarité CKM qui, dans le Modèle Standard, résume toutes les propriétés connues de violation de CP. Nous avons effectué une étude du bruit de fond provenant du mode de désintégration $B^+ \rightarrow \eta' K^+$. Ce mode est, par ailleurs, intéressant en lui-même pour l'étude de la violation de CP.

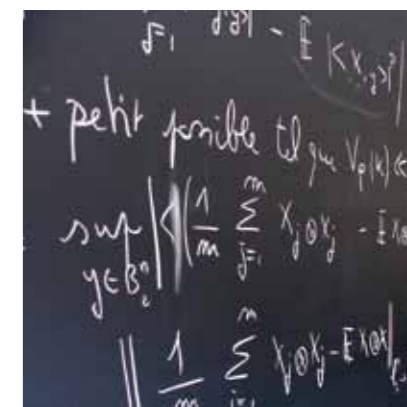
Nos autres contributions à l'expérience concernent les développements software et la fourniture de logiciels d'intérêt général. Une de ces activités tourne autour de l'utilisation des compteurs RICH, une autre concerne la reconstruction rapide des K^0 pour le trigger de haut niveau (HLT). A ce

propos, nous avons mis au point un logiciel rapide d'identification des K^0 qui peut être inclus dans le trigger de haut niveau de l'expérience.

Par ailleurs, nous avons participé aux activités du groupe chargé de la mesure de luminosité fournie à l'expérience par l'accélérateur.

L'activité de notre groupe va continuer le long des lignes qui viennent d'être esquissées, par le début des analyses de physique et par la maintenance des logiciels fournis.

PHÉNOMÉNOLOGIE DE LA QCD NON-PERTURBATIVE



J-P. Dedonder



Dans le cadre du Modèle Standard et de la factorisation en QCD nous avons étudié les désintégrations $B \rightarrow K^+ \pi^-$, $B_s^0 \rightarrow J/\psi f$ et $B_s^0 \rightarrow J/\psi f^0(980)$. Les données $B \rightarrow K^+ \pi^-$ montrent, dans la voie $K\pi$, la dominance des résonances vectorielles $K^*(892)$ et scalaires $K^*(1430)$; pour réduire l'incertitude systématique des analyses des résultats expérimentaux, nous proposons un modèle explicite de l'amplitude d'onde S. Pour les désintégrations du B_s^0 nous montrons que les effets du $f^0(980)$ ne peuvent pas être ignorés pour la mesure de l'angle de mélange $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ dans la désintégration $B_s^0 \rightarrow J/\psi f$. Dans la désintégration forte $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^- \eta'$ nous avons interprété la structure du baryonium $X(1835)$ en terme d'un état lié proton-antiproton sous le seuil. Enfin, le groupe a proposé un modèle qui fournit des prédictions pour les diffusions hadroniques à petit et grand t au RHIC et au LHC.

Chercheurs et doctorants

J-P. Dedonder,
O. Leitner,
B. Loiseau,
P. Gauron,
M. Lacombe*,
B. Nicolescu

*Décédé en septembre 2009

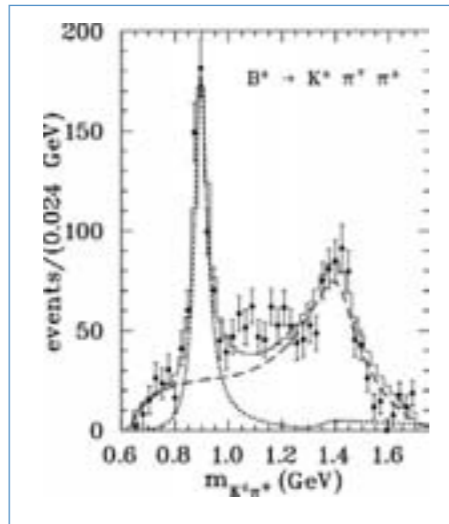


Figure 1
Distribution en masse effective $K\pi$ des désintégrations.
Les données expérimentales proviennent de la Collaboration BABAR (2008). La courbe en tirets représente la contribution de l'onde S de notre modèle, la courbe en pointillés celle de l'onde P et l'histogramme est la somme cohérente de ces contributions.

explorées de manière intensive depuis plusieurs années ; elles permettent d'observer et de mesurer cette violation de la symétrie CP qui est liée au mécanisme d'interaction faible. Les mésons B, états liés, par l'interaction forte, du quark beau lourd b avec un quark léger, sont au cœur de cette problématique. Après les recherches sur les mésons B conduites au Tévatron (Collaborations D0 et CDF), et aux usines à B au SLAC (Collaboration BABAR) et au KEK (Collaboration Belle), un nouveau régime vient de s'ouvrir avec le démarrage du grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN et les mesures du détecteur LHCb consacré à la physique du quark b. Du point de vue théorique, la physique des particules se définit dans le cadre du Modèle Standard qui est la théorie actuelle qui décrit les interactions faible, électromagnétique et forte ainsi que l'ensemble des particules élémentaires de la matière. Ce modèle repose sur un certain nombre de paramètres fondamentaux

qu'il importe de déterminer avec la plus grande précision ; c'est notamment le cas des paramètres de la matrice Cabbibo-Kobayashi-Maskawa (CKM) qui doivent permettre de savoir si la description de la violation de CP est en accord avec celle du Modèle Standard. L'étude des mésons B implique à la fois la partie perturbative et non-perturbative de la chromodynamique quantique (QCD), théorie actuelle des interactions fortes. L'analyse de leurs désintégrations est ainsi confrontée au problème d'extraire de façon fiable les mécanismes de désintégrations faibles à partir des distorsions produites par l'interaction forte. Les activités du groupe sont principalement centrées sur l'étude de différents canaux de désintégration de ces mésons B en mésons légers de façon à pouvoir déterminer le mieux possible les paramètres fondamentaux du Modèle Standard. Quelques indications sur la physique au delà du Modèle Standard pourraient émerger de telles études.

La compréhension de l'asymétrie matière-antimatière est primordiale pour expliquer l'évolution de notre univers depuis le Big-Bang. Une des voies permettant d'explorer les raisons de cette asymétrie est l'observation de la violation de la symétrie CP - où C est la conjugaison de charge et P l'opérateur de parité - et c'est la violation de P qui est l'une des conditions nécessaires pour créer l'asymétrie matière-antimatière. Les désintégrations de certains mésons lourds, produits par paires lors de collisions à très haute énergie, sont

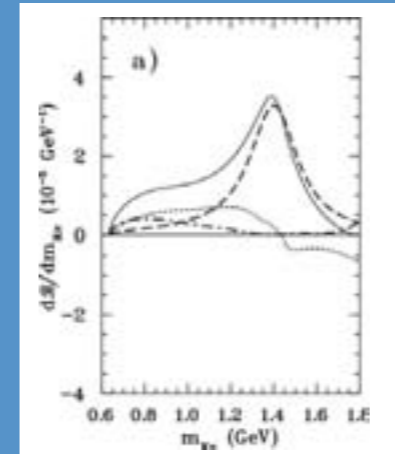
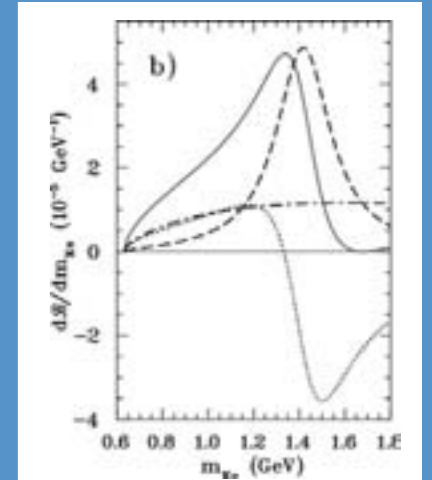


Figure 2
Comparaison des différentes composantes des distributions en masse effective $K\pi$ des désintégrations $B^* \rightarrow (K^* \pi^m)_s \pi$.
Notre modèle a) est comparé à celui b) de la collaboration BABAR (2008) où la paramétrisation de LASS a été utilisée. Dans ces calculs, notre amplitude est proportionnelle au facteur de forme $K\pi$ scalaire et celle de la collaboration BABAR à la partie d'onde S de la matrice T de la diffusion $K\pi$. Les courbes en tirets correspondent à la contribution de la résonance $K_0^*(1430)$, celles en tiret-pointillés à la partie non résonante, celles en pointillés aux interférences et celles en traits pleins à la somme de ces trois contributions.



Violation de CP et désintégrations hadroniques des mésons B

Les désintégrations hadroniques des mésons B constituent une source riche de tests du Modèle Standard et de la QCD. Les phases fortes sont nécessaires pour produire la violation de CP et il est essentiel d'avoir une description aussi précise que possible des interactions entre les hadrons détectés. On part de l'Hamiltonien effectif de l'interaction faible. L'hypothèse de la factorisation de QCD (QCDF) développe l'amplitude de désintégration en deux mésons comme le produit d'un courant décrivant la création d'un des mésons à partir du vide et d'un courant exprimant la transition du méson lourd en l'autre méson.

Violation de CP et interaction kaon-pion dans les désintégrations $B \rightarrow K\pi^+\pi^-$

Nous avons étudié la violation de CP et la contribution des interactions fortes pion-kaon pour les désintégrations à trois corps $B \rightarrow K\pi^+\pi^-$ pour lesquelles les analyses des données, en terme de diagrammes de Dalitz pour des masses effectives $K\pi$ jusqu'à environ 1800 MeV, montrent la dominance des résonances scalaire $K_0^*(1430)$ et vectorielle $K^*(892)$, respectivement onde S et P de l'interaction $K\pi$. La

modélisation, dans le cadre du Modèle Standard, pour les désintégrations à trois corps $B \rightarrow K\pi^+\pi^-$ est fondée sur la factorisation en QCD que nous appliquons au processus quasi deux corps $B \rightarrow (K\pi)\pi$ où l'on considère les deux mésons de la paire $(K\pi)$ comme formant un seul corps. Dans les amplitudes, la physique de courte portée de l'interaction faible s'exprime en fonction de coefficients effectifs de Wilson dont nous avons calculé des corrections d'ordre supérieur pour les diagrammes pingouins et les termes de vertex. Ces corrections ne sont pas suffisantes pour reproduire les rapports d'embranchement $B \rightarrow K^*(892)\pi$, aussi avons-nous ajouté des termes phénoménologiques aux amplitudes pingouins QCD. Ces termes, représentés par quatre coefficients complexes, pourraient être interprétés comme une contribution non perturbative aux diagrammes pingouins ; ils traduisent aussi la contribution, non considérée ici, des amplitudes d'annihilation et de diffusion dure avec le quark spectateur (voir ci-dessous). La physique de la QCD non perturbative entre aussi dans les éléments de matrice de transition entre les paires $(K\pi)$ et le vide. Ces termes, qui apparaissent naturellement dans l'approche de

la factorisation, sont décrits par les facteurs de forme étranges scalaires pour les paires $(K\pi)$ en onde S et vectoriels pour celles en onde P. Respectivement dominés par le $K_0^*(1430)$ et le $K^*(892)$, ils sont calculés grâce à des équations unitaires de voies couplées en utilisant les déphasages $K\pi$ connus, la symétrie chirale et des contraintes de QCD. Les amplitudes QCD pingouins additionnelles sont déterminées pour reproduire au mieux les distributions en masse effective $K\pi$ (voir par exemple la figure 1) et en angle d'hélicité, les rapports d'embranchement $B \rightarrow K^*(892)\pi$ et les asymétries des données récentes des collaborations BABAR et Belle. De façon à réduire la grande incertitude systématique dans la détermination expérimentale des rapports d'embranchement $B \rightarrow K_0^*(1430)\pi$ nous proposons une paramétrisation explicite de l'amplitude en onde S. La figure 2 montre la comparaison entre notre modèle et celui utilisé par la collaboration BABAR pour les différentes composantes des distributions $B^* \rightarrow (K\pi)_s \pi$ moyennées sur les charges et en fonction de la masse effective $K\pi$.

Corrections des processus d'annihilation et de diffusions dures pour $B \rightarrow K\pi^+\pi^-$

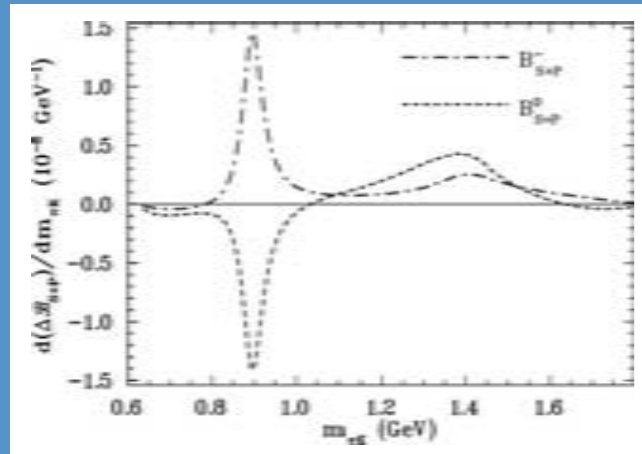


Figure 3
Distribution de la dérivée, par rapport à la masse effective, de la différence des rapports d'embranchements pour les canaux conjugués de charge. Cela revient à dire que $d(\Delta B_{S,P})$ représente le numérateur de l'asymétrie de la violation directe de CP. Les courbes dénotées par $B_{S,P}^{\pm}$ et $B_{S,P}^0$ correspondent respectivement aux désintégrations des B chargés et neutres.

Nous avons complété l'étude précédente sur les effets des résonances K^* dans les désintégrations $B \rightarrow K\pi\pi$ avec l'objectif de mieux préciser le contenu théorique des amplitudes. Pour faire cela nous avons calculé explicitement les corrections à l'ordre suivant de la constante de couplage forte, corrections dues aux processus d'annihilation et de diffusion dure avec le quark spectateur. Les divergences, qui existent aux bornes des intégrales entrant dans le calcul de ces amplitudes faibles, sont contrôlées par deux paramètres complexes. Ces derniers sont déterminés en reproduisant au mieux les données actuelles sur les distributions en masse effective et en angle d'hélicité, sur les asymétries CP et les rapports d'embranchement $B \rightarrow K^*(892)\pi$. Comme dans le travail précédent, nos résultats se comparent très bien aux observables expérimentales des collaborations BABAR et Belle. On peut voir sur la figure 3 que l'interaction, après hadronisation dans l'état final augmente la différence des distributions différentielles pour les voies conjuguées de charge. Cette augmentation particulièrement importante au voisinage du $K^*(892)$ est aussi marquée autour du $K_0^*(1430)$. Notre étude montre que l'introduction des contributions des amplitudes

d'annihilation et de diffusion dure permet donc de réduire de moitié le nombre de paramètres libres utilisés pour décrire les données des désintégrations $B \rightarrow K\pi\pi$. Cette contribution phénoménologique à deux paramètres pourrait provenir de corrections d'ordre supérieur sans exclure les effets possibles de nouvelle physique comme, par exemple, ceux étudiés dans l'approche supersymétrique minimale du Modèle Standard.

Indication d'effets d'onde S pour l'angle de mélange $B_s^0 - B_s^0$
Dans le processus $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$, des mesures récentes des collaborations CDF et DØ ont montré que l'angle de mélange $B_s^0 - B_s^0$, $-2\beta_s$, est beaucoup plus grand que la valeur prédite par le Modèle Standard. Le canal $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ ne nécessitant aucune analyse angulaire, on peut évaluer le rapport $R_{f_0/\phi}$ des largeurs de désintégration entre les canaux $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$, $f_0(980) \rightarrow \pi^+\pi^-$ et $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$, $\phi \rightarrow K^+K^-$ pour estimer l'effet de l'onde S de la paire $\pi\pi$ dans la détermination de β_s . Dans le cadre du Modèle Standard et de la QCDF nous calculons les amplitudes des désintégrations $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ et $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ en incluant toutes les interactions dans l'état final à l'ordre α_s . Les deux paramètres complexes qui contrôlent les divergences des termes de diffusion dure avec le

quark spectateur et les amplitudes d'annihilation, sont déterminés de façon à reproduire, d'une part le rapport d'embranchement $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ connu expérimentalement et d'autre part trois données sur les amplitudes extraites des analyses expérimentales des désintégrations $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ par les collaborations CDF et DØ. La figure 4 montre la variation de la valeur du rapport $R_{f_0/\phi}$ en fonction de la valeur du facteur de forme de transition du B_s^0 en $f_0(980)$ et sa dépendance des valeurs des constantes de désintégration du B_s^0 et du $f_0(980)$. La valeur moyenne de $R_{f_0/\phi}$ est de l'ordre de 0,15 en accord avec des extrapolations obtenues à partir d'analyses récentes de la collaboration CLEO sur des désintégrations des D. Notre résultat montre qu'on ne peut ignorer le processus $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ quand on étudie la désintégration $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$. De plus, le rapport $R_{f_0/\phi}$ peut donc être compris dans le cadre du Modèle Standard, sans toutefois exclure totalement des contributions de nouvelle physique.

Structure du baryonium X(1835)

Nous avons étudié la désintégration forte $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+\pi^-\eta'$ pour laquelle la collaboration BES a observé un pic dans le spectre des mésons, pic attribué à une résonance dénommée

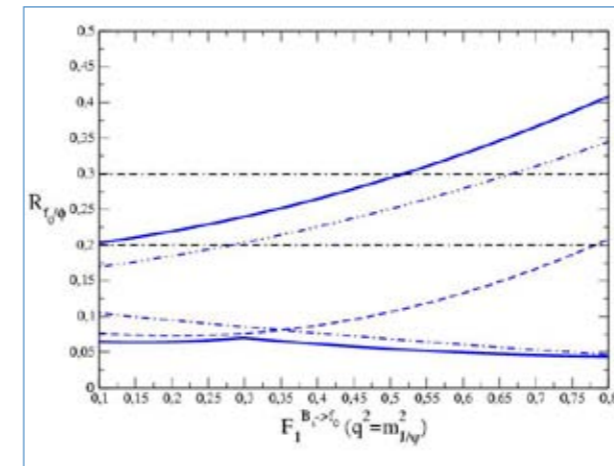


Figure 4
Distribution de la dérivée, par rapport à la masse effective, de la différence des rapports d'embranchements pour les canaux conjugués de charge. Cela revient à dire que $d(\Delta B_{S,P})$ représente le numérateur de l'asymétrie de la violation directe de CP. Les courbes dénotées par $B_{S,P}^{\pm}$ et $B_{S,P}^0$ correspondent respectivement aux désintégrations des B chargés et neutres.

X(1835). Partant du processus $J/\psi \rightarrow \gamma p\bar{p}$ suivi par l'annihilation $p\bar{p} \rightarrow \pi^+\pi^-\eta'$, nous proposons que l'origine de ce pic résulte d'une interférence entre une amplitude de fond et un état $p\bar{p}$ quasi lié dans l'onde S. Cet état, situé très près du seuil $p\bar{p}$, est présent dans le potentiel nucléon-antinucleon de Paris que nous avons récemment mis à jour et que nous utilisons ici pour notre étude. La figure 5 montre que notre modèle pour la distribution d'évènements de la réaction $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+\pi^-\eta'$ en fonction de la masse invariante $\pi^+\pi^-\eta'$ reproduit bien les données de la collaboration BES.

Interactions hadroniques à haute énergie

Modèle unifié pour petit t et grand t à haute énergie

Il est très rare en physique qu'une idée scientifique et testable ne soit ni prouvée ni infirmée sur le plan expérimental 37 ans après son invention. L'Oddéron reste pourtant un objet élitif. La cause de cette apparente énigme est simple à

comprendre. D'une part, la plupart des efforts expérimentaux ont été effectués dans les diffusions proton-proton ou proton-antiproton, où la contribution de l'Oddéron est littéralement noyée par la très grande contribution du Poméron. D'autre part, l'effet le plus spectaculaire de l'Oddéron consiste à induire une différence entre les diffusions proton-proton et proton-antiproton à très haute énergie, mais, malheureusement, ces diffusions ne sont mesurées simultanément nulle part dans le monde. Dans ce travail réalisé en collaboration avec Evgenij Martynov (Bogoliubov Institute for Theoretical Physics, Kiev, Ukraine) nous avons montré comment échapper à cette situation difficile en prenant appui sur un effet important de l'Oddéron dans le comportement de la section efficace différentielle à grand t aux énergies du LHC. Nous obtenons des prédictions précises pour l'évolution de sa structure dans la région de -t entre 0.5 et 0.8 GeV² et pour la violation radicale

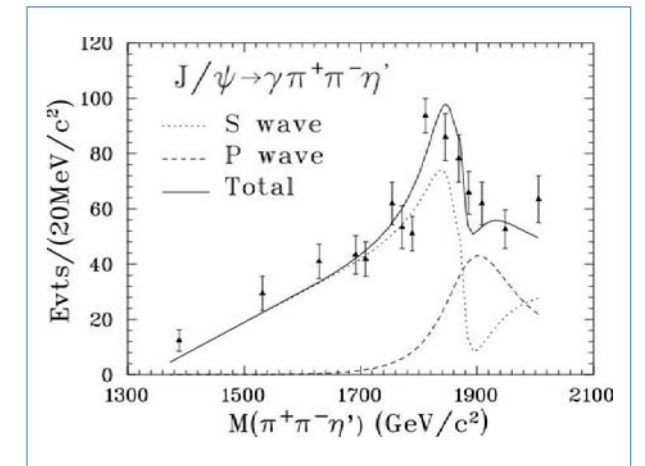
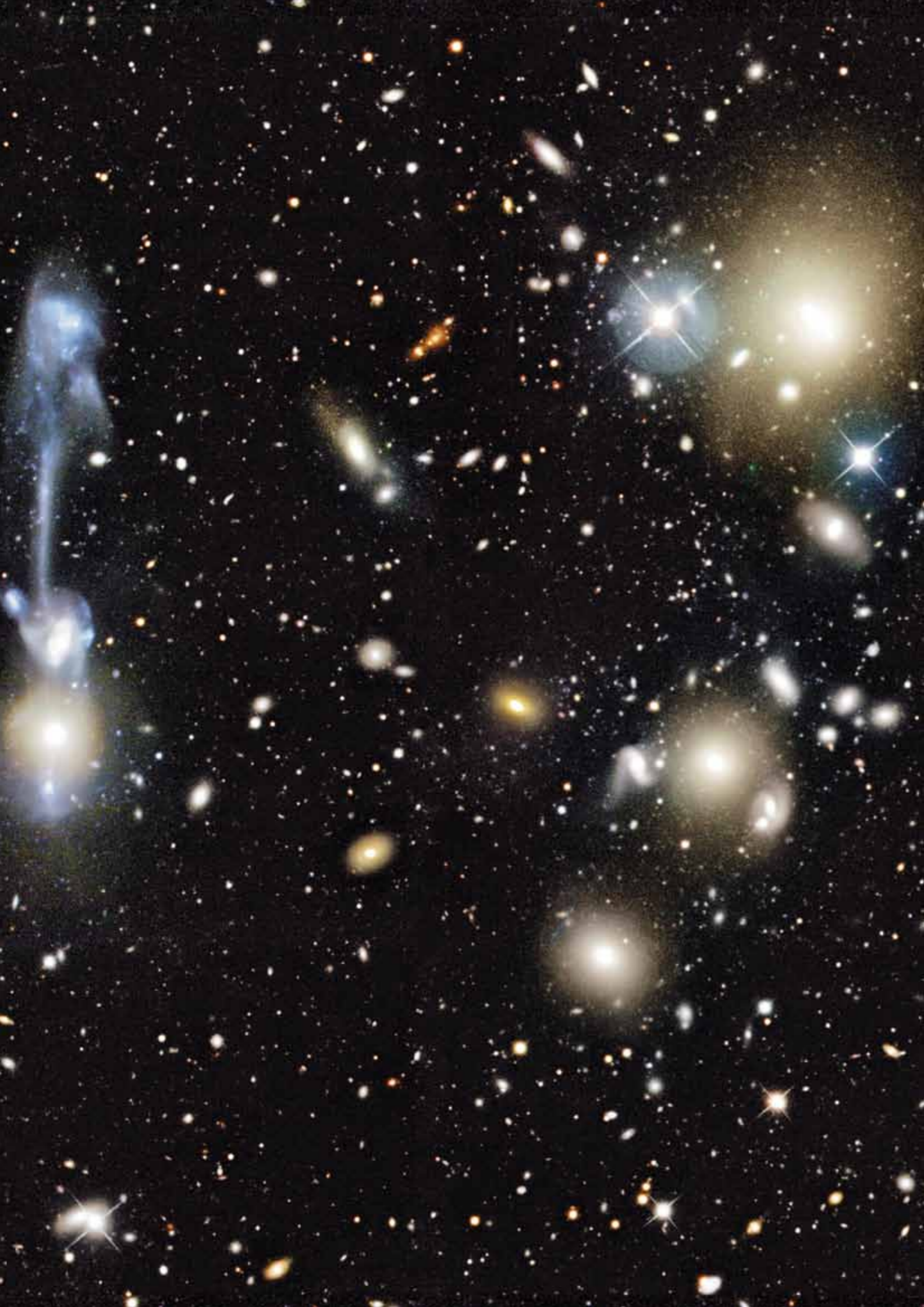


Figure 5
Distribution d'évènements de la désintégration forte $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+\pi^-\eta'$. Les points expérimentaux, montrant l'existence de la résonance X(1835), correspondent aux mesures de la collaboration BES (2005). Dans notre modèle, la contribution de l'onde P provient d'une résonance ajoutée phénoménologiquement. La somme cohérente de cette contribution et de celle de l'onde S a été normalisée de façon à reproduire les données au voisinage du pic du X(1835).

du comportement exponentiel dans la région diffractive à petit t.

Conclusion

Ces travaux phénoménologiques et théoriques entrepris par le groupe Théorie principalement autour de la violation de CP dans les désintégrations hadroniques des mésons B, mais aussi portant sur la structure d'un état spécifique proton-antiproton et sur les interactions hadroniques à haute énergie, contribuent à l'effort actuel de la communauté pour approfondir notre connaissance des interactions fondamentales.



MATIÈRE NOIRE ET ÉNERGIE NOIRE

L'évolution de l'univers qui s'est révélée avec l'observation des explosions de supernovae lointaines est une des surprises majeures des ces dernières années. Une question centrale de la cosmologie aujourd'hui, est de comprendre la nature de « l'énergie noire », source supposée de l'accélération de l'expansion de l'univers. Des campagnes de mesures de grande précision sont menées auprès des grands télescopes au sol afin d'en cerner les propriétés. En parallèle, la préparation de la génération suivante d'expériences, au sol et dans l'espace, nécessite des développements techniques tant en micro électronique qu'en informatique et en mécanique. L'étude de la matière noire, dont la nature reste énigmatique 70 ans après les premières observations, fait aussi partie intégrante du programme de recherche des futurs grands projets.



Les activités d'analyse en cosmologie observationnelle au laboratoire sont concentrées sur deux projets, Supernova Legacy Survey (SNLS), et Supernova Factory (SNF). Les observations du SNLS se sont terminées mi-2008 ; les efforts du groupe en 2008-2009 se sont portés sur l'analyse des trois premières années de données, les activités se concentrant sur la calibration photométrique (publication en 2009), l'ajustement des courbes de lumière et l'estimation des distances des supernovae. En parallèle, les premières données de calibration instrumentale du CFHT (projet SNDICE) ont été analysées. Une première étude des données de SNF a permis de mettre en valeur le potentiel unique des séquences spectrales calibrées en flux acquises avec l'instrument SNIFS, en obtenant un estimateur de distance d'une précision inégalée. Une réduction de données améliorée est en cours de développement; elle se base sur un ajustement simultané des spectres de la supernova et de sa galaxie hôte.

SUPERNOVA LEGACY SURVEY (SNLS), ET SUPERNOVA FACTORY (SNF)

J. Guy

Chercheurs et doctorants

P. Antilogus, P. Astier, S. Bailey, C. Balland, E. Barrelet, M. Bétoule, S. Bongard, A. Canto, N. Fourmanoit, J. Guy, A. Guyonnet, D. Hardin, T. Kronborg, L. Le Guillou, J-M. Levy, R. Pain, N. Regnault, K. Schahmanèche, F. Villa

Equipe technique

P. Bailly, W. Bertoli, C. Evrard, P. Ghislain, C. Goffin, A. Guimard, E. Hornero, J-F. Huppert, C. Juramy, D. Laporte, H. Lebbolo, F. Legrand, P. Repain, R. Sefri, A. Vallereau, D. Vincent

La mesure du diagramme de Hubble des supernovae de type Ia (SNe Ia) permet d'accéder à l'histoire de l'expansion de l'univers jusqu'à des décalages vers le rouge de l'ordre de l'unité, en comparant le flux des supernovae lointaines au flux de supernovae proches, dans la même bande spectrale dans le référentiel de la supernova. Dans le cadre de la relativité générale, et dans l'hypothèse d'un univers homogène et isotrope aux grandes échelles, l'évolution temporelle du taux d'expansion ainsi mesurée permet de contraindre le contenu de l'univers (densité d'énergie et équation d'état de ses composants). Cette approche a permis la mise en évidence d'une "énergie sombre" responsable d'une accélération de l'expansion de l'univers. Depuis,

des mesures de la structuration de la matière (fonction de masse des amas de galaxies, spectre de puissance en utilisant les galaxies comme traceur de masse, effets de lentilles gravitationnelles faibles, échelle angulaire du pic d'oscillation acoustique des baryons), combinées à la mesure des anisotropies du rayonnement fossile micro-onde (CMB), sont venues confirmer ce résultat. Reste à déterminer la nature de cette "énergie sombre" que l'on caractérise par le paramètre de son équation d'état w (rapport pression sur densité). L'équation d'état d'une densité indépendante de l'expansion confère à ce rapport la valeur $w=-1$, à l'instar de la constante cosmologique. C'est la valeur privilégiée par les observations actuelles. Aujourd'hui w est mesuré avec une précision de l'ordre de 10 %. L'objectif du groupe est d'améliorer ce résultat qui est limité par des incertitudes systématiques sur les mesures de distance des supernovae. Pour ce

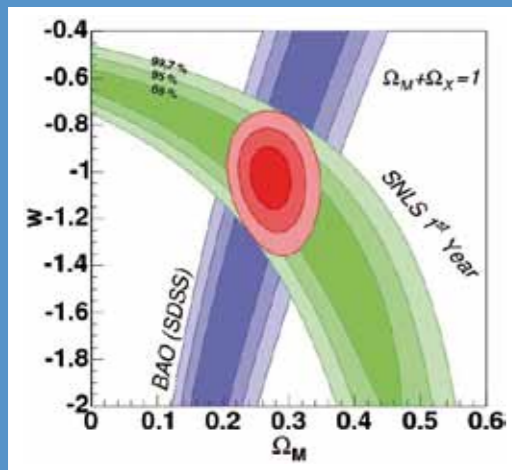


Figure 1
Contours de confiance dans le plan $\Omega_m - \omega$ (68,3 %, 95,5 % et 99,7 %) tiré de l'ajustement du diagramme de Hubble SNLS première année (Astier 2006), et de la mesure du pic acoustique des baryons (Eisenstein 2005).

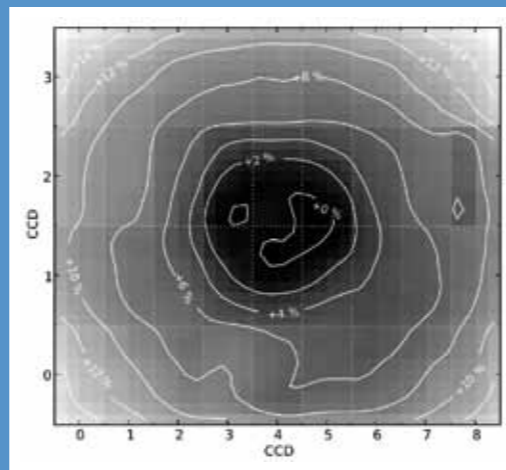


Figure 2

Carte de non-uniformité de la réponse photométrique de MegaCam dans la bande r, obtenue à partir de séquences d'observations d'un champ dense d'étoiles réalisées en décalant la caméra (Regnault 2009).

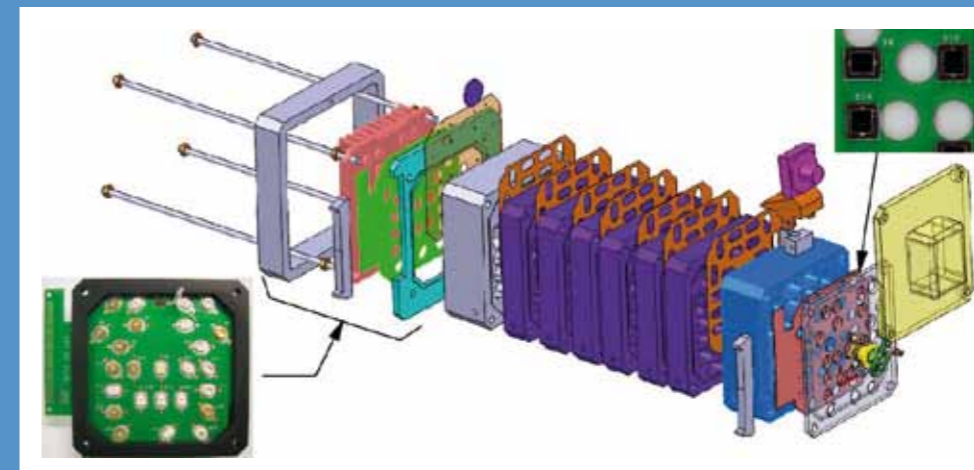


Figure 3

Vue éclatée de la tête de LED de SNDICE. Les deux photos montrent la carte de support des LED réalisée au laboratoire (à gauche) et celle des photodiodes de contrôle d'intensité (à droite).

faire, quatre axes de recherche sont identifiés : calibration photométrique, modélisation et caractérisation des supernovae, propriétés des SNe Ia en fonction de leur environnement, participation au design de futurs projets. Ces thèmes de recherche se font dans le cadre de deux projets en phase d'analyse : le Supernova Legacy Survey (SNLS), où l'accent est mis sur la calibration (voir ci-dessous le projet complémentaire SNDICE de calibration instrumentale du télescope Canada-France-Hawaii), et le projet Supernova Factory (SNF) dont les séquences spectrales calibrées en flux devraient permettre des avancées significatives dans la modélisation des SNe Ia.

Le Supernova Legacy Survey (SNLS)

L'objectif du Supernova Legacy Survey (SNLS) est de mesurer les distances d'environ 500 SNe Ia ayant des décalages vers le rouge compris entre 0.2 et 1 à l'aide du grand imageur MegaCam (1 degré-carré, 36 CCDs de 9 millions de pixels) placé au foyer primaire du Télescope Canada-France-Hawaii (CFHT, de 3,6 m de diamètre). Le projet a bénéficié des observations des champs profonds du relevé CFHT- Legacy Survey. La démarche a consisté à observer dans quatre bandes les mêmes champs

tous les quatre jours environ, afin de détecter les objets variables et mesurer leur courbe de lumière dans les mêmes images. Cette technique novatrice a permis un excellent échantillonnage temporel des courbes de lumière des SNe Ia. Les observations répétées des mêmes champs ont aussi permis d'atteindre une bonne précision de calibration.

Une collaboration dominée par les groupes français et canadiens s'est étendue à des groupes européens et américains pour assembler le lourd volume d'observations spectroscopiques sur les plus grands télescopes (VLT/ESO, Gemini, Keck). Quatre laboratoires français sont impliqués : le LPNHE et le CPPM à l'IN2P3, le LAM à l'INSU et l'IRFU au CEA.

Après la mise au point de la détection en temps réel des supernovae au début du projet, le groupe s'est concentré sur la mesure des distances des supernovae détectées (photométrie différentielle, calibration photométrique, ajustement des courbes de lumière, et extraction des paramètres cosmologiques). Le groupe a publié en 2005 un modèle empirique de courbe de lumière. Ce modèle a été appliqué à la mesure de distance des supernovae dans un papier présentant les résultats cosmologiques obtenus à partir

de la première année de données en 2006 (voir figure 1). De 2007 à 2009, les efforts du groupe se sont portés principalement sur une modélisation empirique plus élaborée de la séquence spectrale des SNe Ia, l'analyse des spectres des SNe Ia obtenus au VLT et une amélioration de la calibration photométrique du SNLS, en parallèle à l'amélioration de la chaîne de traitement des images.

La détection de la magnification gravitationnelle de la luminosité des supernovae du SNLS a fait l'objet d'une thèse, qui s'est conclue par une détection du signal à 99 % de niveau de confiance. Cette étude permet d'envisager à plus long terme l'utilisation des SNe Ia comme traceur de la structuration de la masse (profil des halos de matière noire, relations entre halos et galaxies).

Le travail des années 2008-2009 s'est traduit par 11 nouvelles publications dont trois menées par l'équipe du laboratoire : extraction des spectres du VLT guidée par les images obtenues au CFHT, analyse des spectres VLT (identifications et contraintes sur l'évolution des SNe Ia avec le décalage vers le rouge), calibration photométrique du SNLS. Dans cette dernière étude, nous obtenons une précision sur la calibration de 0,5 % dans trois bandes spectrales (de 400 à 800 nm), et 2 %

dans la bande la plus rouge (800-1000 nm). Ce travail a permis de mesurer et donc corriger des écarts d'uniformité de la réponse de la caméra MegaCam (voir figure 2). Les travaux réalisés en 2008-2009 sont utilisés pour l'analyse de cosmologie des trois premières années du SNLS publiée au printemps 2010. L'analyse de l'ensemble des SNe Ia du SNLS (environ 450 SNe Ia identifiées spectroscopiquement) a débuté en 2009. Une nouvelle technique de photométrie différentielle (sans ré-échantillonnage des images) est testée. En parallèle, des observations complémentaires de calibration photométrique prises au CFHT sont en cours d'étude. SNLS bénéficiera à terme des résultats du projet SNDICE (voir ci-dessous); enfin, une partie des analyses menées par la collaboration SNF permettra une amélioration des résultats tirés des données du SNLS (inter-calibration, modélisation des SNe Ia).

SNDICE : calibration instrumentale du CFHT

Depuis trois ans, nous avons travaillé à mettre au point un dispositif de calibration photométrique instrumental pour le télescope Canada-France-Hawaii. Le dispositif SNDICE (SuperNova Direct Illumination Calibration Experiment)

est une source multi-longueur d'onde, extrêmement stable (à la fraction du pour mille), composée de 24 LEDs (Light-Emitting Diode). Il a été installé sur le télescope en 2008. Nous avons démontré la faisabilité d'une calibration par illumination directe à l'aide d'une source multi-longueur d'onde de LED (voir figure 3), calibrée sur banc de test au LPNHE. Nous avons aussi validé la technique de contrôle de la stabilité du flux lumineux de ces LED au niveau du plan focal par des photodiodes dotées d'un amplificateur de courant ultra-bas bruit, avec une sensibilité équivalente à celle des CCD.

La haute reproductibilité des faisceaux de calibration de SNDICE permet une étude fine de la caméra MegaCam. Cependant, pour obtenir une calibration absolue au niveau du pour mille et donc utiliser pleinement la stabilité du faisceau de LED, il nous faut améliorer l'étalonnage des variations spectrales des LEDs avec la température (sur banc au LPNHE), et caractériser les réflexions internes dues à l'optique secondaire de MegaCam. Ces réflexions ont été mises en évidence lors des premières mesures avec SNDICE. Différentes orientations du faisceau de LED, dans plusieurs gammes de longueur d'onde, nous permettront de valider un modèle optique.

Enfin, nous commençons une nouvelle collaboration avec le télescope australien SkyMapper. Un dispositif de deuxième génération est en cours de conception et devrait être installé en 2011. Deux dispositifs de calibration, étalonnés sur un même banc, et installés sur deux télescopes différents représenteront alors une situation unique qui permettra de tester une inter-calibration entre ces deux instruments.

Supernova Factory (SNF)

Le projet « Supernova Factory » (SNF) vise à fournir des séquences spectrales calibrées de plusieurs centaines de supernovae à faible décalage vers le rouge ($0.03 < z < 0.08$). Le but est d'améliorer les contraintes cosmologiques ainsi que la modélisation (empirique et théorique) des supernovae Ia et donc l'estimation de leur distance. Ces observations sont réalisées avec le Supernova Integral Field Spectrograph (SNIFS) construit en France, monté sur le télescope UH à Hawaï. Cet instrument fournit des « cubes de données » contenant un spectre pour chacun des 225 pixels du champ de 6×6 secondes d'arc carré. Les laboratoires français impliqués sont le LPNHE et l'IPN-Lyon à l'IN2P3 et le CRAL de l'INSU. L'instrument a vu sa première lumière au printemps 2004.

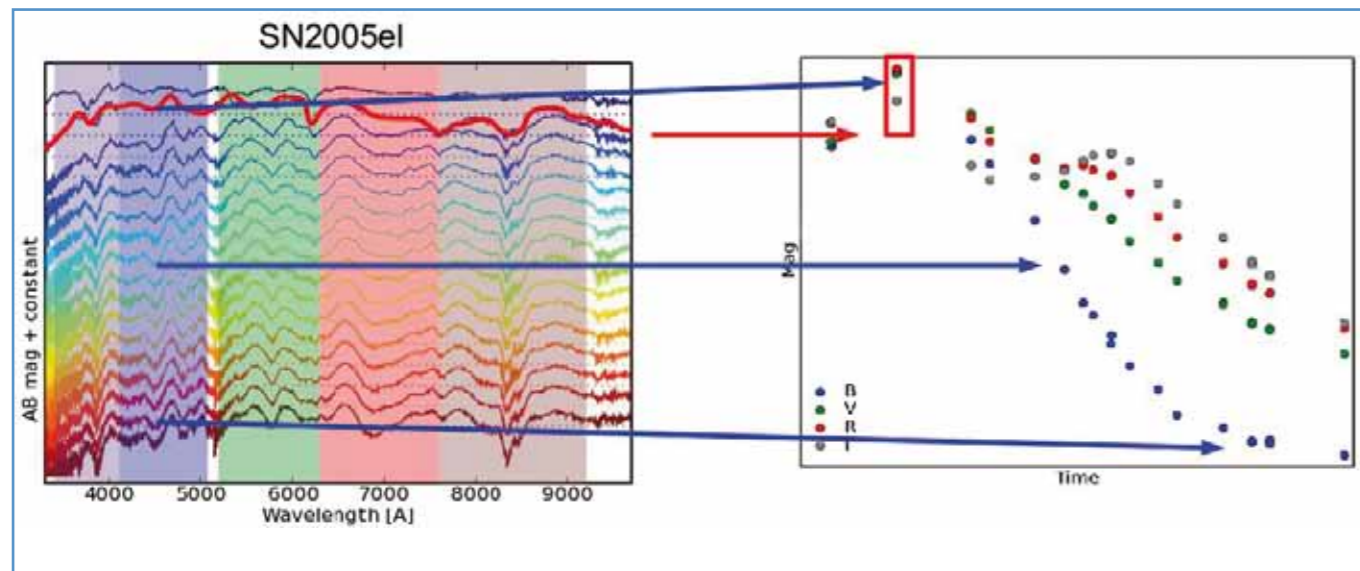


Figure 4 : Séquence spectrale de la supernova de type Ia SN2005el observée avec SNIFS et courbes de lumière synthétiques dans les filtres standards.

Les activités du groupe SNF en 2008 et 2009 se sont divisées entre une charge d'observation et une implication dans l'analyse des données. Si 2008 a vu la prise de données de supernovae, 2009 a été une année dédiée en priorité à l'observation de poses de référence. Le groupe a participé à ces prises de données en couvrant 28 demi-nuits d'observation sur un total de 89 nuits. Fin 2009, 183 supernovae de type Ia ont été observées. En plus de ces observations, un programme d'acquisition de données complémentaires ayant pour vocation l'inter-calibration des données SNF avec les données SNLS a été proposé par le groupe et mené à bien par la collaboration fin 2009.

Du point de vue de l'extraction des données, l'effort du groupe s'est concentré sur le développement et l'implémentation des algorithmes de soustraction du fond galactique ainsi que sur la chaîne de calibration en flux des données. Plus de 4000 cubes de données (soit environ 2000 spectres) ont été calibrés. Une soustraction précise du fond galactique a pu être obtenue pour 122 SNe (pour les 61 SNe restantes, une amélioration de l'astrométrie est nécessaire).

Enfin, les membres du groupe sont activement impliqués dans l'analyse des séries spectrales des SNe Ia observées (voir figure 4). Les voies poursuivies incluent une approche empirique visant à estimer l'extinction et le rougissement dûs aux poussières présentes sur la ligne de visée. Une autre approche concerne l'utilisation de techniques statistiques pour rechercher des corrélations entre les structures spectrales des SNe Ia et leurs résidus au diagramme de Hubble. Une première étude a permis de définir un indicateur de distance d'une précision de 0.12 magnitude à partir d'un rapport spectral (Bailey et al. 2009).

Le futur : projets au sol et spatiaux

Pour atteindre des décalages spectraux supérieurs à 1 avec une qualité d'observation suffisante, il sera indispensable d'observer depuis l'espace. Observer les supernovae depuis l'espace devrait aussi être utile pour limiter les effets systématiques qui devront être réduits au minimum compte tenu des statistiques envisagées. Nous avons participé en 2008 et 2009 aux réflexions sur les projets JDEM et EUCLID (pour le volet « supernovae »).

Au sol, hormis une contribution importante au projet LSST, le groupe de cosmologie s'apprête à participer au projet SkyMapper en apportant son expertise dans l'analyse des données issues de relevés grand-champ. Ce projet a pour but de réaliser un relevé de l'intégralité du ciel de l'hémisphère sud, ainsi qu'un grand relevé de détection et suivi de sources variables (supernovae, AGN, étoiles variables...). Pour cela, la collaboration met en œuvre un imageur grand-champ (5.7 deg²), installé sur un télescope de 1.35-m de diamètre. Imageur et télescope ont été construits spécialement pour ce projet par la Research School of Astronomy and Astrophysics (RSAA) de l'Australian National University (ANU), et installés à l'observatoire de Siding Springs en Nouvelle-Galles du Sud (Australie). Le groupe a pour but d'implémenter une recherche glissante analogue à celle du SNLS, et d'assembler ainsi un lot de supernovae proches de très grande qualité en termes de pureté, de complétude et de précision photométrique. Ce projet permettra de gagner en précision sur la mesure des paramètres cosmologiques.

LE PROJET LSST

P. Antilogus



La compréhension de la nature de la matière et de l'énergie noires nécessite de mesurer les paramètres cosmologiques avec une précision de l'ordre du pour-cent. Les moyens à mettre en œuvre pour atteindre cet objectif passent par l'échantillonnage de très grandes portions de l'Univers visible (de l'ordre de 100 Gpc³). A cette fin, il faut non seulement pouvoir observer à grande distance, mais avec un dispositif à très grand champ. À l'horizon de la prochaine décennie, le projet émergent, au sens où il semble pouvoir permettre de multiples applications en cosmologie, est le Large Synoptic Survey Telescope (LSST), prévu pour fonctionner de 2017 à 2027. Ce projet a été lancé par la communauté américaine et plusieurs laboratoires de l'IN2P3 se sont joints à la collaboration.

Chercheurs et doctorants

P. Antilogus, P. Astier, S. Bailey, S. Bongard, C. Balland, E. Barrelet, J. Guy, D. Hardin, M. Joyce, L. Le Guillou, R. Pain, N. Regnault, K. Schahmaneche

Equipe technique

P. Bailly, W. Bertoli, G. Daubard, C. Evrard, P. Ghislain, C. Goffin, E. Hornero, J-F. Huppert, C. Juramy, H. Lebbolo, D. Martin, Y. Orain, P. Repain, R. Sefri, A. Vallereau, D. Vincent

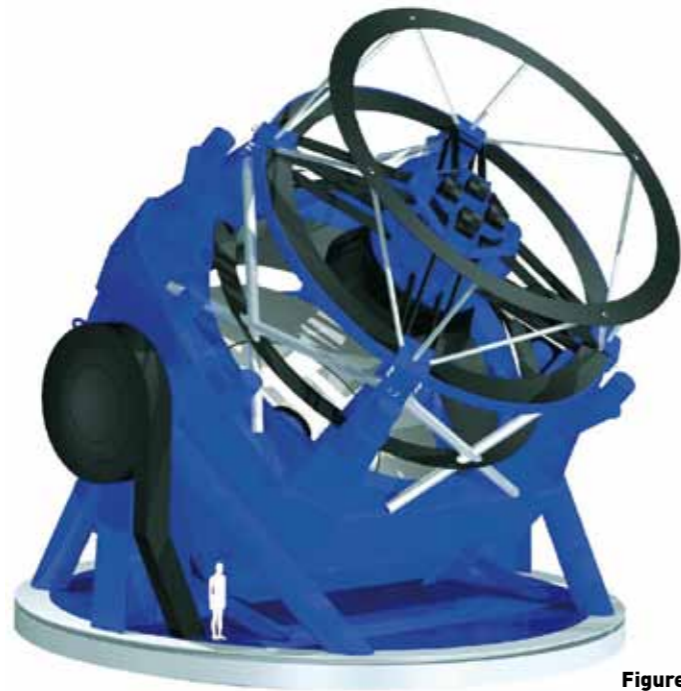


Figure 1

d'un champ toutes les 40 secondes à travers les filtres ugrizy (2 poses de 15s par champ, environ 5s pour chaque déplacement). Chaque champ sera ainsi visité à peu près 1000 fois selon le mode « survey » du programme pendant les 10 ans de prise de données. Les capacités du dispositif sont résumées dans le paramètre appelé étendue, produit de la surface du miroir du télescope par le champ, $ASL=318m^2deg^2$, qui surpasse de deux ordres de grandeur les dispositifs actuels. L'optique sera active (mais non adaptative) et vise une réponse impulsionnelle (Point Spread Function, PSF) optique de 0,2 secondes d'arc à mi-hauteur, largement suffisante pour que le seeing domine la PSF de l'image sur tout le champ. Pour permettre des prises de données scientifiquement exploitables dans les conditions météorologiques les plus variées avec cet instrument de nouvelle

génération, des procédures de calibration photométriques nouvelles, sur l'instrument et sur le ciel, seront développées. Par ailleurs, la technique de détermination de redshift par photométrie, basée sur les seules mesures de couleurs, devra impérativement être employée, car les dispositifs de spectroscopie n'auront pas la capacité de mesurer ce que les seules supernovæ. Le programme de physique envisagé avec les 15 terabytes de données acquises chaque nuit couvre non seulement la cosmologie, mais aussi tous les pans de l'astrophysique pour lesquels la statistique est actuellement le point limitant : objets variables et animés de mouvements propres, objets et événements rares. Ainsi le projet LSST concerne tous les domaines de l'astrophysique, comme en témoigne le « science-book LSST » publié en fin 2009 (<http://arxiv.org/abs/0912.0201>).

Le projet LSST (voir figure 1) comprendra un télescope au sol de 8.4 mètres de diamètre (ouvert à $f/1.25$), équipé d'une caméra de 3.2 milliards de pixels de 10μ à lecture rapide (2s), implanté au Chili. L'ensemble couvrira un champ de 9,6 degré-carré sur le ciel, qui sera balayé à la cadence

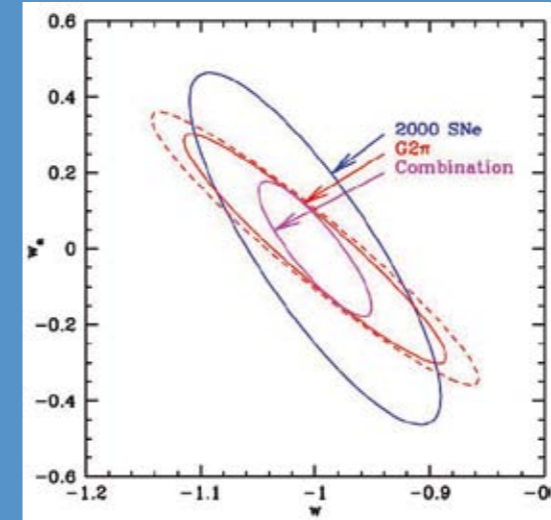


Figure 2

Précisions attendues sur les estimations de w_0 (abscisse) et w_s après les mesures de LSST, avec $w(z)=p/\rho=w_0+w_s[a(z)-1]$, où $a(z)$ est le facteur d'échelle. Contours à 1σ obtenus avec 2000 SNe et avec le « weak shear ».

La recherche de supernovæ

Les données de LSST donneront accès à un lot de supernovæ de type Ia dépassant de plus 2 ordres de grandeur les lots actuels. Ainsi les images acquises en mode « survey » par le LSST permettront de découvrir environ 250 000 supernovæ par an de redshift moyen $\langle z \rangle = 0.45$ ($z_{max} = 0.7$) sur l'ensemble du ciel visible. Les courbes de lumière de ces SNe seront échantillonnées tous les 5 jours en R et tous les 15 jours avec les autres filtres. L'analyse de cet ensemble, combiné aux résultats d'autres sondes cosmologiques comme le rayonnement de fond cosmologique, devrait permettre de mesurer le paramètre w de l'équation d'état de l'énergie noire avec une précision meilleure que 1 %, si les mesures de redshift par photométrie permettent de s'affranchir des données spectroscopiques (voir figure 2). L'importance de l'échantillon autorisera des études systématiques sur le rôle de l'environnement (métallicité, type galactique), des progéniteurs et des études de cas rares comme celui des SNe à images multiples induites par des effets de lentille gravitationnelle

(environ une centaine attendues).

Un programme plus spécifique de recherche plus profonde de SNe est prévu, qui reviendra chaque nuit sur un même champ. En 10 ans de prise de données, 14 000 SNe ($\langle z \rangle = 0.75$, $z_{max} \sim 1.2$) seront mesurées plus de 100 fois à travers 5 filtres, permettant une mesure indépendante de Ω_M , Ω_Λ et w .

Contexte programmatique et calendrier

Aux États-Unis, des équipes de chercheurs et d'ingénieurs issus à la fois de l'astronomie et de la physique des particules travaillent sur le concept LSST. Le LSST se développe comme un projet multi-agences en partenariat public-privé; la NSF qui mène le projet est en charge du financement du télescope, du site et du traitement des données; le DOE est en charge de la construction de la caméra et de la participation des personnels de la communauté de physique des particules. Des fonds privés ont été collectés pour lancer la production des miroirs, qui sont longs à fabriquer, et pour financer une R&D sur les senseurs CCD.

Le calendrier du projet est en cours de validation. Le calendrier de construction sera validé par des revues NSF et DOE d'ici l'hiver 2011 après la publication des résultats du « Decadal Survey » à l'été 2010 aux États-Unis. En décembre 2009, une revue NSF spécifique a validé l'extension de la phase de R&D pour les 30 prochains mois. Une date réaliste du démarrage du financement de la construction de LSST par la NSF et le DOE est l'automne 2013, correspondant à un début du survey en 2018.

A partir de l'automne 2005 le LPNHE a été moteur en France pour l'intégration d'un groupe français à LSST à travers la R&D sur la caméra. En 2007 un ensemble de chercheurs et d'ingénieurs de l'IN2P3 ont commencé à travailler sur la R&D de LSST et à intégrer les groupes de physique du projet. Cet effort a été validé par un passage devant le conseil scientifique de l'IN2P3 à l'automne 2007. Aujourd'hui le projet est pleinement en place :

- Un MOU a été signé entre le CNRS-IN2P3 et le consortium LSSTC (LSST Corporation, de droit privé, à but non lucratif) qui régit la contrepartie de la participation française à la R&D.

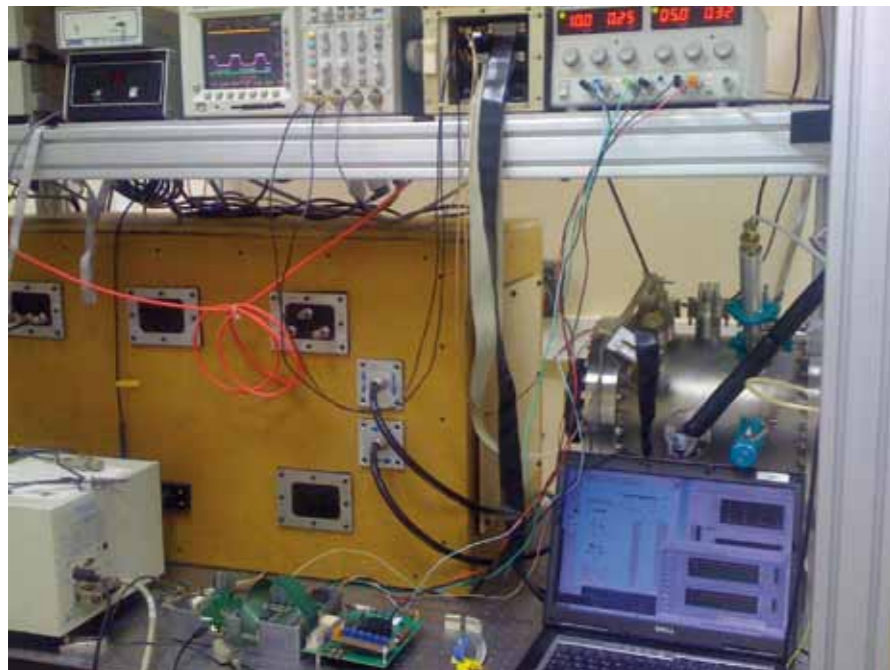


Figure 3

Banc de test des CCD basé sur l'ASIC de lecture ASPIC II développé pour LSST.

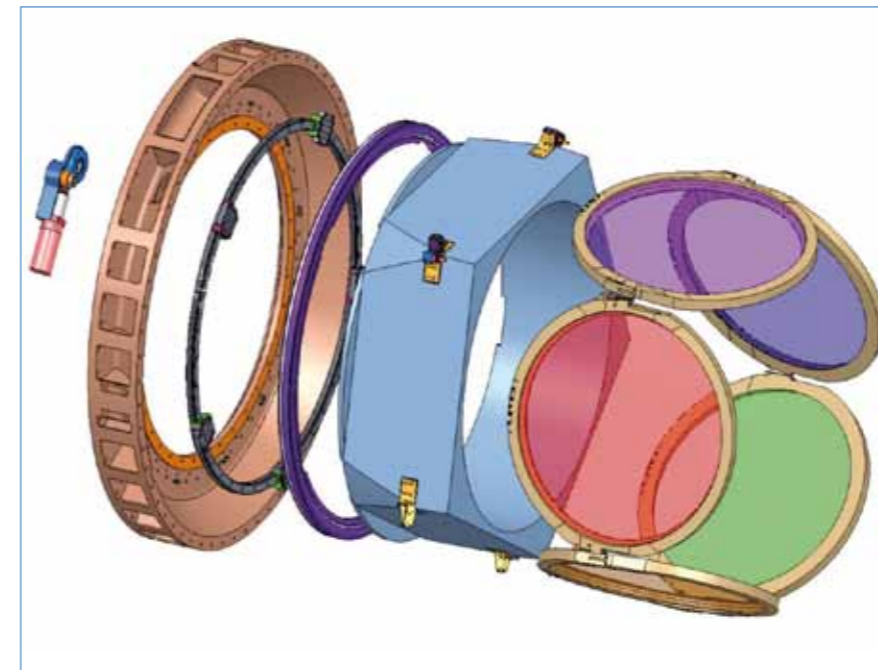


Figure 4

Carrousel pour maintenir les filtres dans la camera. Les filtres font ~ 24 kg pour 77 cm de diamètre.

Trente chercheurs français sont dès à présent membres de plein droit de cette corporation, et bénéficieront d'un accès privilégié aux données.

- Un financement sur le long terme par le TGIR (Très Grandes Infrastructures de Recherche) a été mis en place en France à partir de 2010.

Ainsi depuis Octobre 2009 le CNRS-IN2P3, à travers ses laboratoires participant directement au projet (APC, CC-IN2P3, CPPM, LAL, LMA, LPNHE, LPSC), est membre de plein droit de LSST et en particulier de son comité de coordination le LSSTC.

Objectifs de la R&D caméra au LPNHE

Les équipes du DOE ont développé un plan complet de R&D. Les éléments identifiés comme pouvant être pris en charge par nos équipes ont été définis en concertation avec l'équipe dirigeant ces développements avec en particulier S. Kahn et K. Gilmore, respectivement « project director » et « project scientist » de la caméra du LSST. Par ailleurs, pour comprendre les domaines de R&D retenus,

il faut noter que la contribution financière française envisagée pour la construction de la caméra du LSST est dominée par la fourniture d'une partie des CCD (il est question de 25 à 50 %) et de la totalité des filtres. Cette participation comporte d'autres éléments, ayant des coûts plus faibles mais demandant des expertises spécifiques. Ainsi les efforts de R&D au LPNHE se concentrent sur :

L'évaluation des prototypes CCD et électronique analogique de lecture des CCD :

CCD : Le cœur de la contribution française concerne l'évaluation des performances et des taux de défauts de la production prototype réalisée par la société e2v. Les premiers prototypes à évaluer sont attendus en France en Juin 2010. Un banc de caractérisation des CCD est en cours de validation dans la salle blanche du LPNHE.

Électronique analogique de lecture des CCD :

l'objectif est de fournir un ASIC pour le traitement analogique du signal directement à la sortie du CCD, de mettre à disposition un

ASIC opérationnel pour effectuer les tests sur les prototypes de CCD et d'étudier et de développer un banc de qualification de la production d'environ 500 ASIC. En 2008, une première génération de prototype opérationnel a été conçue, réalisée et évaluée avec succès par le LAL et le LPNHE. Une seconde version optimisée a été produite en 2009 et est en cours de validation (voir figure 3). Elle atteint dès à présent les performances requises par LSST et a été acceptée par la collaboration lors d'une revue de l'électronique en décembre 2009. L'effort dans cette R&D se concentre actuellement sur l'évaluation du niveau de test nécessaire de la future production et de la mise en œuvre au LPNHE d'une lecture de CCD utilisant cet ASIC et tout ou partie, en fonction de sa disponibilité, du reste de la chaîne de lecture des CCD de LSST.

La mécanique associée aux filtres :

L'objectif de cette R&D est d'aboutir à la réalisation d'un prototype dit « prototype de construction » aussi proche que possible du système final. Il permettra de valider la

fonctionnalité du système et de tester sa résistance à l'usure (40 000 changements de filtre prévus en 10 ans). A ce jour un premier design global du carrousel portant les filtres hors champ est achevé au LPNHE et celui du changeur de filtre proprement dit a été finalisé à SLAC. Le design précis des éléments clés composant le système est à mi-parcours dans les deux laboratoires. Par ailleurs, au LPNHE, des prototypes pour les systèmes de verrouillage des filtres sont en cours d'évaluation, le cœur du système de rotation du carrousel acheté et le début de l'assemblage du prototype de carrousel à l'échelle 1 doit commencer à l'automne 2010 (voir figure 4).

Objectifs des développements logiciels et de gestion de données :

Nous avons l'ambition de valoriser notre expérience en logiciel de traitement d'images en participant aux développements logiciels. Nous souhaitons également assurer l'accès des équipes de recherche aux données en contribuant, dès

maintenant, au calcul et à la gestion des données avec l'aide d'une équipe du CC-IN2P3. En effet, l'énorme production journalière (15 Tbytes) et le besoin de dispositifs d'alerte rendent nécessaire une gestion performante. L'expérience acquise par les projets du LHC, le SNLS et TERAPIX sera précieuse en ce qui concerne les problèmes d'architecture. Le CC-IN2P3 explorera les solutions possibles en collaboration avec les groupes du LPNHE et des autres groupes français qui participeront à terme au développement des logiciels d'analyse d'images.

LSST au LPNHE

Avec la mise en place d'un plan de R&D en adéquation avec nos objectifs de participation à la construction de la caméra de LSST et en cohérence avec nos objectifs de jouer un rôle sur le long terme dans le Survey LSST, la participation du LPNHE au LSST est aujourd'hui fermement établie. L'intégration du groupe de cosmologie du LPNHE à LSST lui garantit un accès dans les meilleures conditions à ce projet clef pour la cosmologie de la décennie à venir.



La recherche de ce groupe est centrée actuellement sur l'étude théorique de l'agrégation de la matière noire froide au cours de l'évolution de l'univers. Pour cela, le groupe utilise des méthodes numériques et analytiques et travaille aussi dans le cadre plus général de la physique statistique des interactions à longue portée. Au cours de cette période, un projet sur des effets de discrétisation dans des simulations à N corps a été porté à sa conclusion, et de nouvelles études exploratoires, sur des modèles simplifiés de systèmes purement gravitant à une dimension spatiale, ont été développées.

DYNAMIQUE DES SYSTÈMES AUTO-GRAVITANTS

M. Joyce

Cadre général

Le modèle standard en cosmologie a connu des succès impressionnants au cours des deux dernières décennies en expliquant de manière cohérente une gamme très large d'observations : le succès le plus remarquable est la prévision de la forme exacte du spectre des fluctuations de température observées dans le fond diffus cosmique (de rayonnement micro-onde); plus récemment, le lien direct entre les observations du fond diffus cosmique et un excès apparent de corrélation à une séparation d'environ 150 Mpc mesurée dans la

distribution de galaxies dans l'univers local a été établi. Tous ces résultats découlent du régime « linéaire » de la théorie où les fluctuations de densité sont petites. Il est moins clair que le même modèle puisse rendre compte des nombreuses et diverses observations qui contraignent la distribution de matière dans l'univers à des échelles sensiblement plus petites (en dessous d'environ 10 Mpc). Afin de pouvoir pleinement exploiter les observations pour contraindre des modèles théoriques, il est nécessaire de déterminer de manière fiable la prévision théorique pour la matière gravitante dans l'univers aux échelles « non-linéaires » (où les fluctuations de densité sont de grande amplitude). Malgré de nombreuses études, la compréhension de la physique impliquée reste très limitée, même dans l'approximation où l'on néglige toute interaction exceptée la gravité, et les prévisions reposent exclusivement sur des simulations numériques. Même si elles ont augmenté énormément en taille

Chercheurs et doctorants

M. Joyce,
F. Sicard,
T. Worrakitpoonpon

et complexité, ces simulations sont toujours limitées dans la gamme d'échelle qu'elles peuvent explorer. Elles utilisent par ailleurs des méthodes d'approximation — notamment une discrétisation en "macro-particules" dans l'utilisation de méthodes "à N corps" — dont le régime de validité n'est pas bien compris.

La motivation scientifique pour la recherche de ce groupe au cours des dernières années a été d'améliorer la compréhension théorique du régime non-linéaire de la formation des structures dans l'univers. On considère le cas d'une matière purement gravitante et non-relativiste, approximation valable pour une grande partie de l'évolution de l'univers dans le modèle standard de la cosmologie où la matière dominante est supposée sombre et froide. Le but est donc, plus précisément, d'approfondir notre connaissance de l'évolution dynamique de matière non-relativiste purement auto-gravitante permettant de ce fait une meilleure compréhension des simulations numériques, de leurs limites et des résultats qu'elles ont mis en évidence (p.ex. la nature des structures en "halos" et leur dépendance, ou indépendance, des conditions initiales et d'autres paramètres).

Etant donné qu'il s'agit de comprendre le comportement de tels systèmes dans la limite d'un très grand nombre de particules, il est naturel d'approcher ce problème dans le cadre de la physique statistique. Dans ce contexte, la gravité partage la difficulté commune à toutes les interactions à longue portée. Les méthodes standards de la mécanique statistique à l'équilibre ne peuvent notamment pas être utilisées. Les études de « modèles jouets » cherchant à dégager la physique essentielle dans un cadre simplifié ont notamment connu une activité importante ces dernières années. La recherche du groupe se place dans le cadre de ces travaux. Elle est ainsi interdisciplinaire entre cosmologie/astrophysique et physique statistique.

Le groupe et ses collaborations

Le groupe, actuellement constitué d'un permanent et de deux doctorants, collabore régulièrement avec des chercheurs à l'étranger et notamment avec des chercheurs de l'Instituto di Sistemi Complessi (institut du Centro Nazionale della Ricerca) et de l'Instituto E. Fermi à Rome. Au cours des deux dernières années des collaborations ont également mené à des publications avec des chercheurs de Princeton University (EU) et de l'Université de Nice.

Projets spécifiques

Dans ce contexte, l'activité de recherche au cours des années 2008-2009 s'est développée selon plusieurs axes. D'un côté, les projets de recherche déjà en cours sur les effets de discrétisation dans des simulations à N corps ont connu des développements. Une nouvelle étude numérique en trois dimensions de l'effondrement et de l'équilibration gravitationnelle à partir de certaines conditions initiales a été menée dans cette continuité. Ces recherches ont donné lieu à des publications dans la revue « Monthly Notices of the Royal Astronomical Society ».

D'un autre côté, une nouvelle approche plus théorique, basée sur l'étude de « modèles jouets » de la gravité à une dimension, a été développée et constitue le sujet principal de deux thèses en cours. Ce travail a mené à plusieurs publications dans Physical Review E, ainsi qu'à des travaux récemment soumis à d'autres revues de physique statistique.

Effets de discrétisation dans les simulations cosmologiques

Dans une étude réalisée en collaboration avec B. Marcos (Nice) et T. Baertschiger (Rome) des limites inférieures sur les erreurs systématiques dues à la discrétisation intrinsèque à la méthode « à N

corps » ont été déterminées. Plus spécifiquement, les différences ont été mesurées entre les spectres de puissance qui résultent de l'évolution à partir de conditions initiales cosmologiques identiques échantillonnées sur différents réseaux discrets. Un traitement théorique valable dans la limite des fluctuations à grande longueur d'onde a permis de vérifier l'interprétation des résultats dans cette limite. Les résultats permettent de tirer des conclusions sur les valeurs des paramètres introduits dans la simulation à N corps pour atteindre une précision souhaitée.

Etudes de virialisation de systèmes finis

Afin de mieux comprendre la relation entre des simulations à N corps et la limite continue qu'elles doivent modéliser dans le régime fortement non-linéaire, il est intéressant d'étudier des systèmes auto-gravitants isolés. Avec B. Marcos (Nice) et F. Sylos Labini (Rome) une première étude sur l'effondrement et la virialisation de particules initialement froides et disposées uniformément dans une région sphérique a été menée. Cela a mis en évidence des dépendances inattendues par rapport au nombre de particules, et notamment l'importance de l'énergie « éjectée » par le système sous la forme d'énergie cinétique de particules libérées. Le développement de cette étude dans le cas d'une dispersion non-nulle des vitesses initiales est en cours.

Dynamique et relaxation des systèmes gravitants en une dimension

En une dimension la gravité (Newtonienne) correspond à une force attractive entre particules indépendante de la séparation (équivalente à celle entre des plans infinis attirés par la gravité en trois dimensions). Ce modèle jouet pour des systèmes à trois dimensions a notamment l'intérêt d'admettre une résolution numérique « exacte » :

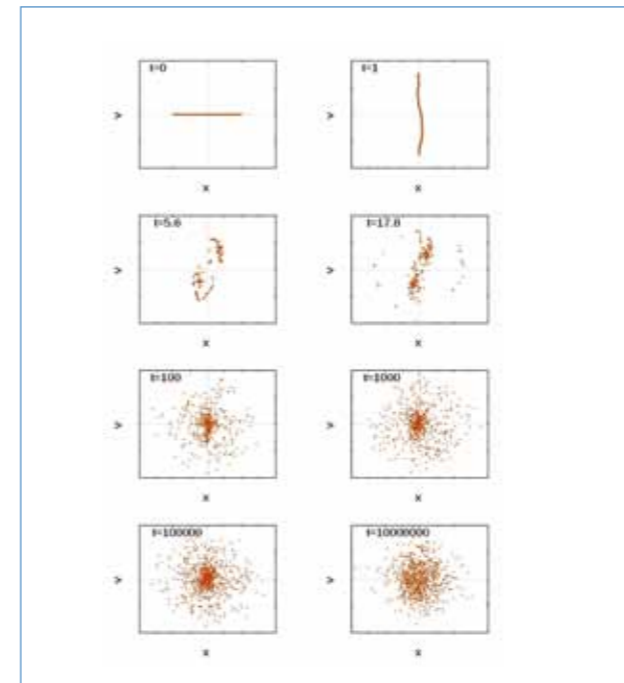


Figure 1

Évolution dans l'espace des phases (position x , vitesse v) d'un système auto-gravitant de 800 particules en une dimension (ici initialement froid et uniforme dans l'espace). On observe deux phases dans l'évolution: d'abord la formation d'un état dit « quasi-stationnaire » [analogue à un halo de matière noire en trois dimensions]; ensuite, à des temps beaucoup plus longs, la relaxation vers l'équilibre statistique de Boltzmann.

l'intégration des équations du mouvement se ramène à la solution d'équations algébriques (et non différentielles), la seule limite de précision étant celle de l'ordinateur.

Dans ce projet, qui fait partie de la thèse de T. Worrakitpoonpon, l'évolution (voir figure 1) de tels systèmes à partir de conditions initiales similaires à celles considérées dans l'étude en trois dimensions décrite ci-dessus a été étudiée en détail. Comme celle de la gravité en trois dimensions, cette évolution se divise en deux phases : une première phase de « relaxation violente » vers un état dit « quasi-stationnaire » (dont les états virialisés de type « halo » considérés ci-dessus sont un exemple) suivie d'une phase de « relaxation thermique » vers l'équilibre thermodynamique (quand celui-ci est défini). En utilisant un indicateur macroscopique adapté — une mesure d'« imbrication » dans l'espace des phases — cette dernière phase a été caractérisée et la

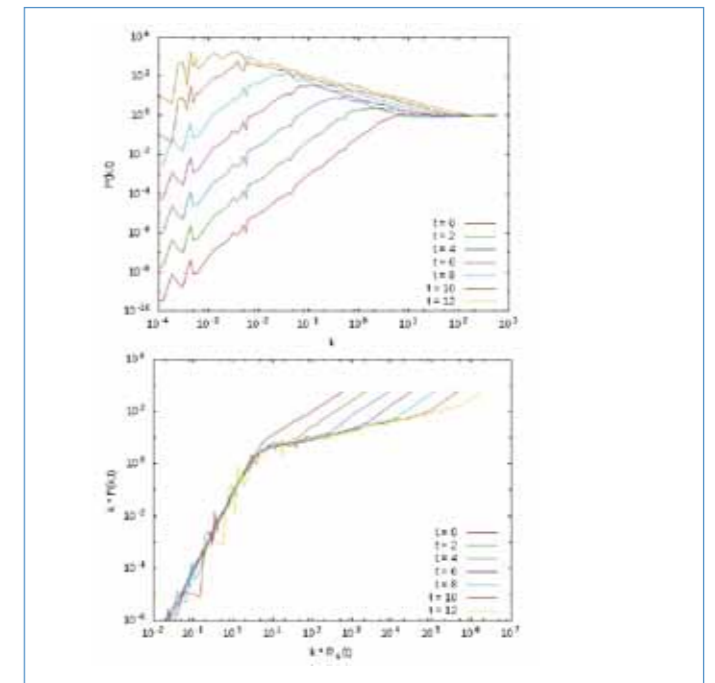


Figure 2

L'évolution du spectre de puissance $P(k,t)$ de la matière dans une simulation « cosmologique » à une dimension (modèle Einstein de Sitter ; le temps t indiqué est proportionnel à $\log |a|$, où a est le facteur d'échelle). Comme en trois dimensions on observe l'amplification linéaire des fluctuations à petit k , et le développement progressif du régime non-linéaire. Le graphique en dessous montre « l'auto-similarité » de cette évolution : les $P(k,t)$ se superposent lors d'un changement d'échelle donné par la théorie linéaire.

dépendance de sa durée en fonction du nombre de particules et des conditions initiales a été déterminée. Une étude de la dépendance des états quasi-stationnaires par rapport aux conditions initiales a également été menée. Ces résultats et méthodes sont actuellement en cours d'application aux systèmes « réels » en trois dimensions.

Définition et étude d'un modèle jouet des simulations cosmologiques

La définition d'un modèle de gravité en une dimension analogue aux simulations cosmologiques, c.à.d. dans un système infini, n'est pas aussi simple qu'on pourrait le penser : une force indépendante de la séparation entre les particules est mal définie dans un tel système. Dans une étude analytique menée lors du travail de thèse de F. Sicard, en collaboration avec M. Joyce et A. Gabrielli (Rome), il a été montré rigoureusement, qu'un tel modèle

devient bien défini en régularisant cette force par une procédure simple. L'étude numérique de ce modèle a ensuite montré (voir figure 2) qu'il présente des comportements qualitativement similaires à ceux observés en trois dimensions : une croissance « hiérarchique » des structures dont le moteur est l'amplification linéaire des fluctuations initiales, et, dans le cas de fluctuations initiales en loi de puissance, un comportement « auto-similaire » des corrélations. Etant donné la précision des simulations et la grande gamme d'échelles qui peut être sondée par celles-ci, ce modèle fournit un « jouet théorique » très intéressant pour aborder des questions ouvertes dans des systèmes analogues en trois dimensions. On voudrait comprendre, en particulier, de quelle manière les exposants caractérisant l'agrégation de matière dans le régime non-linéaire dépendent des conditions initiales et du modèle cosmologique.



NATURE ET ORIGINE DU RAYONNEMENT COSMIQUE

Quelle est l'origine du rayonnement cosmique de très haute énergie ? Quelle est sa composition ? Comment se propage-t-il ? Issus de phénomènes violents, les rayons cosmiques et les rayons gamma de très haute énergie offrent une fenêtre d'exploration de l'Univers à des énergies qui ne pourront jamais être étudiées par les accélérateurs de particules. De grands observatoires sont réalisés pour répondre au défi que représente le flux très faible de ces messagers. Aujourd'hui l'observatoire Auger en Argentine et le réseau de télescopes HESS installé en Namibie délivrent des données qui permettent de repousser les frontières en énergie et en sensibilité.



Depuis plus de six années, l'expérience HESS d'astronomie gamma des hautes énergies collecte des données en provenance du ciel austral. Dès les premières années, la quantité de sources astrophysiques découvertes au TeV a considérablement augmenté en nombre mais aussi en diversité. Alors que précédemment on comptabilisait essentiellement des noyaux actifs de galaxies, de nouvelles sources telles que des systèmes binaires, des galaxies à flambée d'étoiles ou des radio-galaxies sont venues enrichir le catalogue des sources émettrices au TeV. Les études actuelles portent sur des sources qui se situent à la limite de la sensibilité de l'instrument, elles analysent les moindres détails des objets observés. En trente années de recherche dans ce domaine le laboratoire a largement contribué au développement de cette discipline à travers les expériences THEMISTOCLE, CAT, HESS et maintenant HESS 2 et ceci, dans la construction de l'appareillage comme dans l'étude des sources astrophysiques. Enfin, les projets futurs tels que le CTA, dans lequel le laboratoire joue un rôle majeur, offriront de nouvelles possibilités de découvertes.

Chercheurs et doctorants

M.R. Ahrouaz,
J. Bolmont,
A. Charbonnier,
A. Jacholkowska,
O. Martineau-Huynh,
D. Maurin,
C. Naumann,
M. de Naurois,
J-P. Tavernet
P. Vincent

Équipe technique

W. Bertoli,
P. Corona,
P. Ghislain,
C. Goffin,
L. Guevara,
A. Guimard,
J-F. Huppert,
H. Lebbolo,
O. Ledortz,
P. Nayman,
J-M. Parraud,
N. Roche,
R. Sefri,
F. Toussenel,
D. Vincent

Notre compréhension des objets astrophysiques dans le domaine des rayonnements γ entre une centaine de GeV et quelques dizaine de TeV, a considérablement progressé ces dernières années. La technique d'imagerie Cherenkov au sol a atteint une pleine maturité. Elle consiste à reconstruire l'énergie et la direction des gerbes atmosphériques, engendrées par l'interaction des photons gamma dans la haute atmosphère, à travers le rayonnement Cherenkov collecté par des télescopes au sol. Ce domaine de recherche a comme objectif de comprendre les mécanismes de production et d'accélération des particules dans des sites astrophysiques tels que les supernovæ, les pulsars ou les noyaux actifs de galaxies (AGN), galaxies renfermant vraisemblablement, en leur centre, un trou noir dont l'activité engendre des jets de particules ultra-relativistes (que nous détectons). L'utilisation des rayonnements gamma, particules de charge électrique nulle ne subissant pas de déflexion dans des champs magnétiques, permet de localiser ces objets et ainsi de trouver l'origine des rayonnements cosmiques que nous observons sur terre.

Le groupe du LPNHE collabore depuis 1998 à l'expérience HESS.

L'EXPÉRIENCE HESS

P. Vincent

La première phase du programme consiste en un réseau de quatre télescopes à effet Cherenkov, installé en Namibie à environ 1 800 mètres d'altitude dans la région quasi-désertique du Gamsberg. Le laboratoire a conçu et réalisé l'ensemble de l'électronique de lecture et de déclenchement des quatre caméras qui équipent ces télescopes ainsi que les systèmes d'acquisition associés. Il a développé les programmes de gestion des bases de données et de communication entre les différentes composantes de l'expérience. Le groupe a été maître d'œuvre dans l'assemblage des caméras, leur installation et leur mise en service et il assure désormais leur maintenance. Il a également développé les systèmes de calibrage du détecteur, les programmes de simulation et d'analyse de l'expérience, contribuant ainsi activement aux plus de quatre-vingt articles publiés par la collaboration. Pendant les années 2008 et 2009, le laboratoire s'est consacré à des études originales comme l'étude du fond diffus cosmologique, la recherche de matière noire dans les galaxies naines sphéroïdales avoisinant notre Voie Lactée, la recherche d'un indice de violation de l'invariance de Lorentz. Il a également contribué à la découverte de nouvelles sources astrophysiques

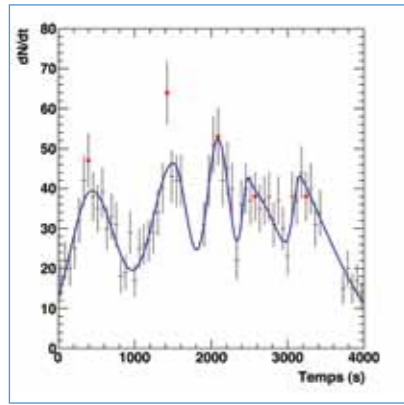


Figure 1
Courbe de lumière du noyau actif de galaxie PKS 2155-304.

situées à la limite de la sensibilité de l'instrument.

L'invariance de Lorentz

La violation de l'invariance de Lorentz est prédite par certains modèles de Gravitation Quantique. Il est possible de tester cette invariance en recherchant des écarts temporels dans le temps d'arrivée de photons de différentes énergies émis simultanément par une source. Pour mesurer de tels effets, il est essentiel de disposer de photons d'écart en énergie important et de sources lointaines. D'autre part, les sources doivent être variables pour pouvoir mesurer des écarts temporels. Les sources lointaines telles que les sursauts gamma ou les noyaux actifs de galaxie sont bien adaptés à ces études. Des analyses menées au laboratoire sur le noyau actif de galaxie PKS 2155-304 (voir figure 1), longtemps observé pour ses fortes variabilités, ont permis de déterminer des limites inférieures sur l'échelle en énergie de la gravitation quantique.

Recherche de matière noire

La découverte par l'expérience HESS d'une émission diffuse de rayonnement gamma de très haute énergie en provenance d'un ensemble de nuages de gaz proches du centre de la Voie Lactée a révélé, pour la première fois, l'origine des rayonnements cosmiques.

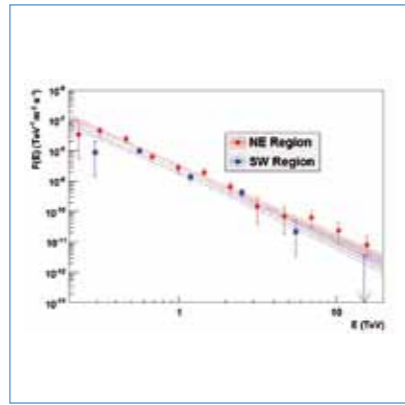


Figure 3
Spectre en énergie du reste de supernovæ SN 1006 estimé dans deux régions (nord-est et sud-ouest) de la coquille.

L'émission de gammas diffus dans la Galaxie est un phénomène complexe. Au signal provenant de sources variées s'ajoute l'émission due à l'interaction du rayonnement cosmique avec le gaz du milieu interstellaire. Ce rayonnement, confiné dans la Galaxie par des champs magnétiques, provient de multiples sources éloignées des zones d'interaction. A ce signal se superpose une composante extragalactique qui prend de l'importance à haute énergie. Les enjeux de ces études sont non seulement de comprendre et de modéliser ces phénomènes, mais aussi d'essayer de déceler des écarts aux prédictions pouvant être attribués à la présence de matière noire. Des techniques d'analyse adaptées à ce signal sont à l'étude pour comparer les différentes régions du ciel et confronter les modèles.

Une autre piste pour révéler la présence de matière noire est l'observation des spectres d'émission des galaxies naines sphéroïdales avoisinant la Voie Lactée. Des observations dans d'autres longueurs d'onde permettent d'avancer l'hypothèse selon laquelle elles renfermeraient une quantité importante de matière noire. Dans la continuité des études effectuées sur le centre galactique, le laboratoire s'est consacré, ces deux dernières années, aux observations de ces objets. Nous avons soumis des

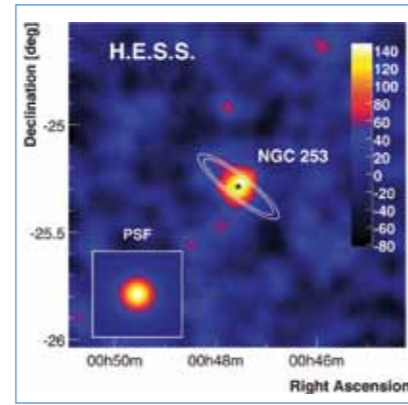


Figure 4
Image de NGC 253 à très haute énergie. L'étoile noire montre la position du centre de NGC 253 reconstruite en optique. Les contours en blanc montrent la forme elliptique de la galaxie.

propositions d'observation, effectué des analyses complètes notamment sur la galaxie Carina et participé à des analyses complémentaires sur d'autres telles que la galaxie naine Scultor amenant ainsi de nouvelles contraintes sur les modèles de matière non baryonique.

Sources astrophysiques

Dans le domaine des sources astrophysiques, l'évolution des techniques d'analyse développées au LPNHE a permis d'augmenter significativement la sensibilité de l'expérience et a ainsi permis d'observer des sources de plus en plus faible flux. C'est le cas du reste de supernovæ SN1006 et de la galaxie à flambée d'étoile NGC 253.

La première observation de la supernova SN1006 a été effectuée par des astronomes chinois. Bien plus tard, des observations dans le domaine des rayonnements X mirent en évidence l'émission non thermique de cette source. La première annonce de détection de cette supernova en coquille aux énergies du TeV fut faite par les collaborations CANGAROO I et II. Mais quelques années plus tard, ce résultat fut infirmé par la collaboration HESS qui obtint une limite supérieure sur le flux de cette source bien au-dessous des mesures de CANGAROO (ces dernières furent par la suite attribuées à une mauvaise prise en compte des incertitudes systématiques expérimentales).

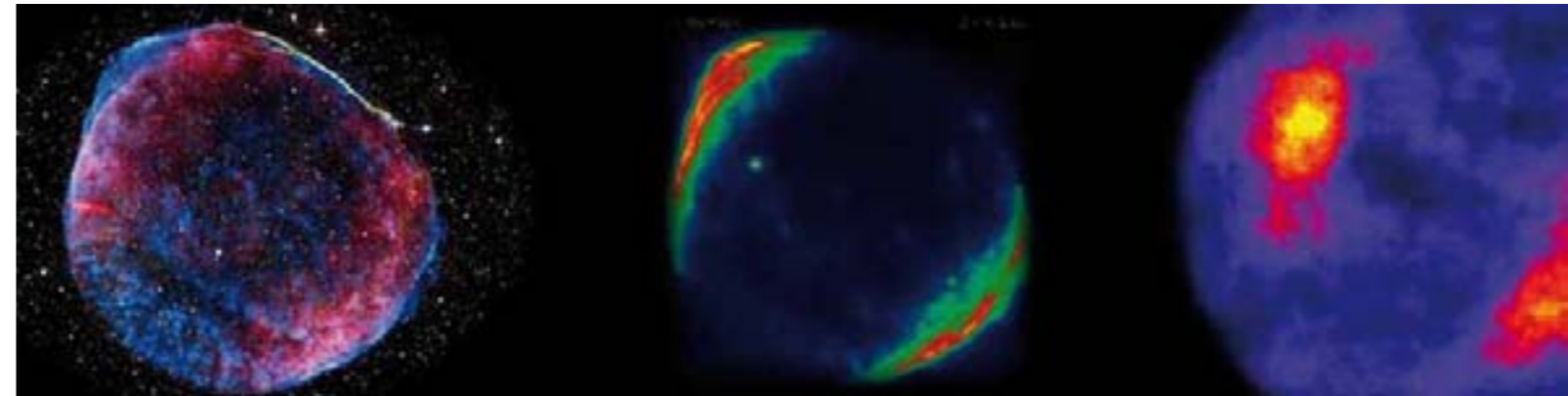


Figure 2
Image du reste de supernovæ SN 1006 reconstruite dans différents domaines de longueur d'onde. A gauche, une image composite comprenant le domaine des X (en bleu) de l'observatoire Chandra, des données optiques (teintes jaunâtres) et le domaine radio (rouge) (crédit: NASA, ESA, Zolt Levay (STScI)). Au centre, une image du satellite XMM (2 à 4.5 keV). La partie droite est une vue obtenue par l'expérience HESS (400 GeV à 20 TeV).

C'est en cumulant 103 heures d'observations effectuées sur près de cinq années entre 2003 et 2008, que la collaboration HESS a pu enfin annoncer une détection de cette source à un niveau de flux encore bien inférieur à la limite précédemment avancée. Ce signal s'étend dans la région nord-est de la coquille de cette supernova avec une significativité de plus de 5 écarts-standards. Puis, un deuxième excès est apparu dans le secteur sud-ouest (voir figure 2). Ainsi, la morphologie de la source de rayons gamma de haute énergie est assez similaire à la source reconstruite en rayons X et les deux régions d'émission présentent des indices spectraux très similaires (figure 3).

Un nouveau type de source extragalactique a fait l'objet d'une découverte récente. Il s'agit de la première galaxie à flambée d'étoiles jamais observée au TeV. La galaxie NGC 253, située dans l'hémisphère sud à une distance d'environ 10 millions d'années-lumière, se caractérise par un taux élevé de formation d'étoiles massives dans des régions localisées. Celles-ci explosent à la fin de leur cycle de vie en supernovæ produisant un flux élevé de rayons cosmiques.

HESS a réussi à établir une émission gamma en provenance de cette galaxie en accumulant 119 h d'observation et en utilisant des techniques avancées d'analyse d'images. La comparaison avec des données obtenues en optique

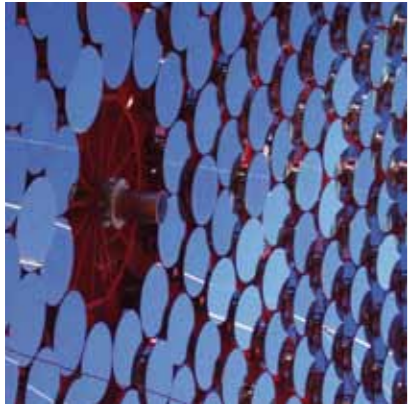
montre clairement que ces émissions proviennent de la région centrale de la galaxie, là où la concentration de supernovæ est la plus grande (figure 4). C'est le premier objet extragalactique détecté en rayons gamma de très haute énergie dont le mécanisme d'accélération ne fait pas intervenir des jets comme dans le cas des AGN. Dans cette nouvelle source, l'émission de rayons gamma est alimentée par des explosions de supernovæ, plutôt que par l'effondrement de matière sur un trou noir super massif.

Avec un flux correspondant à 0,3 % du flux de la nébuleuse du Crabe, NGC 253 représente la plus faible source de gamma de très haute énergie détectée jusqu'à présent. Le niveau du flux observé est bien compatible avec les estimations théoriques basées sur le taux de supernovæ observé dans NGC 253. La gamme dynamique de près de quatre ordres de grandeur entre les plus faibles flux et les sources les plus intenses observées jusqu'à présent illustre bien l'évolution des capacités des détecteurs actuels.

Depuis l'année 2004, le groupe est engagé dans la seconde phase du projet HESS qui consiste à ajouter au centre du réseau actuel un cinquième télescope doté d'une focale de 35 mètres, un miroir de ~600 m² pour un poids total de 500 tonnes. Avec ce cinquième élément, le seuil devrait atteindre une vingtaine de GeV et la sensibilité totale du réseau va augmenter de près d'un ordre de

grandeur. Ces deux dernières années, ce projet est entré en pleine phase de construction. Elle devrait s'achever en 2011 par l'installation d'une nouvelle caméra équipée de 2048 détecteurs de photons et d'une électronique de lecture et de déclenchement entièrement redéfinies. Le groupe du LPNHE coordonne la construction de la contribution française. Outre la responsabilité de l'ensemble de l'électronique de la caméra, il a aussi celle des détecteurs de photons et différents systèmes d'acquisition. Entre les années 2008 et 2009, s'est déroulée la phase finale de construction et de mise au point de cette cinquième caméra. Les 150 tiroirs d'électronique équipés de photomultiplicateurs ont été complètement testés avec des sources de lumière contrôlées. Une fois assemblée, toutes les fonctionnalités de la caméra ont été évaluées. Le teste ultime, réalisé au LPNHE, a été la détection de muons atmosphériques par la caméra. Le 14 décembre 2009, la caméra a quitté le laboratoire. Ces activités sont détaillées par les services techniques dans ce document.

Alors que la collaboration s'est vue attribuer le prix européen Descartes en 2006, elle a été couronnée du prix Rossi en 2010 par l'American Astronomical Society. Enfin, pendant ces deux dernières années, le groupe d'astronomie gamma du LPNHE avec une trentaine de laboratoires européens poursuit son travail sur la prochaine génération d'instrument au sol que constitue le projet CTA.



Le « Cherenkov Telescope Array » (CTA) constitue le futur projet européen d'observatoire pour l'étude des rayonnements gamma de très hautes énergies. Ce projet consiste en un réseau d'une centaine de télescopes Cherenkov de nouvelle génération déployés, sur deux sites; le premier, dans l'hémisphère sud, où pourront être étudiées les sources galactiques avec une grande sensibilité sur un vaste spectre en énergie et le second, dans le nord, où seront observées les régions extragalactiques. Ce projet s'inscrit dans la suite des expériences européennes HESS et MAGIC, qui ont ouvert l'investigation du cosmos aux très hautes énergies avec la détection d'une centaine de sources de types très divers telles que les restes de supernovæ, les nébuleuses de vents de pulsars et les pulsars, les systèmes binaires, les amas d'étoiles, le milieu interstellaire diffus, le centre galactique, les blazars et autres radio-galaxies, les galaxies à flambée d'étoiles et de nouvelles sources cosmiques détectées, à ce jour, exclusivement au TeV. Après ces travaux précurseurs, le projet CTA ouvrira l'exploration en profondeur de notre univers en rayons gamma au-delà de quelques dizaines de GeV et étudiera pleinement les processus cosmiques extrêmes qui sont mis en jeu.

CTA : FUTUR OBSERVATOIRE EUROPÉEN POUR L'ASTRONOMIE γ DES TRÈS HAUTES ÉNERGIES

P. Vincent

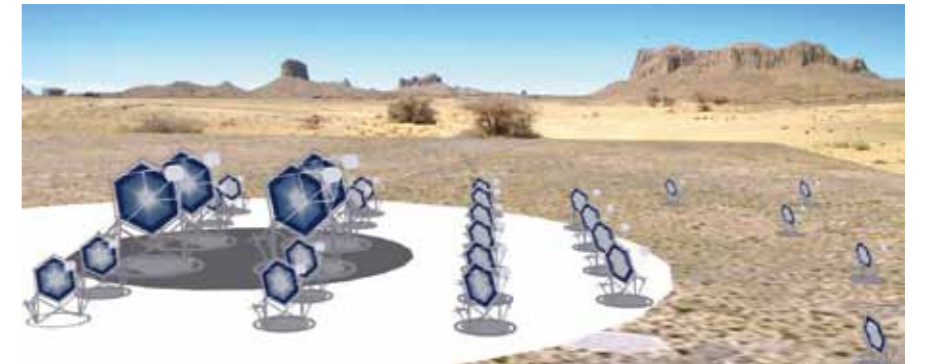


Figure 1
Vue d'artiste du futur réseau de télescopes à effet Cherenkov, CTA.

Chercheurs et doctorants

J. Bolmont,
A. Jacholkowska,
D. Maurin,
C. Naumann,
M. de Naurois,
J.-P. Tavernet
P. Vincent

Équipe technique

P. Corona,
C. Goffin,
J.-F. Huppert,
P. Nayman,
J.-M. Parraud,
N. Roche,
F. Toussenel

Les objectifs scientifiques du projet CTA (figure 1) peuvent être déclinés en trois principaux thèmes : comprendre l'origine des rayons cosmiques et leur impact sur les constituants de l'Univers, révéler la nature et la variété des accélérateurs de particules et enfin rechercher la nature ultime de la matière noire et étudier les phénomènes physiques au-delà des modèles standards.

Comprendre l'origine des rayons cosmiques consiste à étudier les phénomènes physiques intervenant dans les accélérateurs de particules galactiques tels que les pulsars et les nébuleuses de vent de pulsars, les restes de supernovæ, et les systèmes binaires ainsi que l'impact de particules accélérées sur leur environnement. Étudier la nature des accélérateurs cosmiques pourra être possible pour CTA qui sera en mesure de détecter un grand nombre d'objets de chaque type pour permettre des études de population.

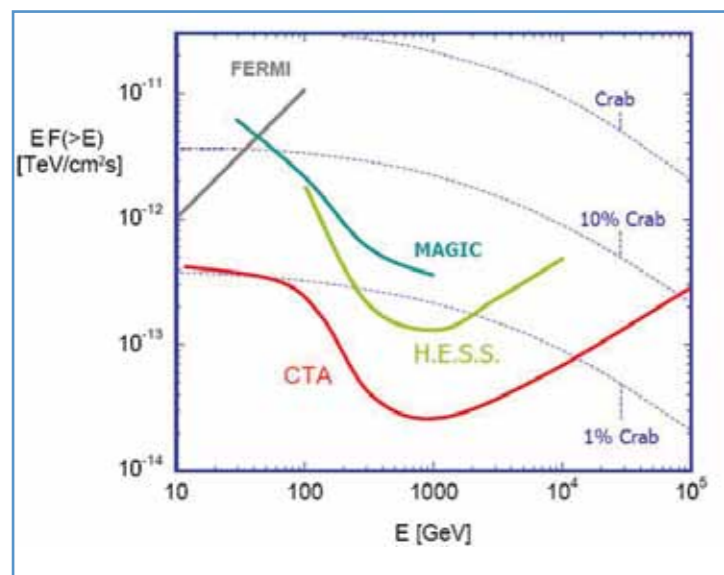


Figure 2

Courbes de sensibilité du réseau CTA (en rouge) comparée aux expériences actuelles au sol (bleu et jaune) et embarquée sur satellite (vert).

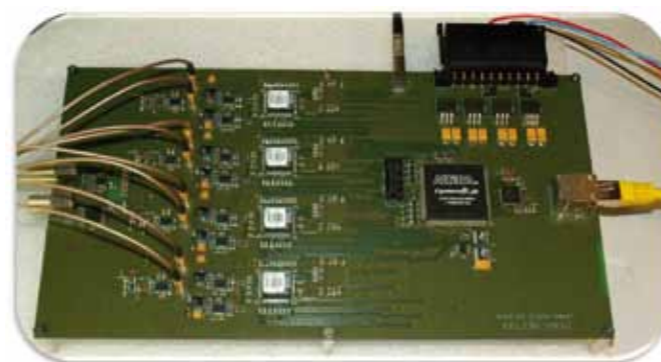


Figure 3

Prototype de carte électronique pour CTA.

Cette augmentation du nombre de sources est due dans le domaine des énergies intermédiaires à une augmentation de la sensibilité du système d'un ordre de grandeur par rapport aux expériences existantes, aux basses énergies, à la diminution du seuil en énergie qui ouvrira la voie à la détection d'AGN lointains et enfin, à l'exploration des très hautes énergies, au-dessus d'une centaine de TeV (figure 2). Le dernier thème, abordé par CTA, a trait à la nouvelle physique. Il comprend la recherche de la matière noire par la détection d'éventuelles annihilations dans les canaux amenant à des gamma, les tests de l'invariance de Lorentz, et toutes autres signatures observationnelles qui pourraient changer notre description la plus fondamentale de l'Univers.

Deux sites sont prévus pour garantir l'accès à l'ensemble du ciel. Le principal sera dans l'hémisphère austral étant donnée la multitude de sources dans les régions centrales de notre Galaxie et la richesse de leur morphologie. Un site complémentaire dans l'hémisphère nord, optimisé pour les « basses » énergies (entre 10 GeV et 1 TeV) sera principalement

dédié à l'étude des AGN, de l'espace extragalactique et des aspects cosmologiques.

Le LPNHE a acquis une très grande compétence dans la construction de caméras dédiée à la détection des gerbes de particules atmosphériques et il coordonne, au sein de ce projet, le groupe de travail sur l'électronique des caméras qui équiperont ces futurs détecteurs. Il participe également à trois autres groupes de recherche dévoués notamment à l'étude des objectifs scientifiques, aux développements de simulations pour définir les caractéristiques du système, et à l'étude des détecteurs de photons. En 2008, le groupe a été doté d'un BQR de l'UFR de physique de Paris 6 pour développer cette dernière partie. Il a développé les bancs de tests installés au laboratoire pour tester les nouveaux photomultiplicateurs qui équiperont les caméras de CTA.

En 2009, le groupe est entré dans un programme d'étude financé par l'ANR pour le développement d'une nouvelle architecture pour la partie avancée de l'acquisition des signaux des caméras. Ce programme du

nom de NECTAr (New Electronics for Cherenkov Telescope Array) s'étalera sur une durée de trois ans, entre 2009 et 2011. Il devra aboutir à la construction d'un module de détection autonome incluant l'ensemble des caractéristiques d'une caméra. Un premier prototype a été construit (figure 3) pour tester une partie de l'intégration des composants ainsi que le transfert des données directement sur un lien Ethernet. Un prototype plus complet est en cours de développement.

En parallèle, un travail de simulation important a été engagé pour déterminer les paramètres essentiels de l'électronique des caméras ainsi que pour étudier différentes stratégies de déclenchement des caméras. L'ampleur du projet nécessite le développement de systèmes de déclenchement plus élaborés pour sélectionner efficacement le signal tout en réduisant le flot de données transférées aux systèmes de stockage.

L'OBSERVATOIRE PIERRE AUGER

A. Letessier-Selvon



Le site Sud de l'Observatoire Pierre Auger (Argentine) exploite ses données depuis début 2004 et est complet depuis 2008. Le site Nord (Colorado) est en phase de R&D. Certains résultats sont confirmés (coupure dans le spectre à l'énergie GZK, limites supérieures pour les photons et neutrinos). D'autres doivent être affinés : l'anisotropie à très haute énergie annoncée fin 2007 est toujours statistiquement significative, mais son amplitude et son interprétation sont à préciser. Des indicateurs de composition sont extraits des données de fluorescence et de surface, sans aboutir encore à une synthèse conclusive. L'équipe LPNHE est impliquée dans l'acquisition centrale, dans la compréhension et l'analyse du détecteur de surface et des biais liés aux conditions de fonctionnement, dans l'évaluation de l'acceptance et dans l'analyse physique, notamment les anisotropies et la recherche de neutrinos. Elle se tourne aussi vers de nouvelles méthodes d'identification, soit avec les données existantes, soit avec des antennes radio à installer sur les cuves Cherenkov du site Sud en Argentine.

Chercheurs et doctorants

J. Aublin,
P. Billoir,
S. Gambetta,
A. Letessier-Selvon
C. Macolino,
I. Maris,
M. Münchmeyer,
P. Thi Tuget Nhung

Équipe technique

R. Randriatoamanana



L'énigme des rayons cosmiques d'ultra-haute énergie (RCUHE) au-dessus de 10^{19} eV n'est pas encore

totalément élucidée, malgré les résultats obtenus dans les dernières années, dominées par l'Observatoire Pierre Auger. Il est pratiquement acquis que le spectre présente bien une coupure au-delà de 5.10^{19} eV, comme prévu par le mécanisme GZK (interaction avec le fond cosmique de rayonnement), et que les modèles "top-down" plus ou moins exotiques avancés à la fin du siècle dernier pour expliquer une apparente prolongation du spectre, n'ont plus la même raison d'être ; en outre, ils sont défavorisés

par les limites supérieures sur les flux de photons et neutrinos, pour lesquels aucune observation positive n'est apparue dans les expériences qui y sont sensibles. Par contre, les sources des RCUHE, très probablement extragalactiques, ne sont pas identifiées et leur composition (vraisemblablement dominée par des protons, des noyaux de fer ou un mélange des deux) n'est pas clairement établie ; son évolution avec l'énergie reste controversée.

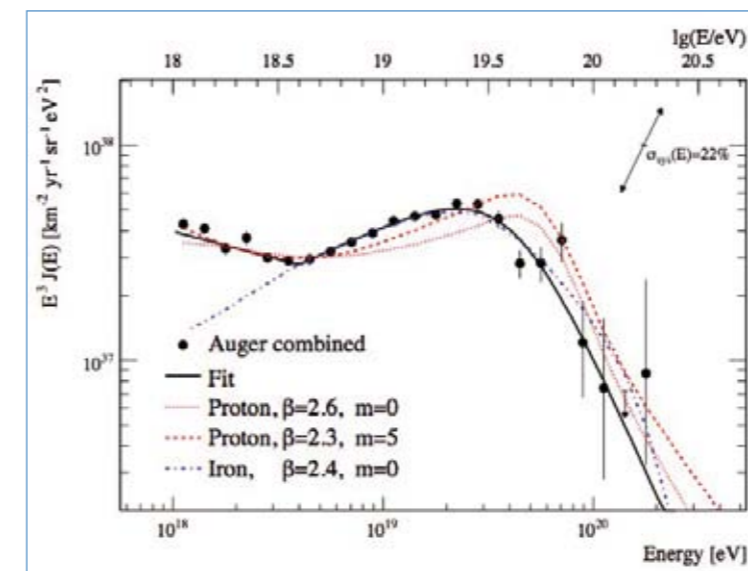


Figure 1

Spectre d'énergie combiné (réseau de surface + fluorescence) mesuré par Auger. Différentes prédictions théoriques sont représentées à titre d'illustration : pour une composition pur proton en rouge, pur fer en bleu et pour différentes valeurs de l'indice spectral (beta) d'injection des particules primaires et pour une évolution cosmologique de la luminosité des sources en $(1+z)^m$. La courbe noire n'est pas un modèle physique, elle représente un fit des données avec une fonction lisse.

L'Observatoire

L'Observatoire Pierre Auger est au départ l'association d'un détecteur de surface (SD), réseau triangulaire de 1 600 détecteurs de particules (cuves à effet Cherenkov dans l'eau), espacées de 1 500 m, couvrant 3 000 km² à une altitude de 1 400 m, et d'un détecteur de fluorescence (FD), ensemble de 24 télescopes sur 4 sites sur la périphérie du SD, observant la lumière de désexcitation de l'azote atmosphérique pendant les nuits claires sans lune. La configuration nominale a été achevée courant 2008, et complétée par un sous-réseau plus dense et des télescopes relevables pour explorer un domaine d'énergie plus bas. Le déclenchement et l'acquisition coordonnés de l'ensemble a permis de fonctionner continûment et de fournir des données exploitables depuis le début de 2004 : environ 8 millions de déclenchements par le SD (dont un tiers correspond à des gerbes atmosphériques), et environ dix fois moins de déclenchements par le FD. Dans ce dernier cas, les événements peuvent être vus simultanément par le SD, soit dans une ou deux stations (hybrides « simples » permettant une reconstruction plus précise de

l'axe de la gerbe et de son profil longitudinal), soit dans trois ou plus (hybrides « en or » permettant une reconstruction indépendante par FD et SD, et donc une calibration croisée des deux détecteurs).

Fonctionnement

L'équipe du laboratoire avait au départ la responsabilité de l'acquisition centrale (CDAS) et a assuré sa maintenance et son extension aux détecteurs nouveaux. Par ailleurs, elle a participé au suivi de l'efficacité du SD, à l'identification des causes de déficience et au calcul de tables d'acceptance instantanée, tenant compte de l'état du réseau connu à chaque seconde grâce aux outils inclus dans le logiciel du CDAS. Ces tables sont à la base du calcul du spectre, des limites supérieures sur les flux de photons et neutrinos, et jouent un rôle fondamental dans les études d'anisotropie. Elle a également contribué aux logiciels de reconstruction des événements SD, notamment pour l'amélioration et l'évaluation précise de la résolution angulaire.

Résultats

La forme du spectre (figure 1) montre clairement deux ruptures de pente

: la première (la « cheville »), vers 3.10^{18} eV, était observée depuis longtemps ; la seconde, vers 5.10^{19} eV, déjà annoncée par la collaboration en 2007, est clairement confirmée en 2009 et correspond à ce qu'on attend du mécanisme de perte d'énergie des protons (effet GZK), ou de photo-désintégration des noyaux lourds par interaction avec le fond de rayonnement cosmologique. La comparaison de deux chaînes de reconstruction (dont une mise au point en grande partie au laboratoire) montre que ce résultat est robuste. Par ailleurs, le spectre obtenu avec les événements hybrides est compatible avec le spectre SD (mais il ne peut pas encore être prolongé au-delà de l'énergie GZK, par manque de statistique).

L'observation de l'anisotropie des directions d'arrivée des rayons cosmiques aux énergies supérieures à 60 EeV a donné lieu à une publication dans la revue Science en 2007. Après avoir doublé le nombre d'événements, l'anisotropie est toujours statistiquement significative, mais son amplitude a décliné et son interprétation est encore à préciser. L'équipe a développé de nouvelles méthodes d'analyse de la distribution angulaire, qui ont été appliquées en

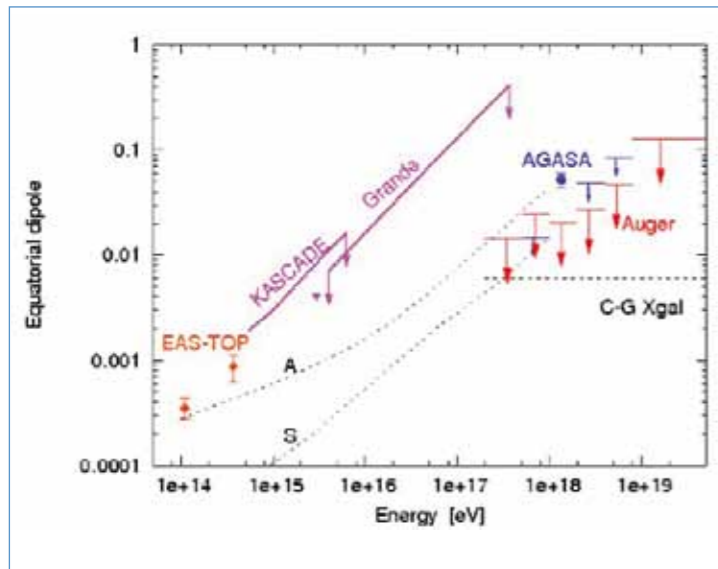


Figure 2

Limites supérieures obtenues par Auger sur l'amplitude d'un dipôle équatorial en fonction de l'énergie. Les prédictions de 2 modèles de champ magnétique galactique (symétrie A ou S) ainsi que l'amplitude du dipôle lié à l'effet Compton-Getting sont représentées.

utilisant différents catalogues de sources astrophysiques. Ce travail a donné lieu à une publication à l'ICRC 2009 et une publication de la collaboration Auger est en cours d'élaboration.

La mesure de l'anisotropie à grande échelle angulaire en fonction de l'énergie autour de 10^{18} eV est d'une grande importance pour déterminer l'origine (galactique ou extra-galactique) des rayons cosmiques. On s'attend à observer une modulation dipolaire du flux de rayons cosmiques de l'ordre du pour-cent ou moins. Cette mesure nécessite donc de connaître l'acceptance du détecteur avec une précision meilleure et de contrôler les différentes sources d'erreurs systématiques. Une analyse de la première harmonique en ascension droite a été effectuée, et a permis de placer des limites supérieures contraignantes (figure 2). L'équipe a également étudié les effets du champ géomagnétique qui produit une modulation du taux d'événements en fonction de leur direction d'arrivée par rapport au champ. Cet effet peut induire une anisotropie dipolaire sur le ciel de l'ordre de 3 %, du même ordre de grandeur que l'anisotropie

intrinsèque recherchée, ce qui rend très difficile toute analyse en 2D de la distribution angulaire.

La recherche d'interaction de neutrinos s'est poursuivie et complétée. D'une part, la recherche de neutrinos tau ascendants par le mécanisme « earth skimming » (interaction dans la terre puis désintégration dans l'atmosphère du lepton tau), mise au point au laboratoire, a été appliquée aux nouvelles données, et a fourni une limite supérieure compétitive pour le flux aux énergies voisines de 1 EeV, publiée en 2009 (figure 3). D'autre part, la recherche de neutrinos descendants (interaction atmosphérique) a été formalisée et a permis d'établir indépendamment une autre limite dans le même domaine d'énergie. Le résultat, annoncé à l'ICRC 2009, va être soumis à publication.

Pour les deux approches, l'évaluation des erreurs systématiques a été raffinée. L'absence de candidats après sélection, jointe à un résultat analogue pour les photons, rend moins plausibles les modèles dits « top-down » avancés naguère pour expliquer un prolongement supposé

du spectre au-delà de l'énergie GZK (par ailleurs devenus inutiles depuis l'observation de la coupure). Par contre, le mécanisme GZK prévoit un flux de neutrinos qui devrait être observé ou exclu par l'Observatoire en peu d'années, compte tenu de la grande sélectivité qui a été obtenue. L'identification des particules primaires engendrant les gerbes est un point crucial et incontournable pour la compréhension de l'origine des CRUHE. La méthode traditionnelle basée sur le profil longitudinal des gerbes, observé directement par le FD, exploite le fait que plus la particule primaire est lourde, plus l'évolution de la gerbe est rapide (plus faible valeur de la profondeur du maximum de développement X_{max}). Les données actuelles du FD suggèrent une transition vers des noyaux plus lourds entre la « cheville » et la coupure GZK, mais les incertitudes sur les modèles d'interaction hadronique à très haute énergie (nettement au-delà de la zone couverte par les collisionneurs) ne donnent pas de conclusions inambigües sur la composition ; et le manque de statistique ne permet pas de confirmer une telle évolution au-delà de la coupure GZK.

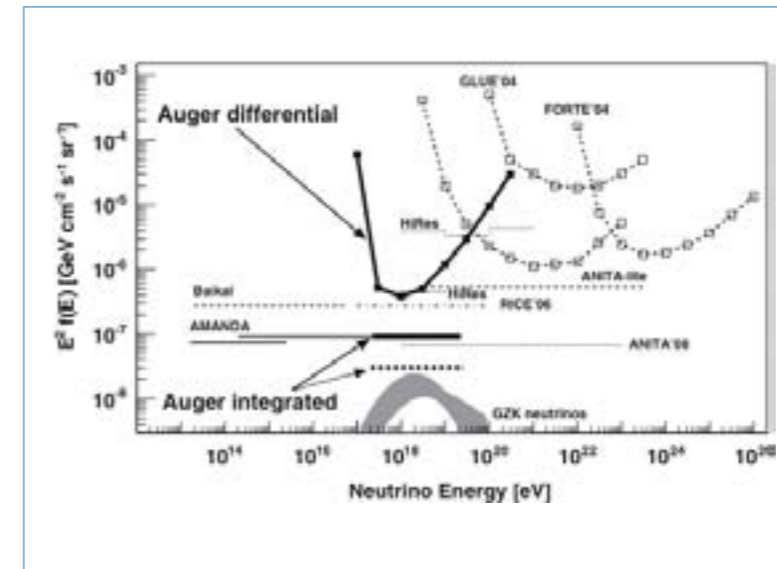


Figure 3

Limites à 90 % CL pour chaque saveur de neutrino en faisant l'hypothèse d'un flux diffus avec des proportions égales de chaque saveur (oscillation des neutrinos). La limite Auger en trait pointillé correspond au scénario le plus optimiste pour l'estimation des systématiques, les lignes en trait plein au plus pessimiste.

En principe, le SD est lui aussi sensible à l'état d'avancement de la gerbe au niveau du sol, et donc indirectement à la composition, et il a l'avantage de fournir un très grand nombre d'événements, avec une reconstruction dont la précision s'améliore avec l'énergie. Par contre, même si l'échelle d'énergie peut être calibrée sur celle du FD, les variables sensibles à la composition ont d'importantes erreurs systématiques dues à la modélisation des interactions hadronique. En outre, les signaux dans les cuves Cherenkov donnent un poids important aux muons, dont le signal se superpose à celui des photons et électrons, sans pouvoir être résolu dans la plupart des cas. Différentes méthodes utilisant la forme en temps des signaux, ou une séparation partielle ou indirecte entre les composantes muonique et électromagnétique de la gerbe, ont donné des résultats compatibles avec ceux du FD, mais encore peu contraignants. D'autre part, ces méthodes suggèrent que la composante muonique est plus importante dans la réalité que dans les prédictions des simulations, même si les primaires sont des noyaux de fer (les plus lourds

raisonnablement envisageables). Notre équipe, qui a suggéré il y a quelques années différentes pistes pour analyser la composante muonique, continue cet effort sur les données actuelles. Ainsi, le comptage des désintégrations de muons de faible énergie (observation des électrons tardifs dans les cuves) a fait partie de la thèse (en cotutelle avec Hanoi) de Pham Thi Tuyet Nhung. D'autres méthodes sont en développement, comme l'exploitation des asymétries des signaux de gerbe dans le SD. Pour améliorer significativement l'information fournie par ce détecteur, des extensions matérielles sont fortement souhaitables. Ce point est traité dans le paragraphe suivant.

Amélioration et extension du détecteur

L'identification des primaires ne sera sans doute pas résolue clairement par la seule accumulation statistique, ni par l'accroissement de la superficie que fournira le site Nord de l'Observatoire; elle nécessite une information qualitativement complémentaire, notamment pour la séparation muonique/

électromagnétique. Dans ce contexte, notre équipe propose l'intégration d'antennes radio à l'acquisition des cuves, asservies au système de déclenchement local existant (proposition faite au programme interdisciplinaire Particules-Univers, qui a obtenu un financement pour les études de R&D). Cette approche a l'avantage d'être simple à mettre en œuvre sur le réseau existant, et d'éviter d'avoir à fixer un seuil élevé pour réduire le flux de données. Elle viendrait en complément des autres installations de réseaux d'antennes en cours sur le site, qui visent un fonctionnement autonome par rapport au SD et au FD. Si une détection en micro-ondes (essentiellement isotrope) s'avère possible aux énergies supérieures à 10 EeV, le profil longitudinal électromagnétique pourra être obtenu par l'ensemble des observations sur les cuves entourant le cœur, et fournira une information de qualité comparable à celle du FD, avec une statistique bien plus importante. Par soustraction, la composante muonique pourra être évaluée.



ACTIVITÉS INTERDISCIPLINAIRES

Les sciences ont une tendance certaine à la segmentation disciplinaire et à la spécialisation des scientifiques. Ceci résulte d'un développement très important des connaissances et des problématiques scientifiques qui limite de plus en plus le champ d'action individuel. Néanmoins, certains problèmes scientifiques nécessitent la mise en commun des connaissances et des savoir-faire de plusieurs champs disciplinaires et donc la mise en place de projets interdisciplinaires.

En retour, le travail à l'interface de plusieurs disciplines est souvent générateur de nouvelles idées et de transferts méthodologiques ou technologiques susceptibles de faire avancer les problématiques importantes de chaque champ disciplinaire.

Si l'interdisciplinarité ne se décrète pas, elle doit trouver les moyens de s'épanouir à chaque fois qu'apparaît un nouveau projet, le plus souvent né de la rencontre intellectuelle de scientifiques provenant d'horizons très différents se découvrant une problématique commune. A ce titre, le LPNHE encourage toutes les initiatives prises par ses chercheurs, ses enseignants-chercheurs ou ses ingénieurs de recherche et accueille en son sein de nouveaux projets interdisciplinaires innovants.



La compréhension des systèmes biologiques est rendue difficile par la difficulté majeure qui consiste à isoler les causes et les effets dans ces systèmes particulièrement complexes. L'approche expérimentale peut alors être complétée par une approche par la simulation numérique qui permet de tester des hypothèses en maîtrisant mieux la chaîne de causalité que dans le cas expérimental. Dans ce contexte, l'approche multidisciplinaire dans laquelle s'est investie l'équipe du laboratoire a permis de mettre ensemble des connaissances et des savoir-faire hétérogènes au service d'un projet commun et a débouché sur des approches originales et des résultats importants.

Chercheurs et doctorants

B. Laforge,
L. Le Guillou,
J. Glisse

Équipe technique

P. Ghislain

Interface physique biologie : modéliser la différenciation cellulaire et la structuration d'organismes pluricellulaires

Les techniques de modélisation utilisées en physique permettent d'aborder des questions fondamentales en sciences du vivant. Nous travaillons à la recherche des mécanismes fondamentaux à l'œuvre dans la différenciation des cellules et dans la structuration 2D ou 3D de systèmes multicellulaires variés allant de modèles idéalisés

BIOPHYSIQUE

B. Laforge

(biologie théorique) à des systèmes expérimentaux (embryon de souris, méristème des plantes, ...) étudiés par plusieurs équipes de biologistes intéressés par notre approche des systèmes vivants via la simulation numérique et la modélisation.

Biologie théorique : nouveaux résultats et premier docteur formé dans notre groupe

Notre activité fondatrice menée en collaboration avec le biologiste J.J. Kupiec, chercheur au centre Cavailles de l'Ecole Normale Supérieure de Paris, a pour objectif de mieux cerner les règles qui gouvernent le comportement des cellules, notamment au cours des différentes étapes de l'embryogenèse, un processus qui aboutit à un organisme adulte, via une multitude d'interactions entre tissus.

Grâce à la simulation, nous avons travaillé sur l'hypothèse suivante : le



Figure 1

Exemple de simulation d'un embryon de souris au stade 4 cellules.

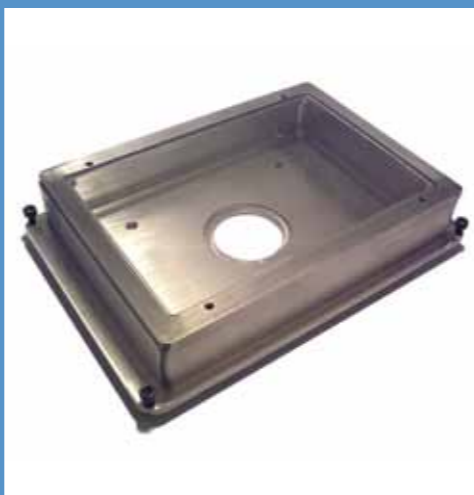
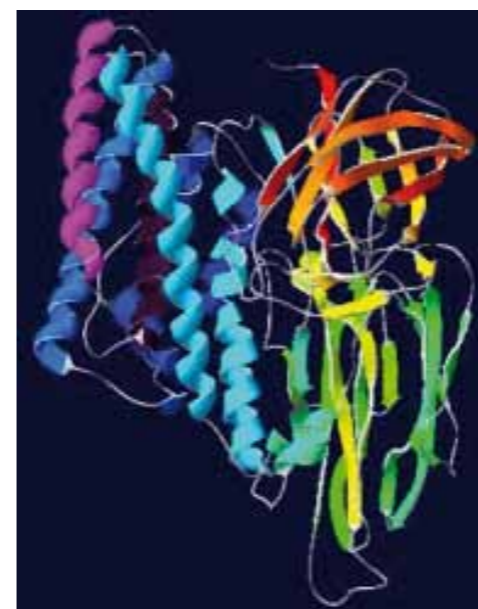


Figure 2

Réalisation technique d'une chambre d'imagerie confocale accomplie au laboratoire. Ce prototype permet de mieux maîtriser les conditions expérimentales d'observation des cellules au cours du développement de la colonie cellulaire étudiée.



mécanisme qui régit le comportement des cellules est fait non pas de signaux programmés génétiquement mais d'événements aléatoires qui déclenchent l'activation des gènes contrôlant la différenciation d'une cellule. Les interactions entre cellules ne sont plus la cause de la différenciation comme admis jusqu'à présent. Via l'échange de molécules entre cellules ou d'interactions physiques [modification de la pression locale, de la température, ...], elles stabilisent les cellules dans le phénotype qu'elles ont acquis aléatoirement grâce à la dynamique moléculaire intrinsèquement stochastique à l'œuvre au sein de la cellule comme le démontrent de nombreux travaux expérimentaux. Le modèle d'étude est constitué de la simulation de deux types cellulaires A ou B choisis aléatoirement pour chaque cellule. La simulation permet de vérifier que le modèle ainsi créé aboutit bien à une organisation cellulaire reproductible, comme c'est le cas au cours de l'embryogenèse d'un être vivant. Parmi les résultats notables, nous nous sommes aperçu que lorsque la mort cellulaire est supprimée dans le programme (les cellules

continuent à vivre même si la quantité de nutriments nécessaire n'existe plus), la structure cellulaire se forme correctement mais avec un taux d'échec plus important. La mort cellulaire semble donc jouer un rôle positif dans la formation de cette structure en bi-couche, caractéristique des êtres multicellulaires. La mort cellulaire élimine les cellules non adaptées à leur environnement, au profit des plus viables. En somme, on est en présence d'une sorte de darwinisme transposé au niveau de la cellule. Pour analyser les résultats des simulations, il faut définir ce que l'on appelle une structure multicellulaire. Il y a ici un certain arbitraire car les cellules (les objets que nous faisons évoluer) ne connaissent que leur environnement immédiat et n'ont pas la connaissance de la structure dans laquelle elles évoluent. Afin d'améliorer notre méthode d'analyse, nous avons développé un identificateur de structures cellulaires adapté à la détection de structures en bicouche qui nous intéresse ici. Par ailleurs, ce travail a été complété par de premières études de simulations multi-échelles conjuguant le niveau cellulaire mais également une

simulation idéalisée des mécanismes d'expression des gènes et de stabilisation de la chromatine. Au LPNHE, nous avons pris en charge le développement des programmes et la mise en œuvre des outils d'analyse statistiques permettant d'analyser les données de simulation produites afin d'en extraire les propriétés pertinentes pour la biologie. Ce travail a donné lieu au travail de thèse d'un doctorant co-encadré par J.J. Kupiec, pour le centre Cavaillès et B. Laforge, pour notre équipe. Cette thèse a été soutenue en janvier 2009.

Modélisation de l'embryon de souris

Afin de tester nos modèles avec des systèmes réels nous avons développé un modèle de Potts de l'embryon de souris dont l'objectif est d'aider à comprendre quelles sont les raisons d'origine mécanique et les raisons liées à l'activité synthétique des cellules qui déterminent le développement embryonnaire et la différenciation cellulaire. En particulier, nous cherchons à reproduire les résultats observés par l'équipe de biologistes de Paris 6 avec lesquels nous travaillons (B. Maro et

al., Lab. Bio Développement, UMR-7622). Pour cela, nous avons utilisé des données biologiques d'imagerie 3D confocale afin de déterminer des valeurs de paramètres de la simulation à même de décrire correctement les angles entre les membranes cellulaires observées in-vivo. La figure 1 montre un exemple de simulation d'un embryon au stade 4 cellules.

Mouvement collectif des myoblastes

En collaboration avec l'équipe de A. Paldi (Genethon), nous avons travaillé à la modélisation du phénomène collectif amenant une population cellulaire de myoblastes en développement dans une boîte de culture à s'organiser selon des structures macroscopiques remarquables conduisant à un alignement des myoblastes entre eux précédant leur fusion en une fibre musculaire. Un tel comportement collectif est actuellement mal compris et peut être abordé par la simulation numérique qui permet alors de tester différentes hypothèses de travail. Nous avons contribué à deux aspects de cette recherche : conception

des modèles utilisés et réalisation technique d'une chambre d'imagerie confocale (figure 2) permettant de mieux maîtriser les conditions expérimentales d'observation des cellules au cours du développement de la colonie cellulaire étudiée. Cette contribution technique va déboucher sur le dépôt d'un brevet en cours de rédaction. Par ailleurs, ce travail a conduit à une publication en cours de soumission.

Modélisation du méristème apical des plantes

En collaboration avec une équipe de l'INRA de Versailles (UMR1318 INRA-AgroParisTech), nous travaillons sur la conception de modèles permettant une approche par la simulation du fonctionnement du méristème qui est essentiel dans la croissance des plantes et dans l'apparition des feuilles. Ce travail nous a par ailleurs conduits à apporter nos compétences en analyse de données pour traiter des données AFM (microscopie à force atomique). Ce travail a donné lieu à un article en cours de préparation.

Fédérer la communauté des simulateurs en biologie aux échelles mésoscopiques

L'utilisation de la simulation numérique pour aborder des problématiques biologiques à des échelles mésoscopiques ou macroscopiques est assez récente et recouvre des approches assez variées. Afin de favoriser l'échange entre les différentes équipes travaillant sur ce sujet, nous avons participé à la création d'un groupe de travail (SMABio) réunissant plusieurs fois par an les principaux protagonistes français de ce domaine et qui fonctionne au sein de l'atelier d'épigénomique du génopôle d'Evry. B. Laforge assure depuis 2006 la coordination de ce groupe de travail en binôme avec Marie Beurton-Aimar (Labri, Bordeaux). Dans ce cadre, nous avons organisé à Paris deux workshops internationaux en 2008 et 2009. Nous avons obtenu en 2009 le soutien financier du réseau national des systèmes complexes pour organiser une troisième édition de ce workshop en 2010.



Le laboratoire s'est impliqué depuis quelques années dans l'émergence d'un site de la grille de calcul de niveau Tier 2. La mise en production du projet Grif a nécessité un travail de définition des objectifs scientifiques, de mise au point de l'architecture matérielle et logicielle du nœud par le service informatique et de l'infrastructure de la salle machine avec les services généraux. Tous ces efforts ont permis à Grif d'être à la fois prêt pour le démarrage du LHC mais aussi d'ouvrir ses ressources à d'autres communautés.

Chercheur

F. Derue

Équipe technique

L. Martin,
V. Mendoza

GRILLE DE CALCUL

F. Derue

Le LPNHE participe aux programmes internationaux de grilles de calcul WLCG (« World LHC Computing Grid ») et Egee (« Enabling Grids for E-sciencE ») dont le principe est de mutualiser les moyens de calcul et de stockage, qu'ils soient d'envergure locale, régionale, nationale ou internationale. L'engagement de la communauté de physique des particules dans ces projets s'explique par la nécessité de préparer l'exploitation des données produites par le LHC. Pour ce faire il a été choisi de mettre en commun des outils de calculs et de stockage répartis sur l'ensemble de la planète en se fédérant autour du projet WLCG. Celui-ci exploite trois grilles de calcul dont Egee. Ses ressources sont hiérarchisées en quatre niveaux. Le LPNHE est impliqué dans la création d'un site de la grille assurant les deux

derniers niveaux, un Tier 2, pour la production d'événements simulés et les tâches d'analyses centralisées et stochastiques, et un Tier 3, assurant les mêmes tâches sur la base du volontariat.

Le LPNHE est un des nœuds fondateurs de Grif (« Grille au service de la Recherche en Ile de France ») qui fédère les efforts des six laboratoires de physique des hautes énergies de la région parisienne. Le projet est reconnu comme un mésocentre au sein de Egee et un Tier 2/Tier 3 au sein de WLCG. Un comité composé des responsables scientifiques de chaque laboratoire met en place les moyens de fonctionnement du projet, notamment les ressources financières et veille à ce que le projet se déroule conformément à ses engagements et à ses prévisions. Un comité technique, composé des experts de la grille des six laboratoires, se réunit une fois par mois pour faire le bilan des actions en cours et planifier les actions à venir.

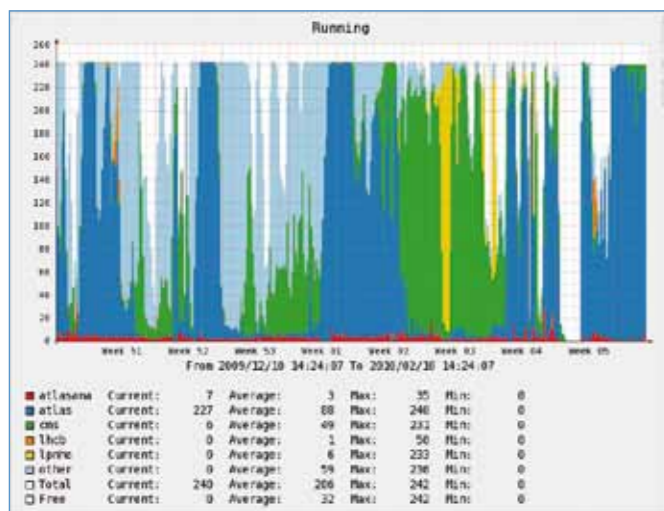


Figure 1 : Suivi de la répartition des tâches sur le site du LPNHE.



Figure 2 : La salle des machines.

La fédération a pour objectif que Grif soit un Tier 2 majeur, tout en préservant les besoins locaux de chaque laboratoire (Tier 3) et une ouverture à d'autres communautés dans le cadre d'Egee. Le site du LPNHE est largement soutenu financièrement par l'Université Pierre et Marie Curie et a aussi bénéficié de financements obtenus en commun avec les autres membres de la fédération. Le projet est membre de LCG-France et de l'Institut des Grilles. Il est aussi engagé au sein d'Egee dans le Workpackage SA1 (Production).

Environ 80 % des ressources sont réservées à sa partie Tier 2 (Atlas et LHCb), liée par un engagement formel de mises à dispositions de ressources à WLCG, le laboratoire fournissant 25% de celles engagées par Grif pour Atlas. Le reste est partagé entre le Tier 3 d'Atlas, des expériences non LHC et d'autres collaborations dans le cadre de la grille Egee comme les sciences de la Terre (Earth Science Research) à l'IPSL ou des simulations au LPTHE.

Pour assurer l'opération, l'administration et l'exploitation du site le projet bénéficie de deux Équivalent Temps Plein, l'un provenant du service informatique, l'autre en contrat CDD européen EGEE III. Il a aussi bénéficié d'un étudiant en stage d'une durée de huit

mois dans le cadre du programme Helen (High Energy Latin-american Network). L'équipe a contribué au déploiement des intergiciels, au développement de Quattor dans Grif qui permet de définir et maintenir une configuration générique des services de la grille, et au développement d'outils de monitoring dans Grif et en local (figure 1). Elle participe au contrôle et à la gestion de la grille, en particulier à travers des tests effectués dans LCG-France et dans Atlas (CCR08, Step 09, HammerCloud).

La configuration actuelle est de 48 serveurs de calcul en technologie lame, représentant 242 processeurs d'une puissance totale de 2 Méga HEP-SPEC06, associés à 2 Go de mémoire par processeur, et 210 To de disques utiles, répartis sur neuf serveurs (SAN et DAS) accessibles à travers un « Storage Element » basé sur DPM (Disk Pool Manager). A été installé un cœur de réseau offrant des connexions à 4 Gbit/s pour les serveurs de fichiers et pour les commutateurs de concentration installés dans chaque baie. La mise en service des nouvelles ressources a conduit à aménager la salle machine (figure 2), avec l'aide des services généraux, du point de vue des ressources électriques et de la climatisation. Les ressources sont accessibles depuis un serveur dédié,

configuré comme une UI (point d'accès utilisateur) de la grille. Une organisation virtuelle locale permet à ses membres d'envoyer des tâches sur l'ensemble des sites Grif. Le serveur du groupe Atlas a lui aussi été configuré comme une UI, l'accès à la grille s'effectuant dans le cadre des environnements de production et d'analyse mis en place par l'expérience.

La stratégie pour les années à venir est la poursuite des investissements afin de respecter nos engagements vis-à-vis de LCG-France. L'interconnexion avec le réseau Renater devrait s'effectuer avec un commutateur et un cœur de réseau à 10 Gbit/s. La salle informatique du futur laboratoire permettra de gérer plus facilement les évolutions en terme de place au sol, consommation électrique et climatisation.

La communauté de physique des particules a atteint l'objectif très ambitieux qu'elle s'était fixée au début des années 2000, à savoir de disposer d'une infrastructure de grilles de production de très grande envergure stable et efficace. La grille de production WLCG et à l'intérieur de celle-ci le projet Grif ont montré tout au long de l'année 2008 qu'ils étaient fin prêts à exploiter les données que le LHC a commencé à délivrer à la fin 2009.

PUBLICATIONS, COMMUNICATIONS, PARTENARIATS



ATLAS

1. Performance of the ATLAS liquid argon endcap calorimeter in the pseudorapidity region $2.5 < |\eta| < 4.0$ in beam tests, Pinfold, J. et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 593, p 324-342 (2008)
2. Time resolution of the ATLAS barrel liquid argon electromagnetic calorimeter, Abazov, V. M. et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 597, p 178-188 (2008)
3. Construction, assembly and tests of the ATLAS electromagnetic end-cap calorimeters, ATLAS Electromagnetic Liquid Argon Endcap Calorimeter Group et al., Journal of Instrumentation, 3, p P06002 (2008)
4. The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider, The ATLAS Collaboration, Journal of Instrumentation, 3, p 030304 (2008)
5. Radiation qualification of the front-end electronics for the readout of the ATLAS liquid argon calorimeters, N J Buchanan et al., Journal of Instrumentation, 3, p P10005 (2008)
6. ATLAS liquid argon calorimeter front end electronics, N J Buchanan et al., Journal of Instrumentation, 3, p P09003 (2008)
7. Design and implementation of the Front End Board for the readout of the ATLAS liquid argon calorimeters, N J Buchanan et al., Journal of Instrumentation, 3, p P03004 (2008)
8. Study of the response of the ATLAS central calorimeter to pions of energies from 3 to 9 GeV, Abat, E. et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 607, p 372-386 (2009)
9. Study of the response of ATLAS electromagnetic liquid argon calorimeters to muons, Abazov, V. M. et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 606, p 419-431 (2009)
10. Expected Performance of the ATLAS Experiment - Detector, Trigger and Physics, Aad, G. et al., hep-ex/0901.0512 (2009)

CDF

1. Measurement of the inclusive isolated prompt photon cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using the CDF detector, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 111106 (2009)
2. Search for the Higgs boson produced in association with $Z \rightarrow U^+U^-$ using the matrix element method at CDF II, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 071101 (2009)
3. Search for Charged Higgs Bosons in Decays of Top Quarks in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 101803 (2009)
4. Search for the Associated Production of the Standard-Model Higgs Boson in the All-Hadronic Channel, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 221801 (2009)
5. Search for a Standard Model Higgs Boson in $WH \rightarrow t\bar{t}b\bar{b}$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 101802 (2009)
6. Measurement of the top quark mass using the invariant mass of lepton pairs in soft muon b -tagged events, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 051104 (2009)
7. Precision Measurement of the $X(3872)$ Mass in $J/\psi\pi^+\pi^-$ Decays, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 152001 (2009)
8. Search for Higgs Bosons Predicted in Two-Higgs-Doublet Models via Decays to Tau Lepton Pairs in 1.96 TeV pp Collisions, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 201801 (2009)
9. Searching the inclusive $t\bar{t}E_T + b$ -quark signature for radiative top quark decay and non-standard-model processes, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 011102 (2009)
10. First Observation of Vector Boson Pairs in a Hadronic Final State at the Tevatron Collider, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 091803 (2009)
11. Search for standard model Higgs boson production in association with a W boson using a neural network discriminator at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 012002 (2009)
12. Observation of the Ω_c^0 baryon and measurement of the properties of the Ξ_c^+ and Ω_c^+ baryons, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 072003 (2009)
13. Production of $\psi(2S)$ mesons in pp collisions at 1.96 TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 031103 (2009)
14. Search for a Fermiophobic Higgs Boson Decaying into Diphotons in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 061803 (2009)
15. Search for the neutral current top quark decay $t \rightarrow Zc$ using the ratio of Z -boson + 4 jets to W -boson + 4 jets production, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 052001 (2009)
16. Search for anomalous production of events with a photon, jet, b -quark jet, and missing transverse energy, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 052003 (2009)
17. Measurement of particle production and inclusive differential cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 112005 (2009)
18. Measurement of the $t\bar{t}$ cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using dilepton events with a lepton plus track selection, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 112007 (2009)
19. First Measurement of the $t\bar{t}$ Differential Cross Section $d\sigma/dM_{t\bar{t}}$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 222003 (2009)
20. Search for Gluino-Mediated Bottom Squark Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 221801 (2009)
21. Measurement of the b -hadron production cross section using decays to μ^-D^+X final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 092003 (2009)

22. Evidence for a Narrow Near-Threshold Structure in the $J/\psi\psi$ Mass Spectrum in $B^+ \rightarrow J/\psi\psi K^+$ Decays, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 242002 (2009)
23. Search for narrow resonances lighter than T mesons, Aaltonen, T. et al., European Physical Journal C, 62, p 319-326 (2009)
24. Observation of Electroweak Single Top-Quark Production, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 092002 (2009)
25. Search for WW and WZ production in lepton plus jets final state at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 112011 (2009)
26. Search for the Production of Narrow $t\bar{t}$ Resonances in 1.9 fb^{-1} of pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 041801 (2009)
27. Search for Exclusive Z -Boson Production and Observation of High-Mass $pp \rightarrow \gamma\gamma\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-p$ Events in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 222002 (2009)
28. Observation of Exclusive Charmonium Production and $\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 242001 (2009)
29. Search for Long-Lived Massive Charged Particles in 1.96 TeV pp Collisions, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 021802 (2009)
30. Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in 2 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using lepton plus jets events with soft muon b tagging, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 052007 (2009)
31. Search for the Decays $B_{(s)}^0 \rightarrow e^+\mu^-$ and $B_{(s)}^0 \rightarrow e^+\tau^-$ in CDF Run II, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 201801 (2009)
32. Measurement of the top quark mass at CDF using the "neutrino ϕ weighting" template method on a lepton plus isolated track sample, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 072005 (2009)
33. Direct Measurement of the W Production Charge Asymmetry in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 181801 (2009)
34. Top quark mass measurement in the lepton plus jets channel using a modified matrix element method, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 072001 (2009)
35. Measurement of cross sections for b jet production in events with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 052008 (2009)
36. Observation of New Charmless Decays of Bottom Hadrons, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 031801 (2009)
37. Search for new particles decaying into dijets in proton-antiproton collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 112002 (2009)
38. Search for Top-Quark Production via Flavor-Changing Neutral Currents in $W + 1$ Jet Events at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 151801 (2009)
39. Measurement of the k_T Distribution of Particles in Jets Produced in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 232002 (2009)
40. Inclusive Search for Squark and Gluino Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 121801 (2009)
41. Top quark mass measurement in the $t\bar{t}$ all hadronic channel using a matrix element technique in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 072010 (2009)
42. Measurement of W -Boson Helicity Fractions in Top-Quark Decays Using $\cos\theta^*$, CDF Collaboration, Physics Letters B, 674, p 160-167 (2009)
43. Search for High-Mass Resonances Decaying to Dimuons at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 091805 (2009)
44. Search for new physics in the $\mu\mu + e/\mu + E_T$ channel with a low- p_T lepton threshold at the Collider Detector at Fermilab, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 052004 (2009)
45. First measurement of the ratio of branching fractions $B(A_{cb}^0 \rightarrow A_c^+\mu^-\nu_c)/B(A_{cb}^0 \rightarrow A_c^+\tau^-)$, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 032001 (2009)
46. Search for High-Mass e^+e^- Resonances in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 031801 (2009)
47. Measurement of Resonance Parameters of Orbitally Excited Narrow B^0 Mesons, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 102003 (2009)
48. Search for Maximal Flavor Violating Scalars in Same-Charge Lepton Pairs in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 041801 (2009)
49. First simultaneous measurement of the top quark mass in the lepton+ jets and dilepton channels at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 092005 (2009)
50. Search for a Higgs Boson Decaying to Two W Bosons at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 021802 (2009)
51. Global search for new physics with 2.0 fb^{-1} at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 011101 (2009)
52. Measurement of the Single-Top-Quark Production Cross Section at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 252001 (2008)
53. First Observation of $B_c^0 \rightarrow D_s^+K^-$ and Measurement of the Ratio of Branching Fractions $B(B_c^0 \rightarrow D_s^+K^-)/B(B_c^0 \rightarrow D_s^+\pi^-)$, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 191802 (2009)
54. Search for Supersymmetry in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV Using the Tripleton Signature for Chargino-Neutralino Production, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 251801 (2008)
55. Direct Bound on the Total Decay Width of the Top Quark in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 042001 (2009)

56. Search for Doubly Charged Higgs Bosons with Lepton-Flavor-Violating Decays Involving τ Leptons, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 121801 (2008)
57. Measurement of the Top-Quark Mass with Dilepton Events Selected Using Neuroevolution at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 152001 (2009)
58. Search for the Higgs Boson Produced in Association with $Z \rightarrow e^+e^-$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 251803 (2008)
59. Measurement of the fraction of $t\bar{t}$ production via gluon-gluon fusion in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 031101 (2009)
60. Search for Large Extra Dimensions in Final States Containing One Photon or Jet and Large Missing Transverse Energy Produced in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 181602 (2008)
61. Measurement of the inclusive jet cross section at the Fermilab Tevatron pp collider using a cone-based jet algorithm, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 78, p 052006 (2008)
62. Forward-Backward Asymmetry in Top-Quark Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 202001 (2008)
63. Measurement of b -jet shapes in inclusive jet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 78, p 072005 (2008)
64. Search for the Flavor-Changing Neutral-Current Decay $t \rightarrow Zq$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 192002 (2008)
65. Search for the rare decays $B^+ \rightarrow \mu^+\mu^-K^+$, $B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-K^0(892)^0$, and $B_c^0 \rightarrow \mu^+\mu^-e^+$ at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 79, p 011104 (2009)
66. Search for heavy, long-lived neutralinos that decay to photons at CDF II using photon timing, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 78, p 032015 (2008)
67. Search for hadronic decays of W and Z bosons in photon events in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 80, p 052011 (2009)
68. Search for standard model Higgs boson production in association with a W boson at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 78, p 032008 (2008)
69. Search for Pair Production of Scalar Top Quarks Decaying to a τ Lepton and a b Quark in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 071802 (2008)
70. Two-particle momentum correlations in jets produced in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 77, p 092001 (2008)
71. Search for the Higgs Boson in Events with Missing Transverse Energy and b Quark Jets Produced in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 211801 (2008)
72. Strong Evidence for ZZ Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 201801 (2008)
73. Measurement of ratios of fragmentation fractions for bottom hadrons in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 77, p 072003 (2008)
74. Search for Heavy Toplike Quarks Using Lepton Plus Jets Events in 1.96 TeV pp Collisions, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 161803 (2008)
75. Search for new heavy particles decaying to $Z^0Z^0 \rightarrow eeee$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 78, p 012008 (2008)
76. First measurement of the fraction of top-quark pair production through gluon-gluon fusion, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 78, p 111101 (2008)
77. First Flavor-Tagged Determination of Bounds on Mixing-Induced CP Violation in $B_c^0 \rightarrow J/\psi\psi$ Decays, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 161802 (2008)
78. Measurement of Lifetime and Decay-Width Difference in $B_c^0 \rightarrow J/\psi\psi$ Decays, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 121803 (2008)
79. Evidence for $D^0 - \bar{D}^0$ Mixing Using the CDF II Detector, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 121802 (2008)
80. Search for $B_c^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ and $B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ Decays with 2 fb^{-1} of pp Collisions, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 101802 (2008)
81. Observation of the Decay $B_c^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ and Measurement of the B_c^0 Mass, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 182002 (2008)
82. Model-independent and quasi-model-independent search for new physics at CDF, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 78, p 012002 (2008)
83. Observation of exclusive dijet production at the Fermilab Tevatron pp collider, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 77, p 052004 (2008)
84. Measurement of the cross section for W -boson production in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 77, p 011108 (2008)
85. Measurement of Inclusive Jet Cross Sections in $Z/\gamma^*(\rightarrow e^+e^-)$ + jets Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 102001 (2008)
86. Search for chargino-neutralino production in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV with high- p_T leptons, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 77, p 052002 (2008)
87. First Measurement of W Boson Production in Association with a Single Charm Quark in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 091803 (2008)
88. Limits on the production of narrow $t\bar{t}$ resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 77, p 051102 (2008)
89. Search for Standard Model Higgs Bosons Produced in Association with W Bosons, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 041801 (2008)
90. Observation of Orbitally Excited B_c Mesons, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 082001 (2008)

91. Direct Measurement of the W Boson Width in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 071801 (2008)
92. Cross-Section-Constrained Top-Quark Mass Measurement from Dilepton Events at the Tevatron, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 062005 (2008)
93. First Observation of the Decay $B_c^0 \rightarrow D_s^+D_s^-$ and Measurement of Its Branching Ratio, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 021803 (2008)
94. Measurement of correlated $b\bar{b}$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 1900$ GeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 77, p 072004 (2008)
95. Search for Resonant $t\bar{t}$ Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 231801 (2008)
96. First run II measurement of the W boson mass at the Fermilab Tevatron, Aaltonen, T. et al., Phys. Rev. D, 77, p 112001 (2008)

D0

1. Direct Measurement of the W Boson Width, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 231802 (2009)
2. Determination of the strong coupling constant from the inclusive jet cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 80, p 111107 (2009)
3. Search for charged Higgs bosons in top quark decays, Abazov, V. M. et al., Phys. Lett., B682, p 278-286 (2009)
4. Measurement of the W Boson Mass, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 141801 (2009)
5. Measurement of trilinear gauge boson couplings from $WW + WZ \rightarrow l\nu jj$ events in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 80, p 053012 (2009)
6. A novel method for modeling the recoil in W boson events at hadron collider, Abazov, Victor Mukhlamovich et al., Nucl. Instrum. Meth., A609, p 250-262 (2009)
7. Search for pair production of first-generation leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 681, p 224-232 (2009)
8. Search for charged Higgs bosons in decays of top quarks, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 80, p 051107 (2009)
9. Measurement of Dijet Angular Distributions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV and Searches for Quark Compositeness and Extra Spatial Dimensions, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 191803 (2009)
10. Search for Resonant Pair Production of Neutral Long-Lived Particles Decaying to $b\bar{b}$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 071801 (2009)
11. Direct Measurement of the Mass Difference Between Top and Antitop Quarks, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 132001 (2009)
12. Search for squark production in events with jets, hadronically decaying tau leptons and missing transverse energy at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 680, p 24-33 (2009)
13. Search for Next-to-Minimal Supersymmetric Higgs Bosons in the $h \rightarrow aa \rightarrow \mu\mu\mu\mu, \mu\mu\tau\tau$ Channels Using pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 061801 (2009)
14. Search for Dark Photons from Supersymmetric Hidden Valleys, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 081802 (2009)
15. Measurement of the top quark mass in final states with two leptons, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 80, p 092006 (2009)
16. Measurement of the WW Production Cross Section with Dilepton Final States in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV and Limits on Anomalous Trilinear Gauge Couplings, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 191801 (2009)
17. Combination of $t\bar{t}$ cross section measurements and constraints on the mass of the top quark and its decays into charged Higgs bosons, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 80, p 071102 (2009)
18. Search for the Standard Model Higgs Boson in Tau Final States, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 251801 (2009)
19. Measurements of differential cross sections of $Z/\gamma^* + jets + X$ events in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 678, p 45-54 (2009)
20. Observation of Single Top-Quark Production, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 092001 (2009)
21. Measurement of the $Z\gamma \rightarrow \nu\nu\gamma$ Production Cross Section and Limits on Anomalous $ZZ\gamma$ and $Z\gamma\gamma$ Couplings in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 201802 (2009)
22. Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section and top quark mass extraction using dilepton events in pp collisions, Do Collaboration, Physics Letters B, 679, p 177-185 (2009)
23. Search for Resonant Diphoton Production with the D0 Detector, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 231801 (2009)
24. Search for admixture of scalar top quarks in the $t\bar{t}$ lepton+jet final state at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 674, p 4-10 (2009)
25. Measurement of $\gamma + b + X$ and $\gamma + c + X$ Production Cross Sections in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 192002 (2009)
26. Search for associated production of charginos and neutralinos in the trilepton final state using 2.3 fb^{-1} of data, Do Collaboration, Physics Letters B, 680, p 34-43 (2009)
27. Erratum to: Search for particles decaying into a Z boson and a photon in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV [Phys. Lett. B 641 (2006) 415], Do Collaboration, Physics Letters B, 670, p 455-458 (2009)

28. Search for Anomalous Top-Quark Couplings with the D0 Detector, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 092002 (2009)

29. Evidence for the Decay $B_c^0 \rightarrow D_s^{*\mp} D_s^{*\mp}$ and a Measurement of $\Delta\Gamma_{D_s^*}^{\text{CP}}$, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 091801 (2009)

30. Search for the lightest scalar top quark in events with two leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 675, p 289-296 (2009)

31. Search for Neutral Higgs Bosons at High $\tan\beta$ in the $b(h/H/A) \rightarrow b\tau^+\tau^-$ Channel, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 051804 (2009)

32. Evidence of WW and WZ Production with lepton + jets Final States in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 161801 (2009)

33. Measurement of the Angular and Lifetime Parameters of the Decays $B_c^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ and $B_c^0 \rightarrow J/\psi \phi$, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 032001 (2009)

34. Search for Long-Lived Charged Massive Particles with the D0 Detector, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 161802 (2009)

35. Search for Large Extra Spatial Dimensions in the Dielectron and Diphoton Channels in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 051601 (2009)

36. Search for pair production of second generation scalar leptoparks, Do Collaboration, Physics Letters B, 671, p 224-232 (2009)

37. Search for Associated W and Higgs Boson Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 051803 (2009)

38. Measurement of $\sigma(pp \rightarrow Z + X) \cdot \text{Br}(Z \rightarrow \tau^+\tau^-)$ at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 670, p 292-299 (2009)

39. Search for Charged Higgs Bosons Decaying into Top and Bottom Quarks in pp Collisions, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 191802 (2009)

40. Search for a scalar or vector particle decaying into $Z\gamma$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 671, p 349-355 (2009)

41. Measurement of the Lifetime of the D_s^1 Meson in the Semileptonic Decay Channel, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 092001 (2009)

42. Relative rates of B meson decays into $\psi(2S)$ and J/ψ mesons, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 79, p 111102 (2009)

43. Measurement of the Semileptonic Branching Ratio of B_c^0 to an Orbitally Excited D_s^{*+} State: $B_c^0 \rightarrow D_{s1}(2536)\mu^+\nu_X$, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 051801 (2009)

44. Observation of the Doubly Strange b Baryon Ω_b^0 , Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 232002 (2008)

45. Measurement of differential $Z/\gamma^* + jet + X$ cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 669, p 278-286 (2008)

46. Search for the Standard Model Higgs Boson in the Missing Energy and Acoplanar b-Jet Topology at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 251802 (2008)

47. Observation of ZZ Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 171803 (2008)

48. ZZ $\rightarrow l^+l^- \nu\nu$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 78, p 072002 (2008)

49. Search for scalar leptoparks and T-odd quarks in the acoplanar jet topology using 2.5 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 668, p 357-363 (2008)

50. Measurement of the Electron Charge Asymmetry in $pp \rightarrow W + X \rightarrow e\nu + X$ Events at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 211801 (2008)

51. Precise Measurement of the Top-Quark Mass from lepton + jets Events, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 182001 (2008)

52. Search for Anomalous Wtb Couplings in Single Top Quark Production, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 221801 (2008)

53. Measurement of the ratio of the $pp \rightarrow W + c$ -jet cross section to the inclusive $pp \rightarrow W + jets$ cross section, Do Collaboration, Physics Letters B, 666, p 23-30 (2008)

54. Search for Third Generation Scalar Leptoparks Decaying into τb , Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 241802 (2008)

55. Search for Long-Lived Particles Decaying into Electron or Photon Pairs with the D0 Detector, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 111802 (2008)

56. Search for Neutral Higgs Bosons in Multi-b-Jet Events in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 221802 (2008)

57. Search for scalar top quarks in the acoplanar charm jets and missing transverse energy final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 665, p 1-8 (2008)

58. Search for Higgs Bosons Decaying to Tau Pairs in pp Collisions with the D0 Detector, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 071804 (2008)

59. Search for $t\bar{t}$ resonances in the lepton plus jets final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 668, p 98-104 (2008)

60. Measurement of the Forward-Backward Charge Asymmetry and Extraction of $\sin^2\theta_W^{\text{eff}}$ in $pp \rightarrow Z/\gamma^* + X \rightarrow e^+e^- + X$ Events Produced at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 191801 (2008)

61. Measurement of the Polarization of the $\Upsilon(1S)$ and $\Upsilon(2S)$ States in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 182004 (2008)

62. Measurement of the differential cross section for the production of an isolated photon with associated jet in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 666, p 435-445 (2008)

63. Erratum: Measurement of the WW Production Cross Section in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV [Phys. Rev. Lett. 94, 151801 (2005)], Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 139901 (2008)

64. Search for W[±] Boson Resonances Decaying to a Top Quark and a Bottom Quark, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 211803 (2008)

65. Measurement of the tt Production Cross Section in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 192004 (2008)

66. Search for Large Extra Dimensions via Single Photon plus Missing Energy Final States at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 011601 (2008)

67. Search for Pair Production of Doubly Charged Higgs Bosons in the $H^{++}H^{--} \rightarrow \mu^+\mu^+\mu^-\mu^-$ Final State, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 071803 (2008)

68. Search for Decay of a Fermiophobic Higgs Boson $h_f \rightarrow \gamma\gamma$ with the D0 Detector at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 051801 (2008)

69. First Study of the Radiation-Amplitude Zero in $W\gamma$ Production and Limits on Anomalous $WW\gamma$ Couplings at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 241805 (2008)

70. Evidence for production of single top quarks, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 78, p 012005 (2008)

71. Observation of the B_s Meson in the Exclusive Decay $B_c \rightarrow J/\psi\pi$, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 012001 (2008)

72. Study of Direct CP Violation in $B^{\pm} \rightarrow J/\psi K^{\pm}(\pi^{\pm})$ Decays, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 211802 (2008)

73. Measurement of the Inclusive Jet Cross Section in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 062001 (2008)

74. Measurement of B_c^0 Mixing Parameters from the Flavor-Tagged Decay $B_c^0 \rightarrow J/\psi\phi$, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 241801 (2008)

75. Erratum: Measurement of $\sigma(pp \rightarrow Z) \cdot \text{Br}(Z \rightarrow \tau\tau)$ at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV [Phys. Rev. D 71, 072004 (2005)], Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 77, p 039901 (2008)

76. Simultaneous Measurement of the Ratio $R = B(t \rightarrow Wb)/B(t \rightarrow Wq)$ and the Top-Quark Pair Production Cross Section with the D0 Detector at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 192003 (2008)

77. Search for excited electrons in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 77, p 091102 (2008)

78. Erratum to: Measurement of the isolated photon cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV [Phys. Lett. B 639 (2006) 151], Do Collaboration, Physics Letters B, 658, p 285-289 (2008)

79. Search for squarks and gluinos in events with jets and missing transverse energy using 2.1 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 660, p 449-457 (2008)

80. Measurement of the Forward-Backward Charge Asymmetry in Top-Quark Pair Production, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 142002 (2008)

81. Measurement of the Shape of the Boson-Transverse Momentum Distribution in $pp \rightarrow Z/\gamma^* \rightarrow e^+e^- + X$ Events Produced at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 102002 (2008)

82. Search for ZZ and Z γ^* Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV and Limits on Anomalous ZZZ and ZZ γ^* Couplings, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 131801 (2008)

83. A combined search for the standard model Higgs boson at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 663, p 26-36 (2008)

84. Search for Scalar Neutrino Superpartners in $e + \mu$ Final States in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 241803 (2008)

85. Observation and Properties of the Orbitally Excited B_{c2}^0 Meson, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 082002 (2008)

86. Model-Independent Measurement of the W-Boson Helicity in Top-Quark Decays at D0, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 062004 (2008)

87. Search for Supersymmetry in Di-Photon Final States at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 659, p 856-863 (2008)

88. Search for Randall-Sundrum Gravitons with 1 fb^{-1} of Data from pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 091802 (2008)

89. Search for W[±] Bosons Decaying to an Electron and a Neutrino with the D0 Detector, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 031804 (2008)

90. Measurement of the muon charge asymmetry from W boson decays, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. D, 77, p 011106 (2008)

91. Search for Flavor-Changing-Neutral-Current D Meson Decays, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 101801 (2008)

92. Search for the lightest scalar top quark in events with two leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 659, p 500-508 (2008)

93. Measurement of the ratios of the $Z/\gamma^* \rightarrow \mu\mu$ jet production cross sections to the total inclusive Z/γ^* cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Do Collaboration, Physics Letters B, 658, p 112-119 (2008)

94. Review of Particle Physics, Particle Data Group et al., Physics Letters B, 667, p 1-6 (2008)

95. Search for Decay of a Fermiophobic Higgs Boson $h_f \rightarrow \gamma\gamma$ with the D0 Detector at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Abazov, V. M. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 051801 (2008)

NOMAD et HARP

1. Forward production of charged pions with incident protons on nuclear targets at the CERN Proton Synchrotron, Apollonio, M. et al., Phys. Rev. C, 80, p 035208 (2009)

2. A Measurement of Coherent Neutral Pion Production in Neutrino Neutral Current Interactions in the NOMAD Experiment, Kullenberg, C. T. et al., Physics Letters B, 682, p 177-184 (2009)

3. A study of quasi-elastic muon neutrino and antineutrino scattering in the NOMAD experiment, Lyubushkin, V. et al., European Physical Journal C, 63, p 355-381 (2009)

4. HARP and NA61 (SHINE) hadron production experiments, Popov, Boris A., AIP Conf. Proc., 1189, p 97-104 (2009)

5. Forward π^{\pm} production in $p-O_2$ and $p-N_2$ interactions at 12 GeV/c, HARP Collaboration, Astroparticle Physics, 30, p 124-132 (2008)

6. Absolute momentum calibration of the HARP TPC, M G Catanesi et al., Journal of Instrumentation, 3, p P04007 (2008)

7. Large-angle production of charged pions with 3-12.9 GeV/c incident protons on nuclear targets, Catanesi, M. G. et al., Phys. Rev. C, 77, p 055207 (2008)

8. Measurement of the production cross-sections of $\pi^{\pm} - C$ and $\pi^{\pm} - C$ interactions at 12 GeV/c, HARP Collaboration, Astroparticle Physics, 29, p 257-281 (2008)

9. A Precise Measurement of the Muon Neutrino-Nucleon Inclusive Charged Current Cross-Section off an Isoscalar Target in the Energy Range $2.5 < E_{\nu} < 40$ GeV by NOMAD, NOMAD Collaboration, Physics Letters B, 660, p 19-25 (2008)

BABAR

1. Measurement of CP violation observables and parameters for the decays $B^0 \rightarrow DK^{*0}$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 092001 (2009)

2. Precise Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-(\gamma)$ Cross Section with the Initial State Radiation Method at BABAR, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 231801 (2009)

3. Measurements of the τ mass and the mass difference of the τ^+ and τ^- at BABAR, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 092005 (2009)

4. Study of D_{s1} decays to D^*K in inclusive e^+e^- interactions, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 092003 (2009)

5. Model-independent search for the decay $B^+ \rightarrow l^+\nu_l\gamma$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 111105 (2009)

6. Search for a Low-Mass Higgs Boson in $\Upsilon(3S) \rightarrow \gamma A^0, A^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$ at BABAR, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 181801 (2009)

7. Search for Invisible Decays of the $\Upsilon(1S)$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 251801 (2009)

8. Observation and polarization measurement of $B^0 \rightarrow a_1(1260)^+ a_1(1260)^-$ decay, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 092007 (2009)

9. Measurement of $B \rightarrow K^*(892)\gamma$ Branching Fractions and CP and Isospin Asymmetries, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 211802 (2009)

10. Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ mixing using the ratio of lifetimes for the decays $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ and K^+K^- , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 071103 (2009)

11. Observation of the baryonic B-decay $\bar{B}^0 \rightarrow \Lambda_c^+ p K^-\pi^+$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 051105 (2009)

12. Search for B-meson decays to $b_1\rho$ and b_1K^* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 051101 (2009)

13. B meson decays to charmless meson pairs containing η or η' mesons, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 112002 (2009)

14. Measurement of the $\gamma\gamma^* \rightarrow \pi^0$ transition form factor, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 052002 (2009)

15. Time-dependent amplitude analysis of $B^0 \rightarrow K_S^0\pi^+\pi^-$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 112001 (2009)

16. Search for Second-Class Currents in $\tau^- \rightarrow \omega\pi^-\nu_\tau$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 041802 (2009)

17. Search for Dimuon Decays of a Light Scalar Boson in Radiative Transitions $\Upsilon \rightarrow \gamma A^0$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 081803 (2009)

18. Search for B^0 meson decays to $\pi^0 K_S^0 K_S^0, \eta K_S^0 K_S^0,$ and $\eta' K_S^0 K_S^0$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 011101 (2009)

19. Measurement of the branching fraction and Λ polarization in $B^0 \rightarrow \Lambda\pi^0$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 112009 (2009)

20. Search for the $Z(4430)^-$ at BABAR, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 112001 (2009)

21. Measurement of time-dependent CP asymmetry in $B^0 \rightarrow c\bar{c}K^{*0}$ decays, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 072009 (2009)

22. Constraints on the CKM angle γ in $B^0 \rightarrow \bar{D}^0 K^{*0}$ and $B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$ from a Dalitz analysis of D^0 and \bar{D}^0 decays to $K_S\pi^+\pi^-$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 072003 (2009)

23. Search for $b \rightarrow u$ transitions in $B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$ decays, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 80, p 031102 (2009)

24. Improved Limits on Lepton-Flavor-Violating τ Decays to $\ell\phi, \ell\rho, \ell K^*$, and ℓK^0 , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 021801 (2009)

25. Observation of B meson decays to ωK^* and improved measurements for $\omega\rho$ and ωf_0 , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 052005 (2009)

26. Exclusive initial-state-radiation production of the $D\bar{D}, D^*D,$ and $D^*\bar{D}^*$ systems, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 092001 (2009)

27. Evidence for the $\eta(1S)$ Meson in Radiative $\Upsilon(2S)$ Decay, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 161801 (2009)

28. Search for the rare leptonic decays $B^+ \rightarrow l^+\nu_l$ ($l = e, \mu$), Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 001101 (2009)

29. Search for Lepton Flavor Violating Decays $\tau^- \rightarrow l^- K_S^0$ with the BABAR Experiment, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 012004 (2009)

30. Measurement of the semileptonic decays $\bar{B} \rightarrow D^-\tau^+\nu_\tau$ and $\bar{B} \rightarrow D^-\tau^+\nu_\tau$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 092002 (2009)

31. Dalitz plot analysis of $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ decays, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 072006 (2009)

32. Branching fractions and CP-violating asymmetries in radiative B decays to ηK^* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 011102 (2009)

33. Improved Measurement of $B^+ \rightarrow \rho^+\rho^0$ and Determination of the Quark-Mixing Phase Angle α , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 141802 (2009)

34. Evidence for $B^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^{*+}$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 051102 (2009)

35. Dalitz plot analysis of $B^- \rightarrow D^+\pi^-\pi^-$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 112004 (2009)

36. Dalitz plot analysis of $D_s^+ \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 032003 (2009)

37. Search for the decay $B^+ \rightarrow K_S^0 K^*\pi^+$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 051101 (2009)

38. Measurement of the $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ Cross Section between $\sqrt{s} = 10.54$ and 11.20 GeV, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 012001 (2009)

39. Measurement of time dependent CP asymmetry parameters in B^0 meson decays to $\omega K_S^0, \eta K^0,$ and $\pi^0 K_S^0$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 052003 (2009)

40. Measurements of the semileptonic decays $\bar{B} \rightarrow D^0 l^+$ and $\bar{B} \rightarrow D^0 l^+$ using a global fit to DXl^+ final states, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 012002 (2009)

41. Evidence for $X(3872) \rightarrow \psi(2S)\gamma$ in $B^0 \rightarrow X(3872)K^0$ Decays and a Study of $B \rightarrow c\bar{c}\gamma K$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 132001 (2009)

42. Measurement of the $B^+ \rightarrow \omega l^+\nu$ and $B^+ \rightarrow \eta l^+\nu$ branching fractions, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 052011 (2009)

43. Measurements of time-dependent CP asymmetries in $B^0 \rightarrow D^{*0} D^{*0}$ decays, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 032002 (2009)

44. Measurement of $B \rightarrow X\gamma$ Decays and Determination of $|V_{ub}/V_{cb}|$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 161803 (2009)

45. Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ Mixing from a Time-Dependent Amplitude Analysis of $D^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^0$ Decays, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 211801 (2009)

46. Direct CP, Lepton Flavor, and Isospin Asymmetries in the Decays $B \rightarrow K^{*0} l^+ l^-$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 102, p 091803 (2009)

47. Angular distributions in the decay $B \rightarrow K^* l^+ l^-$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 031102 (2009)

48. Observation of $B^0 \rightarrow \chi_{c0} K^{*0}$ and evidence for $B^+ \rightarrow \chi_{c0} K^{*+}$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 091101 (2008)

49. Measurement of ratios of branching fractions and CP-violating asymmetries of $B^0 \rightarrow D^0 K^*$ decays, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 092002 (2008)

50. Observation of $e^+e^- \rightarrow \rho^+\rho^-$ near $\sqrt{s} = 10.58$ GeV, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 071103 (2008)

51. Measurement of the branching fractions of the radiative charm decays $D^0 \rightarrow \bar{K}^{*0}\gamma$ and $D^0 \rightarrow \phi\gamma$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 071101 (2008)

52. Improved measurement of the CKM angle γ in $B^0 \rightarrow D^{*0} K^{*0}$ decays with a Dalitz plot analysis of D decays to $K_S^0\pi^+\pi^-$ and $K_S^0 K^+ K^-$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 034023 (2008)

53. Observation of $B^+ \rightarrow b_1^0 K^0$ and search for B-meson decays to $b_1^0 K^0$ and $b_1\pi^0$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 011104 (2008)

54. Measurements of $B \rightarrow \pi, \eta, \eta', \eta(1760)$ Branching Fractions and Determination of $|V_{ub}|$ with Semileptonically Tagged B Mesons, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 081801 (2008)

55. Time-dependent and time-integrated angular analysis of $B \rightarrow \phi K_S^0\pi^0$ and $\phi K^*\pi^0$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 092008 (2008)

56. Measurement of the Branching Fractions of $\bar{B} \rightarrow D^{*0} l^+\nu_l$ Decays in Events Tagged by a Fully Reconstructed B Meson, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 261802 (2008)

57. Measurement of Semileptonic B Decays into Orbitally Excited Charmed Mesons, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 103, p 051803 (2009)

58. Measurement of the branching fraction, polarization, and CP asymmetries in $B^0 \rightarrow \rho^0\rho^0$ decay, and implications for the CKM angle α , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 071104 (2008)

59. Measurements of branching fractions for $B^+ \rightarrow \rho^+\gamma, B^0 \rightarrow \rho^0\gamma,$ and $B^0 \rightarrow \omega\gamma$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 112001 (2008)

60. Measurements of $B(B^0 \rightarrow \Lambda_c^+\rho^-)$ and $B(B^- \rightarrow \Lambda_c^+\rho^-)$ and studies of $\Lambda_c^+\pi^-$ resonances, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 112003 (2008)

61. Search for the highly suppressed decays $B^- \rightarrow K^+\pi^-\pi^-$ and $B^- \rightarrow K^-K^+\pi^+$, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 091102 (2008)

62. Search for $B \rightarrow K^*\nu\bar{\nu}$ decays, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 072007 (2008)

63. *Searches for B Meson Decays to ϕ , ϕ 's, $\phi_f(980)$, and $f_0(980)f_0(980)$ Final States*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 201801 (2008)

64. *Measurement of time-dependent CP asymmetry in $B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$ decays*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 071102 (2008)

65. *Study of hadronic transitions between Y states and observation of $Y(4S) \rightarrow \eta Y(1S)$ decay*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 112002 (2008)

66. *Study of the decay $D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 051101 (2008)

67. *Observation of the Bottomonium Ground State in the Decay $Y(3S) \rightarrow \gamma \eta$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 071801 (2008)

68. *Search for $B^0 \rightarrow K^{*+} K^{*-}$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 051103 (2008)

69. *Observation and Polarization Measurements of $B^{\pm} \rightarrow \phi K_{1\pm}^+$ and $B^{\pm} \rightarrow \phi K_{1\pm}^0$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 161801 (2008)

70. *Measurement of the CP Asymmetry in $b \rightarrow s \gamma$ Using a Sum of Exclusive Final States*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 171804 (2008)

71. *Erratum: Measurement of Branching Fractions and Mass Spectra of $B \rightarrow K \pi \pi$* [Phys. Rev. Lett. 98, 211804 (2007)], Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 189903 (2008)

72. *Measurement of the mass difference $m(B^0) - m(B^{\pm})$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 011103 (2008)

73. *Observation of $B^+ \rightarrow \eta \pi^+$ and search for B^0 decays to $\eta \eta$, $\eta \pi^0$, $\eta' \pi^0$, and $\omega \pi^0$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 011107 (2008)

74. *Study of B Meson Decays with Excited η and η' Mesons*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 091801 (2008)

75. *Evidence for direct CP violation from Dalitz-plot analysis of $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^0$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 012004 (2008)

76. *Measurement of the branching fractions of the rare decays $B^0 \rightarrow D_s^{(\prime\pm)} \pi^-$, $B^0 \rightarrow D_s^{(\prime\pm)} \rho^-$, and $B^0 \rightarrow D_s^{(\prime\pm)} K^{(\prime\pm)}$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 032005 (2008)

77. *Measurement of the spin of the $\Xi(1530)$ resonance*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 034008 (2008)

78. *Search for CPT and Lorentz Violation in $B^0 - \bar{B}^0$ Oscillations with Dilepton Events*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 131802 (2008)

79. *Study of B-meson decays to $\eta, K^{(\prime\pm)}$, $\eta(2S)K^{(\prime\pm)}$, and $\eta, \gamma K^{(\prime\pm)}$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 012006 (2008)

80. *Evidence for CP Violation in $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^0$ Decays*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 021801 (2008)

81. *Study of $B \rightarrow X(3872)K$, with $X(3872) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 111101 (2008)

82. *Publisher's Note: Search for the rare charmless hadronic decay $B^+ \rightarrow \alpha_s^+ \pi^0$* [Phys. Rev. D 77, 011101 (2008)], Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 039903 (2008)

83. *Measurement of the $\tau^- \rightarrow \eta \pi^- \pi^+ \pi^- \nu_\tau$ branching fraction and a search for a second-class current in the $\tau^- \rightarrow \eta(958) \pi^- \nu_\tau$ decay*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 112002 (2008)

84. *Determination of the form factors for the decay $B^0 \rightarrow D^{*+} \pi^- \nu_\tau$ and of the CKM matrix element $|V_{cb}|$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 032002 (2008)

85. *Search for CP Violation in the Decays $D^0 \rightarrow K^- K^+$ and $D^0 \rightarrow \pi^- \pi^+$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 061803 (2008)

86. *Improved measurement of CP observables in $B^{\pm} \rightarrow D_{CP}^{\pm} K^{\pm}$ decays*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 111102 (2008)

87. *Search for CP violation in neutral D meson Cabibbo-suppressed three-body decays*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 051102 (2008)

88. *Searches for the decays $B^0 \rightarrow l^+ \tau^-$ and $B^+ \rightarrow l^+ \nu (\bar{l} - e, \mu)$ using hadronic tag reconstruction*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 091104 (2008)

89. *Time-dependent Dalitz plot analysis of $B^0 \rightarrow D^+ K^0 \pi^{\pm}$ decays*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 071102 (2008)

90. *Measurement of $D^0 - \bar{D}^0$ mixing using the ratio of lifetimes for the decays $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$, $K^- K^+$, and $\pi^- \pi^+$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 011105 (2008)

91. *Measurement of the Decay $B^- \rightarrow D^0 e^- \bar{\nu}_e$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 231803 (2008)

92. *Measurement of the Branching Fractions of Exclusive $\bar{B} \rightarrow D^{(\prime\pm)} (\pi) l^+ \nu_l$ Decays in Events with a Fully Reconstructed B Meson*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 151802 (2008)

93. *Search for Lepton Flavor Violating Decays $\tau^{\pm} \rightarrow l^{\pm} \omega$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 071802 (2008)

94. *Search for decays of B^0 mesons into $e^+ e^-$, $\mu^+ \mu^-$ and $e^+ \mu^+$ final states*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 032007 (2008)

95. *Measurement of the $B \rightarrow X_s \gamma$ branching fraction and photon energy spectrum using the recoil method*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 051103 (2008)

96. *Dalitz plot analysis of the decay $B^0(\bar{B}^0) \rightarrow K^{\pm} \pi^{\pm} \pi^0$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 78, p 052005 (2008)

97. *Observation of $Y(3940) \rightarrow J/\psi \omega$ in $B \rightarrow J/\psi \omega K$ at BABAR*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 082001 (2008)

98. *Study of excited charm-strange baryons with evidence for new baryons $\Xi_c(3055)^+$ and $\Xi_c(3123)^+$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 012002 (2008)

100. *Measurements of $e^+ e^- \rightarrow K^+ K^- \eta$, $K^+ K^- \pi^0$, and $K_S^0 K^{\pm} \pi^{\mp}$ cross sections using initial state radiation events*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 092002 (2008)

101. *Observation of $B^+ \rightarrow a_1^+(1260) K^0$ and $B^0 \rightarrow a_1^+(1260) K^+$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 051803 (2008)

102. *Observation of the Semileptonic Decays $B \rightarrow D^* \tau \nu_\tau$ and Evidence for $B \rightarrow D^* \nu_\tau$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 021801 (2008)

103. *Search for $B^+ \rightarrow \tau^+ \nu$ decays with hadronic B tags*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 011107 (2008)

104. *Study of resonances in exclusive B decays to $\bar{D}^{(\prime\pm)} D^{(\prime\pm)} K$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 011102 (2008)

105. *Observation of $B^0 \rightarrow K^{*0} \bar{K}^{*0}$ and Search for $B^0 \rightarrow K^{*0} K^{*0}$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 081801 (2008)

106. *Search for the decays $B^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma$ and $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 011104 (2008)

107. *Measurements of Partial Branching Fractions for $\bar{B} \rightarrow X_s l \nu$ and Determination of $|V_{cb}|$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 171802 (2008)

108. *Search for the rare charmless hadronic decay $B^+ \rightarrow \alpha_s^+ \pi^0$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 011101 (2008)

109. *Measurement of the CP-violating asymmetries in $B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$ and of the branching fraction $B^0 \rightarrow K^0 e^0$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. D, 77, p 012003 (2008)

110. *Observation of Tree-Level B Decays with $s\bar{s}$ Production from Gluon Radiation*, Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 171803 (2008)

111. *Exclusive Branching-Fraction Measurements of Semileptonic τ Decays into Three Charged Hadrons, into $\varphi \pi^+ \nu_\tau$, and into $\varphi K^+ \nu_\tau$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 011801 (2008)

112. *Measurement of the Absolute Branching Fraction of $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$* , Aubert, B. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 051802 (2008)

LHCb

1. *The LHCb Detector at the LHC*, The LHCb Collaboration, Journal of Instrumentation, 3, p S08005 (2008)
2. *A Global Treatment Of VMD Physics Up To The ϕ : I. $e^+ e^-$ Annihilations, Anomalies And Vector Meson Partial Widths*, Benayoun, M. et al., European Physical Journal C, 65, p 211-245 (2010)
3. *A Global Treatment Of VMD Physics Up To The ϕ : II. τ Decay and Hadronic Contributions To $g - 2$* , Benayoun, M. et al., European Physical Journal C, 68, p 355-379 (2010)

Phénoménologie de la QCD non-perturbative

1. *Structure of the $X(1835)$ baryonium*, Dedonder, J.-P. et al., Phys. Rev. C, 80, p 04207 (2009)
2. *CP violation and kaon-pion interactions in $B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$ decays*, El-Bennich, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 094005 (2009)
3. *πK interaction effects on CP violation in $B \rightarrow K \pi^+ \pi^-$ decays*, Loiseau, B. et al., Modern Physics Letters A, 24, p 960-963 (2009)
4. *NN exotics and antiprotonic atoms*, Wycech, S. et al., Hyperfine Interactions, 194, p 319-325 (2009)
5. *Scalar resonances in a unitary $\pi\pi$ S-wave model for $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$* , Boito, D. R. et al., Phys. Rev. D, 79, p 034020 (2009)
6. *Paris NN potential constrained by recent antiprotonic-atom data and np total cross sections*, El-Bennich, B. et al., Phys. Rev. C, 79, p 054001 (2009)
7. *Scalar meson $f_0(980)$ in heavy-meson decays*, El-Bennich, B. et al., Phys. Rev. D, 79, p 076004 (2009)
8. *Modeling electromagnetic form factors of light and heavy pseudoscalar mesons*, El-Bennich, B. AND Melo, J. P. B. C. AND Loiseau, B. AND Delouder, J.-P. AND Frederico, T., Brazilian Journal of Physics, 38, p 465 - 471 (2008)
9. *Phase variation of hadronic amplitudes*, Dedonder, J.-P. et al., Phys. Rev. C, 77, p 044003 (2008)
10. *Two-pion exchange contribution to proton-proton scattering at medium energies*, Gibbs, W. R. et al., Phys. Rev. C, 77, p 014003 (2008)
11. *Unified model for small- t and high- t scattering at high energies: predictions at RHIC and LHC*, Martynov, E. et al., European Physical Journal C, 56, p 57-62 (2008)
12. *The dipion mass spectrum in $e^+ e^-$ annihilation and τ decay: a dynamical (ρ, ω, ϕ) mixing approach*, Benayoun, M. et al., European Physical Journal C, 55, p 199-236 (2008)
13. *CP violation and final state interactions in $B \rightarrow K \pi \pi$ decays*, Lesniak, et al., Journal of Physics: Conference Series, 110, p 052031 (2008)
14. *The dipion mass spectrum in $e^+ e^-$ annihilation and τ decay: Isospin Symmetry breaking effects from the (ρ, ω, ϕ) mixing*, Benayoun, M. et al., Nuclear Physics B Proceedings Supplements, 181, p 161-166 (2008)

Cosmologie avec les supernovae de type Ia

1. *Using spectral flux ratios to standardize SN Ia luminosities*, Bailey, S. et al., A&A, 500, p L17-L20 (2009)
2. *The ESO/VLT 3rd year Type Ia supernova data set from the supernova legacy survey*, Ball et al., A&A, 507, p 85-103 (2009)
3. *The core-collapse rate from the Supernova Legacy Survey*, Bazin, G. et al., A&A, 499, p 653-660 (2009)

4. *The Carnegie Supernova Project: First Near-Infrared Hubble Diagram to $z \approx 0.7$* , Wensley L. Freedman et al., The Astrophysical Journal, 704, p 1036 (2009)
5. *The Effect of Progenitor Age and Metallicity on Luminosity and ^{56}Ni Yield in Type Ia Supernovae*, D. A. Howell et al., The Astrophysical Journal, 691, p 661 (2009)
6. *Dark-energy constraints and correlations with systematics from CFHTLS weak lensing, SNLS supernovae Ia and WMAP5*, Kilbinger, M. et al., A&A, 497, p 677-688 (2009)
7. *Constraining Dust and Color Variations of High- z SNe Using NICMOS on the Hubble Space Telescope*, S. Nollu et al., The Astrophysical Journal, 700, p 1415 (2009)
8. *Photometric calibration of the Supernova Legacy Survey fields*, Regnault, N. et al., A&A, 506, p 999-1042 (2009)
9. *Looking Beyond Lambda with the Union Supernova Compilation*, D. Rubin et al., The Astrophysical Journal, 695, p 391 (2009)
10. *Light curves of five type Ia supernovae at intermediate redshift*, Amanullah, R. et al., A&A, 486, p 375-382 (2008)
11. *Photometry Assisted Spectral Extraction (PHASE) and identification of SNLS supernovae*, Baumont, S. et al., A&A, 491, p 567-585 (2008)
12. *SNLS spectroscopy: testing for evolution in type Ia supernovae*, T. J. Brander et al., A&A, 477, p 717-734 (2008)
13. *Clustering of supernova Ia host galaxies*, Carlberg, R. G. et al., The Astrophysical Journal Letters, 682, p L25-L28 (2008)
14. *SIFTO: AN EMPIRICAL METHOD FOR FITTING SN Ia LIGHT CURVES*, Conley, A. et al., The Astrophysical Journal, 681, p 482-498 (2008)
15. *Verifying the Cosmological Utility of Type Ia Supernovae: Implications of a Dispersion in the Ultraviolet Spectra*, Ellis, R. S. et al., The Astrophysical Journal, 674, p 51-69 (2008)
16. *Type Ia Supernovae Rates and Galaxy Clustering from the CFHT Supernova Legacy Survey*, Graham, M. L. et al., The Astronomical Journal, 135, p 1343-1349 (2008)
17. *Improved Cosmological Constraints from Near, Old and Combined Supernova Datasets*, Kowalski, M. et al., The Astrophysical Journal, 686, p 749-778 (2008)
18. *A New Determination of the High Redshift Type Ia Supernova Rates with the Hubble Space Telescope Advanced Camera for Surveys*, Kuznetsova, N. et al., The Astrophysical Journal, 673, p 981-998 (2008)

Groupe théorie dans l'équipe Énergie et Matière noire

1. *One-dimensional gravity in infinite point distributions*, Gabrielli, A. et al., Phys. Rev. E, 80, p 041108 (2009)
2. *Energy ejection in the collapse of a cold spherical self-gravitating cloud*, Joyce, M. et al., MNRAS, 397, p 775-792 (2009)
3. *Gravitational dynamics of an infinite shuffled lattice: Early time evolution and universality of nonlinear correlations*, Baertschiger, T. et al., Phys. Rev. E, 77, p 051114 (2008)
4. *Tilings of space and superhomogeneous point processes*, Gabrielli, A. et al., Phys. Rev. E, 77, p 031125 (2008)
5. *Two-point correlation properties of stochastic splitting processes*, Gabrielli, Andrea et al., Phys. Rev. E, 77, p 031139 (2008)
6. *Towards quantitative control on discreteness error in the non-linear regime of cosmological N body simulations*, Joyce, M. et al., MNRAS, 394, p 751-773 (2009)

HESS

1. *Radio Imaging of the Very-High-Energy γ -ray Emission Region in the Central Engine of a Radio Galaxy*, The VERITAS Collaboration, Science, 325, p 444-448 (2009)
2. *HESS upper limits on very high energy γ -ray emission from the microquasar GRS 1915+10*, Collaboration, HESS, A&A, 508, p 1135-1140 (2009)
3. *Very high energy γ -ray observations of the binary PSR59-63/SS2883 around the 2007 Periastron*, Aharonian, F. et al., A&A, 507, p 389-396 (2009)
4. *Simultaneous multiwavelength observations of the second exceptional γ -ray flare of PKS5-304 in July 2006*, Aharonian, F. et al., A&A, 502, p 749-770 (2009)
5. *Spectrum and variability of the Galactic center VHE γ -ray source HESS J1745-290*, Aharonian, F. et al., A&A, 503, p 817-825 (2009)
6. *Constraints on the multi-TeV particle population in the Coma galaxy cluster with HESS observations*, Aharonian, F. et al., A&A, 502, p 437-443 (2009)
7. *Detection of very high energy radiation from HESS J1908+063 confirms the Milagro unidentified source MGRO J1908+06*, Aharonian, F. et al., A&A, 499, p 723-728 (2009)
8. *HESS upper limit on the very high energy γ -ray emission from the globular cluster 47 Tucanae*, Aharonian, F. et al., A&A, 499, p 273-277 (2009)
9. *Probing the ATIC peak in the cosmic-ray electron spectrum with H.E.S.S.*, Aharonian, F. et al., A&A, 508, p 561-564 (2009)
10. *Simultaneous Observations of PKS 2155-304 with H.E.S.S., Fermi, RXTE and ATOM: Spectral Energy Distributions and Variability in a Low State*, Aharonian, F. et al., The Astrophysical Journal Letters, 696, p L150-L155 (2009)
11. *Discovery of very high energy γ -ray emission from Centaurus A with H.E.S.S.*, Aharonian, F. et al., The Astrophysical Journal Letters, 695, p L40-L44 (2009)
12. *HESS observations of γ -ray bursts in 2003-2007*, Aharonian, F. et al., A&A, 495, p 505-512 (2009)
13. *Very high energy γ -ray observations of the galaxy clusters Abell 496 and Abell 85 with HESS*, Aharonian, F. et al., A&A, 495, p 27-35 (2009)

15. *Discovery of γ -ray Emission From the Shell-Type Supernova Remnant RCW 86 With HESS*, F. Aharonian et al., The Astrophysical Journal, 692, p 1500 (2009)
16. *A Search for a Dark Matter Annihilation Signal Toward the Canis Major Overdensity with H.E.S.S.*, F. Aharonian et al., The Astrophysical Journal, 691, p 175 (2009)
17. *HESS Observations of the Prompt and Afterglow Phases of GRB 060602B*, F. Aharonian et al., The Astrophysical Journal, 690, p 1068 (2009)
18. *Simultaneous HESS and Chandra observations of Sagittarius A* during an X-ray flare*, Aharonian, F. et al., A&A, 492, p L25-L28 (2008)
19. *Energy Spectrum of Cosmic-Ray Electrons at TeV Energies*, Aharonian, F. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 261104 (2008)
20. *Limits on an Energy Dependence of the Speed of Light from a Flare of the Active Galaxy PKS 2155-304*, Aharonian, F. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 170402 (2008)
21. *HESS upper limits for Kepler's supernova remnant*, Aharonian, F. et al., A&A, 488, p 219-223 (2008)
22. *Search for gamma rays from dark matter annihilations around intermediate mass black holes with the HESS experiment*, Aharonian, F. et al., Phys. Rev. D, 78, p 072008 (2008)
23. *Discovery of VHE γ -rays from the high-frequency-peaked BLrtac object RGB52+017*, F. Aharonian et al., A&A, 481, p L103-L107 (2008)
24. *Exploring a SNR/molecular cloud association within HESS J1745-303*, F. Aharonian et al., A&A, 483, p 509-517 (2008)
25. *Discovery of a VHE γ -ray source coincident with the supernova remnant CTB 37A*, Aharonian, F. et al., A&A, 490, p 685-693 (2008)
26. *Discovery of very high energy γ -ray emission coincident with molecular clouds in the W 28 (G6.4-0.1) field*, F. Aharonian et al., A&A, 481, p 401-410 (2008)
27. *Chandra and HESS observations of the supernova remnant CTB*, Aharonian, F. et al., A&A, 486, p 829-836 (2008)
28. *Discovery of very-high-energy γ -ray emission from the vicinity of PSR J1913+1011 with HESS*, F. Aharonian et al., A&A, 484, p 435-440 (2008)
29. *Upper limits from HESS active galactic nuclei observations in 2005-2007*, F. Aharonian et al., A&A, 478, p 387-393 (2008)
30. *HESS very-high-energy γ -ray sources without identified counterparts*, F. Aharonian et al., A&A, 477, p 353-363 (2008)
31. *Observations of the Sagittarius Dwarf galaxy by the H.E.S.S. experiment and search for a Dark Matter signal*, Aharonian, F. et al., Astroparticle Physics, 29, p 55-62 (2008)
32. *HESS observations and VLT spectroscopy of PG3+113*, F. Aharonian et al., A&A, 477, p 481-489 (2008)

Observatoire Pierre Auger

1. *Atmospheric effects on extensive air showers observed with the Surface Detector of the Pierre Auger Observatory*, The Pierre AUGER Collaboration, Astroparticle Physics, 32, p 89-99 (2009)
2. *Upper limit on the cosmic-ray photon fraction at EeV energies from the Pierre Auger Observatory*, The Pierre AUGER Collaboration, Astroparticle Physics, 31, p 399-406 (2009)
3. *Limit on the diffuse flux of ultrahigh energy tau neutrinos with the surface detector of the Pierre Auger Observatory*, Abraham, J. et al., Phys. Rev. D, 79, p 102001 (2009)
4. *Observation of the Suppression of the Flux of Cosmic Rays above 4×10^{19} eV*, Abraham, J. et al., Phys. Rev. Lett., 101, p 061101 (2008)
5. *Correlation of the highest-energy cosmic rays with the positions of nearby active galactic nuclei*, The Pierre AUGER Collaboration, Astroparticle Physics, 29, p 188-204 (2008)
6. *Upper Limit on the Cosmic-Ray Photon Flux Above 10^{19} eV Using the Surface Detector of the Pierre Auger Observatory*, Pierre AUGER Collaboration, Astroparticle Physics, 29, p 243-256 (2008)
7. *Upper Limit on the Diffuse Flux of Ultrahigh Energy Tau Neutrinos from the Pierre Auger Observatory*, Abraham, J. et al., Phys. Rev. Lett., 100, p 211101 (2008)

Biophysique

1. *A 3D mechanical model of the early mammalian embryo*, Le Guillou, Laurent et al., Journal of Biological Physics and Chemistry, 9, p 11 (2009)
2. *Emergent properties in Biological Systems as a Result of a Competition between Internal and External Dynamics*, B. Leforge, Journal of Biological Physics and Chemistry, 9, p 5 (2008)

Delphi

1. *Correlations between Polarisation States of W Particles in the Reaction $e^+ e^- \rightarrow W^+ W^-$ at LEP2 Energies 189-209 GeV*, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 63, p 611-623 (2009)
2. *Inclusive single-particle production in two-photon collisions at LEP II with the DELPHI detector*, Delphi Collaboration, Physics Letters B, 678, p 444-449 (2009)
3. *Search for one large extra dimension with the DELPHI detector at LEP*, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 60, p 17-23 (2009)
4. *A Study of $p\bar{p}$ Production in $e^+ e^-$ Collisions at $\sqrt{s} = 130-207$ GeV*, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 60, p 1-15 (2009)
5. *Observation of the Moon Inner Bremsstrahlung at LEP1*, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 57, p 499-514 (2008)
6. *Di-jet production in $\gamma\gamma$ collisions at LEP2*, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 58, p 531-541 (2008)

- Higgs boson searches in CP-conserving and CP-violating MSSM scenarios with the DELPHI detector, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 56, p 165-170 (2008)
- Study of b-quark mass effects in multijet topologies with the DELPHI detector at LEP, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 55, p 525-538 (2008)
- Measurement of the Mass and Width of the W Boson in e^+e^- Collisions at $\sqrt{s} = 161 - 209$ GeV, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 55, p 1-38 (2008)
- Higgs boson searches in CP-conserving and CP-violating MSSM scenarios with the DELPHI detector, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 54, p 1-35 (2008)
- Study of W boson polarisations and Triple Gauge boson Couplings in the reaction $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$ at LEP 2, Abdallah, J. et al., European Physical Journal C, 54, p 345-364 (2008)
- Measurement of the Tau Lepton Polarisation at LEP2, Delphi Collaboration, Physics Letters B, 659, p 65-73 (2008)

EROS2

- The best Cepheids in the Magellanic Clouds: an analysis from the EROS-2 database, Marquette, J. B. et al., A&A, 495, p 249-256 (2009)
- The EROS2 search for microlensing events towards the spiral arms: the complete seven season results, Bahal, Y. B. et al., A&A, 500, p 1027-1044 (2009)

Communications à des conférences scientifiques

Pierre Astier

- Supernovae from space, Paris-Berkeley workshop, Paris, septembre 2009
- The LSST cosmology program, Paris-Berkeley workshop, Paris, septembre 2009
- Cosmology and dark energy, EPS HEP conférence, Cracovie (Pologne), juillet 2009
- The Supernova Legacy Survey, Leopoldina conference on Dark Energy, Munich (Allemagne), octobre 2008
- Supernovae and Dark Energy, SPIE, Marseille, juin 2008
- Large surveys, Rencontres de Blois, mai 2008
- The LSST project, Rencontres de Blois, Blois, mai 2008

Stephen Bailey

- Initial Hubble Diagram Results from the Nearby Supernova Factory, ICHEP 2008, Philadelphie (États-Unis), juillet 2008
- Using Nearby Supernovae for Cosmology, Brookhaven Seminar (États-Unis), octobre 2008
- Generalized Spectral Correlations of SNe Ia from the Nearby Supernova Factory, AAS, Longbeach (États-Unis), janvier 2009
- Making Cosmology's Best Standard Candles Even Better, Rencontres de Blois, juin 2009
- Making Cosmology's Best Standard Candles Even Better, Deciphering the Universe Through Spectroscopy, Potsdam (Allemagne), septembre 2009
- Recent Results from the Nearby Supernova Factory, Paris Berkeley Cosmology Workshop, Paris, septembre 2009

Christophe Balland

- VLT SNLS 3rd yr spectral data set», SNLS Collaboration Meeting, Oxford (Royaume-Uni), juin 2008

- Cosmological constraints from the 3rd year Supernova Legacy Survey data set, Conférence on the Universe à Blois, juin 2009

Eli Ben-Haim

- Overview of CP Violation in the Quark Sector, Workshop on Fundamental Symmetries: From Nuclei and Neutrinos to the Universe, ECT* Trento (Italie), juin 2007
- Review of experimental B-physics in the passing year, Annual Workshop of the European Flavour "Physics Network FLAVIANet", IPPP Durham (Royaume-Uni), septembre 2008
- CP Violation in Hadronic Penguin Modes, Europhysics Conference On High Energy Physics (HEP-EPS), Cracovie (Pologne), juillet 2009

Gérard Bonneaud

- Bottomonium, Flavour Physics and CP violation, Lake Placid (États-Unis), juin 2009

Giovanni Calderini

- Electrical simulations of silicon pixel sensors under development for the upgrade of the ATLAS experiment at CERN, 7th Hiroshima Symposium on Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors, Hiroshima (Japon), août 2009

Jacques Chauveu

- Measurements of CP-violation in B decays and CKM parameters, Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics, Moscou (Russie), août 2007

Pablo del Amo Sánchez

- Charmless B decays at BABAR, Phenomenology 2008 Symposium, Madison, Wisconsin (États-Unis), avril 2008
- New Physics searches at the B-factories, XXIX Physics in Collision, Kobe, août 2009

Autres

- Des expériences de Sagnac et de Wang, Christian Leruste et al., Comptes Rendus Physique, 10, p 691 - 700 (2009)
- Measurement of $M_{W^+}^2 - M_{W^-}^2$ at LHC, Fayette, F. et al., European Physical Journal C, 63, p 33-56 (2009)
- Luminosity measurement method for LHC: The theoretical precision and the experimental challenges, Krasny, M. W. et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 584, p 42-52 (2008)
- Selection of kinematic region for precision measurement of the LHC luminosity using coplanar lepton pairs, Krasny, M. W. et al., Nuclear Physics B Proceedings Supplements, 179, p 245-253 (2008)
- The Measurement of the W mass at the LHC: shortcuts revisited, Dydak, F. et al., CERN-SPSC-2009-028/SPSC-I-239 et CERN-LHCC-2009-014/LHCC-I-017 (2009)
- A Gauge Model of Data Selection, Acquisition and Analysis for LHC, Krasny, M. W. et al., Acta.Phys.Pol. Vol.39-7, p 1613 (2008)
- Radiative corrections to DIS, Krasny, M. W. et al., Acta.Phys.Pol. Vol.39-7, p 1605 (2008)

Julien Guy

- Review on cosmology with type Ia SNe, Rencontres de Moriond Cosmology, La Thuile (Italie), mars 2008
- The Expansion History of the Universe using SNe Ia, Frontiers of Science symposium, Roscoff, novembre 2008
- SNLS 3rd Year data set: cosmology, Dark Energy Workshop, IAS, Orsay, décembre 2008
- SNLS 3rd Year data set: cosmology, Texas Symposium, Vancouver (Canada), décembre 2008
- Challenges for Cosmology with SNe Ia: lessons learned from SNLS, IDEM workshop, Paris, mars 2009
- SNLS 3rd Year Cosmological Results, 12th Marcel Grossmann Meeting, Paris, juillet 2009
- SNLS 3rd Year Cosmological Results, Cosmic Structure and Evolution Workshop, Bielefeld (Allemagne), septembre 2009
- SNLS 3rd Year Cosmological Results, Paris-Berkeley workshop, Paris, septembre 2009

Michael Joyce

- Discreteness effects in cosmological N body simulations, à "Dark Matter at small scales", APC Tolbiac, février 2008
- Uniform point processes in cosmology, à "Uniform point processes and their applications: from glasses to cosmology", LPTHE Paris, mars 2008
- Discreteness effects in cosmological N body simulations, à "Practical problems in cosmology", St. Petersburg (Russie), juin 2008
- Dynamics of finite and infinite self-gravitating systems from quasi-uniform initial conditions, à "Sigma-Phi 2008" conference on statistical physics », Crète (Grèce), juillet 2008
- The issue of resolution in cosmological dark matter simulations, "Montpellier08"

Communications à des conférences scientifiques

- workshop on cosmology and astroparticles, Montpellier, octobre 2008
- Cold uniform spherical collapse revisited, "Invisible Universe" international conférence, Paris, juin 2009
- Toy models for dark matter clustering, à "Montpellier09" on cosmology and astroparticles, Montpellier, novembre 2009

Laurent Le Guillou

- A simple 3D mechanical model of the early mammal embryo (talk), Cargèse Summer School, The Geometry and Mechanics of Growth in Biological Systems, Cargèse, juillet 2008
- A simple 3D mechanical model of the early mammal embryo (poster), Morphogenesis in Living Systems (MLS'09), Paris, mai 2009

Jean-Michel Levy

- Study of the quasi-elastic ν_{μ} n/ $\bar{\nu}_{\mu}$ p scattering in the Nomad experiment, XIV Lomonosov Conference, Moscou (Russie), août 2009

Benoît Loiseau

- πK interaction effects on CP violation in $B \rightarrow K\pi\pi$ decays, intervention à l'Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB08), Depok (Indonésie), août 2008
- Measurements of the CKM angle gamma at BABAR, 34th International Conference on High Energy Physics ICHEP, Philadelphia (États-Unis), juillet 2008
- Lepton-flavor-violating tau decays at BABAR, SUSY 09, Boston (États-Unis), juin 2009

Giovanni Marchiori

- Measurements of the CKM angle gamma at BABAR, 34th International Conference on High Energy Physics ICHEP, Philadelphia (États-Unis), juillet 2008
- Lepton-flavor-violating tau decays at BABAR, SUSY 09, Boston (États-Unis), juin 2009
- Measurements of the CKM angle gamma at BABAR, 34th International Conference on High Energy Physics ICHEP, Philadelphia (États-Unis), juillet 2008
- Lepton-flavor-violating tau decays at BABAR, SUSY 09, Boston (États-Unis), juin 2009
- Radiative corrections to dis.Talk, Epiphany conférence, Cracovie (Pologne), janvier 2008
- O(1%) Luminosity measurement at the LHC, Workshop on High Energy Photon Collisions at LHC - CERN, Genève, avril 2008
- The challenges for precision physics at the LHC, Invited talk at the School of Particles and Accelerators : 1st IPM meeting on LHC physics, Isfahan (Iran), avril 2009
- Mono-energetic electron and gamma-ray beams at cern, Workshop on New Opportunities in the Physics Landscape at CERN, CERN, mai 2009

José Ocariz

- Fisica experimental de altas energias en colisionadores, 4th Lago Workshop, Mérida (Venezuela), juillet 2007

- Time-dependent CPV in rare decays, 6th Flavour Physics and CP violation, Taipei (Taiwan), mai 2008
- Selected topics from B factories, VII Latinamerican Symposium on High Energy Physics, San Carlos de Bariloche (Argentine), janvier 2009
- Experimental status of the CKM matrix, 2nd Franco-Italian workshop on B physics, Ferrara (Italie), mars 2009
- The CKM matrix: Status and sensitivity to New Physics, Europhysics Conference On High Energy Physics (HEP-EPS), Cracovie (Pologne), juillet 2009
- EL LHC en acción : el futuro ha empezado !, VII congress of the Venezuelan, Physical Society, Caracas (Venezuela), décembre 2009

Reynald Pain

- Dark Energy Constraints from the Supernova Legacy Survey, 2nd International Workshop on the Interconnection between Particle Physics and Cosmology, Albuquerque (États-Unis), mai 2008
- Dark Energy Constraints from the Supernova Legacy Survey, Dark Energy and Dark Matter: Observations, Experiments and Theories, Lyon, juillet 2008
- Measuring the Cosmic Equation of State, ESO Workshop on Large Programmes, Garching, Allemagne, octobre 2008
- Large Dark Energy Surveys, Cosmology Workshop Montpellier 08, Montpellier, octobre 2008
- Probing Dark Energy with SNe Ia, Workshop on Dark Energy, novembre 2008, Orsay
- Supernova Surveys - Probing Dark Energy With Type Ia Supernovae, Workshop on Astroparticle Physics, Lausanne (Suisse), juin 2009
- Supernovae : Issues for Future Progress, 1st Paris Berkeley Dark Energy Cosmology Workshop, Paris, septembre 2009

Alejandro Pérez

- Dalitz Analyses at BABAR (poster), American Physical Society April Meeting, Jacksonville Florida (États-Unis), avril 2007
- Charmless B decays at BABAR, 10th International Workshop on Meson Production, Properties and Interactions, Cracovie (Pologne), juin 2008
- Measurement of the angle α at BABAR, Lake Louise Winter Institute LLWI, Lake Louise, Alberta (Canada), février 2009

Boris Popov

- HARP and NA61 (SHINE) hadron production experiments and their implications for neutrino physics presented at the NNN08 International Workshop on Next Nucleon decay and Neutrino detectors, APC, Paris, septembre 2008

- The NA61 (SHINE) experiment at CERN - hadron production measurements for T2K presented at the 3rd CHIPP Swiss Neutrino Workshop, ETH, Zurich (Suisse), novembre 2008
- HARP and NA61 (SHINE) hadron production experiments presented at the NUINT'09 International Workshop on Neutrino-Nucleus Interactions in the Few-GeV Region, Sitges, Barcelone (Espagne), mai 2009

Jennifer Prendki

- Dalitz plot analysis of $B^+ \rightarrow K^0_S \pi^+ \pi^0$, American Physical Society, St. Louis Missouri (États-Unis), avril 2008

Nicolas Regnault

- SNLS 3rd Year Cosmological Results, Invisible Universe, UNESCO, Paris, juillet 2009
- Measurement of the Dark Energy Equation of State», ICHEP'08, Philadelphie (États-Unis), août 2008

Philippe Schwemling

- The ATLAS liquid argon calorimeters: Construction, integration, commissioning and performance from selected beam-test results, 10th International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR08) Novossibirsk (Russie), février 2008

Simon Sitt

- Measurement of the Time-Dependent CP asymmetries in $B^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0 K_S^0$, American Physical Society, Denver Colorado (États-Unis), mai 2009

François Vannucci

- Search for heavy neutrinos», Conférence Neutrino 2008, Christchurch NZ
- Search for heavy neutrinos, Lomonosov Conference, Moscou (Russie), août 2008
- Physique des particules et les limites de la connaissance, Lyon, octobre 2009

Tirawat Worrakitpoonpon

- Tirawat Worrakitpoonpon, Relaxation to thermal equilibrium in 1-d self-gravitating systems, Conférence Elbereth 2009, IAP, Paris, décembre 2009

Séminaires

Jacques Chauveau

- « CP Violation in B meson decays », colloquium à University of South Carolina, Columbia (Etats Unis) novembre 2007
- « Measurements of CP violation in B decays and CKM parameters », séminaire à Ohio State University, Columbus (Etats Unis) novembre 2007

Pablo del Amo Sanchez

- « Désintégrations en trois corps sans charme des mésons B à BABAR », Séminaires au LAPP, Annecy (France), mars 2009
- « Désintégrations en trois corps sans charme des mésons B à BABAR », Séminaires à l'IPHC, Strasbourg (France), avril 2009

Michael Joyce

- « Progress in quantifying discreteness effects in dissipationless dark matter simulations », Cosmology and computational astrophysics group seminar, Institute of Theoretical Physics, University of Zurich, février 2008.
- « Cosmological N-body simulations of dark matter », à l'Ecole doctorale Orsay-Bielefeld, « Lattice simulations of quantum fields », LPT Orsay, mars 2008
- « Superhomogenous point processes and tilings of space » Instituto per Sistemi Complessi, Université de Rome 1, avril 2008
- « Mécanique statistique de systèmes auto-gravitants », Laboratoire de Physique Statistique et de la Matière Condensée, Paris, novembre 2009

Laurent Le Guillou

- « Simuler les premiers stades de l'embryon en faisant du coloriage... et autres méthodes ludiques mais néanmoins sérieuses ! », Ateliers du groupe de travail SMABio, Evry Génomôle, Evry, 21 mars 2008

Olivier Leitner

- « Le moment magnétique anormal du muon », séminaire à Subatech, Nantes, le 26-06-08
- « e+e- versus tau data : the muon magnetic anomalous moment », séminaire au LNF (Laboratoire National de Frascati), Frascati, Italie le 10-09-08

Benoît Loiseau

- « La résonance X(1835) et l'état lié 11S0 du potentiel nucléon-antinucleon de Paris », séminaire à l'IPN, Orsay, le 13-11-08.
- « The X(1835) resonance from a nucleon-antinucleon quasi-bound state », séminaire à l'Institute of Nuclear Physics, Cracovie, Pologne, le 18-11-08.

Krasny Mieczyslaw

- « The LHC Light on Dark Matter and Dark Energy », DURHAM University Colloque, June 2008.
- « Generic Searches and Dedicated Measurement strategy for the LHC physics Program », DURHAM Centre of Particle Physics Penomenology, June 2008.
- « Luminosity measurement for LHC », DURHAM Centre of Particle Physics Penomenology, June 2008

Philippe Schwemling

- « Principes de détection et conceptions de détecteurs », Ecole IN2P3 « De la physique au détecteur », Fréjus, 20-26 novembre 2008

François Sicard,

- « 1D gravity in infinite point distributions » à l'Ecole de Physique des Houches « Long-Range Interacting Systems », août 2008
- « Formation of Non-linear structures in a 1D model of gravity in an infinite distribution of points » à l'Ecole du Non-linéaire de Peyresq, août 2009

- « The measurement of the W-boson mass at the LHC - Shortcuts revisited », CERN, Geneva, April 2009
- « COMPASS and precision electroweak physics at the LHC », CERN, Geneva, September 2009
- « High intensity photon beams at CERN », ESRF, Grenoble, Colloque, October 2009
- « Measurement of the SM parameters at the LHC », LPC, Grenoble, October 2009
- « Precision Electroweak Physics at the LHC », LAPP, Annecy, December 2009

Alejandro Pérez

- « Time-dependent Amplitude Analysis of $B^0 \rightarrow K^0_s \pi^+ \pi^-$ decays with BaBar and constraints on the CKM matrix with the $B \rightarrow K^* \pi$ and $B \rightarrow \rho K$ modes », Séminaire au LPSC, Grenoble (France), avril 2009

Nicolas Regnault

- « Supernovae and Cosmology, Gentner Colloquium », Max Planck Institute for Nuclear Physics, Heidelberg, janvier 2009.

Melissa Ridel

- « La physique des particules au LHC du CERN », Frif, 20 janvier 2009 et 22 janvier 2008

François Vannucci

- « Neutrino physics Summer student course », CERN, 2009
- « EM properties of neutrinos », Fermilab, septembre 2008

François Vannucci

- « Les astroparticules », école IN2P3, novembre 2008

Contributions à des ouvrages et publications sans comité de lecture

Christophe Balland

- « Tout en un de Physique », Gautron, L.; Balland, C. et al., 2010, Dunod Ed., Collection Science Sup., à paraître
- « The Supernova », Sullivan, M. Balland, C., 2008, The ESO Messenger, 133, 42

François Brun

- Contribution au proceeding « HESS VHE gamma-ray observations of the microquasar GRS 1915+105 » pour l'ICRC 2009 (1^{er} auteur A.Szostek)

Jacques Dumarchez

- Editeur des proceedings, Rencontres de Moriond, Cosmology, La Thuile (Italie), 15-22 mars 2008

- Editeur des proceedings, Rencontres de Blois - Challenges in Particle Astrophysics, Blois, 18-23 mai 2008
- Editeur des proceedings, Rencontres de Moriond, Very High Energy Phenomena in the Universe, La Thuile (Italie), 1-8 février 2009
- Editeur des proceedings, Rencontres de Moriond, Electroweak Interactions & Unified Theories, La Thuile (Italie), 7-14 mars 2009
- Editeur des proceedings, Rencontres de Moriond, QCD and High Energy Interactions, La Thuile (Italie), 14-21 mars 2009
- Editeur des proceedings, Rencontres de Blois "Windows on the Universes", Blois, 21-27 juin 2009

Laurent Le Guillou

- « Le hasard au cœur de la cellule », Editeurs : Jean-Jacques Kupiec, Olivier Gandrillon, Michel Morange, Marc Silberstein (dir.) Editions Syllepse, février 2009
- Chapitre 5 : « Simulation informatique du modèle darwinien de la différenciation cellulaire », Jérôme Glisse, Laurent Le Guillou, Bertrand Laforge, Jean-Jacques Kupiec.

François Vannucci

- Mémoires d'un déraciné, collaboration aux mémoires de Charpak, Odile Jacob, juin 2008

Organisation de conférences scientifiques et écoles thématiques

Pierre Astier

- Membre du comité d'organisation de la session cosmology, Rencontres de Moriond, mars 2008

Jacques Dumarchez

- Organisateur, Rencontres de Moriond - Cosmology, La Thuile (Italie), 15-22 mars 2008
- Organisateur, Rencontres de Blois - Challenges in Particle Astrophysics, Blois, 18-23 mai 2008
- Organisateur, Rencontres de Moriond, "Very High Energy Phenomena in the Universe", La Thuile (Italie), 1-8 février 2009
- Organisateur, Rencontres de Moriond, "Electroweak Interactions & Unified Theories", La Thuile (Italie), 7-14 mars 2009
- Organisateur, Rencontres de Moriond, "QCD and High Energy Interactions", La Thuile (Italie), 14-21 mars 2009
- Organisateur, Rencontres de Blois "Windows on the Universes", Blois, 21-27 juin 2009

Michael Joyce,

- International advisory committee de "Practical problems in cosmology", St. Petersburg, Russia, juin 2008

Frédéric Kapusta

- Membre du Comité International d'Organisation de Photon09

Didier Lacour

- Membre du comité d'organisation de TWEPP-09 : Topical Workshop on Electronics for Particle Physics, Paris, 21-25 septembre 2009

Laurent Le Guillou

- Membre du comité d'organisation du 2nd Paris Workshop on MAS in Biology at meso or macroscopic scales, LPNHE, Campus Jussieu, Paris, 23 juin 2009

Krasny Mieczyslaw

- Member of the organizing committee of the "Trans-European School of High Energy Physics", Zakopane, Poland, July 2009
- Member of the organizing committee of the "Trans-European School of High Energy Physics", Izvorani Village, Ilfov County, Romania, July 2010

José Ocariz

- Codirecteur de la France-Asia Particle Physics School, Les Houches, septembre 2008

Reynald Pain

- Organisation de « First Paris Berkeley Dark Energy Cosmology workshop », Paris, 14-18 septembre 2009

Boris Popov

- XXX International Workshop on «Neutrino Physics at Accelerators», January 23-25, 2008, DLNP, JINR, Dubna. <http://nuweb.jinr.ru/~nd/workshop2008/>
- XXXI International Workshop on « Neutrino Physics at Accelerators », January 27-29, 2009, DLNP, JINR, Dubna. <http://nuweb.jinr.ru/~nd/workshop2009/>

Melissa Ridel

- Membre du comité d'organisation du workshop sur le top réunissant chaque année à Grenoble expérimentateurs et théoriciens, depuis septembre 2009

Sophie Trincaz-Duvoid

- Organisation de la journée jet 2008 au LPNHE, 20 juin 2008
- Organisation du workshop Physique ATLAS FRANCE, les 19-21 octobre 2009, (Evian les bains)

François Vannucci

- Membre du Comité Arena, Rome, juin 2008

Communications à des écoles thématiques

Michael Joyce

- « Cosmological N-body simulations of dark matter », à l'Ecole doctorale Orsay-Bielefeld, mars 2008
- « Lattice simulations of quantum fields », LPT Orsay, mars 2008.

Laurent Le Guillou,

- « Simulation of the Mammal Embryo » (talk), 1st Paris Workshop on MAS in Biology at meso or macroscopic scales, LPNHE, Campus Jussieu, Paris, 2 juillet 2008

Responsabilités dans les comités d'évaluation, les instances scientifiques

Jean-Eudes Augustin

- Président du Program Advisory Committee (PAC) du International Linear Collider Steering Committee (ILCSC)

Pierre Astier

- Membre du groupe de travail astrophysique du CNES.
- Membre du groupe de travail « Moyens d'observation dans les 5 à 10 ans » de préparation de la prospective INSU en 2009

Christophe Balland

- Expert extérieur pour l'ANR 2008

Eli Ben-Haim

- Co-convenir du groupe de travail d'analyse (Analysis Working Group) de BABAR chargé des analyses de désintégrations de mésons B en trois corps sans charme
- Coordinateur des analyses dans le plan de Dalitz, communes entre BABAR et Belle

Gérard Bonneaud

- Chair de SLAC User Organisation
- Coordinateur de prise de données (Run Coordinator) de BABAR
- Chair du Collaboration Council de BABAR
- Membre du Publication Board de BABAR

Giovanni Calderini

- System Manager du détecteur de vertex en silicium (SVT) de BABAR

Jacques Chauveau

- Coordinateur de BABAR-France
- Coordinateur de prise de données (Run Coordinator) de BABAR
- Membre du Speakers bureau de BABAR
- Membre du Executive Board de BABAR
- Membre du conseil scientifique de l'IN2P3
- Chair du comité d'élection du porte-parole de BABAR (2009)
- Membre du comité d'élection de coordinateur de physique de BABAR (2007)

Frédéric Derue

- Membre du groupe de coordination Computing ATLAS France

Jacques Dumarchez

- Président du conseil scientifique du département PNPP du CNRS
- Membre du groupe de travail du CNES sur la Physique Fondamentale

Frédéric Kapusta

- Membre du conseil scientifique de département PNPP

Didier Lacour

- Membre de l'ECFA plénier (European Comitee for Futur Accelerator)

Jean-Michel Levy

- Membre expert extérieur pour l'ANR

Giovanni Marchiori

- Co-convenir du groupe de travail d'analyse (Analysis Working Group)

de BABAR chargé des analyses de désintégrations exclusives des mésons B avec un méson charmé dans l'état final.

José Ocariz

- Responsable national du programme HELEN
- Membre du jury d'admission à la section 03 du CNRS (2008)

Reynald Pain

- Membre du comité exécutif du projet SCP
- Coordinateur IN2P3 des projets SN et LSST
- Porte parole français des projets SNLS et SNF
 - Evalueur demandes Postdocs et R&D dans le GIS P2I

Melissa Ridet

- Membre de la section 03 du comité national
- Membre d'un comité de chair à Strasbourg, de la commission fellow du CERN de l'IN2P3, du tournoi du LAPP le 23 octobre 2009, et du conseil d'administration de l'IN2P3

Sophie Trincaz-Duvoid

- Membre nommée au conseil scientifique de la FRIF (comité de recherche des interactions fondamentales) depuis mai 2007

François Vannucci

- Membre du jury du prix « Le Monde de la recherche »

Pierre Astier

Médaille d'argent du CNRS 2009

Frédéric Kapusta

2008 Prix JINR-Dubna pour l'étude des interactions Photon-Photon dans l'expérience DELPHI.

Melissa Ridet

Lauréat du partenariat Hubert Curien franco-néerlandais Van Gogh pour l'année 2010

Partenariats scientifiques

Le laboratoire est partenaire de nombreux accords de collaboration nationaux et internationaux.

Au niveau du campus Jussieu,

le laboratoire est membre de la fédération de recherche Interactions fondamentales (FRIF), qui regroupe, sous la houlette de l'UPMC, les chercheurs du LPNHE avec ceux principalement théoriciens du LPTHE, du LPTENS et à laquelle est associé le Collège de France via la Chaire de G. Veneziano. L'affiliation à la FRIF 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.

Au niveau du « grand Paris » nous sommes partenaires du groupement d'intérêt scientifique (GIS) « physique des 2 infinis » chargé de développer les interactions entre laboratoires parisiens impliqués dans les activités de Physique des Particules, Physique Nucléaire, Astrophysique, Astroparticules et Cosmologie. Ce partenariat a permis de renforcer les liens avec les laboratoires de la région parisienne pour l'exploitation du LHC (soutien aux analyses Top et Higgs par exemple) et de l'observatoire HESS, et de démarrer, au niveau de laboratoire, plusieurs activités de R&D en vue de préparer les projets futurs (soutiens aux R&D CTA et LSST par exemple).

Le laboratoire est, par ailleurs, partenaire du groupement de recherche GRIF, « Grille au service de la Recherche en Ile de France ». Ce projet 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.

Au niveau du laboratoire, GRIF se décline en un Tier 2, contribuant à la simulation et à l'analyse des données des expériences du LHC et un Tier 3 dédié aux analyses de l'équipe ATLAS du laboratoire. Un accès à ces ressources a été ouvert à des équipes du campus Jussieu intéressées par le calcul sur Grille. Une équipe du laboratoire Génomique des microorganismes, par exemple, l'utilise, pour faire des calculs de génomique des maladies génétiques.

Le laboratoire est membre de plusieurs « Laboratoires Internationaux Associés »

(LIA) comme le laboratoire Européen pour l'astronomie gamma (ELGA), le laboratoire Franco-chinois de physique des particules (FCPPL) et les équivalents Japonais et vietnamiens (FJPPL et FVPPL), 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 principalement de financer les séjours de scientifiques étrangers au laboratoire et réciproquement de chercheurs du LPNHE dans les laboratoires partenaires pour des durées de quelques jours à quelques semaines sur des projets bien identifiés prioritaires au laboratoire. Ils contribuent à renforcer les équipes de recherche du laboratoire et constitue un facteur important de l'accroissement récent de la production scientifique du laboratoire. Plusieurs chercheurs du laboratoire ont des responsabilités importantes dans ces structures de recherche.

Les chercheurs du laboratoire entretiennent, par ailleurs, de nombreuses collaborations avec des

chercheurs français ou étrangers via les projets auxquels ils participent ou par le biais d'accords de coopération spécifiques passés par l'IN2P3 ou le CNRS avec les pays concernés. Ils ont aussi collaboré en 2008 et 2009 avec des chercheurs français ou étrangers au sein des projets Higgs, Nectar et Vitesse, financés par l'ANR et des projets européens, RTN1a, EUDET, ACCESS et EGEE.

Sur le plan technique, le laboratoire entretient des collaborations avec des partenaires du secteur privé tel que Hamamatsu Photonics et est membre de consortia public-privé comme le GIS Photonics-CNRS et le GIS sources et accélérateurs avec le groupe Thales.

Enfin, par l'intermédiaire d'un de ses chercheurs, coordinateur national du projet, le laboratoire a été moteur dans le programme européen HELEN d'échanges scientifique avec l'Amérique latine (High Energy physics Latin-american European Network). Ce programme, vise à favoriser les échanges entre le CERN, les pays d'Amérique latine et les pays dits « latino-européens » sur une thématique scientifique principalement LHC. Cet accord a permis, en particulier, d'accueillir au laboratoire des étudiants latino-américains pour préparer une thèse au sein de l'équipe ATLAS du laboratoire.

Distinctions





ENSEIGNEMENT

L'enseignement supérieur

Formation par la recherche

Les thèses au LPNHE

Les stages au LPNHE



L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

J-P. Tavernet



Plus de la moitié des chercheurs permanents du laboratoire sont des enseignant-chercheurs (EC) de l'UPMC, de Paris-Diderot ou de Paris-Sud. Le nombre total d'EC est en augmentation sur les quatre dernières années. Cette évolution entre 2005 et 2009 est décrite dans le tableau 1. Le LPNHE compte actuellement 26 EC dont 6 professeurs. Le recrutement récent de jeunes maîtres de conférences (MCF) et le départ à la retraite de certains professeurs (PR) explique en partie la faible proportion de professeurs.

Aux EC titulaires s'ajoutent une vingtaine de doctorants, moniteurs, post-doctorants, ATER, chercheurs et ingénieurs CNRS qui participent à un titre ou à un autre aux enseignements universitaires, des grandes écoles ou des écoles thématiques de l'IN2P3.



Activités au sein des instances des universités

Les EC et les chercheurs CNRS du laboratoire sont fortement impliqués dans les instances universitaires :

- jusqu'à la mise en place de la loi LRU : membres de commissions de spécialistes de 29^e section de l'UPMC, de Paris-Diderot ou d'autres établissements (Paris-Sud, Montpellier 2) ;
- depuis la mise en place de la loi LRU : membres de plusieurs comités de sélection.

Le LPNHE a également des représentants au conseil d'administration de l'UPMC, au conseil scientifique de Paris-Diderot, et aux différents conseils (administration, scientifique et

des enseignements) des UFRs de physique de l'UPMC et de Paris-Diderot.

Le laboratoire contribue à la formation par la recherche grâce à l'implication des EC dans les conseils de différentes écoles doctorales (ED), permettant de recruter, de former et de financer des doctorants. Le LPNHE est rattaché aux ED « Particules, Noyaux, Cosmos » (ED 517), « La physique de la particule à la matière condensée » (ED 389) et « Physique de la région parisienne » (ED 107). La direction de l'ED 517 est assurée par un EC du laboratoire.

L'enseignement

Cette implication des personnels du laboratoire est importante dans de nombreuses filières de

l'enseignement supérieur : Licence, Master, École normale supérieure, Médecine et recouvre l'ensemble des domaines, depuis la formation à la recherche jusqu'aux formations professionnalisantes et à l'insertion professionnelle.

Licence

Les EC du LPNHE participent aux enseignements des trois années de la licence dans les différentes mentions proposées par les universités de rattachement. Ils participent non seulement à l'enseignement des matières correspondant aux activités du laboratoire, mais aussi à l'enseignement de la physique générale dans tous les cycles. Ils y assurent la responsabilité d'une trentaine d'unités d'enseignement.

Université d'appartenance	Catégorie	2005	2007	2009
UPMC (P6)	PR	5	5	3
	MCF	8	9	11
Université Paris-Diderot (P7)	PR	2	2	3
	MCF	7	8	8
Université Paris-Sud (P11)	PR	0	0	1
	MCF	0	0	0
Total		22	24	26

Evolution des effectifs enseignant-chercheurs au LPNHE



FORMATION PAR LA RECHERCHE

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 ce qui concerne la deuxième année de master, le laboratoire est impliqué dans trois spécialités et est un lieu d'accueil pour certains de leurs enseignements.

→ Spécialité Capteurs, Mesures et Instrumentation (CMI)

Cette spécialité, par un enseignement assez généraliste, permet d'acquérir de très bonnes connaissances de méthodologie innovante dans des domaines variés recouvrant l'environnement, le médical ou l'industrie. Elle a pour vocation de donner aux étudiants une formation large et diversifiée en physique des

capteurs, en acquisition et traitement du signal, ainsi qu'en analyse des données, de façon à maîtriser une chaîne de mesure complète. Dans le cadre de cette formation, les personnels du LPNHE interviennent dans des enseignements divers tels que l'interaction particules-matière, le traitement du signal, les probabilités et les méthodes statistiques ou les modélisations d'expériences qui constituent quelques-unes des spécialités de ce laboratoire. La co-responsabilité de cette spécialité est assurée par un EC du laboratoire.
Co-habilitation : UPMC et ESPCI

→ Spécialité Noyau, Particules, Astro-particules et Cosmologie (NPAC)

L'objectif de cette spécialité est de former des chercheurs susceptibles d'intervenir dans toutes les phases d'une expérience que ce soit pour des expériences de physique nucléaire, de physique des particules, d'astroparticules ou de cosmologie : conception, mise au point, simulation, analyse des données, interprétation des résultats etc. Dans ces domaines, le cursus offre aux étudiants une formation équilibrée sur trois plans – théorie, modélisation, instrumentation

– et favorise la transition entre l'enseignement académique et une thèse, première étape professionnelle d'une formation par la recherche. Dans le cadre de cette formation, les personnels du LPNHE interviennent dans divers enseignements tels que la physique des particules, la cosmologie, les astro-particules et l'instrumentation en physique des hautes énergies. La co-responsabilité de cette spécialité est assurée par des EC du laboratoire.
Co-habilitation : UPMC, Paris-Diderot, Paris-Sud et INSTN

→ Spécialité Ingénierie Nucléaire (IN)

Cette nouvelle spécialité est ouverte depuis septembre 2009 et a pour objectif de former des étudiants dans des domaines d'excellence de l'UPMC pour le nucléaire, qui sont le génie civil, l'instrumentation pour le nucléaire, la gestion des ressources et la modélisation du stockage des déchets. Les ingénieurs formés sont susceptibles d'intégrer ou d'animer les équipes « projet » de grandes entreprises, mais aussi, par leur polyvalence, d'assumer un rôle multiple au niveau de l'innovation, de la production et du management.



Une des missions importantes d'un laboratoire de recherche est d'accueillir des étudiants en stage ou en thèse. Selon leur niveau, ceux-ci mettent à profit leur séjour au sein des équipes d'accueil pour simplement découvrir le milieu de la recherche, voire aborder plus sérieusement les thèmes de physique développés au laboratoire, ou encore, pour les étudiants de Master ou de Doctorat, réaliser un véritable travail de recherche. Dans tous les cas, ils font l'apprentissage de techniques expérimentales d'analyse et de traitement informatique des données.

Le LPNHE participe activement à la formation par la recherche en accueillant chaque année une trentaine de stagiaires de tous les niveaux, du L1 au M2, ainsi qu'une dizaine de nouveaux doctorants. La prise en charge des stagiaires de Licence et Master, ainsi que l'accueil et le suivi des doctorants sont effectués de façon coordonnée au laboratoire par un responsable des stages et un comité des thèses. Leurs activités sont détaillées ici.

Conseil national des universités

Membres

Pierre Antilogus
Christophe Balland
Irena Nikolic,
Jean-Paul Tavernet

Membre du bureau et vice-président B (section 34), assesseur de la commission permanente (groupe 8)

Christophe Balland

Universités Paris 6

Conseils, groupes, commissions

- Conseil d'administration de l'UPMC et CA de la Fondation UPMC : Frédéric Kapusta (membre)
- Conseil scientifique de la faculté de Physique : Eli Ben Haim, Jacques Chauveau, Didier Lacour, Michael Joyce (membres)
- Conseil de la faculté de physique : Delphine Hardin, Pascal Vincent (membres), Didier Lacour, Michael Joyce (membres du bureau)
- Commission des services des personnels enseignants de la faculté de physique : Delphine Hardin (membre)
- Conseil du département du master Physique et Applications : Jean-Paul Tavernet (membre)

Responsabilités d'enseignement

- Licence de physique : Christian Carimalo (responsable jusqu'en 2008)
- Master de physique: spécialité NPAC: Sophie Trincaz-Duvoid et Jean-Paul Tavernet (co-responsables)
- Spécialité CMI : Pascal Vincent (co-responsable)
- École doctorale 517 : Jacques Chauveau (responsable Paris 6), Jean-Paul Tavernet et Sophie Trincaz-Duvoid (membres du directoire et du conseil)
- École doctorale 389 : Michael Joyce (membre du conseil)

Divers

- Atelier « Accompagnement et formation à l'insertion professionnelle » : Christian Carimal (membre)

Universités Paris 7

Conseils, groupes et commissions

- Conseil scientifique de l'université : Kyan Schahmaneche (membre élu)
- Conseil scientifique de l'UFR de physique: Philippe Schwemling (vice-président)
- Commission des enseignants de l'UFR de physique : Irena Nikolic, Tristan Beau (membres)
- Groupe d'experts thématiques « particules » : José Ocariz (co-responsable), Frédéric Derue, Pierre Antilogus (membres)

Responsabilités d'enseignement

- Licence de physique : Kyan Schahmaneche (responsable)
- Master NPAC : José Ocariz (co-responsable)
- IPE : Sandro De Cecco (co-responsable)
- École doctorale 517 : Philippe Schwemling (Directeur), José Ocariz (membre du directoire et du conseil)

Universités Paris 11

Responsabilités d'enseignement

- Licence de physique : Christophe Balland (responsable des TP de L1 et L3)

Enfin, de nombreuses personnes du laboratoire ont été membres des anciennes « Commissions de spécialistes » et font partie aujourd'hui des « Comités de sélection » qui les remplacent, dans différentes universités.

LES THÈSES AU LPNHE

S. Trincaz-Duvoid



Le comité des thèses, en place depuis juin 2005 a permis d'améliorer l'accueil et le suivi des doctorants au LPNHE. Ce comité agit sur trois niveaux : la visibilité du laboratoire pour les étudiants en recherche de thèse, l'accueil des doctorants et enfin leur suivi durant leur thèse. En 2008-2009, le LPNHE a accueilli 6 nouveaux étudiants en thèse chaque année.

L'attractivité du laboratoire

Plusieurs actions ont été menées parallèlement afin de faire connaître le laboratoire auprès des étudiants en Master de physique fondamentale. Dans les universités tutelles du laboratoire, l'UPMC et l'UPD, les enseignants-chercheurs interviennent dans les L3, M1 et M2. Ils y enseignent la relativité, la physique subatomique, la physique

des particules, des astroparticules et l'instrumentation. Ils organisent aussi des visites du LPNHE pour leurs étudiants et incitent ceux-ci à y faire des stages.

Ceci est particulièrement vrai pour les étudiants en L3 de l'ENS Cachan et ceux du niveau M1 des trois Universités de la région parisienne traitant des thématiques scientifiques du laboratoire.

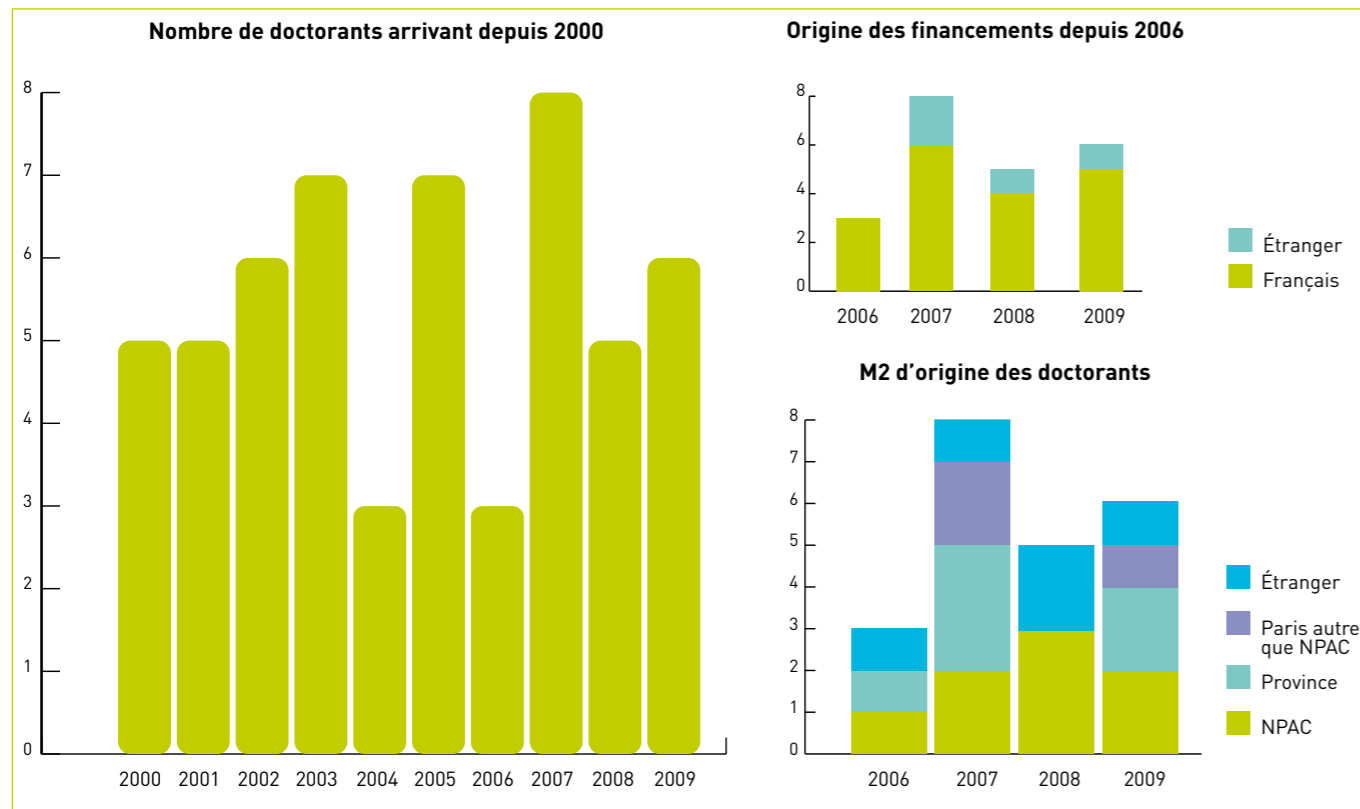
Pour les étudiants en M2, les stages sont le plus souvent des préludes à des thèses réalisées au laboratoire. Aussi, afin d'élargir le cercle naturel des doctorants potentiels hors de la région parisienne, les sujets de thèse proposés par les équipes du laboratoire sont collectés et compilés 9 mois à l'avance et envoyés de façon groupée dans tous les M2 de France susceptibles d'avoir des étudiants intéressés.



La figure montre que depuis 2000, le nombre de doctorants arrivant au laboratoire chaque année varie entre 3 et 8. Les statistiques indiquent que depuis 2007, il y a chaque année, un ou deux doctorants financés par un contrat international. Les M2 d'origine des étudiants sont bien équilibrés entre province, étranger et M2 parisiens dont NPAC (Noyaux, Particules, Astroparticules et Cosmologie) où nombre d'enseignants-chercheurs du laboratoire interviennent et qui a, de ce fait, une relation bien établie avec le laboratoire. Il est à noter que les services techniques du laboratoire accueillent également des doctorants.

L'accueil des étudiants

Depuis 2005, une journée spécifique dédiée à l'accueil des étudiants a lieu



Cette figure montre le nombre de doctorants arrivant au laboratoire depuis 2000. Elle indique aussi la part de financement international pour les doctorants arrivés depuis 2006. Enfin, la répartition des M2 d'origine des étudiants arrivant chaque année pour faire une thèse depuis 2006 sont représentés. Du fait des petits nombres en jeu, ils sont regroupés entre « province » (Tours, Lyon, Grenoble, Montpellier), « étranger » (Chine, Thaïlande, Vietnam, Italie, Venezuela, Pologne), NPAC (Noyaux, Particules, Astroparticules et Cosmologie) et enfin « Paris autre que NPAC » (Astronomie et Astrophysique, Systèmes Dynamiques et Statistiques de la Matière Complexe, Dispositifs Quantiques).

un vendredi de novembre. Devant le succès de cette journée, elle a été étendue à tous les personnes rejoignant le laboratoire pour une durée supérieure à 6 mois. Les entrants de l'année sont reçus par le directeur qui leur présente le laboratoire. Puis, durant la réunion interne hebdomadaire du LPNHE, ils se présentent à l'ensemble du personnel du laboratoire. L'après-midi est consacré à des visites des différents services. Le directeur profite aussi de cette journée pour rassembler tous les étudiants en thèse afin de faire un point avec eux. C'est enfin l'occasion d'intégrer ceux de première année dans le groupe des doctorants.

Le suivi des doctorants

Afin d'assurer aux doctorants un suivi de thèse de qualité, un système

de parrainage a été mis en place au LPNHE. A son arrivée, chaque doctorant choisit un parrain parmi une liste préalablement définie de chercheurs permanents volontaires pour assurer ce rôle.

Le doctorant et son parrain ne doivent pas appartenir à la même équipe de recherche. Ils se rencontrent de façon régulière plusieurs fois par an. Sans enlever ses prérogatives au directeur de thèse, le parrain veille au bon déroulement de ces trois années et il est attentif à tout signal indiquant un problème, même mineur. La plupart du temps, son rôle se borne à de l'écoute et du conseil. Mais il peut aussi servir de médiateur entre doctorant et directeur de thèse et prévenir la direction du laboratoire en cas de souci majeur. Les parrains et la direction du

laboratoire se réunissent 3 ou 4 fois par an pour faire le point.

Une autre façon d'assurer le suivi des doctorants est la mise en place d'un espace web dédié contenant des informations sur leur thèse (sujet, directeur de thèse, année de soutenance, manuscrit téléchargeable...) et sur leur situation après la thèse. Il constitue la base d'un réseau d'anciens doctorants du laboratoire susceptible de les aider à s'orienter dans leur vie professionnelle après leur thèse. Une difficulté majeure est d'inciter les anciens à mettre à jour leurs données. Cet espace web sert aussi à exposer les sujets de thèse proposés et à fournir des liens vers les sites utiles pour les doctorants. Il peut aussi servir à des étudiants de M2 en

recherche de thèse qui contactent des doctorants par ce biais pour avoir des renseignements sur leurs éventuelles futures équipes de recherche.

Les doctorants du LPNHE peuvent suivre une école d'été et assister

à une conférence au cours de leur thèse. Ils sont aussi encouragés à exposer leurs travaux aux Journées Jeunes Chercheurs de la SFP ainsi qu'en réunion interne du laboratoire.

<http://lpnhe-doctorants.in2p3.fr/>
Membres du comité : Julien Guy, Iréna Nikolic, Mélissa Ridel, Sophie Trincaz-Duvoid

Liste des thèses soutenues au LPNHE en 2008-2009

2009

Pietro Cavalleri

Groupe : ATLAS
Sujet de thèse : Étude de faisabilité de la mesure de la masse du quark top dans le canal électron-muon avec le détecteur ATLAS auprès du LHC
Date de soutenance : 18/09/2009

Florent Fayette

Groupe : ATLAS
Sujet de thèse : Strategies for precision measurements of the charge asymmetry of the W boson mass at the LHC within the ATLAS experiment.
Date de soutenance : 16/01/2009

Jérôme Glisse

Groupe : SymBioPhys
Sujet de thèse : Simulation de modèles sélectifs de la différenciation cellulaire
Date de soutenance : 06/01/2009

Taia Kronborg

Groupe : Supernovae
Sujet de thèse : Gravitational lensing of SNLS Supernovae
Date de soutenance : 11/09/2009

Tran Hung Pham

Groupe : Collisionneur Linéaire
Sujet de thèse : Lecture de trajectographe au silicium en technologie profondément sous-micronique
Date de soutenance : 22/01/2009

Jennifer Prendki

Groupe : BABAR
Sujet de thèse : Etude de la désintégration $B^+ \rightarrow K_s^+ \pi^+ \pi^0$ avec le détecteur BaBar à SLAC
Date de soutenance : 8/10/2009

Nhung Pham Thi Tuyêt

Groupe : AUGER
Sujet de thèse : Contribution à l'étude des grandes gerbes à l'aide du détecteur de surface de l'Observatoire Pierre Auger
Date de soutenance : 18/12/2009

2008

Gian Piero Di Giovanni

Groupe : CDF
Sujet de thèse : Mixing and CP Violation in B_s Meson System at CDF
Date de soutenance : 27/06/2008

Jérémie Lellouch

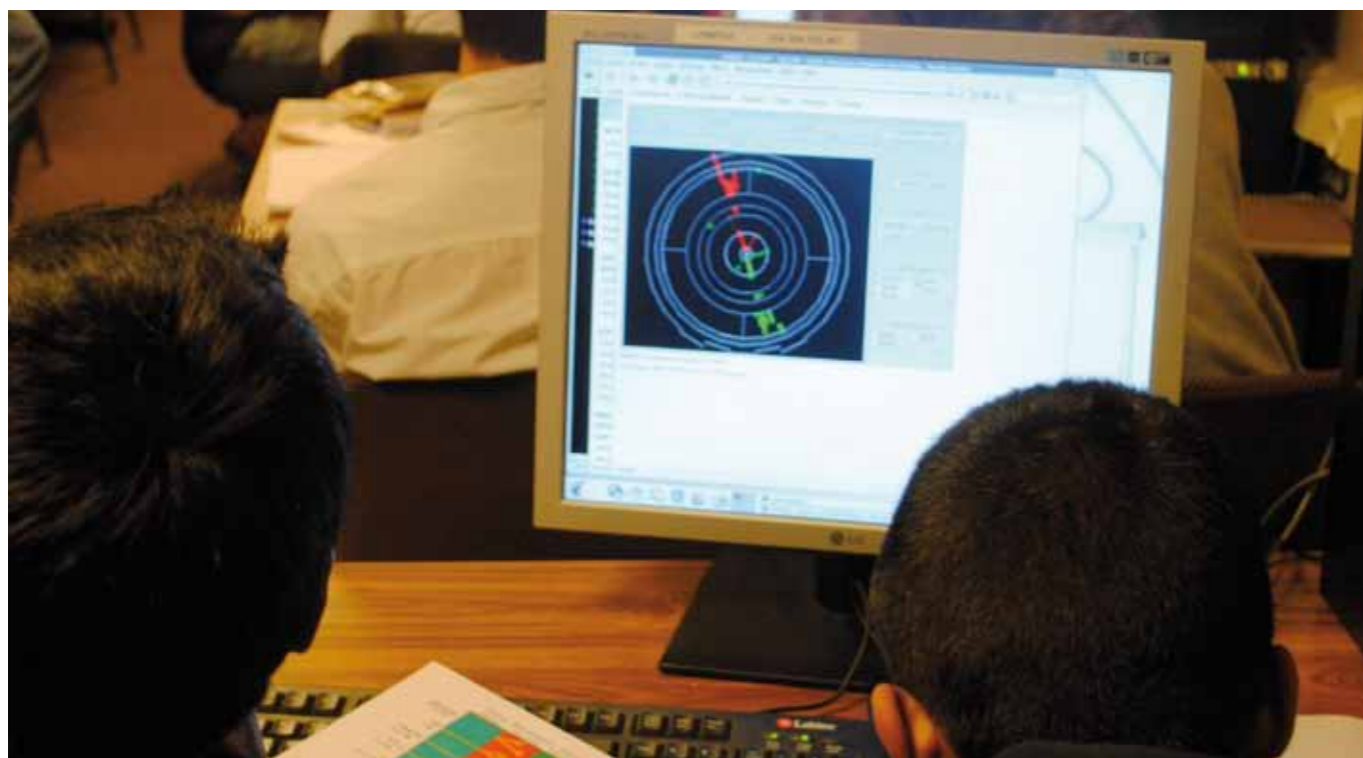
Groupe : DØ
Sujet de thèse : Recherche du boson de Higgs standard dans le canal WH à l'expérience DØ auprès du Tevatron
Date de soutenance : 26/09/2008

Rui Pereira

Groupe : Supernovae
Sujet de thèse : Étalonnage des données de SNIFS et courbes de lumière spectrophotométriques de supernovae de type I_a
Date de soutenance : 5/12/2008

Alejandro Perez

Groupe : BABAR
Sujet de thèse : Time-Dependent Amplitude Analysis of $B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ decays with the BaBar Experiment and constraints on the CKM matrix using the $B \rightarrow K^* \pi$ and $B \rightarrow \rho K$ modes
Date de soutenance : 6/12/2008



LES STAGES AU LPNHE

S. de Cecco

Les stagiaires au laboratoire

Le laboratoire accueille un nombre considérable de stagiaires chaque année. Leur niveau va du collège aux M2 recherche, en passant par la Licence, le Master 1 et les différentes années de cursus des grandes écoles. Leur nombre et leur répartition par niveau et par année, pour la période de référence 2006-2009, sont reportés dans le suivant tableau :

Niveau Année	Collège	Lycée	Licence	M1	M2	Grandes Ecoles	IUT . Ingé	Etrangers	Total
2006	4	2	13	8	7	6	4	4	48
2007	1	1	16	10	12	3	3	4	50
2008	2	2	19	11	8	3	4	5	54
2009	9	0	3	9	11	4	3	1	41

La durée des stages varie en fonction de leur niveau : une semaine pour les élèves du secondaire, deux à quatre semaines pour les étudiants de L1-L3, quatre à huit semaines pour les M1-M2 et écoles (ENS, Polytechnique), environ trois mois pour les IUT et enfin jusqu'à un an pour certains types d'étudiants étrangers. La majorité des étudiants stagiaires pour les niveaux Licence et Master 1 et 2 est issue des Universités de tutelle du laboratoire, l'UPMC et l'UPD. Les stages de moins de deux mois sont normalement non rémunérés sauf pour les niveaux Licence où des financements sont repérés à travers le programme JANUS de l'IN2P3 et pour les stages de M2 pour lesquels les groupes ou services du laboratoire fournissent une gratification. Les stages longs des étudiants étrangers

sont normalement financés à travers des programmes d'échanges internationaux. En analysant le tableau précédent, on peut remarquer que le cœur des efforts du laboratoire dans l'accueil et le suivi des stagiaires est fourni pour les étudiants de Licence, Master universitaires et des grandes écoles. On peut aussi noter la chute du nombre de stagiaires étrangers suite à l'arrêt du programme Europe - Amérique latine HELEN début 2009.

L'attractivité du laboratoire

La synergie entre le laboratoire et les universités est très importante dans l'accueil des étudiants stagiaires. On peut souligner par exemple, le bon fonctionnement mis en place avec le Master 1 de l'UPMC pour lequel les sujets de stages du laboratoire sont présentés aux étudiants dans la maquette de la formation en avance sur la période de stage, ce qui se traduit par un grand nombre d'étudiants de très grande qualité accueillis au laboratoire. Il serait peut-être opportun d'étendre cette bonne pratique de coordination à l'UPD, entre autre pour pallier à l'éloignement géographique de l'UPD du campus de Jussieu, survenu en 2007.

Les propositions de sujets de stages ainsi que les contacts des responsables des équipes du laboratoire, sont disponibles sur la page web dédiée aux stages sur le site du LPNHE. A travers cet outil les

étudiants peuvent aussi soumettre leur candidature. Par ailleurs, afin d'attirer des étudiants d'Universités dans lesquelles les enseignants-chercheurs du LPNHE n'interviennent pas, les sujets de stage de M2 et ceux de thèses proposés au laboratoire sont collectés et compilés 9 mois à l'avance et envoyés de façon groupée dans tous les M2 de France susceptibles d'avoir des étudiants intéressés. Des actions similaires pourraient être envisagées pour quelques formations ciblées de niveau Master 1 ou Licence.

Thématiques des stages

Les thématiques des sujets de stages sont en conformité avec la répartition scientifique des physiciens et ITA du laboratoire. Cette répartition des sujets de stages par thématique scientifique et services techniques est reportée, pour la période de référence 2006-2009 et tous niveaux confondus, dans le tableau ci-dessus : La répartition des encadrants de stages entre EC et CNRS suit la composition du personnel du laboratoire, avec peut être un léger avantage aux EC.

Un investissement sur le futur

Les étudiants qui découvrent les thématiques scientifiques développées au laboratoire au travers d'un stage sont souvent tentés de poursuivre ensuite dans cette voie, c'est pourquoi le LPNHE multiplie les actions pour

rendre le laboratoire attractif et pour sélectionner un grand nombre de bons étudiants de physique fondamentale, particulièrement dans le niveaux L3 et M1. Dans ce but, il est important de soigner la synergie avec les deux universités de tutelle mais aussi avec celles de la région parisienne ainsi qu'à l'international. Plus généralement, maintenir et renforcer le nombre et la qualité des stagiaires est un enjeu de premier plan. Cette activité de formation par la recherche conditionne la visibilité du laboratoire et de ses thématiques scientifiques.

Thématique Année	Interactions fondamentales	Asymétrie matière anti-matière	Cosmologie	Astroparticules	Interface Physique Biologie	Services Techniques Administration
2006	47 %	12 %	12 %	14 %	6 %	9 %
2007	40 %	12 %	21 %	14 %	7 %	6 %
2008	47 %	13 %	13 %	7 %	10 %	10 %
2009	52 %	12 %	15 %	9 %	3 %	9 %



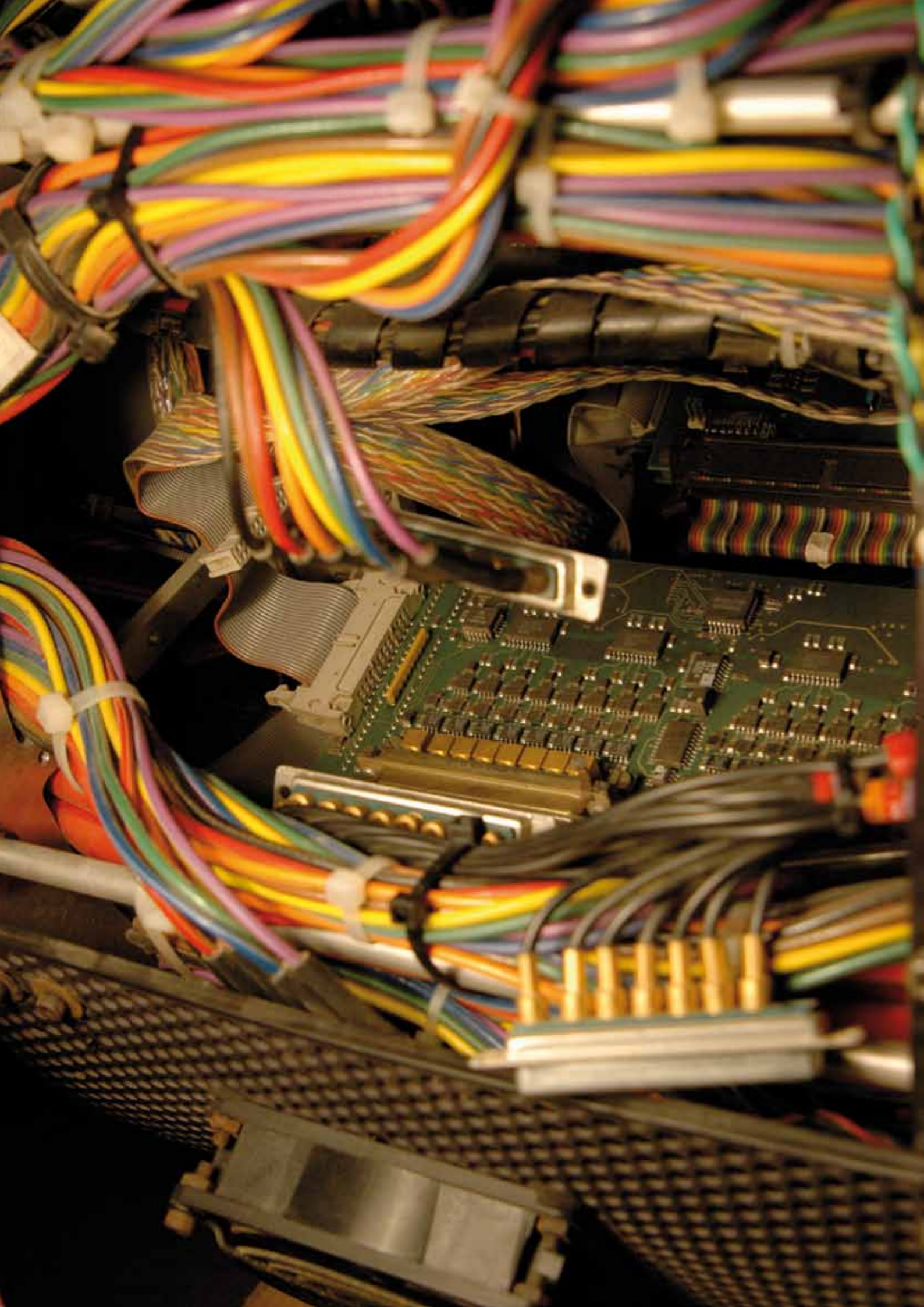
COMPÉTENCES ET RÉALISATIONS TECHNIQUES

Électronique et instrumentation

Service mécanique

Service informatique

Moyens d'essai et bancs de test au LPNHE



COMPÉTENCES ET RÉALISATIONS TECHNIQUES

P. Nayman

Les thématiques de recherche, au LPNHE, sont en grande partie expérimentales et les contributions techniques sont majeures aussi bien dans le domaine de la physique des particules, de la cosmologie ou encore des astroparticules. Trois grands corps de métiers techniques sont présents au laboratoire, l'électronique-instrumentation, la mécanique et l'informatique dont les forces sont respectivement 18, 9 et 12 ingénieurs ou techniciens. L'ensemble de ces corps de métier doit travailler en étroite collaboration, ce qui nécessite de la rigueur aussi bien dans le domaine de la qualité qu'en gestion de projets. Ces équipiers interviennent dès la conception/réalisation jusqu'au test et à l'installation sur les sites des expériences.

Le service d'électronique déploie son savoir-faire dans une large panoplie de techniques depuis l'électronique frontale (bas bruit et rapide) à l'acquisition de données selon des normes industrielles comme le VME, cPCI, VXI, USB ou encore Ethernet. Ces activités nécessitent de mettre en œuvre, sur des cartes, des électroniques rapides, des FPGA performants, basés sur des flots VHDL ou VERILOG, ou encore des ASIC analogiques/numériques.

Ces techniques impliquent une maîtrise des outils de conception adaptés.

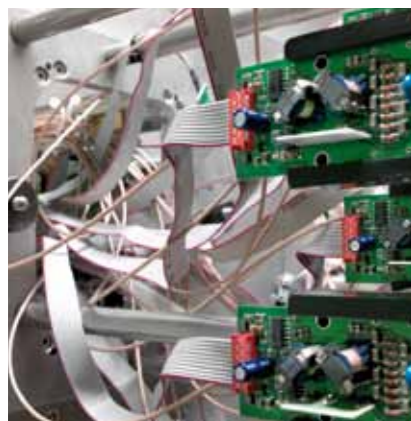
La mécanique des détecteurs qui accueille l'électronique, doit être la plus transparente, la plus légère et la moins chère possible. Pour relever au mieux ce défi technologique, un bureau d'étude important met en œuvre des techniques complexes de résistance des matériaux, de cryogénie ou encore de thermique. Un atelier permet, au service de mécanique, de réaliser un certain nombre de prototypes.

Les activités type semi-conducteurs, par exemple pour les expériences LSST et ILC, obligent à tester les prototypes en salle propre (classe 6 à 8) selon des procédures rigoureuses.

L'informatique du laboratoire est répartie selon 3 pôles : support et logistique, exploitation et infrastructure et développement et intégration. L'activité développement et intégration nécessite un large savoir-faire dans des systèmes d'exploitation comme Linux, des langages et environnement de programmation comme C, C++, Java, Corba, etc. Ces environnements sont généralement utilisés pour contrôler l'appareillage technique électronique ou mécanique des expériences.

Des activités techniques du LPNHE émergent des pôles de compétences particulièrement en photo-détection, par exemple avec la thématique des photomultiplicateurs ou encore celle des C.C.D. (« Charge Coupled Devices »).

Le laboratoire montre un grand intérêt et un savoir-faire important dans les activités de détecteurs (électronique, mécanique et instrumentation) comme par exemple la caméra HESS 2 ou encore le carrousel LSST.



Le service "électronique et instrumentation" du LPNHE est composé de dix-neuf ingénieurs et techniciens. Les électroniciens sont soit directement impliqués dans les différentes expériences de physique des particules (CERN, SLAC, FERMILAB, DESY), d'astroparticule ou de cosmologie, soit appartiennent au pôle CAO (Conception assistée par ordinateur) et câblage. 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 très sévères (rayonnements ionisants, températures extrêmes, vibrations). Pour ces raisons, les différentes réalisations se conforment à 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 différents types d'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.

ÉLECTRONIQUE ET INSTRUMENTATION

H. Lebbolo

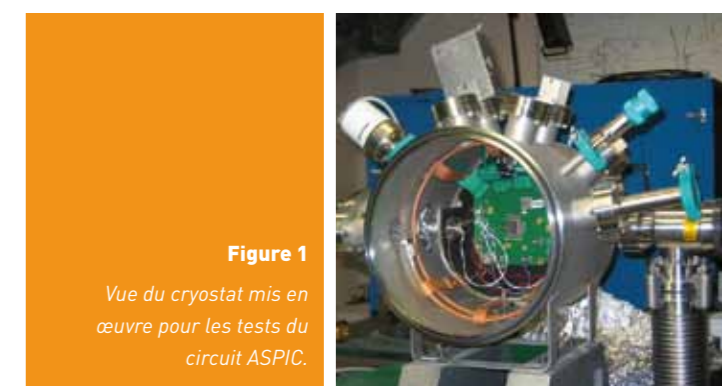


Figure 1

Vue du cryostat mis en œuvre pour les tests du circuit ASPIC.

Équipe

P. Bailly, P. Corona,
J. David, M. Dhellot,
C. Goffin, A. Guimard,
Y. Guo, H. Lebbolo,
C. Juramy, O. Le Dortz,
D. Martin, P. Nayman,
J-M. Parraud,
T. Hung Pham, E. Pierre,
R. Sefri, F. Toussanel,
A. Vallereau, L. Vaubien

LSST

Responsable technique :
Hervé Lebbolo

En collaboration avec le laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay, le LPNHE s'est engagé à fournir l'ASIC (Application Specific Integrated Circuit) de lecture des CCD (Charge Coupled Device) de la caméra du futur télescope LSST (Large Synoptic Survey Telescope). Le plan focal de la caméra sera composé de ~200 CCD comprenant chacun 4k*4k pixels d'une taille de 10*10 μm . Chaque CCD contient 16 canaux lus à une cadence de 500kpixels/s, ce qui donne pour les 3,2 Gpixels (3200 canaux) un temps de lecture total de 2s pour un temps de pose de 15s. Le cahier des charges du circuit appelé ASPIC (Analog Signal Processing Integrated Circuit) impose

une dynamique de 16 bits, une diaphonie meilleure que 0,01 %, une densité de bruit à l'entrée meilleure que 5nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (soit 2 électrons) pour un fonctionnement à -100 °C ainsi qu'une consommation inférieure à 25 mW par canal. Après un premier prototype testé en 2008, un second circuit en technologie CMOS 0,35 μm , 5V du fondeur Européen AMS intégrant huit canaux suivant une architecture DSI (Dual Slope Integrator) a été soumis en 2008 puis testé avec succès. Les tests du circuit ont nécessité la mise en œuvre d'un cryostat (figure 1) pour les essais à basses températures ainsi que la conception et la fabrication de plusieurs cartes :

- deux cartes Front End supportant le circuit (une pour les tests à température ambiante, une autre pour les tests à froid à l'intérieur du cryostat),



Figure 2 : Carte Back End du banc de test ASPIC (LSST).



Figure 3 : Tiroir complet HESS 2, équipé de ses 16 photomultiplicateurs.



Figure 4 : Carte d'électronique frontale HESS 2. Vue de la partie amplification, mémoire analogique (SAM) et conversion.



Figure 5 : Vue du câblage de la partie centrale de la caméra.



Figure 6 : Carte prototype NECTAr.

- une carte Back End (figure 2) chargée de la numérisation des données à l'aide de 8 ADC 18 bits (Analog to Digital Converter), du cadencement de l'ASPIC et du transfert des données sur l'ordinateur hôte par une connexion USB. Le tout est contrôlé par un FPGA paramétré par LabView. Une revue du circuit a été passée avec succès en décembre 2009 par la collaboration, une petite pré-production de 40 circuits encapsulés dans le boîtier définitif a été lancée afin d'équiper les cartes frontales produites par un laboratoire américain en vue de tests du système de lecture complet.

HESS 2

Responsable technique :
François Toussnel

Le télescope HESS 2 sera implanté au milieu des quatre télescopes existants sur le site namibien dans le courant de l'année 2011. Il aura une surface de miroir de 600 m² (les télescopes de la phase 1 ont 100 m²) pour un diamètre de 28 mètres et une focale de 35 mètres. L'objectif est d'augmenter la surface de collection tout en gardant une fine granularité pour diminuer le seuil en énergie de l'expérience et augmenter sa sensibilité. Comme pour les quatre télescopes de la phase 1, l'équipe du LPNHE a en charge d'instrumenter la caméra,

depuis le photo-détecteur jusqu'au transfert des données vers la ferme de processeurs. Cela comprend les 2 500 photomultiplicateurs, le traitement du signal, l'élaboration du déclenchement de niveau 1, l'acquisition et le formatage des données et leur transfert vers l'acquisition centrale. La caméra, composée 2048 pixels (960 pour les caméras de HESS 1) sera placée au foyer du télescope. Les 2048 pixels sont répartis en 128 tiroirs (figure 3) de 16 pixels comportant chacun 3 cartes électroniques, assurant le contrôle individuel des pixels, la mesure et le traitement des signaux et l'élaboration du déclenchement de bas niveau. Le cœur de l'électronique repose sur l'utilisation de mémoires analogiques de dernière génération, permettant l'échantillonnage du signal à 1 GHz et son stockage pendant l'élaboration d'un déclenchement temporel rapide (100 ns) de grande résolution (2 ns). La mémoire analogique SAM (Swift Analogue Memory) (figure 4) a été développée spécialement pour HESS en collaboration avec L'IRFU. Pour HESS 2, un déclenchement de niveau 2 sera implémenté, et dans ce cadre, un ASIC pré L2 a été développé au laboratoire pour préparer les données pour la logique de niveau 2. L'ensemble des cartes nécessaires a été dessiné au LPNHE qui en a ensuite assuré la production en partenariat avec l'industrie et le test final. Ces développements ont été rendus possibles grâce aux outils

logiciels disponibles au laboratoire aussi bien pour la réalisation des cartes (logiciels de Conception Assistée par Ordinateur) que pour celle de circuits logiques complexes (FPGA) programmés en VHDL. Les années 2008 et 2009 ont vu l'achèvement de la construction de cette caméra au LPNHE. Les derniers tests de production se sont terminés en 2008 avec notamment la validation des 450 cartes électroniques composant les tiroirs, la caractérisation des 2500 photomultiplicateurs produits par la société PHOTONIS, le test du système de déclenchement et des 30 cartes associées et enfin la caractérisation des 150 tiroirs équipés de leurs photomultiplicateurs dans une enceinte de test automatisée. Cette enceinte, développée initialement pour des tests de refroidissement, a été entièrement instrumentée en vue de développer et de tester tous les éléments de la caméra. Cette "mini caméra" équipée de façon identique à la caméra et fonctionnant avec le même environnement logiciel, servira ensuite pour la maintenance. En juin 2008, le corps de la caméra est arrivé au LPNHE en vue de l'intégration de l'ensemble de l'électronique. La première phase fut le câblage complet de la caméra (6 mois) (figure 5) permettant d'assurer le lien entre la partie avant de la caméra (128 tiroirs) et les baies d'électronique placées à l'arrière (~1200 fils d'alimentation, ~400 câbles coaxiaux pour le déclenchement et

plus de 300 nappes de câble plat pour le transfert des données et les signaux de contrôle). En 2009, les éléments ont été installés dans la caméra et validés au fur et à mesure, en commençant par les blocs d'alimentations et les 3 châssis 21 slots au format compact PCI développés spécialement pour HESS. Le premier contient tout le système de déclenchement, le second, la partie programmation et contrôle des tiroirs et le système d'acquisition des données, le dernier étant entièrement dédié à la sécurité et au refroidissement. Ensuite a commencé la phase de test avec l'installation des 128 tiroirs dans la caméra et la mise en place du logiciel de contrôle de l'ensemble. Six mois de test et de développement ont été nécessaires et la détection de muons atmosphériques par la caméra en Décembre 2009 a permis de valider l'ensemble avant son départ du LPNHE. En parallèle, l'équipe assure la maintenance des quatre caméras installées en Namibie depuis 2002. Cela nécessite une mission sur site par an en moyenne. Certains systèmes ont été améliorés à la suite des remarques des utilisateurs ; cela concerne la carte de gestion du déclenchement, la carte d'interface avec le trigger central et le nouveau système de calibration qui est en cours de production et comportera une interface Ethernet pour le rendre pilotable depuis la salle de contrôle. Enfin, 20 tiroirs supplémentaires

ont été produits en 2009 et seront expédiés en 2010 pour optimiser la maintenance sur site.

CTA

Responsable technique :
Patrick Nayman jusqu'au 1/4/2010,
François Toussnel depuis

Suite au succès des expériences d'astronomie gamma au sol et particulièrement de HESS, la communauté a initié un nouveau projet de réseau de grande envergure, CTA (Cherenkov Telescope Array). Il s'agit d'un projet de réseau d'une centaine de télescopes Cherenkov de nouvelle génération. Dans la suite logique de son activité, l'équipe du LPNHE s'est donc impliquée dans ce nouveau projet et a obtenu un financement ANR sur 3 ans (2009, 2010, 2011) en association avec l'IRFU et le LPTA pour le programme NECTAr (New Electronic for Cherenkov Telescope Array). L'équipe est impliquée dans le design d'un nouveau module qui pourrait servir de base pour la construction des caméras de génération future. Les contraintes fortes pour le projet CTA sont la réduction drastique des coûts et une fiabilité accrue au vu du nombre de voies à réaliser. Dans ce cadre, nous proposons avec nos collaborateurs de développer ce nouveau module avec une structure mécanique légère, une électronique plus fortement intégrée, un

déclenchement réalisé localement et une interface vers l'extérieur standardisée au moyen d'un lien Ethernet gigabit. Enfin un simple transformateur du commerce permettra d'alimenter le module. La partie amplification du signal fait l'objet d'une collaboration entre NECTAr et l'université de Barcelone (ICCUB). Une première carte prototype a été réalisée au LPNHE en 2009 pour valider le lien gigabit Ethernet implémenté dans un FPGA Altera Cyclone III, l'intégration des mémoires FIFO dans ce même FPGA et le système de déclenchement de niveau 0 (figure 6). Le module proposé par NECTAr comprendra 7 photomultiplicateurs (ou pixels) et une étude spécifique pour l'alimentation en haute tension des pixels est en cours entre le LPNHE et la société ISEG basée à Dresde (Allemagne), spécialisée dans les convertisseurs DC-DC haute tension. Cela devrait nous permettre de réunir tous les PM sur une même carte pilotée par un lien série et ne nécessitant qu'une simple alimentation de 12 V continu. Les tests en cours sont très encourageants, et la phase suivante sera la réalisation d'une carte prototype plus complète, intégrant une nouvelle mémoire analogique avec convertisseur analogique numérique intégré. Cette carte sera ensuite intégrée dans un module prototype avec les photomultiplicateurs et leur carte de contrôle pour valider le concept.



Figure 7

T2K : Baie d'électronique contenant 2 châssis de cartes DCC.

ILC

Responsable technique :
Jacques David

Ces deux dernières années, le groupe du collisionneur linéaire a poursuivi la R&D dédiée au développement de nouveaux trajectomètres au silicium. Elle comporte deux aspects : le microcircuit de lecture des signaux de ces détecteurs et le système d'acquisition pour les tests des prototypes avec source ou laser en Laboratoire et tests en faisceau.

1) Microcircuit pour le traitement du signal de détecteurs à microbandes de silicium

Le groupe collisionneur linéaire a poursuivi le design et la construction d'un système de lecture en mode mixte analogique/numérique en technologie CMOS UMC 130nm. Depuis fin 2004, ce développement se poursuit, de façon pionnière, en technologie submicronique. Cette nouvelle phase intégrait pour la première fois toutes les composantes analogiques (y compris la calibration et la possible mise en veilleuse, plus un pipeline analogique bidimensionnel permettant la reconstruction de l'impulsion et le stockage de l'information) et

le traitement numérique. Cette dernière composante est réalisée en collaboration avec l'Université de Barcelone et assure flexibilité et tolérance aux fautes de ce circuit. Un circuit à 88 voies a été préparé et soumis en fonderie en Juin 2008. Il a été testé durant le premier trimestre 2009. La partie analogique fonctionne comme attendu. La consommation a été mesurée à 1,3 milliwatts par voie et la dynamique est de 20 MIP à 1 % de non-linéarité. Une nouvelle version est donc en cours d'élaboration. Il a été jugé approprié de passer à cette occasion en technologie IBM 130nm. Cette version se fera en 128 voies, et sera soumise en fonderie en 2010. L'optimisation de la partie analogique a été lancée dès l'automne 2009. Ce chip a donné lieu à un brevet, en cours de finalisation, et doit équiper les prototypes de détecteurs à microbandes pour ces prochaines années.

2) Une électronique d'acquisition pour banc de test au laboratoire et test en faisceau a été développée basée sur carte FPGA et permet à la fois de travailler avec les préampli-mise en forme fournis par les circuits VA1' (IDEAS), et les nouveaux prototypes qui incluent la numérisation de

l'information sur le chip lui-même. Les circuits VA1' servent comme circuit de référence pour comparaison des performances de la partie pré-amplification bas bruit et mise en forme. Une acquisition basée VHDL, C++ et ROOT y est associée. Ce système sert aussi comme base de développement du système d'acquisition des trajectomètres au silicium pour le futur Collisionneur Linéaire.

SLHC

Responsable technique :
Hervé Lebbolo

En collaboration avec le LAL d'Orsay, le LPNHE développe un ASIC destiné à la lecture des futurs détecteurs à pixels de haute granularité de l'expérience ATLAS. La particularité de ce circuit mixte analogique-numérique est de faire appel à un process 3D de la société Tezzaron, avec des wafer en CMOS 0,13µm du fondeur Chartered Semiconductor. Le but du procédé 3D étant de réduire les dimensions des ASIC et de garantir une meilleure interconnexion avec les détecteurs de pixels de 50*50 µm. Le circuit Omegapix comprend un amplificateur, une mise en forme

et un DAC destiné à fournir les seuils programmables pour la partie analogique, la partie numérique comprenant des discriminateurs et une mémoire dynamique. Les parties analogiques et numériques sont implémentées sur des surfaces différentes qui pourront être testées individuellement puis interconnectées verticalement. Un premier prototype a été soumis à l'été 2009 afin d'étudier le couplage entre les parties analogique et numérique ; il sera ensuite connecté verticalement au détecteur à pixels pour constituer un ensemble complet.

LLRF

Responsable technique :
Olivier Le Dortz

Le LPNHE s'est associé à l'IPN d'Orsay pour développer un système de contrôle RF bas niveau (LLRF) numérique, initialement conçu pour piloter des cavités supraconductrices de type SPOKE à 350 MHz. Le système est composé d'une boucle d'asservissement comprenant des éléments analogiques et numériques. Le LPNHE a pris en charge la conception de la carte numérique du système, du développement du logiciel de pilotage et de l'environnement de test associé, l'IPNO se chargeant de la réalisation des cartes RF (notamment cartes de transposition en fréquence, amplificateurs) et du système de test des diverses cavités. Le rapport d'activité précédent avait permis de présenter les premiers prototypes de cartes numériques réalisés. La première carte numérique (V1) dispose, sur une carte de format PXI 3U, de quatre voies d'entrées analogiques (numérisées sur 14 bits à 80 MHz), de deux voies de sorties analogiques (générées par des CNA de 14 bits à 80 MHz), ainsi que de deux circuits numériques programmables (FPGA), l'un gérant l'interface PXI, l'autre dédié au traitement de la boucle d'asservissement numérique. La seconde carte numérique (V2), également au format PXI, est composée d'une carte mezzanine analogique à 5 voies d'entrées (ADC

14 bits à 80 MHz) et 3 voies de sorties (DAC 14 bits à 80 MHz également), et d'une carte mère numérique hébergeant le circuit d'interface PXI ainsi qu'un FPGA qui joue le rôle d'unité de traitement, plus puissant que celui de la carte V1. Durant les années 2008 et 2009, plusieurs tests à température ambiante et à 4.2 Kelvin ont pu être réalisés avec les deux types de cartes numériques. Ainsi, des tests à température ambiante sur cavité à 350 MHz, réalisés sur les deux versions de cartes numériques, ont révélé une amélioration notable des performances de la boucle de régulation dans le cas de la carte V2. Des mises à jour régulières du microcode (firmware) du FPGA de l'unité de traitement ainsi que du logiciel pilote du banc de test associé ont permis de beaucoup gagner en terme de stabilité de la boucle de régulation et en confort d'utilisation. Par exemple, l'implantation d'un processeur embarqué « softcore » (Altera NIOS II) dans le FPGA a permis d'obtenir de bonnes capacités de diagnostic et de configuration automatisée du système. D'autre part, l'adjonction de filtres numériques à réponse impulsionnelle finie (FIR) dans la chaîne de traitement de la boucle d'asservissement a amélioré la régulation de la cavité. Enfin, l'augmentation de la mémoire disponible sur la carte V2 apporte des fonctionnalités de monitoring plus complètes et plus flexibles qu'avec la V1. Des tests de régulation à froid de cryomodules B de l'expérience SPIRAL2 à 88 MHz dans un système composé d'une carte numérique V1 ont, de plus, permis de valider le fonctionnement du système dans un environnement de cavités à 88 MHz. Fin 2009, le LPNHE a conçu une seconde carte mezzanine analogique, contenant 3 voies d'entrées et 2 sorties analogiques, pouvant s'adapter à la carte mère numérique V2, afin d'améliorer les paramètres de bruit analogique des voies d'ADC et de bruit de phase de l'horloge d'échantillonnage. Cette carte est attendue en retour d'assemblage et sera testée au début de l'année 2010.

D'autre part, l'IPN d'Orsay a réalisé de nouvelles cartes RF de transposition de fréquence à base de composants CMS, plus compacte que les châssis de transposition utilisés jusqu'à présent. L'année 2010, permettra de tester un système fondé sur ces nouveaux éléments et d'étudier des aspects de la tolérance aux fautes à l'aide de plusieurs systèmes LLRF mis en série.

T2K

Responsable technique :
Olivier Le Dortz

Le LPNHE a pris en charge la réalisation de l'électronique back-end des TPC (chambres à projection temporelle) de l'expérience T2K. Le détecteur possède 3 TPC, chacune équipée de cartes front-end (FEC) rassemblées en « front-end modules » (24 FEMs par TPC). Le rôle de l'électronique back-end consiste à récupérer et concentrer les données recueillies par les FEMs et à les rendre accessibles à l'acquisition centrale. Par ailleurs, elle a la charge d'envoyer l'horloge principale, les informations de déclenchement et les commandes à toutes les FEMs. L'élément central de cette électronique back-end est la DCC, Data Concentrator Card, module qui communique d'une part avec plusieurs FEMs par des liens bidirectionnels optiques, d'autre part avec un module de distribution d'horloge et de déclenchement, et enfin, avec un ordinateur relié à l'acquisition centrale de l'expérience. Durant une première phase de définition de l'architecture du système puis d'évaluation, a été développé au laboratoire un prototype de DCC contenant un circuit programmable FPGA Xilinx Virtex 4, qui permettait de communiquer par lien optique gigabit avec 6 FEMs et avec un ordinateur extérieur par un lien gigabit Ethernet cuivré. Cependant, les délais de livraison étant très courts et le prototype ne répondant pas à toutes les attentes, il a été défini une nouvelle architecture, plus rapide à mettre en œuvre, à base de kits commerciaux Xilinx ML405. Il a, ainsi, été possible de créer un assemblage

à base de ces kits ML405 permettant de piloter 4 FEMs par lien optique gigabit sur chaque assemblage DCC. Hormis la réalisation de ces assemblages, le LPNHE a participé à la réalisation des microcodes (firmware) du FPGA, du logiciel du processeur embarqué ainsi que du logiciel d'acquisition présent sur le PC d'interface.

Le système final de l'électronique back-end des TPC, "délivrable" prenant la forme d'une baie d'électronique, se présente sous la forme suivante :

3 châssis DCC (1 par TPC), contenant chacun 6 assemblages DCC (hors modules de réserve)

Chaque assemblage DCC (18 sur toutes les TPC) contient :

- 4 liens optiques vers les FEMs (1.2 Gbit par seconde)
- 1 FPGA Xilinx Virtex 4, contenant 2 processeurs PowerPC (en pratique, un seul est utilisé pour exécuter le programme d'interface avec l'acquisition et de commandes des FEMs)
- des mémoires DDR permettant de contenir le programme et les données gérées par le processeur embarqué, et un disque dur virtuel sous forme de mémoire CompactFlash.
- 1 carte fille contenant un lien optique et une PLL permettant de recevoir l'horloge de l'expérience et le déclenchement

En plus des 3 châssis DCC, la baie électronique back-end comprend :

- un module de transmission d'horloge et de déclenchement, relié à toutes les DCC par lien cuivré
- des systèmes d'alimentation et de monitoring
- un switch ethernet permettant de relier les différents liens gigabit ethernet des DCC au PC d'acquisition

La livraison de la baie d'électronique back-end avec ses éléments, son installation sur site à Tokaï (Japon) et sa mise en service ont été effectuées à l'automne 2009, à temps pour la mise en route de l'expérience fin 2009 et l'observation des premiers événements de physique en janvier 2010.

Pôle CAO et Câblage

Responsable : David Martin

Le groupe « CAO et Câblage » offre à l'ensemble des 19 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, Synopsys, Synplicity, Xilinx et des fondeurs AMS, UMC et IBM. Ces logiciels de CAO permettent de concevoir tous les types de systèmes électroniques numériques ou analogiques :

- modélisation et simulation de circuits numériques à l'aide des langages de haut niveau tels que VHDL ou Verilog (NC-VHDL, NC-Verilog, NC-Sim, Quartus, ISE, EDK)
- synthèse logique de circuits programmables (SynplifyPro, Quartus, ISE)
- synthèse logique de circuits intégrés VLSI (Ambit, Encounter)
- modélisation, simulation et dessin de circuits intégrés analogiques de 0,35 µm à 0,13 µm (Virtuoso, Assura, Calibre)
- conception et saisie de schémas de cartes (Allegro Design Entry)
- étude du placement/routage et simulation de cartes (Allegro PCB, Allegro SI)
- gestion des bibliothèques de composants (Allegro)

Leurs schémas de cartes terminés, les ingénieurs sollicitent le groupe « CAO et Câblage » pour effectuer le placement et le routage des cartes (ou Printed Circuit Board). L'opérateur CAO réalise en moyenne 20 à 25 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 dépose de pâte à braser, d'une machine de placement et d'un four à refusion. Un outil d'usinage (Charly Robot), récemment remplacé, permet également de faire de la petite mécanique telle que faces avant, boîtiers et maquettes prototypes. Les personnes associées à cette activité - 5 au total - ont toutes un savoir-faire spécifique et précieux pour le service électronique et les expériences du LPNHE.

Formation

Le service contribue à la formation d'électroniciens venant d'écoles d'ingénieurs et des premier, second et troisième cycles des universités et accueillent des doctorants employés par l'industrie après avoir soutenu leur thèse. Des stagiaires lycéens sont également accueillis dans le cadre d'une mise en contact avec le monde du travail.

Les développements d'électronique au LPNHE conduisent à des contributions aux grandes conférences internationales telles que Nuclear Science and Method et IEEE Transactions on Nuclear Science. Le savoir-faire des électroniciens, parfois impliqués dans plusieurs projets d'expériences, s'est accru. Les agents suivent régulièrement des formations pour mettre à jour leurs connaissances et maintenir ainsi une veille technologique face à des évolutions très rapides. Le laboratoire pourra ainsi mieux répondre aux exigences de plus en plus sévères et variées des expériences à venir.

SERVICE MÉCANIQUE

D. Vincent

Équipe

W. Bertoli, B. Canton, G. Daubard, C. Evrard, P. Ghislain, D. Imbault, D. Laporte, Y. Orain, P. Repain, D. Vincent



Le service de mécanique étudie et construit des systèmes destinés à être intégrés dans des détecteurs de physique des particules, implantés auprès des grands accélérateurs, ou faisant partie d'expériences en astroparticules, embarquées ou au sol. Ces réalisations se font dans le cadre de collaborations internationales.

Le service comprend quatre ingénieurs de recherche, deux ingénieurs d'étude, quatre assistants ingénieur.

Pour répondre aux demandes des chercheurs, nous disposons d'un bureau d'études équipé de logiciels de CAO et de calcul aux éléments finis performants (CATIA, SAMCEF, Abacus, Smarteam) et d'un atelier où sont implantées des machines classiques ou à commandes numériques : centre d'usinage, tour, machine de mesure tridimensionnelle. Pour réaliser les fabrications, l'atelier dispose d'un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (Alfacam). Les prototypes, nécessaires à démontrer la faisabilité des solutions développées, qui intègrent souvent des domaines connexes à la mécanique tels le vide, la thermique, la cryogénie sinon l'optique, sont réalisés au laboratoire. Les fabrications en série sont effectuées en sous-traitance. Nous en assurons le suivi et la recette. Par ailleurs, une démarche qualité, concrétisée par un manuel qualité répondant à l'approche processus définie dans la norme ISO 9000, a été mise en place depuis plusieurs années.

Les expériences dans lesquelles le service a eu ou a un rôle significatif sont présentées ci-après :

ATLAS - SLHC

La mise en évidence du boson de Higgs, vecteur du mécanisme de génération des masses des particules, l'étude de ses propriétés et la recherche de nouvelles particules et de nouvelles interactions sont les enjeux majeurs de cette expérience implantée auprès du collisionneur LHC du CERN.

Après s'être impliqué dans la réalisation et la mise en place des calorimètres électromagnétiques à argon liquide (bouchons et détecteur central) ou dans les outillages de mise en place de chambres à muons, le service de mécanique s'est investi dans l'intégration d'ATLAS. Le travail a consisté à étudier les scénarios de déplacement et de mise en place de sous-systèmes allant de 200 à 1 600 tonnes ainsi qu'à concevoir et réaliser des outillages de déplacement. Actuellement, nous travaillons sur le projet d'ajout d'une couche supplémentaire dans le trajectomètre en silicium déjà installé pour l'upgrade de 2014. Le service a développé, grâce à la CAO (Catia), une méthode pour calculer de manière automatique la quantité de matière traversée par les particules émises lors des interactions des 2 faisceaux. Ce travail d'optimisation (matière des supports, refroidissement, transparence aux radiations) servira aussi pour le remplacement en 2020 du détecteur actuellement installé (SLHC).

Collisionneur Linéaire

L'objectif de la R&D dans laquelle nous sommes engagés est de développer la future génération de détecteurs de traces en silicium. Afin de maximiser les performances des détecteurs de traces, le service a conçu et réalisé des modules de détecteurs en silicium. La minimisation de la quantité de matière, l'emploi de matériaux composites, la précision du positionnement et un refroidissement efficace ont été des contraintes permanentes. Les concepts ont été testés en grandeur réelle, notamment pour le refroidissement et la précision du positionnement, avec le développement d'outillages spécifiques. Plusieurs tests en faisceau ont été réalisés avec succès.

HESS 2

La caméra du télescope de la seconde phase de l'expérience HESS, dédiée

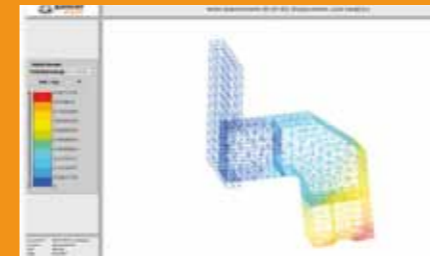
à l'étude du rayonnement cosmique de très haute énergie, a été installée dans nos locaux. La caméra a été déposée sur le châssis réalisé par le service mécanique afin de permettre l'intégration de l'électronique développée au laboratoire. En parallèle, un banc de test a été conçu et fabriqué pour effectuer le contrôle des 2500 photomultiplicateurs (PM) avant installation sur la caméra. Il permet un accès individuel à chaque PM sans démontage des cartes d'électronique d'acquisition et sans utiliser d'outillage dédié.

SUPERNOVAE - LSST

Le LSST (Large Synoptic Survey Telescope) est un projet de télescope prévu pour 2012. Il aidera à la compréhension de la nature de « l'énergie noire », source supposée de l'accélération de l'expansion de l'univers.

La caméra (Ø 1,6 m, L 3 m et poids 2,8 T), située sur le chemin optique, impose une conception très compacte. Elle contient un carrousel de 5 filtres (Ø 800 mm - épaisseur variant de 13 à 26 mm suivant les plages de longueur d'onde) qui sont nécessaires pour couvrir l'ensemble du spectre d'observation. Les contraintes d'encombrement imposent de stocker les filtres à l'intérieur du corps de la caméra. Nous avons la responsabilité de l'étude du système de guidage et d'entraînement des filtres en rotation. Des prototypes de verrouillage de ces filtres ont été conçus et testés avec succès. Un ensemble de test en charge du système à l'échelle 1, indexable en rotation, est en cours de développement.

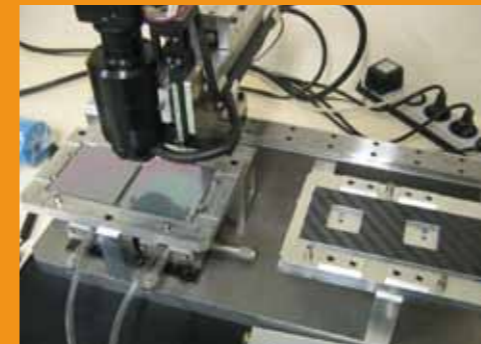
Par ailleurs, le service a été impliqué dans la réalisation et l'implantation du banc de test des détecteurs CCD : éléments cryogéniques, banc optique, éléments d'interface pour l'optique, supports ainsi que dans la mise en place des salles à contamination contrôlée (ISO 8).



ATLAS : Calcul d'une pièce de liaison



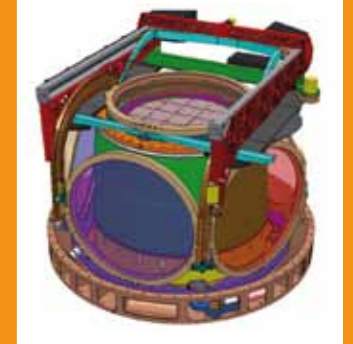
SLHC : Détermination de la quantité de matière traversée par les particules.



Collisionneur Linéaire : Outillage de manipulation / positionnement des détecteurs sur le support en matériau composite.



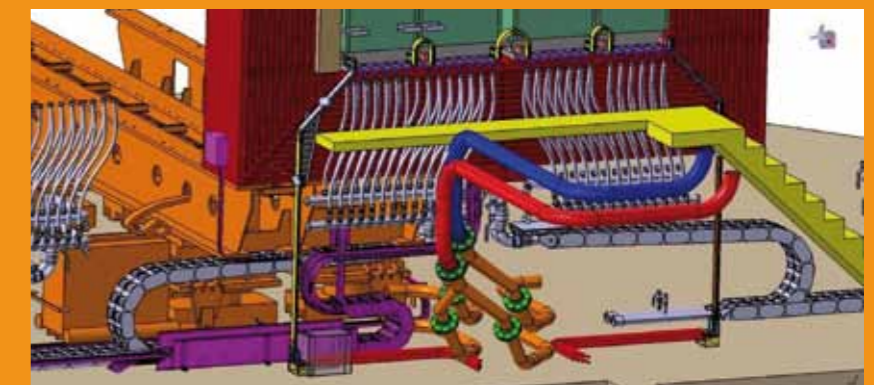
HESS 2 : Banc de test de contrôle des photomultiplicateurs.



LSST : CAO des filtres et de leur guidage.



SNDICE : Photo du système de calibration faite sur site.



T2K : Etude des amenées de courant sur l'aimant.

SNDICE

Le projet avait pour objectif de concevoir un système, équipé d'une double motorisation angulaire, de calibration absolue pour la caméra Mégacam du CFHT à l'aide de LEDs couvrant différentes longueurs d'onde et de photodiodes refroidies. La calibration des LEDs est faite à l'aide d'une photodiode calibrée. Le service a étudié, fabriqué et mis en place sur site (Hawaï - 2008) cette source de LEDs. Un banc de test permettant

d'établir une carte 3D du champ de flux lumineux a également été conçu et réalisé.

T2K

Ce détecteur implanté au Japon permet d'étudier les oscillations de neutrinos entre un détecteur proche (ND280) et son détecteur lointain (SuperKamiokande situé à 300 km). Une personne du service a étudié, réalisé et mis en place sur site en 2009 l'alimentation électrique de l'aimant de l'expérience (1600 A).

Activités complémentaires

Des membres du service sont impliqués dans des actions de présentation de nos activités vers le grand public ou les lycées, dans des formations ou des jurys de concours du CNRS ou de l'In2p3, mais également dans des groupes de travail (EDMS, Smarteam, qualité, calcul, FAO). Un ingénieur du service est membre du comité de pilotage du réseau des mécaniciens.



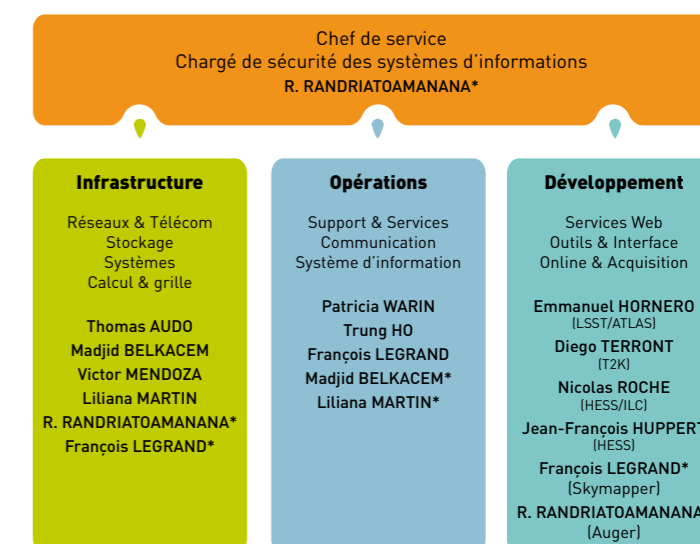
Le service informatique du LPNHE est en charge du fonctionnement, de la mise à niveau et de la maintenance des systèmes informatiques du laboratoire. Cela comprend le réseau, les serveurs, le stockage des données et les services associés. Il est également impliqué auprès des expériences et développe, dans ce cadre, des systèmes d'acquisition, d'interfaces et de bases de données. Le laboratoire abrite depuis 2006 un nœud de la grille de calcul informatique d'Ile-de-France (GRIF), partie intégrante des grilles mondiales que sont LCG (LHC Computing Grid) et EGEE (Enabling Grids for E-science).

L'équipe informatique du LPNHE comprend douze personnes, dont six ingénieurs de recherche, quatre ingénieurs d'étude, un assistant ingénieur et un technicien.

Tous ces informaticiens travaillent soit pour l'informatique locale du laboratoire, soit pour l'informatique des groupes techniques ou de recherche. Il est fréquent qu'un informaticien soit impliqué dans plusieurs activités selon ses compétences et son domaine d'expertise. L'informatique est un outil indispensable pour l'ensemble des personnels du LPNHE. Le service informatique doit assurer le bon fonctionnement de l'ensemble des systèmes, à

SERVICE INFORMATIQUE

R. Randriatoamanana



Pilotage du système d'informations, veille, sécurité, qualité et protection des données

* Activités transversales ou partielles

savoir le réseau, les serveurs (généralistes ou affectés aux groupes et services), les postes de travail et les moyens de communication à distance (vidéoconférences). Il fournit au quotidien une assistance aux utilisateurs

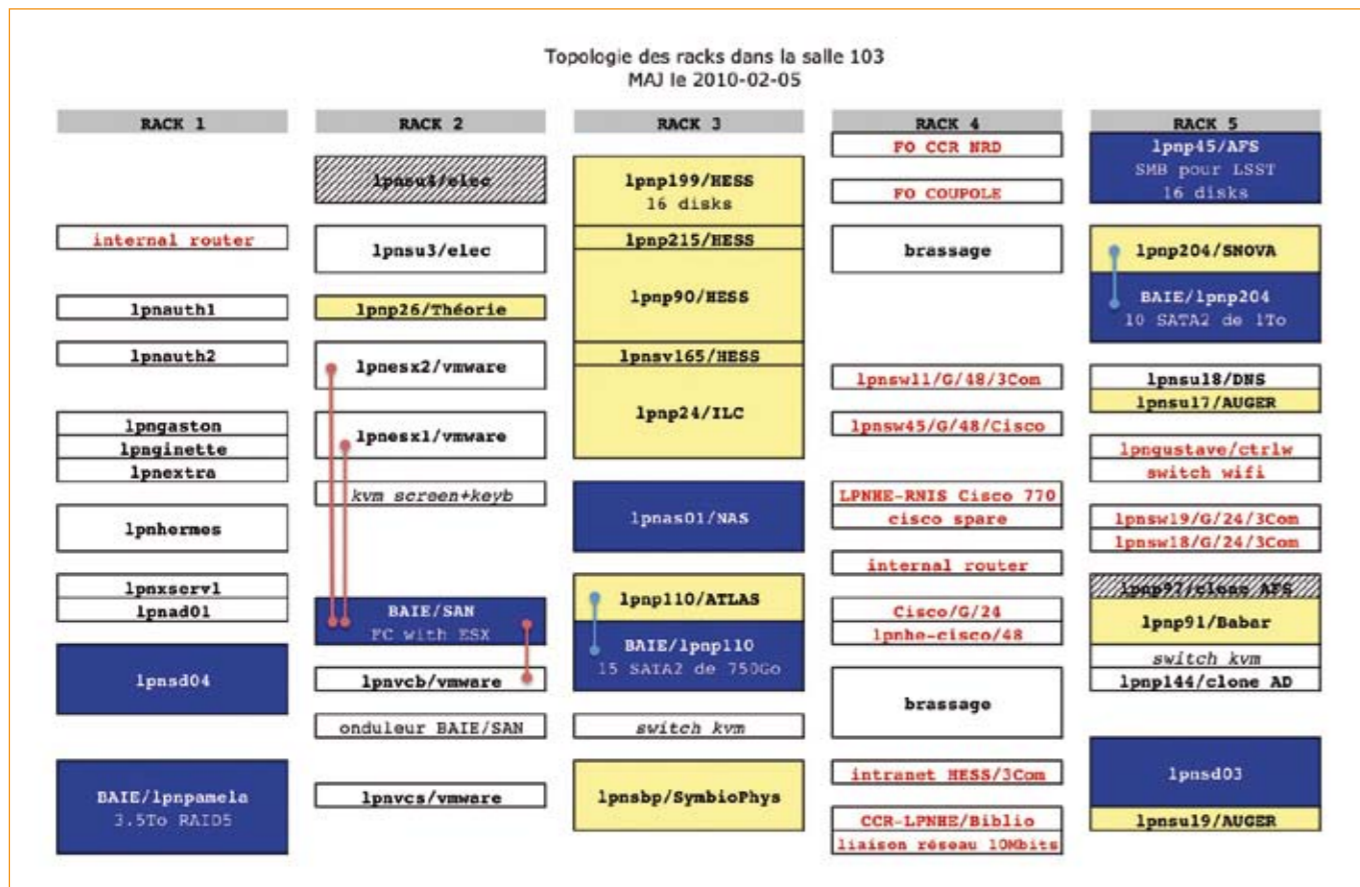
Le service informatique comprend 3 pôles d'activités :

- **Exploitation et infrastructure**
Installation et exploitation des systèmes
Installation des applications : bureautique, base de données, calcul
- **Support, services & logistique**
Assistance aux utilisateurs dans la résolution des problèmes

- **Développement & intégration**
Conception et développement d'applications spécifiques pour les expériences
Intégration de ces développements dans des environnements divers

Exploitation et infrastructure

Aujourd'hui, environ 600 équipements informatiques permettent aux membres du laboratoire d'utiliser l'informatique sous toutes ses formes. Ceci est possible grâce à l'infrastructure réseau et aux systèmes associés qui sont en constante évolution



Lotissement des serveurs généraux et d'expérience du LPNHE dans la salle 103.

Les efforts de ces deux dernières années ont porté sur le renouvellement du parc informatique aussi bien du côté matériel que logiciel. Les systèmes suivants ont été renouvelés en veillant à appliquer les technologies les mieux adaptées à nos besoins :

- La gestion informatisée des personnels entrants-sortants du laboratoire.
- Le réseau wifi sécurisé.
- le système d'authentification centralisé.
- Le système centralisé de virtualisation et de stockage des données.
- Le service de messagerie
- Le système d'impression qui gère indépendamment les impressions sous linux/Unix et sous Windows et qui permet de stabiliser et d'optimiser l'environnement d'impression.

- Les postes de travail des utilisateurs : environ une soixantaine ont ainsi été renouvelés (SLC, Windows, Mac).

D'une façon générale, en ce qui concerne les postes de travail des utilisateurs et les serveurs des expériences ou des services, nous arrivons à une harmonisation des systèmes d'exploitation propre à chaque domaine d'activité :

- les expériences majoritairement sous linux (Ubuntu ou SLC)
- l'administration sous MACs et Windows 2000
- l'électronique qui bascule désormais sous linux pour les serveurs et Windows pour les postes de travail des électroniciens
- la mécanique sous Windows XP
- l'automatisation des installations Scientific Linux Cern (kickstart) et ubuntu (preseed)

- l'upgrade automatique des OS linux et l'administration centralisée des serveurs des expériences
- la gestion d'authentification des utilisateurs centralisée fonctionnant aussi bien sous LDAP, AD que sous OD (Mac).

L'acquisition en 2009 d'un nouveau système de stockage massif et sécurisé, NetApp, a permis la migration, dans un premier temps, des répertoires utilisateur sous Windows afin de désengorger les services de partage de fichier qui tournaient sur des serveurs Windows majoritairement en fin de vie. A terme, ce système de stockage de nouvelle génération évoluera en taille pour couvrir tous les besoins en stockage des répertoires "home" des utilisateurs du laboratoire quel que soit le type d'OS. Ce système va permettre, dans un 1^{er} temps,

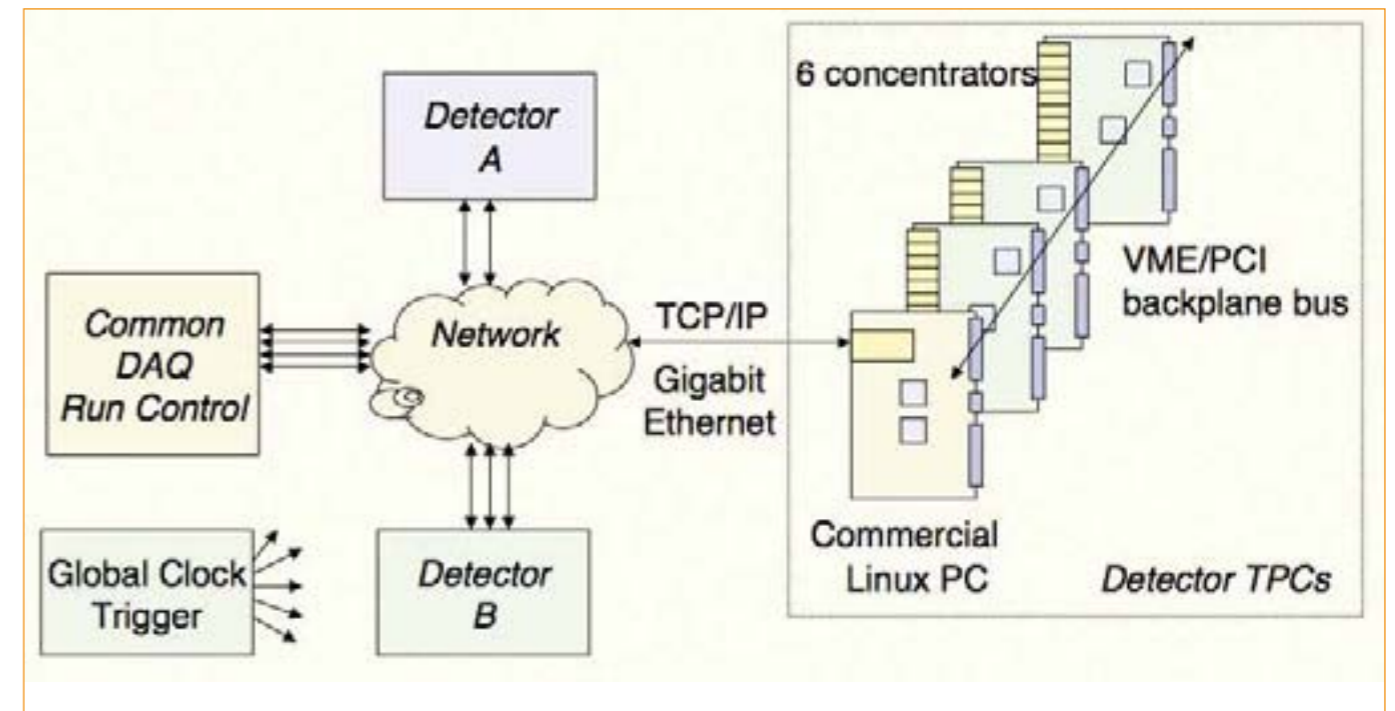


Schéma général du TPC event build de l'expérience T2k du DAQ interface.

d'exporter l'arborescence de données (home, commun, etc.) du laboratoire actuellement dispersée sur plusieurs serveurs.

Côté réseau, nous disposons maintenant d'un routeur CISCO à haute performance connecté, d'un côté, à la plate-forme régionale RENATER de Jussieu par une liaison en fibre optique à 2 Gbits et de l'autre aux commutateurs (« switches ») réseau du LPNHE qui ont tous été remplacés afin de porter leur débit au Gbit. La rapidité de mise en place de ce choix technologique a mis notre laboratoire en très bonne position pour les tests et la mise en production des nouvelles technologies comme la grille de calcul ou les vidéoconférences.

Nous avons renforcé la sécurité des services réseaux du laboratoire (filaire et sans-fils) pour définir les machines autorisées à utiliser le réseau informatique interne. Aujourd'hui, nous disposons de 2048 adresses IP contiguës sur un seul brin. Les deux réseaux de classe C de 256 adresses

IP répartis sur deux brins différents ont été remplacés par un seul réseau de classe B.

Nos ingénieurs réseau suivent constamment l'évolution de cette infrastructure en respectant la politique de sécurité informatique mise en place en accord avec les instances de tutelles.

Support, services & logistiques

Les informaticiens travaillant pour les différents services du laboratoire ont des compétences particulièrement pointues liées aux matériels et logiciels très spécifiques des services. Chaque service bénéficie du soutien d'un expert pour l'installation et l'administration de son (ses) système (s).

Administration

Le service informatique assure le bon fonctionnement du logiciel Xlab ainsi que l'intégrité et la sécurité des données générées, traitées puis stockées dans sa base sur un serveur

local sous Windows 2000. En 2008, 3 postes clients ont été renouvelés sous le système MacOS X. Deux postes de travail Windows dotés d'un client NABuCo assurent la gestion budgétaire et financière de sources universitaires (UPMC et UPD). Depuis 2009, 5 utilisateurs, dont le directeur, ont vu leur poste de travail remplacé par des clients iMac.

Le logiciel de gestion des absences, 'Gestion Local du Personnel' (GLOP), à l'origine développé au LAPP, est utilisé massivement au laboratoire réduisant ainsi l'utilisation de papier. Depuis sa mise en service en 2007, il a évolué en termes de maturité, d'ergonomie et de stabilité. Son développement réactif et constant nous rassure sur la pérennité du produit.

Electronique

Le serveur de la CAO électronique (SUN E250 avec processeur Ultra Sparc II) a été upgradé régulièrement aussi bien au niveau système qu'au niveau logiciel. Il assure les

fonctions de serveur de fichiers et de licences pour l'exploitation des logiciels de CAO Cadence. Depuis 2009, un nouveau serveur sous linux (RHEL) a fait son apparition pour remplacer en 2010 le serveur CAO Sun/Solaris actuel qui n'a plus de contrat de maintenance. Ce nouveau serveur va non seulement augmenter considérablement la puissance de calcul pour la CAO, mais aussi centraliser tous les répertoires utilisateurs éparpillés sur différentes machines.

Une grande majorité des postes de travail Windows 2000 ont été remplacés par des postes Windows XP et Windows 7.

La CAO mécanique

Au cours des années 2004-2005, le logiciel CATIA suite d'applications logicielles pour la CAO (comprenant Catia, SmarTeam, Oracle Client, Euclid, le connecteur entre Catia et Euclid) a changé deux fois de version. La nouveauté de la dernière version (Catia V5R13) est la centralisation des données de CAO dans une base de données située au Centre de Calcul de Lyon sur le nouveau serveur « SmarTeam » (ccsmarty.in2p3.fr) dans le domaine Active Directory de l'IN2P3. Cela a nécessité un changement d'adresse IP de tous les postes de travail et leur intégration dans le domaine Active Directory. La dernière station de travail Digital Unix qui supportait l'ancienne version du logiciel de CAO Euclid a été définitivement arrêtée et le parc actuel est constitué exclusivement de postes Windows, soit Windows 2000 Pro soit Windows XP.

Le support aux utilisateurs.

Malgré un nombre très réduit d'informaticiens eu égard à la taille du laboratoire, le service informatique offre un support aux utilisateurs en assurant une interface entre eux et les ressources informatiques du laboratoire. Les membres de l'équipe support ont pour mission

de retranscrire les demandes des chercheurs non spécialistes de l'informatique en une problématique technique. Le service informatique doit par ailleurs donner une réponse aux problèmes rencontrés par les utilisateurs et il s'est doté pour cela d'une interface de gestion des incidents qui lui sont reportés. Actuellement, chaque membre de l'équipe informatique s'occupe de support selon ses domaines de compétences.

Développement et intégration

T2K (Diego Terront)

Un travail très étroit s'est fait entre les électroniciens et les physiciens du LPNHE ainsi qu'avec les collègues de la collaboration à Saclay, au Canada, en Angleterre, à Barcelone et au Japon pour aboutir à une solution de production des cartes DCC (Data Concentration Card) capables de concentrer les données venant des trois modules TPC (Time Projection Chamber) installés dans le détecteur proche ND280. Ce travail comprend :

- intégration des éléments techniques et des logiciels faisant partie du système d'acquisition pour la réalisation d'un banc de test au LPNHE
- développement du système d'acquisition « online » en langage C pour une carte électronique de concentration de données (DCC) à partir du framework MIDAS ;
- conception et mise à point d'un système LINUX embarqué pour des processeurs PPC405 pour supporter les tests d'exécution des applications d'acquisition embarquées sur la carte électronique ;
- réalisation de mises à jour et modifications en langage VHDL pour la configuration de la puce FPGA Xilinx Virtex 4 comme pièce centrale de la carte électronique afin de supporter de nouvelles fonctionnalités comme la gestion des horloges externes et la réception des signaux de trigger ;

- trois déplacements ont été effectués au laboratoire TRIUMF à Vancouver au Canada pour l'échange de connaissances techniques et pour l'intégration physique du logiciel des premiers modules DCC opérationnels conçus au LPNHE et au CEA (Saclay). Les premières acquisitions de données dans une situation réelle avec un demi module détecteur TPC ont été effectuées avec succès au Canada
- un déplacement au Japon en décembre a permis la mise en production de l'infrastructure finale connectée aux systèmes d'acquisition centraux. Les premières acquisitions avec faisceau ont eu lieu en 2010.

HESS 2 (Jean-François Huppert et Nicolas Roche)

Activités et travaux menés dans cette expérience :

- mise au point du système linux embarqué en liaison avec le fournisseur des cartes processeur (société C.E.S. (Creative Electronic System)), notamment pour les problèmes de configuration du bus compactPCI
- développement de drivers et/ou modules pour de nouvelles cartes : arm, gigabit, gps, alimentations Wiener
- développement et test des serveurs embarqués pour les 3 sous-systèmes du détecteur, acquisition de données, slow-control, déclenchement
- intégration de sous-systèmes développés par d'autres laboratoires de la collaboration HESS 2 (sécurité, déclenchement de niveau 2). Développement d'interfaces utilisateur
- maintenance des serveurs et des postes clients, mise à jour sous Fedora12.

LSST (Emmanuel Hornero)

L'équipe informatique participe à la R&D sur les CCD pour le très grand plan focal de LSST. Dans le cadre des études des CCD et de la quarantaine d'ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) prototypes, l'expérience LSST du LPNHE travaille



Vue d'ensemble de la salle GRIF au LPNHE actuellement. Ces quatre baies informatiques sont pleines de lames de calcul et de stockage.

sur la mise en place d'un banc de test de caractérisation. Il est ainsi primordial que les données produites et les informations complètes d'environnement et de contexte de prise de données soient indexées et enregistrées dans un système d'information. Cela permet de fournir d'une part une « carte d'identité » de cette électronique prototype et d'autre part de garder une traçabilité de toute la R&D effectuée afin de pouvoir à tout moment retravailler sur la caractérisation de l'électronique. Ce système d'information va stocker et accéder aux fichiers produits par le banc de test via l'outil de stockage distribué hébergé et administré par le centre de calcul de Lyon. Nous développons un système automatisé de transfert, stockage et traitement des données du banc de test. Les résultats seront synthétisés et exploitables via des outils web ou des scripts. Notre objectif est de fournir des outils d'analyses facilement accessibles depuis le monde entier et de prise en main rapide. Les technologies utilisées pour le développement de ce système d'information sont le langage Python, le framework Django, la base de donnée PostgreSQL, ainsi que le développement de bibliothèques en C++

pour le traitement des données acquises. La conception et la mise en place de ce banc de test prépare de manière importante la réalisation du futur banc de test de production des CCD du télescope LSST. En effet, quelques centaines de CCD et d'ASIC devront être testés et caractérisés à cette occasion. Ainsi, la R&D actuelle de ce banc de test n'en devient que plus pertinente.

GRIF (Liliana Martin et Victor Mendoza)

GRIF (Grille au service de la Recherche en Île-de-France) continue ses activités selon les objectifs définis au début du projet en 2005, à savoir : fournir les ressources de calcul et de stockage pour l'analyse et la simulation (Tier2) et pour les utilisateurs locaux (Tier3). Aujourd'hui, le site GRIF/LPNHE peut exécuter 242 jobs simultanément et dispose de 210 To utiles sous GPFS. Le matériel en production est un IBM, aussi bien pour le calcul (technologie lame) que pour le stockage (SAN, DAS). Par contre, le dernier appel d'offre, lancé en octobre 2009, a été remporté par DELL (technologie lame pour le calcul, un DDN pour le stockage). Nous avons eu aussi,

en donation, 9 serveurs de stockage SUN venant du CCIN2P3. La mise en production de tout ce matériel permettra d'exécuter environ 500 jobs simultanément et augmentera de 312 To bruts l'espace de stockage existant. Un effort particulier a été fait pour améliorer les performances réseau (uplink de 1 Gbps à 4 x 1 Gbps pour les châssis et les serveurs de disques, 1 Gbps -> 10 Gbps entre la sortie du routeur GRIF et le routeur LPNHE, par exemple) et l'accès redondant aux données (multipath = plusieurs chemins mis en place pour éviter un unique point de coupure de lien physique). Des améliorations de la bande passante, 10 Gbps pour le réseau Ethernet, et 8 Gbps pour le stockage sont programmés prochainement. Le site a participé avec succès aux nombreux tests et challenges organisés par les expériences LHC et est prêt pour le LHC (Large Hadron Collider). Cependant le futur déménagement risque de perturber fortement son fonctionnement jusqu'à présent exemplaire.



Pour répondre aux demandes des expériences de physique, les équipes de recherche du laboratoire développent ou ont développé différents types de bancs de test et acquis une grande expertise dans le domaine de la photo-détection, dans le développement de systèmes de test automatisés et dans l'installation et l'utilisation de salles propres.

Ce type de développements implique une collaboration étroite entre tous les intervenants, à savoir les chercheurs, souvent maîtres d'œuvre et les différents services techniques du laboratoire (mécanique, électronique et informatique)

Pour les années 2008, 2009, ces réalisations concernent les projets HESS, LSST, SLHC, ILC et CTA.

MOYENS D'ESSAI ET BANCS DE TEST AU LPNHE

F. Toussenet

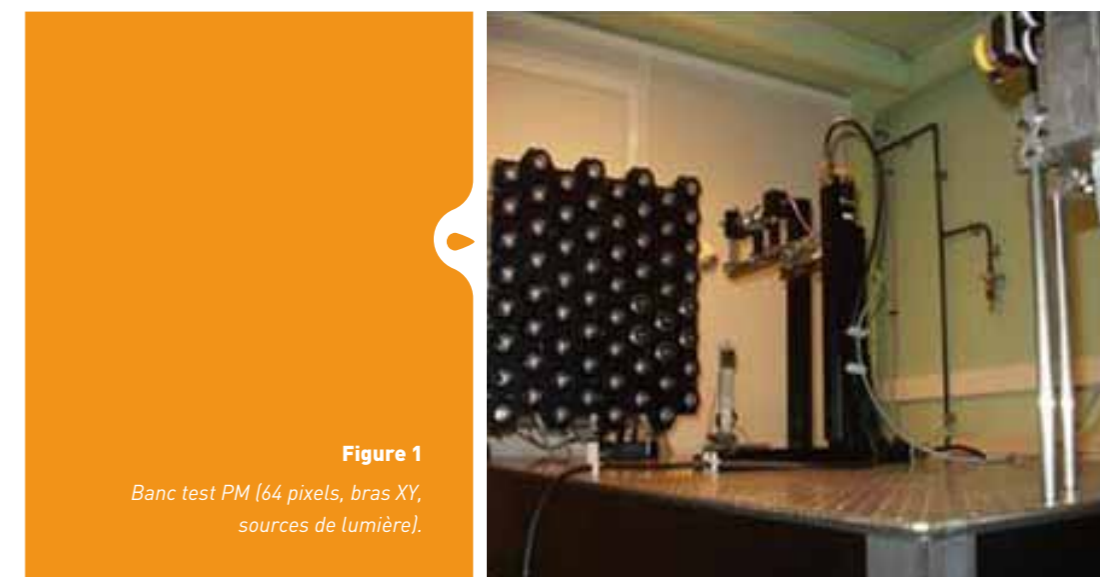


Figure 1
Banc test PM (64 pixels, bras XY, sources de lumière).

Les projets HESS et CTA

L'implication forte du LPNHE dans la construction de l'expérience HESS (High Energy Stereoscopic System) avec la responsabilité de l'instrumentation des caméras (HESS 1 et HESS 2) et de la fourniture des 2500 photodétecteurs placés au plan focal du télescope HESS 2, a conduit l'équipe du LPNHE à développer un banc de test complet pour la caractérisation des

photomultiplicateurs (figure 1). Celui-ci permet le test simultané de 64 photomultiplicateurs et reprend l'environnement software et hardware conçu au LPNHE pour la phase 1 de l'expérience. Différents tests ont été mis en œuvre pour obtenir une caractérisation détaillée et complète des tubes retenus pour équiper le plan focal de la caméra HESS 2 (XP29600 de la société Photonis, $\varnothing 1''1/8$).

Les possibilités de mesure sont les suivantes :

- Gain du photomultiplicateur (PM), obtenu en mesurant le spectre du photoélectron unique à différentes valeurs de haute tension.
- La linéarité de la réponse de chaque tube en lumière bleue impulsionnelle au moyen d'une roue à filtre à transmission variable.
- La mesure du taux de post-impulsions en fonction du seuil

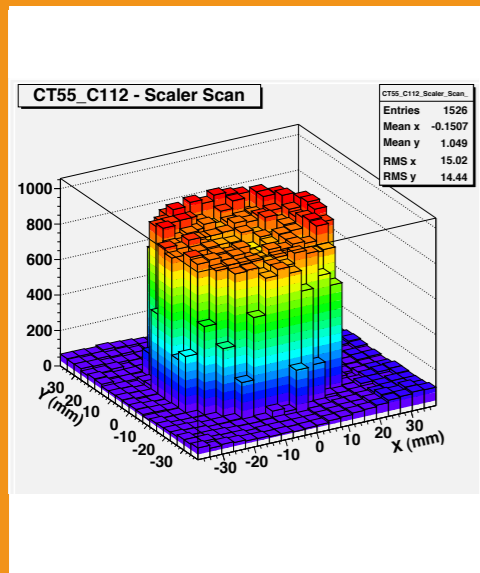


Figure 2
Uniformité des photocathodes.

de lumière exprimé en nombre de photoélectrons. Ce paramètre est fondamental dans le choix final du photo-détecteur dans la mesure où il influe directement sur le bruit de fond du PM et sur la qualité du déclenchement. Elle est réalisée en utilisant une source de lumière blanche continue qui permet de simuler le bruit de fond de ciel vu sur le site de HESS par chaque PM.

- L'uniformité de la réponse de la photo-cathode au moyen d'une source lumineuse placée sur un bras XY qui permet un balayage précis de la photo-cathode de chaque tube (pas = 1 mm x 1 mm) (figure 2).
- Un test de vieillissement qui permet de déterminer la perte de gain en fonction de la charge intégrée sur le tube et de prévoir la durée de vie du tube dans les conditions réelles de fonctionnement sur le site.

Ce banc d'essai est entièrement automatisé et les résultats sont sauvegardés en ligne dans une base de données qui autorise une analyse a posteriori des données et une étude de l'évolution des résultats dans le temps.

L'atout majeur de ce système réside dans le fait qu'il n'est pas exclusivement dédié aux photomultiplicateurs testés pour HESS mais qu'il peut être adapté pour la caractérisation d'autres photo-détecteurs (PM, SiPM, ...).

Avec l'arrivée du projet CTA (Cherenkov Telescope Array) en 2008, le LPNHE se positionne donc comme site expert pour le choix et la caractérisation des photo-détecteurs pressentis pour équiper le projet. Pour cela, une nouvelle fonctionnalité est en cours d'implémentation sur ce banc de test, qui doit permettre de faire une calibration absolue des photomultiplicateurs et de mesurer ainsi l'efficacité quantique des tubes, paramètre primordial dans le choix d'un photomultiplicateur. Ce nouveau paramètre nécessite la mise en œuvre d'un monochromateur et de sphères intégrantes permettant de connaître précisément la quantité de lumière incidente.

Le projet ILC

Le groupe du Collisionneur Linéaire au LPNHE a lancé une



Figure 3
Prototype « mécanique » (test de planéité ...) de CCD pour LSST produit par E2V (mars 2010).

activité de R&D sur la nouvelle génération de trajectomètres au silicium depuis 2002, activité qui s'est étendue sous forme d'une collaboration internationale à partir de 2003, et dont le LPNHE assure la coordination. Les axes principaux sont le développement de nouveaux senseurs au silicium, une nouvelle électronique de lecture sur détecteur en technologie profondément sous micronique et les enjeux associés sur la mécanique de ces grands ensembles de détection.

Un savoir-faire s'est ainsi développé, dans ce groupe sur différents types de bancs de test tant sur les nouveaux senseurs que sur la nouvelle électronique de lecture et la construction de modules, éléments de base de ces trajectomètres.

1) Banc de montage de module à senseurs au silicium de différents types, métrologie au micron

La construction de modules élémentaires faits de 2 ou 3 senseurs à microbandes a nécessité la construction d'outils et le développement d'une expertise dans la métrologie du micron qui s'étend

maintenant au montage de modules avec des senseurs dans de nouvelles technologies, soit à microbandes longues ou courtes (strixels), soit pour la suite à pixels. Ce banc de montage est installé dans une ambiance ISO8.

2) Banc d'étude thermomécanique

La question de la dissipation de puissance de l'électronique étant un des points cruciaux de ces détecteurs, divers bancs de test avec maquettes mécaniques des composantes à étudier, simulation de la dissipation de puissance par l'électronique avec des thermocouples, et enceintes thermiques avec refroidissement ont été construits. Les mesures faites de manière automatisée sont confrontées aux modélisations fournies par la simulation thermique et permettent l'amélioration de ces modélisations.

3) Banc de test d'alignement

Deux types de bancs d'alignement sont développés suivant les deux types d'alignements à étudier. L'un, basé sur des détecteurs traités pour transparence au laser infrarouge, permet d'aligner diverses couches de ces détecteurs. L'autre, basé sur un système à pixels et laser infrarouge, permet l'alignement de différents sous-détecteurs entre eux. Un banc de test automatisé pour traiter ces deux systèmes a été développé par ce groupe.

4) Banc de caractérisation des détecteurs silicium en laboratoire ou en faisceau

Deux bancs de caractérisation ont été développés, entièrement automatisés et adaptables à tout type de lecture et de senseurs. L'un est dédié aux tests en laboratoire et consiste en une grande cage de Faraday contenant un banc 3D motorisé, basé sur LabView. Les senseurs peuvent être excités par une source radioactive ou par un laser, fixés sur la table 3D. L'autre, destiné aux tests en faisceau, est transportable. Il est basé FPGA et VHDL, C++ et ROOT. Un laser infrarouge qui permet de calibrer le système et en particulier son alignement y est aussi intégré.

5) Banc de test de l'électronique de lecture et du système d'acquisition associé

Les différentes étapes de développement de l'électronique de lecture, et donc des ASIC-prototypes sont testées sur le banc décrit en 4) l'ASIC étant relié à un module. Mais l'étude de la fonctionnalité des diverses composantes de ce microcircuit mixte analogue/numérique à architecture complexe se fait sur un banc dédié automatisé sur le microcircuit seul.

Le projet LSST

Le plan focal de LSST comprendra le plus grand nombre de pixels mis en œuvre dans une caméra à ce jour, soit 3.2 milliards de pixels de 10 µm répartis en 189 CCD couvrant un disque de 64 cm de diamètre. La contribution française à la construction de LSST inclut l'achat et la réception d'une partie des CCD du plan focal. L'achat correspondrait au minimum à 25 % des 189 CCD nécessaires au plan focal de la caméra et la réception pourrait s'étendre à l'ensemble des CCD.

Le Brookhaven National Laboratory (BNL) coordonne l'activité CCD pour LSST. Le LPNHE participe à la R&D en cours et, avec BNL, sera un des deux centres de réception des CCD lors de la construction.

Les objectifs de la R&D sont :

- 1) Définir un design de CCD remplissant les besoins scientifiques du projet
- 2) Coordonner la réalisation des prototypes par plusieurs vendeurs potentiels
- 3) Caractériser ces prototypes et en sélectionner 1 ou 2 pour réaliser la production.
- 4) La R&D doit aussi permettre :
 - d'estimer la qualité de la future production (yield)
 - de définir et mettre en place des procédures de réception / caractérisation de la production de CCD.

Un contrat de R&D pour la production de prototypes est en cours ; la France

participe financièrement à cette R&D en ce qui concerne le fabricant E2V, avec des objectifs de R&D centrés sur le point « 4 »). E2V a livré des prototypes intermédiaires en Mars 2010 (voir figure 3), et devrait livrer les premiers prototypes finaux d'ici fin 2010. La livraison d'un prototype E2V opérationnel au LPNHE est escomptée pour l'automne 2010.

Le LPNHE a rejoint cette R&D en 2008 et depuis cette date plusieurs opérations ont été réalisées :

- 1) Le plan des futures salles blanches destinées au projet a été réalisé. Ce plan intègre les contraintes de production, en s'assurant en particulier d'une minimisation de la manipulation des CCD. Ces salles blanches ont été construites dans le cadre de la rénovation du campus Jussieu et seront livrées au LPNHE début Juillet 2010.
- 2) Le banc de caractérisation des CCD a été mis en œuvre dans la salle blanche actuelle du LPNHE. Il sera utilisé pour caractériser les CCD prototype de E2V dès l'automne 2010.
- 3) Le banc test CCD, en utilisant à la fois des éléments commerciaux (CCD E2V 47-10 et système d'horloge) et des éléments développés au LPNHE (carte de lecture back end) a permis de lire, début 2010, un CCD en utilisant l'ASIC front-end (ASPIC II) développé en collaboration par le LAL et le LPNHE pour LSST. Ce type de test avec des éléments de plus en plus proche du design final de l'électronique de LSST sera régulièrement effectué sur le banc de caractérisation de CCD du LPNHE.

Cette participation directe à la R&D CCD au LPNHE permet/devra permettre :

- 1) un cross-check avec BNL des résultats de caractérisation des prototypes
- 2) un développement des points spécifiques de métrologie qui nous intéressent plus directement de par leur lien avec l'électronique de lecture (cross-talk, bruit, ...)



Figure 4
Banc test thermique SLHC.



Figure 5
Manipulation dans une salle propre

3) une participation directe à la mise au point des procédures de réception/caractérisation des CCD de production, opération de réception qui seront une charge importante pour le LPNHE lors de la phase de construction de LSST (2012-2015).

Le projet SLHC

L'équipe du SLHC a développé un banc de test thermique (figure 4). Ce dernier permet de réaliser des tests thermiques de lattes qui sont des assemblages de détecteurs au silicium montés sur une structure composée de mousse de carbone et d'un tube capillaire en titane, aluminium ou carbone. Cet ensemble est refroidi à l'aide d'un cryothermostat et d'un échangeur. Le banc est constitué d'une enceinte (50 x 70 x 300) régulée en température (plage 0 à 60°C) et instrumentée avec 16 sondes de température PTC100 ou d'autres capteurs (débit, ...). Ces différents capteurs sont lus par une centrale d'acquisition pilotée par ordinateur via un lien USB. Ces tests permettent de valider les simulations effectuées sous Abaqus (logiciel de calcul). Cet ensemble, développé

initialement pour l'expérience ILC, sera aussi utilisé au sein de la collaboration SLHC France pour des tests similaires

Les salles propres

Le LPNHE dispose actuellement d'une salle de 28m² qui a été transformée en salle propre de classe ISO 8 pour les besoins de deux expériences :
LSST (bancs de test de capteurs CCD pour l'astronomie)
SLHC (tests électroniques de détecteurs au silicium)

Un sas personnel a été aménagé pour permettre aux personnes de s'équiper de charlotte, blouse et sur-chausses avant de pénétrer à l'intérieur. Une hotte à flux laminaire horizontal de classe ISO 5 est installée dans cette salle et permet d'obtenir localement une meilleure classe d'empoussièrement. Elle est utilisée pour la manipulation de CCDs, notamment lors de leur installation au sein de cryostats, les protégeant ainsi de toute contamination. Le laboratoire dispose enfin d'un compteur de particules afin

de contrôler régulièrement le taux d'empoussièrement de la salle.

Cette salle constitue une première étape pour le laboratoire et les expériences dont l'activité va pouvoir se développer avec la livraison dans les nouveaux locaux (juin 2010) d'un ensemble de salles propres conçues dans les règles de l'art. Le laboratoire disposera alors d'une superficie de 85 m² de salle propre, répartie en quatre salles, avec une filtration et un taux de brassage d'air compatibles avec des classes ISO 8 à ISO6 suivant les salles. La centrale de traitement d'air soufflera près de 7700 m³/h. Deux sas personnels et un sas matériel permettront d'y accéder, équipés chacun d'une aspiration centralisée. De plus ces salles bénéficieront d'une distribution en air comprimé filtré, azote gazeux pur, azote liquide et d'un réseau de vide primaire, pour répondre aux besoins actuels et futurs des expériences (figure 5).

Valorisation au LPNHE

Les actions de valorisation au LPNHE se sont déroulées autour des projets scientifiques en cours et en particulier de l'activité de R&D qu'ils requièrent. Parmi ceux-ci, l'activité de R&D autour du collisionneur linéaire (SiLC : "Silicon tracking for the Linear Collider") sur la partie de développement d'un microcircuit de traitement du signal en mode mixte analogique/numérique a donné lieu à un brevet en cours de finalisation et à l'obtention en 2009 d'un poste ITA Valorisation pour un ingénieur en Electronique niveau IR. Les développements de nouveaux détecteurs à silicium de nouvelles technologies de senseurs et l'expertise acquise par l'équipe Collisionneur Linéaire, donnent une ouverture vers l'intéressement de firmes industrielles pour les applications à l'imagerie médicale notamment. Les

contacts sont en cours et devraient déboucher fin 2010 sur un accord de coopération avec l'industrie. L'équipe de HESS au LPNHE, qui a établi des liens de collaboration avec PHOTONIS (voir rapport d'activités précédent) a démarré un contact avec OpticsValley qui pourrait avoir des prolongements intéressants non seulement pour HESS mais pour d'autres groupes de R&D au laboratoire et des possibles applications. Les savoir-faire existants au laboratoire dans nombre de domaine de l'électronique, l'informatique et la mécanique et les bancs de test développés devraient pouvoir être exploités ces prochaines années dans le cadre de la valorisation et prestations de services.

A. Savoy Navarro

Responsabilités dans les comités d'évaluation, les instances techniques

Bernard Canton

- Représentant du réseau des mécaniciens du CNRS, jusqu'au 31/12/2008
- Co-responsable du réseau des mécaniciens du CNRS, à partir 01/01/2009
- Co-animateur du réseau achat et sous-traitance de l'IN2P3, à partir du 01/01/2009
- Président de jury externe, 2 concours AI BAP C en 2008
- Président de jury externe, 1 concours AI BAP C en 2009
- Représentant du laboratoire, 1 concours T BAP G en 2009

Patrick Ghistain

- Membre du comité de pilotage Île-de-France du réseau des mécaniciens

Didier Laporte

- Membre du comité des utilisateurs d'EDMS de l'IN2P3, Formateur EDMS
- Membre du groupe Smarteam de l'IN2P3
- Membre élu du conseil de laboratoire
- Membre élu de la commission paritaire locale

Patrick Nayman

- Responsable de l'école IN2P3 "Techniques de base des détecteurs"

Richard Randriatoamanana

- Membre du groupe de travail de la délégation Paris B dans la mise en place d'une politique de sécurité du système d'informations

Philippe Schwemling

- Membre représentant de l'administration à la commission administrative paritaire des ingénieurs de recherche du ministère de l'éducation nationale

Patricia Warin-Charpentier

- Membre de plusieurs jurys de concours

Communications à des écoles thématiques

Bernard Canton

- « Connaissance et suivi des sociétés », Ecole IN2P3, La Londe les Maures (83), 19 - 23 mai 2008
- « La sous-traitance et les achats dans la conduite de projets », Ecole IN2P3 La Londe les Maures (83), 19 - 23 mai 2008
- « Les actions du réseau », 10^{ème} rencontre nationale des mécaniciens, Val Joly Eppe-Sauvage (59), 1^{er} octobre 2009

Organisation de conférences scientifiques et écoles thématiques

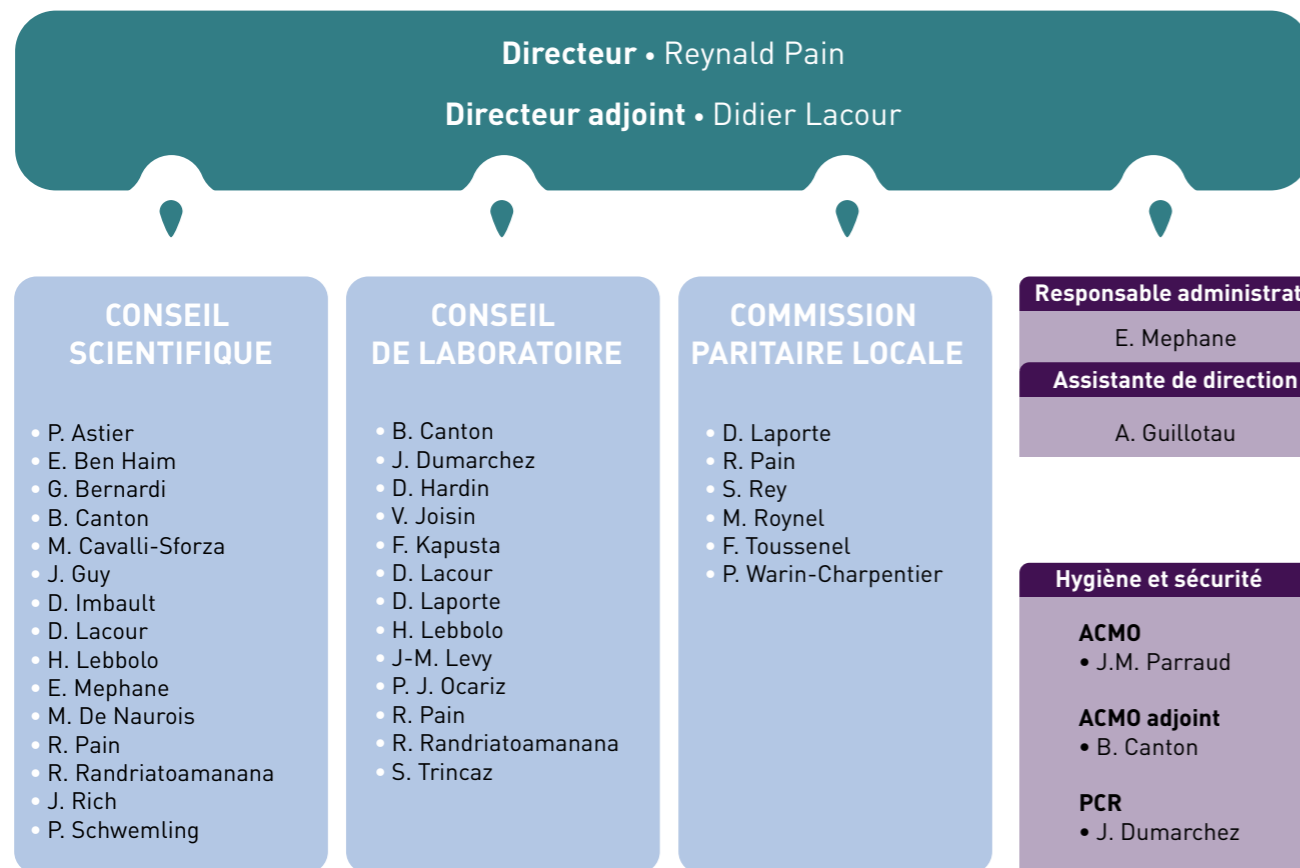
Bernard Canton

- Co-organisateur, 10^{ème} rencontre nationale des mécaniciens, Val Joly Eppe-Sauvage (59), du 28 septembre au 2 octobre 2009



FONCTIONNEMENT DU LABORATOIRE

- Organisation
- Ressources financières
- Ressources humaines
- Formation permanente
- Communication et documentation
- Hygiène et sécurité
- Services généraux
- Personnel du LNPHE

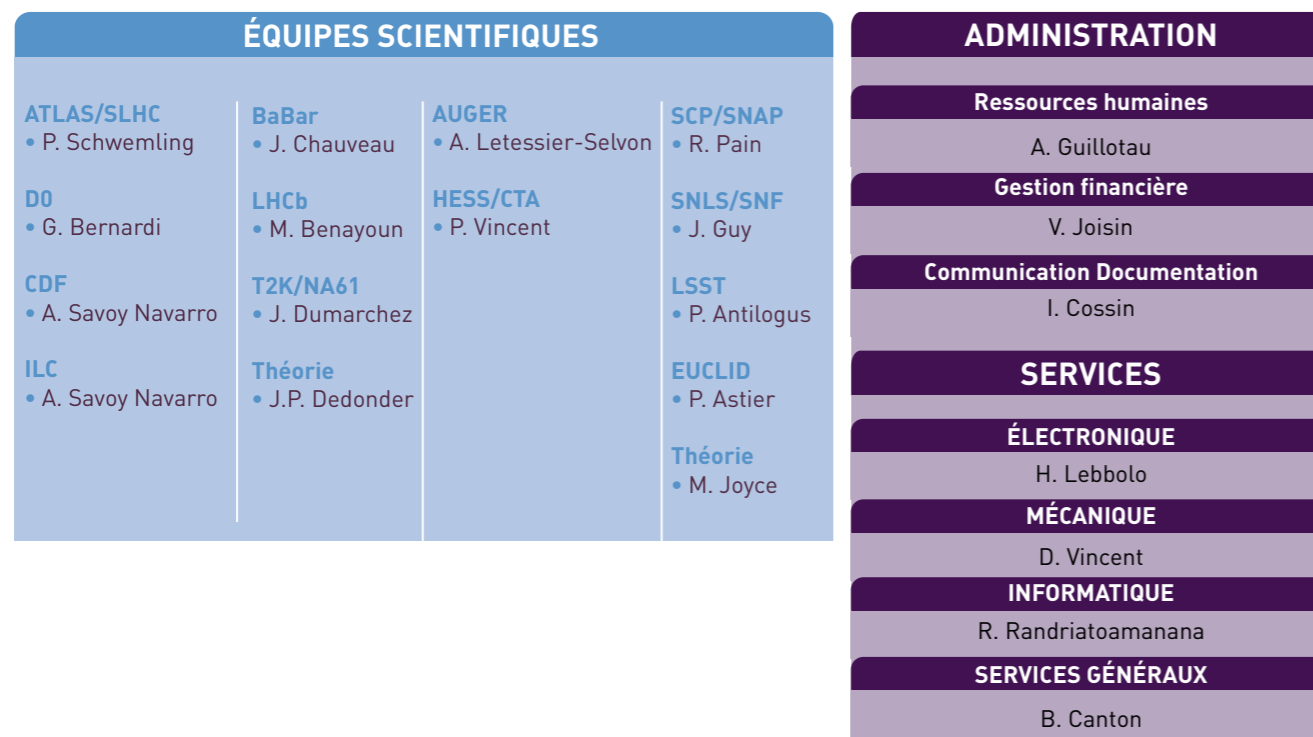


LE FONCTIONNEMENT DU LABORATOIRE

R. Pain



Le laboratoire est organisé autour de projets de recherche principalement nationaux ou internationaux. La direction du laboratoire assistée de divers conseils et les services de supports administratifs et techniques apportent un soutien indispensable aux équipes scientifiques qui ont en charge la réalisation de ces projets.



Organisation

La nature, principalement expérimentale, de nos activités de recherche exige de constituer des équipes, parfois nombreuses, comportant à la fois chercheurs et/ou enseignants-chercheurs et personnels techniques. Elle implique l'existence des structures locales d'évaluation et de soutien des activités scientifiques et techniques que sont le conseil scientifique (CS) et le comité de suivi des projets (CSP).

Le conseil de laboratoire (CL) traite les sujets relevant du fonctionnement général du laboratoire. Il est complété

par le comité local hygiène et sécurité (CLHS) qui conseille la direction en la matière. Le règlement intérieur, approuvé par le CL, décrit l'ensemble des règles régissant le laboratoire (fonctionnement, horaires, sécurité, etc.).

Durant les années 2008 et 2009 que couvre ce rapport, le directeur était assisté d'un directeur adjoint (DA) et d'une assistante de direction (AD). Une réunion de direction avait lieu chaque semaine regroupant la direction (D, DA et AD) et le responsable administratif (RA).

Au début de l'année 2009, la direction a travaillé à la mise en place d'une direction technique chargée de coordonner l'action des services techniques de soutien aux projets. Le projet a été approuvé par le conseil de laboratoire en juin 2009 et un poste de Directeur Technique (DT) demandé au CNRS.

En 2009 a été également instaurée une réunion mensuelle rassemblant les responsables scientifiques (RS) qui sont soit responsables d'une équipe, soit chef d'un projet du laboratoire. Lors de cette réunion,

sont échangées diverses informations administratives et scientifiques et les faits marquants des projets du laboratoire sont présentés.

A également été mise en place en 2009 une coordination des services techniques et administratifs par le biais d'une réunion mensuelle impliquant la direction et les responsables administratif et techniques.

L'avancement des projets scientifiques et techniques est discuté dans les sessions du conseil scientifique et lors des comités de suivi des projets. En 2008 et 2009 ont été examinés les projets

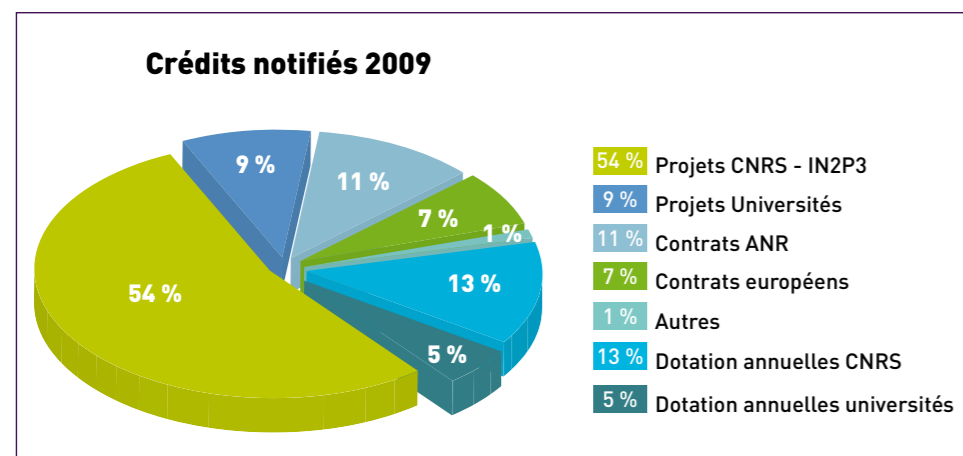
SNF, HESS, CTA, Auger et ceux liées à la physique du B (Babar, LHCb, SuperB). L'affectation des personnels techniques dans les projets est effectuée annuellement par la direction sur recommandation de la CSP. Le tableau d'affectation des ressources est actualisé semestriellement.

Sur le plan administratif, un pôle de gestion financière et un pôle en charge de la gestion des ressources humaines ont été mis en place en 2009. L'année 2009 a aussi été mise à profit pour préparer le passage du laboratoire en délégation globale de gestion financière (DGGF) au CNRS.

L'utilisation du logiciel du CNRS LABINTEL a, par ailleurs, été étendue à la gestion de tout le personnel du laboratoire, la gestion des absences des agents étant effectuée à l'aide du logiciel GLOP développé au laboratoire d'Annecy de Physique des Particules (LAPP).

Un pôle de communication et documentation a été créé en 2009, regroupant les fonctions de gestion de la bibliothèque, organisation de manifestations scientifiques (colloques, écoles, séminaires) et communication.

Ressources financières



Le LPNHE dispose de ressources financières apportées par ses tutelles, CNRS et Universités, et de ressources propres représentant un budget global hors salaires d'environ 2 millions d'euros par an. La répartition de ces ressources pour l'année 2009 est représentée sur la figure ci-dessus.

En 2009, la dotation annuelle (soutien de base non affecté, SBNA) CNRS a représenté 13 % du budget et celle de ses tutelles universitaires (UPMC et Université Paris-Diderot) 5 %. 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 est destiné aux projets du laboratoire et provient essentiellement du CNRS/IN2P3

(54 % du total en 2009), des universités (9 %), de contrats ANR (11 %) ou européens (7 %).

Affectations des ressources dans les projets

Thématiquement, le budget « Projets » s'est réparti en 2009 selon :

- Astroparticules et Cosmologie (65 %)
- Quarks et Leptons (35 %)
- Divers (théorie et interdisciplinaire) (10 %)

Gestions des ressources financières

La gestion financière du LPNHE est assurée dans 2 deux applications :

- XLAB : la base gestion des unités de recherche du CNRS
- SIFAC : le Système d'Information, Financier Analytique et Comptable des 2 universités.

Evolutions

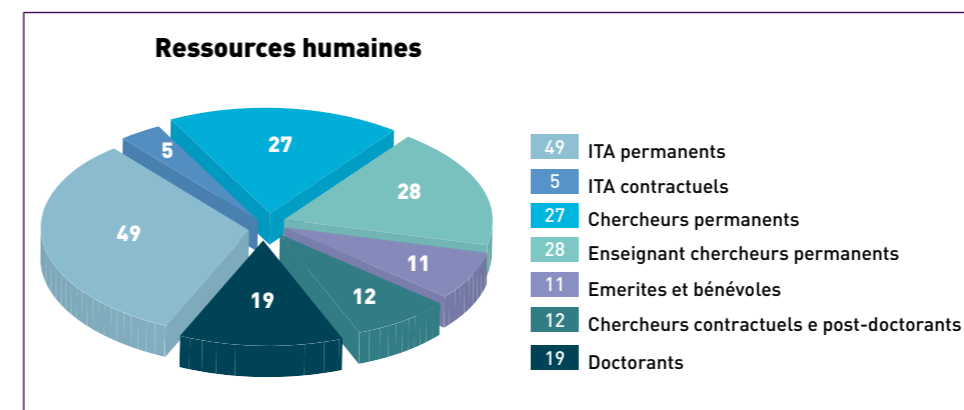
- Le budget projet IN2P3 est apparu en légère baisse en 2009 par

rapport à 2008, année qui avait bénéficié de crédits pour de gros équipements destinés aux projets HESS 2 & ILC.

- Ces dernières années ont vu un accroissement des financements Universitaires pour les projets (financement UPMC pour la grille de calcul) et un accroissement important des ressources propres provenant de contrat ANR ou Européens.
- En 2010, le laboratoire est passé en délégation de gestion financière (DGGF) CNRS.

E. Mephane
V. Joisin
B. Caraco
S. Rey

Ressources humaines



Au 31 décembre 2009 le laboratoire comptait 55 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents, 12 chercheurs contractuels ou post-doctorants, 11 émérités et bénévoles, 19 doctorants, 49 ingénieurs techniciens et administratifs (ITA) permanents, 5 ITA contractuels, soit un total de 151 personnes. Le laboratoire reçoit de plus trente à quarante stagiaires chaque année, pour des périodes allant d'une semaine à six mois.

Les activités de recherche sont centrées sur des projets scientifiques principalement expérimentaux et les personnels techniques répartis entre services et groupes de recherche.

Le service administratif, essentiel au bon fonctionnement du laboratoire, compte une dizaine de personnes. Les services techniques, service de mécanique, électronique, informatique et services généraux sont assurés par une quarantaine d'ingénieurs et de techniciens. La spécificité de nos activités de recherche, leur caractère international et leur complexité technique justifient ce soutien important en personnel technique de haut niveau. La vaste majorité des personnels administratifs et techniques sont des personnels CNRS.

Ces dernières années, le nombre de chercheurs et ITA permanents est en légère diminution, principalement du fait de départs en retraite, cependant que le nombre d'enseignants-chercheurs et de personnel temporaire augmente sensiblement. Le nombre d'étudiants en thèse, excellent indicateur de l'attractivité du laboratoire et de nos thématiques scientifiques, est également en hausse sensible.

A. Guillotau
J. Meurgey

Formation permanente

Le laboratoire attache une grande importance à la formation continue de ses agents. Indépendamment des bénéfices individuels que chacun peut en retirer, elle est nécessaire au maintien du haut niveau technologique indispensable à l'avenir de notre communauté.

Les formations suivies par les personnels pendant les années 2007 et 2008 vont de stages, écoles ou cours organisés par l'IN2P3, les délégations du CNRS, les universités, à des formations plus ou moins individuelles, dispensées par des organismes extérieurs et rendues nécessaires par des situations ponctuelles auxquelles il faut faire

face. Le bilan qui suit sans être totalement exhaustif permet de mesurer l'impact des différentes sources de formation permanente auprès des membres du LPNHE.

IN2P3

Pour ce qui relève de l'organisation de l'IN2P3,

- 13 agents du LPNHE ont participé à 9 Ecoles thématiques organisées par l'IN2P3,
- 1 ingénieur participe aux formations ACMO
- Chaque année, l'IN2P3 finance des journées de stages (de l'ordre d'une quinzaine de jours par an) liés à la conception de circuits et CAO ;

7 stages différents ont été suivis par 10 électroniciens en 2008 et 2009. Compte tenu de problèmes budgétaires, le nombre de stages financés est inférieur à ce qui serait nécessaire.

Les stages de formation ont, quant à eux, concerné tous les domaines d'activité du laboratoire :

• Informatique

Les stages de microinformatique organisés par la délégation Paris B (word, excel, dreamweaver, power point) sont toujours très appréciés mais un certain nombre de demandes liées aux commandes et outils LINUX-

UNIX n'ont à ce jour pas pu être satisfaites.

En 2008, le CNRS a, en partie, financé une formation réseau CISCO CCNA pour un technicien du LPNHE ce qui permet de maintenir une expertise de haut niveau dans les technologies réseau et de répondre réactivement à l'évolution technologique des supports du système d'informations de plus en plus complexe dans ses aspects intégration et architecture réseau.

Compte tenu de l'évolution des moyens de calcul, deux ingénieurs ont suivi des stages organisés par des délégations de province (cadre ANG2) pour leur apporter les éléments techniques nécessaires à une compréhension suffisante du monde du Calcul Haute Performance. Par ailleurs, le LPNHE a un responsable sécurité informatique qui suit tous les stages organisés.

• Mécanique

Il existe des réseaux régionaux de mécaniciens et un réseau national. L'équipe de mécanique participe activement aux rencontres organisées dans ce cadre (5 personnes, ~5 jours par an pour les rencontres nationales et quelques journées par an pour le réseau régional), un ingénieur du laboratoire, après avoir été animateur du réseau des mécaniciens de l'Île de France, est actuellement l'un des dirigeants du réseau national. Les membres de l'équipe de mécanique continuent à suivre les différents stages CATIA : des stages de bases pour les néophytes aux stages plus pointus permettant, par exemple, la découverte de la FAO sous CATIA.

• Electronique

Mis à part les écoles et stages organisés par l'IN2P3, un ingénieur a pu suivre une formation « Conception Altera Quartus » organisée par la délégation du CNRS de Normandie en partenariat avec le réseau des électroniciens. La délégation Paris B a financé en partie un stage lié à la conception et l'industrialisation des cartes électroniques pour un technicien. Ce genre de formation est rendu nécessaire parce que les projets scientifiques font appel à la réalisation de cartes électroniques dont la conception est complexe et l'idée est de réduire les coûts de

fabrication des prototypes.

Le service fait actuellement face à des besoins de formation au langage VHDL puisque les électroniciens utilisent des composants programmables pour lesquels ces langages de haut niveau sont maintenant nécessaires. Il s'agit aussi bien de cours extensifs de base que de cours intensifs très pointus. Là aussi, il existe des réseaux d'électroniciens dont un ingénieur du LPNHE suit les rencontres.

• Administration (gestion, communication, management, préparation aux concours...)

L'ensemble du personnel est sensibilisé aux formations programmées par les différentes tutelles dont dépend le laboratoire en particulier les stages liés aux préparations de concours, gestion de conflits, animation d'équipes ou communication...

• Hygiène et sécurité

Environ cinq personnes par an suivent les stages liés aux différents risques incendie, chimique, manipulation de gaz comprimés ou à la conduite à tenir en cas d'accident... Ces stages sont organisés chaque année par les universités dont dépend le LPNHE. Certaines formations complémentaires sont assurées directement par les laboratoires hôtes, particulièrement le CERN. Nous avons une personne « compétente en radioprotection » qui reste en contact avec les services concernés.

• Services généraux

Un technicien a, par le passé, suivi le stage qui lui a permis d'obtenir l'habilitation électrique ; il devra vraisemblablement suivre une remise à niveau. Compte tenu du déménagement du LPNHE, d'autres stages de ce type ont dû être envisagés (pour les informaticiens ou électroniciens qui devront intervenir sur les baies informatiques ou électroniques). D'autres habilitations sont à envisager (plomberie par ex). Un technicien a bénéficié dans le cadre des universités d'été de 5 jours de formation en climatisation. Un ingénieur assiste aux rencontres des correspondants techniques du bâtiment.

• Langues

En moyenne, trois personnes par

an suivent des cours d'anglais au cours de l'année universitaire et deux personnes assistent à des stages intensifs. Le LPNHE veille à ce que les visiteurs étrangers, post-doc ou boursiers, puissent avoir un minimum de cours de français... Il s'agit soit de formations intensives (ex : Alliance Française) soit de cours dispensés tout au long de l'année universitaire à l'université.

• Organisation d'écoles et de stages thématiques

Un certain nombre de membres du LPNHE ont pris la responsabilité de l'organisation d'écoles ou stages : l'école de « techniques de base des détecteurs » destinée aux techniciens de toutes les branches d'activités a lieu chaque année avec le même succès depuis 1996 sous la direction de Patrick Nayman qui en a été l'initiateur. On y développe, sur une semaine, une approche instrumentale des concepts de base nécessaires à la mise en œuvre des détecteurs en physique nucléaire et physique des particules. Patrick Nayman et Pascal Vincent interviennent dans les cours de cette école.

L'école « de la Physique au détecteur » se propose de donner les connaissances de base nécessaires à la compréhension des objectifs physiques des expériences, à la conception des détecteurs et à leur exploitation... Philippe Schwemling intervient dans cette école. L'école « électronique analogique 2008 » se proposait de faire connaître aux participants les principes généraux de l'électronique analogique, de leur faire effectuer des mesures sur les dispositifs analogiques et de leur faire découvrir les principales architectures analogiques utilisées dans les détecteurs de physique. Un ingénieur du laboratoire intervenait dans cette école. Par ailleurs, à la fin de l'année 2007, le LPNHE a organisé la 39^{ème} Ecole de Gif « QCD sous toutes ses couleurs » sous la direction d'un enseignant-chercheur du laboratoire.

O. Hamon



Communication et documentation

La mission du pôle « Communication & Documentation » s'articule autour d'actions dont l'objectif est, d'une part, de faire connaître les activités et les résultats scientifiques et techniques du LPNHE par exemple, par leur diffusion lors de manifestations scientifiques, spécifiques ou récurrentes, d'autre part, de participer à promouvoir auprès des divers publics la recherche scientifique en physique des particules, des astroparticules et en cosmologie, et assurer la visibilité et la lisibilité du laboratoire. Il s'emploie aussi à faciliter la communication interne au laboratoire et à y assurer une certaine convivialité.

L'existence et le fonctionnement de cette structure permet au directeur de mettre en œuvre une politique de communication en cohérence avec celle de nos organismes de tutelle (CNRS/IN2P3, UPMC, UPD). Elle s'appuie sur un réseau relationnel

couvrant les personnels du LPNHE et les institutions.

Le pôle « Communication & Documentation », composé de quatre personnes, regroupe les personnels relevant de la BAP F (Communication, Culture, Médiation, Information scientifique et technique, Technologies de l'information et de la communication pour l'éducation) dont les spécialités sont clairement définies : une responsable de communication, une personne chargée de la communication interne, une spécialiste de l'organisation d'événements internationaux et une bibliothécaire. Un plan de communication pluriannuel élaboré en relation avec le directeur du laboratoire précise ses orientations :

Accompagner l'animation scientifique

La spécificité de l'IN2P3 est de travailler sur des très grands équipements comme le LHC. La communauté scientifique est

donc organisée en collaborations internationales, qui réunissent un grand nombre de physiciens (expérience ATLAS : 3000 physiciens). La participation régulière aux réunions de collaboration fait partie du mode de travail des physiciens, ingénieurs et techniciens du laboratoire au même titre que les vidéoconférences ou l'utilisation du web. La contribution qu'apporte le pôle « Communication & Documentation » en participant à leur organisation et en y incluant une dimension de communication, profite non seulement au LPNHE mais également à l'ensemble de la communauté de la recherche. Le laboratoire participe à l'organisation d'une dizaine de manifestations scientifiques internationales par an. Parmi les manifestations récurrentes, la spécificité du pôle est d'assurer l'organisation des « Rencontres de Moriond », qui rassemblent chaque année en Italie (La Thuile)

400 physiciens du monde entier (budget de 130 K€). En 2008, cinq sessions ont abordé les thèmes suivants : Electroweak Interactions and Unified Theories, QCD and High Energy Interactions, Cosmology, Quantum Electronic Transport and Nanophysics, Venus Express Scientific Workshop et en 2009 trois sessions sur les sujets Electroweak Interactions, QCD ainsi que Very High Energy Phenomena in the Universe. Le pôle a également développé cette activité au-delà du laboratoire, au sein de la communauté scientifique avec la Société Française de Physique (société savante dans laquelle les physiciens de l'IN2P3 sont actifs), en organisant chaque année en décembre les "Journées Jeunes Chercheurs" : en 2008 à Saint-Flour (Cantal) et en 2009 à Barbaste (Lot et Garonne). A cette occasion, des actions de communication subventionnées par la région d'accueil sont mises en œuvre vers le milieu socio-économique : nous avons organisé notamment un bar des sciences en 2008 sur « La Zététique : esprit critique et paranormal », avec Stanislas Antczak (professeur de sciences physiques dans le secondaire à Lyon) et une conférence grand public en 2009 sur « La fusion nucléaire, l'énergie des étoiles en héritage ? » par Jean-Marc Ane, ingénieur de recherche au CEA.

Mettre en valeur les métiers de la recherche

Le LPNHE a choisi de contribuer à l'effort du CNRS dans sa volonté d'accroître l'attractivité des sciences auprès des «chercheurs en herbe» en ciblant particulièrement les scolaires. Compte tenu de la désaffection des jeunes pour les études scientifiques. Pour atteindre cet objectif le pôle « Communication et Documentation » organise chaque année les journées portes ouvertes du LPNHE qui se déroulent sur 3 jours, pour lesquelles le format adopté inclut des visites guidées, des conférences, des expos et un programme audio-visuel. Pour ce rendez-vous récurrent, une équipe de plus de 40 personnes se mobilise (physiciens et ITA). Grâce à notre campagne publicitaire auprès de la Ville de Paris et à la notoriété du

laboratoire dans le milieu éducatif (rectorats et enseignants), le LPNHE a accueilli 1135 et 1000 visiteurs en 2008 et 2009. Quelques groupes plus restreints sont également accueillis en cours d'année. En complément à ces visites, des ateliers techniques et scientifiques assurés par des personnels du laboratoire permettent d'apporter une illustration pédagogique (mesure de la masse d'un électron, les rayons cosmiques, CFAO d'une hélice avec une fraiseuse à commande numérique). Pour s'adapter au public des enfants à partir de 7 ans, des ateliers didactiques ont été mis en place en partenariat avec P. Colinard (du laboratoire « Matière et Systèmes Complexes » de l'Université Paris 7) pour mener des expériences contre-intuitives et éveiller ainsi la curiosité scientifique chez les plus jeunes. En 2009, à l'occasion de l'année mondiale de l'astronomie, le pôle a mené 2 actions particulières : l'accueil de la très belle exposition «voyage au centre de la Galaxie» grâce à un partenariat avec le CEA ; l'organisation d'un « Rallye astronomique » permettant aux visiteurs de 7 à 107 ans de se mesurer à des questions fondamentales de la physique des particules, des astroparticules et de la cosmologie de manière ludique. D'autres exemples de temps forts entre le milieu scientifique et scolaire :

- participation pour la première fois en 2009 aux MasterClasses (TP européens coordonnés par le CERN en vidéoconférence),
- présentation de conférences NEPAL (Noyaux Et Particules Au Lycée) par 15 physiciens du laboratoire,
- mise en place de « passion recherche » ; il s'agit d'un contrat entre une classe et un intervenant scientifique ou technique, permettant au CNRS de financer un projet pédagogique qui aborde les méthodes et les outils de la recherche. Cet effort du LPNHE envers le milieu éducatif permet à plus de 1000 élèves chaque année de bénéficier de ces actions de communication. Parallèlement, un effort en direction des étudiants se traduit par un nombre croissant de stagiaires de tous niveaux.

Diffuser l'information scientifique et technique

Parmi les nombreux outils de communication mis en œuvre pour cette diffusion externe et interne, on peut citer :

- le rapport que vous avez entre les mains ;
- l'organisation de journées de réflexion «biennales» : elles ont eu lieu du 12 au 15 octobre 2009 à Asnelles sur Mer (Calvados) et ont réuni l'ensemble du personnel du laboratoire en séminaire bilan / prospective ;
- la contribution aux réunions hebdomadaires (du vendredi) ouvertes à l'ensemble du personnel et permettant d'aborder les questions de vie du laboratoire et celles de l'actualité scientifique ;
- l'organisation logistique des séminaires hebdomadaires planifiés tout au long de l'année
- la conception d'une plaquette de présentation des activités du LPNHE destinée à un large public ;
- la mise à jour des actualités du laboratoire sur le site web et les supports multimédia.

Par ailleurs, les ingénieurs et les physiciens du LPNHE disposent d'une bibliothèque de recherche associée à l'UPMC. La gestion de la documentation est assurée par une bibliothécaire, sous la responsabilité d'un physicien. Elle consiste à veiller à la continuité des abonnements aux périodiques scientifiques et magazines spécialisés, à préparer l'achat de nouveaux livres, et à suivre le prêt et le retour des ouvrages. A l'occasion du déménagement du laboratoire, un gros travail de communication a été effectué en 2009, avec le soutien d'un « comité des utilisateurs » constitué pour l'occasion, afin d'adapter la bibliothèque à l'évolution des besoins des membres du laboratoire. Le recrutement d'un vacataire magasinier a permis de mener un inventaire complet du fonds avec l'assistance de la bibliothécaire, inventaire indispensable pour préparer le déménagement. Cet inventaire a été l'occasion d'effectuer un tri de l'ensemble du fonds : les nombreuses séries de périodiques en double ont été offertes à l'Institut

Aimé Césaire de Port-au-Prince, à Haïti, grâce au partenariat avec l'association Bibliothèques sans Frontières qui a financé et assuré le transport des ouvrages. D'autre part, cet inventaire a fourni l'occasion d'une recotation complète du fonds selon le système Dewey (le plus répandu), préparant l'intégration au catalogue du réseau de la BUPMC (bibliothèques de l'UPMC), et, via la BUPMC, au catalogue national du SUDOC. Cette recotation s'est accompagnée de la mise en place progressive d'un système de codes-barres afin de moderniser le système de gestion du prêt (mise en place d'un automate de prêt prévue fin 2010). Enfin, le déménagement du laboratoire a permis d'effectuer un remplacement du mobilier de la bibliothèque. Le nouvel aménagement, conçu courant 2009, a été achevé au printemps 2010.

Répondre à l'intérêt du grand public

Pour atteindre cet objectif et susciter l'intérêt des citoyens pour la physique des particules, des astroparticules et la cosmologie, le laboratoire participe au rendez-vous annuel de la « Fête de la science » en privilégiant un thème chaque année : en 2008 le thème était «De quoi est fait l'Univers» et en 2009 « Aux origines de l'Univers : quelles évolutions, quelles révolutions ». Plus d'un millier de visiteurs suivent ainsi chaque année une visite guidée par

Hygiène et sécurité

La fonction d'ACMO (Agent Chargé de la Mise en Œuvre des règles d'hygiène et de sécurité) est assurée par un assistant ingénieur depuis 2005. Un ingénieur d'études l'assiste dans cette tâche comme ACMO-adjoint. Les problèmes de sécurité liés spécifiquement à la radioprotection (détention de sources radioactives scellées au laboratoire) sont gérés

un membre du laboratoire, à travers une exposition mise en place à cette occasion et portant non seulement sur l'objet des recherches (particules élémentaires, forces, évolution de l'Univers), mais aussi sur les outils et méthodes (éléments de détecteurs, techniques expérimentales). Un cycle de conférences grand public abordant les recherches menées au laboratoire permet chaque année d'approfondir certains sujets (supernovae, accélérateurs, univers relativiste, antimatière, neutrinos, physique quantique...). Les accélérateurs de la physique des particules sont devenus de très grands instruments et sont tous situés à l'étranger, mais grâce à notre partenariat avec l'Institut des NanoSciences de Paris, et le Laboratoire Kastler Brossel, la visite des accélérateurs SAFIR (Van de Graaf) et SIMPA de Jussieu permet d'aborder plus concrètement cette technique expérimentale à la base de notre discipline. A ces actions de communication grand public, s'ajoutent de très nombreuses initiatives personnelles (débat grand public, participation à la «Nuit des étoiles» ...). Pour sensibiliser un public plus littéraire, la pièce de théâtre « Einstein et Pécuchet au pays des neutrinos » écrite et jouée par François Vannucci, a été présentée plus de vingt fois grâce à un financement de la Région Île-de-France ; chaque fois, un débat animé a prolongé le spectacle.

Participer au dialogue entre science et société

Grâce à un partenariat mis en place avec la Bibliothèque Nationale de France, le pôle « Communication & Documentation » organise les rencontres « Physique et Interrogations Fondamentales ». Ces débats entre Science et Société sont organisés tous les 2 ans et 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 2008, le sujet de la onzième rencontre était « Les modèles, possibilités et limites ; jusqu'où va le réel ? ». De fructueux échanges interdisciplinaires entre physiciens, épistémologues, climatologues, mathématiciens, architectes, sociologues et philosophes ont fait progresser la réflexion sur ce thème. Le LPNHE participe aussi aux rencontres du café des techniques, tous les troisièmes jeudis du mois au musée du Centre National des Arts et Métiers et du forum « Sciences et Citoyens », tous les ans au Futuroscope de Poitiers.

I. Cossin,
J. Dumarchez,
S. Bassava
L. Marquet
J-M. Levy
L. Le Guillou

Pour les expériences se déroulant sur des sites extérieurs, le personnel s'informe des consignes de sécurité auprès des responsables de ces sites.

Des contrôles d'empoussièrément sont réalisés régulièrement dans les locaux à risques du laboratoire, dans le cadre du contrôle sur l'ensemble du Campus Jussieu (présence d'amiante).

Dans le but d'assurer la protection des non-fumeurs, le laboratoire est un espace entièrement non-fumeur, excepté une salle spécifiquement dédiée aux fumeurs équipée d'un système d'extraction d'air approprié. Les locaux du LPNHE sont équipés d'une installation de détection/alarme

Services généraux

Les services généraux sont composés de deux techniciens et d'un ingénieur qui en assure la responsabilité. Leurs tâches sont multiples :

- Assurer le bon fonctionnement des installations techniques : installations de climatisation, de sécurité (alarme incendie,...), téléphoniques, électriques, sanitaires.
- Assurer des transports épisodiques au CNRS (campus Michel-Ange, Délégation régionale Paris B), à l'Université Pierre et Marie Curie (services administratif à la Cité Voltaire), ou en Ile de France ; gérer le parc automobile de Paris et sur le site du Cern à Genève, assurer le suivi des réservations se faisant par un programme de réservation.
- Assurer l'aménagement des salles de réunions (projection, sonorisation).
- Assurer des réaménagements de pièces (électricité, peinture). Gérer et entretenir le mobilier.
- Etablir le planning d'occupation des bureaux avec l'aide d'un logiciel de gestion du personnel et permettre l'installation des nouveaux arrivants.
- Etudier les nouveaux locaux du LPNHE sur le Campus Jussieu ; être l'interlocuteur privilégié des Maîtres d'Ouvrage, UPMC et Etablissement Public du Campus Jussieu (EPCJ) et des Maîtres d'Œuvre.

La majeure partie des locaux est climatisée du fait de leur implantation

incendie, pour laquelle l'UPMC a la charge du contrat d'entretien.

En 2009, le LPNHE a investi dans un défibrillateur cardiaque, lequel est accessible à toute personne présente au laboratoire en cas de nécessité. En prévention de l'épidémie de grippe A(H1N1) déclarée en 2009 sur le territoire français, le laboratoire s'est équipé et applique les directives de nos tutelles pour éviter la propagation du virus. Un plan de continuité en cas de pandémie aggravée a été établi.

D'une manière générale, le personnel est informé des formations en matière d'Hygiène et Sécurité mises régulièrement à sa disposition par le CNRS et l'UPMC.

semi-enterré (niveau Saint Bernard - rdc), totalement enterré (sous-sol) ou dans un local fortement vitré (coupole). La climatisation gérée par le LPNHE est raccordée au le réseau d'eau glacée du Campus Jussieu par l'intermédiaire d'un échangeur. Le service a étudié et géré l'extension de la climatisation à la salle informatique de la Grille de calcul, réalisée par une entreprise prestataire. La mise en service s'est faite en novembre 2009. Le service a pris en charge la transformation partielle d'une pièce d'archive en salle de réunion. Un prestataire a été désigné pour assurer les gros travaux (ventilation, climatisation, électricité), le personnel du service a ensuite effectué les travaux de finition avec l'aide d'une personne en vacance (distribution électrique dans la pièce, peintures, aménagements). La salle de réunion, pouvant accueillir 25 personnes, a été mise en service en juin 2008. Le chantier de rénovation du campus Jussieu a fortement mis à contribution le service du fait des perturbations multiples sur les alimentations en fluides, les écoulements, les accès aux locaux. La salle blanche pour les projets LSST et SLHC dans la barre 32/42 a subi environ 4 inondations pendant les deux dernières années du fait du chantier. Le service a été sollicité pour leur remise en état (démontage

Plus spécifiquement, l'accueil des nouveaux entrants au laboratoire, instauré depuis 2005, inclut un volet d'information et de sensibilisation à l'hygiène et à la sécurité.

Parmi les formations hygiène et sécurité suivies par le personnel en 2008-2009, citons particulièrement celles de « Prévention Secours Civique de niveau 1 » (PSC1 - 2 personnes), « Sauveteur Secouriste du Travail » (SST - 1 personne), et « Sécurité Incendie » (2 personnes).

J-M. Parraud

des gaines et du faux plafond, nettoyage) et la mise en place d'une protection au dessus du banc de test CCD.

Le service a guidé et conseillé de nombreuses entreprises envoyées par l'EPCJ pour la réalisation des études de désamiantage, de démolition et de reconstruction des locaux occupés actuellement par le LPNHE. Le service tient à jour le planning d'occupation des bureaux. Un logiciel de gestion du personnel, utilisé principalement par les services administratifs, généraux et informatique, facilite cette tâche par l'unicité des informations. La gestion prévisionnelle du planning permet de répondre à l'augmentation ponctuelle du nombre de personnes à nombre de bureaux constant, tout en maintenant de bonnes conditions d'accueil. L'un des techniciens est parti en retraite en février 2009. Il a pu être remplacé dès juin 2009 par un technicien, initialement en contrat à durée déterminée, et permanent depuis le 1^{er} décembre 2009 après son succès au concours ouvert pour ce poste au LPNHE.

B. Canton, F. Leclercq (depuis le 15 juin 2009), N. Pavel (jusqu'à février 2009), M. Roynet

Personnel du LPNHE

Chercheurs CNRS

Directeurs de recherche émérite

AUGUSTIN Jean-Eudes
BENAYOUN Maurice
LOISEAU Benoit

Directeurs de recherche

ANTILOGUS Pierre
ASTIER Pierre
BARRELET Etienne
BASSLER Ursula
BERNARDI Gregorio
BONNEAUD Gérard
CALDERINI Giovanni
DUMARCHEZ Jacques
JACHOLKOWSKA Agnieszka
JACOBE DE NAUROIS Mathieu
KRASNY Mieczyslaw
LETESSIER-SELVON Antoine
PAIN Reynald
SAVOY-NAVARRO Aurore

Chargés de recherche

ANDRIEU Bernard
BONGARD Sébastien
DEL BUONO Luigi
DERUE Frédéric
GUY Julien
KAPUSTA Frédéric
LACOUR Didier
LALOUM Maurice
LEVY Jean-Michel
MARCHIORI Giovanni
MAURIN David
REGNAULT Nicolas
ROOS Lydia

Enseignants-chercheurs UPMC

Professeur émérite

BILLOIR Pierre

Professeurs

CHAUVEAU Jacques
HAMON Odile
JOYCE Michael
VINCENT Pascal

Maîtres de conférence

AUBLIN Julien
BEN HAIM Eli
CARIMALO Christian
DA SILVA Wilfrid
HARDIN Delphine
LAFORGE Bertrand
LE GUILLOU Laurent
MARTINEAU-HUYNH Olivier
ROBERT Arnaud
TAVERNET Jean-Paul
TRINCAZ-DUVOID Sophie

Attachés temporaires (Ater)

LEITNER Olivier
LELLOUCH Jeremie

Enseignants-chercheurs UPD

Professeurs

DEDONDER Jean-Pierre
SCHWEMLING Philippe
VANNUCCI François

Maîtres de conférence

BEAU Tristan
DAVID Pascal
DE CECCO Sandro
NIKOLIC-AUDIT Irena
OCARIZ José
PONS Yvette
RIDEL Mélissa
SCHAHMANECHE Kyan

Enseignant-chercheur Paris-Sud

Maître de conférence
BALLAND Christophe

Doctorants

2007

CHARBONNIER Aldée
CHAREYRE Eve
FOURMANOIT Nicolas
HUSKE Niels
SICARD François
SITT Simon
WORRAKITPOONPON Tirawut

2008

BORDONI Stefania
BROWN Jonathan
BRUN François
CORBO Matteo
YUAN Li

2009

CANTO Arnaud
GAMBETTA Silvia
GUYONNET Augustin
MUNCHMEYER Moritz
THEVENEUX Timothée
TORRES Heberth
VILLA Francesca

Chercheurs contractuels

BETOULE Marc
BOLMONT Julien
CHARPY Alexandre
KRONBORG Taia
MACOLINO Carla
MARIS Ioana
NAUMANN Christopher
TRINH Nguyen
BAILEY Stephen
ENARI Yuji

Visiteurs étrangers

ERSHAIDAT Nidal
POPOV Boris

Ingénieurs, techniciens, administratifs

Ingénieurs de recherche

BERTOLI Walter
DAUBARD Guillaume
GENAT Jean-François
GUO Yixian (CDD)
IMBAULT Didier
JURAMY Claire (CDD)
LE DORTZ Olivier
LEBBOLO Hervé
LEGRAND François
MARTIN Liliana
MEPHANE Evelyne
MENDOZA Victor (CDD)
NAYMAN Patrick
PHAM Than Hung
RANDRIATOAMANANA Richard
ROCHE Nicolas (CDD)
TOUSSENEL François
VAUBIEN Lionel (CDD)
VINCENT Daniel
WARIN-CHARPENTIER Patricia

Ingénieurs d'étude

BELKACEM Madjid
CANTON Bernard
DAVID Jacques
ETIENNE Philippe
HORNERO Emmanuel
HUPPERT Jean-François
LAPORTE Didier
MARTIN David
SEFRI Rachid
TERRONT Diego
VALLEREAU Alain

Assistants ingénieurs

BAILLY Philippe
CORONA Pascal
COSSIN Isabelle
DHELLOT Marc
EVRARD Christophe
GHISLAIN Patrick
GOFFIN Colette
GUILLLOU Annick
ORAIN Yann
PARRAUD Jean-Marc
REPAIN Philippe

Techniciens de recherche

AUDO Thomas
CARACO Bernard
GUIMARD Andrée
JOISIN Véronique
LECLERCQ Franck
PIERRE Eric
ROYNEL Michael

Personnel du LNPHE

Adjointes techniques de la recherche

BASSAVA Swarna
HO Than Trung
MEURGEY Jocelyne
REY Souad

Agent service technique (UPMC)

MARQUET Laurence

Chargés de mission (au 1^{er} octobre 2008)

Sécurité

PARRAUD Jean-Marc

Radioprotection

DUMARCHEZ Jacques

Formation permanente

HAMON Odile

Réunions du Vendredi

LE GUILLOU Laurent, ROBERT Arnaud

Séminaires

BEN HAIM Eli, MAURIN David,
REGNAULT Nicolas

Conférences NEPAL

REGNAULT Nicolas

Bibliothèque

LEVY Jean-Michel

Communication

COSSIN Isabelle,
DUMARCHEZ Jacques

Stages

DE CECCO Sandro

Suivi des doctorants

GUY Julien, RIDEL Mélissa,
TRINCAZ Sophie, NIKOLIC Irena

Correspondants M2

RIDEL Mélissa

Valorisation

SAVOY-NAVARRO Aurore

EDMS

LAPORTE Didier

Webmaster

LEGRAND François,
WARIN Patricia

Biennale 2009

LEGRAND François
COSSIN Isabelle
REGNAULT Nicolas

Conseil du laboratoire (2008 – 2009)

Président ex-officio :

PAIN Reynald (au 1/03/2009)

Membres nommés (pour 4 ans) :

DUMARCHEZ Jacques (le 12/12/2008)

OCARIZ José (le 12/12/2008)

CANTON Bernard (Nov 2006 - 2010)

Membres élus 4 ITA + 4 EC/Ch. :

ITA : JOISIN Véronique (le 11/12/2008)

EC/Ch. : HARDIN Delphine

(le 11/12/2008)

ITA : LAPORTE Didier (Nov 2006 - 2010)

ITA : LEBBOLO Hervé

ITA : RANDRIATOAMANANA Richard

EC/Ch. : TRINCAZ Sophie

EC/Ch. : LEVY Jean-Michel

EC/CH. : KAPUSTA Frédéric

Conseil scientifique (2008 – 2009)

Président ex-officio :

PAIN Reynald (au 1/03/2009)

Secrétaire ex-officio :

LACOUR Didier

Membres extérieurs nommés

(pour 3 ans a/c de février 2008)

CAVALLI-SFORZA Matteo

RICH Jim

Membres nommés (pour 3 ans a/c de février 2008)

ASTIER Pierre

LEBBOLO Hervé

SCHWEMLING Philippe

Membres élus (le 23/11/2007)

BEN HAIM Eli

BERNARDI Gregorio

GUY Julien

de NAUROIS Mathieu

Comité local hygiène et sécurité

Président

PAIN Reynald (au 1/03/2009)

Directeur adjoint

LACOUR Didier

Directeur adjoint technique

LAVERGNE Laurence

Administrateur

MEPHANE Evelyne

Personne compétente en radioprotection

DUMARCHEZ Jacques

ACMO

PARRAUD Jean-Marc

ACMO adjoint

CANTON Bernard

Représentants des personnels LPNHE

TRINCAZ-DUVOID Sophie

KAPUSTA Frédéric

LAPORTE Didier

JOISIN Véronique

Membres extérieurs

Responsable du Service Hygiène et Sécurité de l'UPMC

NEBBACHE Soraya

Responsable du Service de Sécurité du Travail de l'Université Paris Diderot

HALARY Monique

Ingénieure Régionale de Prévention et de Sécurité du CNRS – Paris B

MAZE-CORADIN Frédérique

Responsable de la Cellule Sûreté Nucléaire et Radioprotection de l'IN2P3

THIEFFRY Cyril

Médecin de Prévention de l'UPMC

RAIX Philippe

ANIMATION SCIENTIFIQUE ET COMMUNICATION

Communication interne

Les séminaires

La réunion du vendredi

La biennale

Communication externe

La fête de la science

Laradioactive.com

Les masterclasses

Les conférences



LES SÉMINAIRES



Les séminaires du LPNHE ont lieu chaque jeudi à 14 heures. Ils sont donnés par une personnalité extérieure au laboratoire et sont ouverts à tous les chercheurs du campus. Les sujets sont choisis en fonction de l'actualité scientifique, ainsi que des souhaits des personnels. Ils couvrent les trois principaux domaines du laboratoire : physique des particules, astroparticules et cosmologie. Une fois par trimestre cependant, nous organisons un séminaire d'intérêt général, portant sur une thématique étrangère à celles du LPNHE.

Année 2009

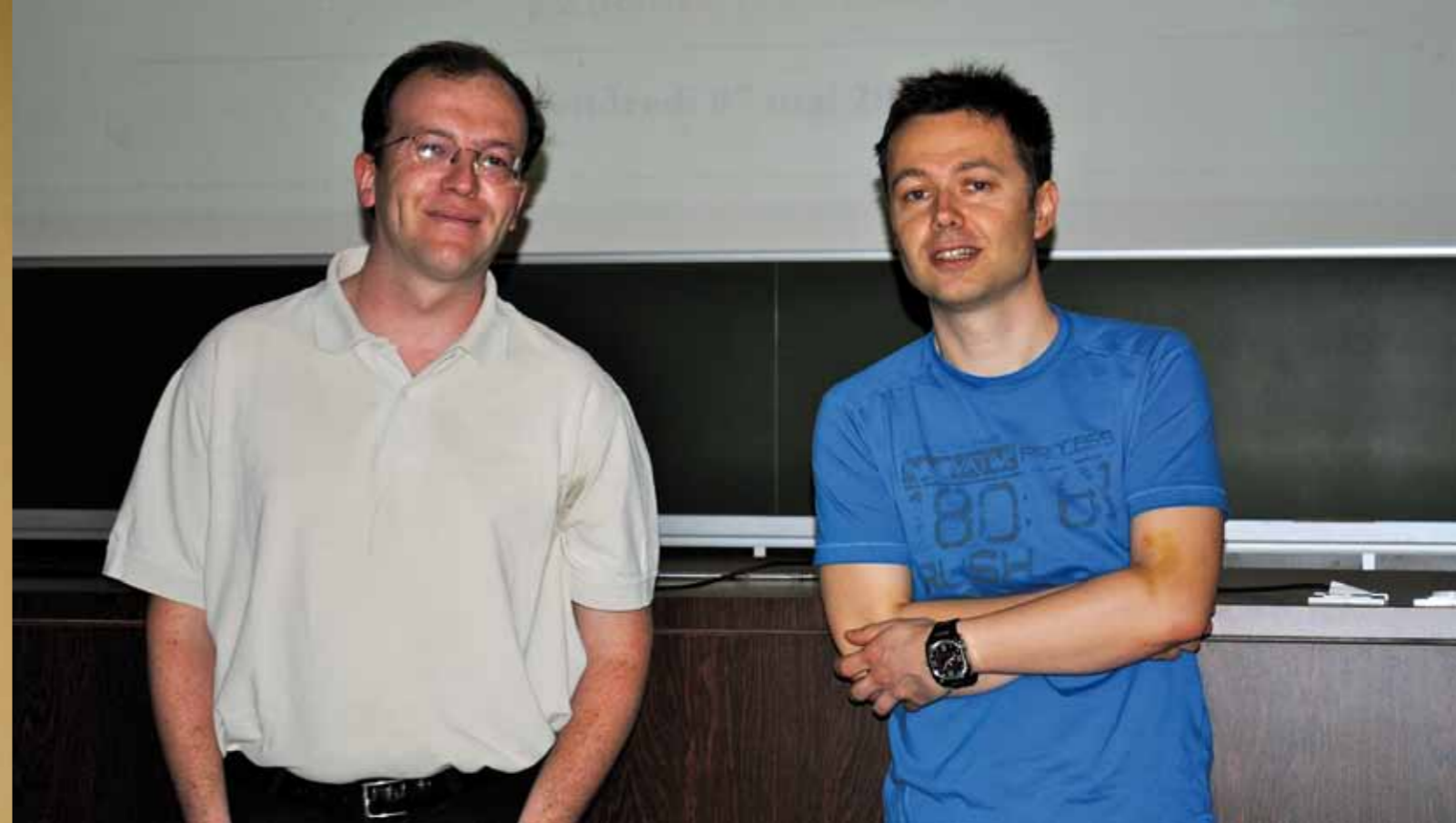
- 1. 10/12/2009** - L. Pieri (Département d'Astronomie, Université de Padoue)
Galactic structure and Dark Matter Indirect Detection
- 2. 03/12/2009** - I. Maris (Institut für Kernphysik, Karlsruhe)
Cosmic Ray Composition with the Pierre Auger Observatory
- 3. 26/11/2009** - M. Cirelli (Institut de Physique théorique, CEA, Saclay)
Seeing Dark Matter in cosmic rays ?
- 4. 12/11/2009** - T. Stanev (University of Delaware)
Ultrahigh Energy Cosmic Rays : Origin and propagation
- 5. 05/11/2009** - E. Déau (SAP/CEA, Saclay)
Les anneaux de Saturne et l'orbiteur spatial Cassini
- 6. 04/11/2009** - N. Saito (KEK)
Challenges for New Muon g-2/EDM experiment at J-PARC
- 7. 07/10/2009** - M. Davier (LAL-Orsay) (séminaire joint LPNHE-LPTHE)
Résultats récents de BaBar sur $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ et le moment magnétique du muon
- 8. 02/07/2009** - F. Sylos Labini (Roma)
The large scale inhomogeneity of the galaxy distribution and the absence of Baryonic Acoustic Oscillations
- 9. 25/06/2009** - R. BRITTO (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India)
Gamma-ray sources observations with the HAGAR telescope system in the Himalayas
- 10. 18/06/2009** - C. Guyot (CEA, Saclay)
L'expérience ATLAS au LHC: état du détecteur et préparation à la prise de données
- 11. 09/06/2009** - V. Luth (SLAC)
Pief Panofsky - Physics, Science Policy, and Arms Control
- 12. 04/06/2009** - P. Fayet (LPT-ENS)
Symétrie U(1) brisée et bosons légers dans les désintégrations du ψ et du Υ
- 13. 27/05/2009** - E. Shabalina (University of Göttingen)
Observation of the single top quark production at the Tevatron
- 14. 25/05/2009** - T. Katori (MIT)
MiniBooNE, a neutrino oscillation experiment at Fermilab
- 15. 13/05/2009** - S. Greder (IPHC, Strasbourg)
Combined Higgs Searches at Tevatron

- 16. 06/05/2009** - R. Sparvoli (University of Rome Tor Vergata and INFN, Italy)
The PAMELA experiment: shedding new light on Dark Matter ?
- 17. 30/04/2009** - (H. J. McCracken, IAP, Paris)
Massive galaxies at $z \sim 2$ in the COSMOS-WIRCAM Ks-band survey
- 18. 23/04/2009** - (F. Soulez, Observatoire de Lyon)
Diablerie et compagnie ou l'approche "problèmes inverses" pour la déconvolution aveugle et la détection optimale
- 19. 09/04/2009** - A. Baglin (LESIA, Observatoire de Paris)
La mission spatiale CoRoT: Premiers résultats
- 20. 02/04/2009** - R. Teyssier - HORIZON (SAP, Saclay)
Recent advances in computational cosmology
- 21. 26/03/2009** - B. Famaey (Université Libre de Bruxelles)
Modified Newtonian Dynamics: where does it work, and where does it not ?
- 22. 12/03/2009** - M. Wilkinson (University of Leicester, England)
Dark Matter in Local Group Dwarf spheroidal galaxies
- 23. 26/02/2009** - J. Dunkley (Oxford University)
Cosmology from WMAP
- 24. 12/02/2009** - L. Lellouch (CPT, Marseille)
Ab initio calculations in nonperturbative quantum chromodynamics
- 25. 22/01/2009** - C. Caprini (CEA, Saclay)
Cosmological Magnetic Fields
- 26. 15/01/2009** - M. Lemoine-Goumard (CENBG, Bordeaux)
Premiers résultats du satellite Fermi (anciennement GLAST)

Année 2008

- 1. 18/12/2008** - V. Ziegler (SLAC)
Observation of the Bottomonium Ground State, $\chi_{b(1S)}$, in the Decay $Y(3S) \rightarrow \chi_{b(1S)} \gamma$ in BaBar
- 2. 16/12/2008** - Young-Kee Kim (Fermilab)
High-Energy Physics in the Coming Years in the US.
- 3. 15/12/2008** - G. Sciolla (MIT)
DM-TPC: a novel apparatus for directional Dark Matter detection

- 4. 04/12/2008** - J. Lavallo (Università Di Torino)
On dark matter and the cosmic antimatter spectrum
- 5. 27/11/2008** - C. Giunti (INFN, Università di Torino)
Phenomenology of Neutrino Masses and Mixing
- 6. 13/11/2008** - A. Ceccucci (CERN, Genève)
The CERN Kaon Programme: Recent Highlights and Prospects
- 7. 30/10/2008** - E. Tomasi-Gustafsson (IRFU and IPNO)
Facteurs de forme électromagnétiques des Hadrons: nouveaux résultats et nouvelles perspectives dans les régions espace et temps
- 8. 23/10/2008** - D. Attié (SPP Saclay)
Développements récents sur la TPC pour le futur collisionneur ILC
- 9. 16/10/2008** - T. Gershon (University of Warwick)
SuperB - A High Luminosity Asymmetric e^+e^- Super Flavour Factory
- 10. 09/10/2008** - L. Blanchet (IAP)
Modèle de matière noire et d'énergie noire basé sur la polarisation gravitationnelle
- 11. 03/07/2008** - C. Plager (UCLA)
Z Charming Top Quark
- 12. 24/06/2008** - V. Chevrier (LORIA)
Modélisation SMA de phénomènes collectifs : application au tissage collectif chez les araignées sociales
- 13. 12/06/2008** - J. Serrano (LAL, Orsay)
Charm semileptonic decays at Babar
- 14. 05/06/2008** - C. Marinoni (Université de Provence & CPT, Marseille)
Testing gravity at $z=1$
- 15. 06/05/2008** - M. Lemoine (IAP)
Rayons cosmiques de ultra-haute énergie et champs magnétiques cosmiques
- 16. 24/04/2008** - F. Mignard (Observatoire de la Côte d'Azur, Nice)
La mission d'astrométrie spatiale Gaia
- 17. 10/04/2008** - R. Davis (BIPM, Paris)
On the redefinition of the kilogram: Recent advances
- 18. 20/03/2008** - M. Benayoun (LPNHE) [Séminaire interne]
Le facteur de forme du pion dans les annihilations e^+e^- et dans la désintégration du tau
- 19. 28/02/2008** - J. Bernu (Laboratoire Kastler Brossel, Paris)
Une mesure quantique idéale de la lumière



LA RÉUNION DU VENDREDI

20. 21/02/2008 - J. Andersen (CERN, Genève)

A Reliable Framework for Multijet Predictions and its application to Higgs production at the LHC

21. 24/01/2008 - E. Tournefier (LAPP)

La recherche d'ondes gravitationnelles : Virgo et ses sœurs

22. 17/01/2008 - K. Olive (University of Minnesota)

Phenomenological Aspects of Supersymmetric Dark Matter

23. 10/01/2008 - H. de Kerret (APC)

Premiers résultats de Borexino

Année 2007

1. 13/12/2007 - J. Knödseder (Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, Toulouse)

L'antimatière dans notre galaxie dévoilée par INTEGRAL

2. 06/12/2007 - J.-M. Ané (CEA)

Fusion : un des futurs de l'énergie sur terre ?

3. 29/11/2007 - M. Roth

(Forschungszentrum Karlsruhe, Allemagne)

Recent results from the Pierre Auger Observatory

4. 08/11/2007 - G. Pignol (LPSC)

L'expérience GRANIT : mesure des niveaux quantiques du neutron dans le champ de pesanteur

5. 04/10/2007 - V. Lyubushkin (JINR, Dubna)

A study of Quasi-Elastic (anti)neutrino interactions in the NOMAD experiment

Organisation et Animation

E. Ben Haim,
N. Regnault,
D. Maurin

La réunion du vendredi est un forum hebdomadaire auquel l'ensemble du personnel du laboratoire est convié, et qui se tient chaque vendredi matin, de 11h à midi, dans l'amphithéâtre. Cette réunion régulière permet une communication directe entre les chercheurs des différentes équipes, les ITA et la direction.

Le début de chaque réunion est

consacré à des questions diverses et à des informations à caractère général. C'est notamment l'occasion pour la direction de faire part à l'ensemble du personnel des décisions prises au CNRS, à l'IN2P3 ou dans les Universités de tutelle. Cette première partie est suivie 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.

En outre, cette réunion constitue un terrain d'entraînement pour les plus jeunes, puisque les doctorants y ont l'occasion de présenter leurs travaux

devant un public extérieur à leur équipe.

Enfin, quelques séances sont consacrées chaque printemps à des présentations par les candidats à un poste de chercheur ou d'enseignant-chercheur. Elles constituent pour eux l'occasion d'un premier contact avec le laboratoire pour lequel ils postulent.

Organisation et Animation

L. Le Guillou
A. Robert



LA BIENNALE



La Biennale 2009 du LPNHE s'est tenue à la maison familiale
Les Tourelles, à Asnelles sur Mer, du 12 au 15 octobre 2009.

L'objectif de cette réunion biennale est de permettre à l'ensemble du personnel de se retrouver à l'extérieur du LPNHE pour procéder à un bilan de l'activité du laboratoire, identifier d'éventuels problèmes et tenter d'y apporter des solutions, et surtout débattre des orientations scientifiques et techniques du laboratoire à moyen et long terme. Sur le plan humain, c'est également l'occasion pour chacun de mieux connaître ses collègues et leurs activités. Pour cette édition, la formule a été revue en profondeur afin d'accorder plus de place aux échanges en petits groupes (ateliers thématiques) ainsi qu'aux activités collectives (visites de la tapisserie de Bayeux, activités de loisir). Cette biennale, dont le budget était identique à celui des années précédentes, a enregistré une forte participation (plus de 90 personnes) et a été particulièrement productive. L'activité des groupes de recherche et des équipes techniques a été

abordée dans le cadre des quatre grandes thématiques du laboratoire (Interactions fondamentales, Matière et Energie noire, Astroparticules, Asymétrie Matière-Antimatière). Les présentations s'articulaient en trois temps : bilan des activités, réalisations techniques, prospectives. Les présentations ont été riches et les débats passionnés, traduisant la vitalité et le dynamisme du laboratoire. Une place était aussi réservée pour les thématiques transverses (« Simbiophys » et « grille de calcul »), l'activité des équipes techniques de support à la recherche, ainsi qu'une réflexion sur la stratégie de développement technique du LPNHE. Des orateurs extérieurs ont également été invités à participer à la biennale. Yann Gouvernec, directeur de Orange Business Services, nous a parlé « du bon et du mauvais usage de l'email » et de son impact sur la productivité, et Etienne Augé,

directeur scientifique adjoint de l'IN2P3, a présenté les perspectives scientifiques de l'IN2P3 pour les années à venir. Enfin, des ateliers thématiques de réflexion en petits groupes, suivis d'une synthèse et d'une discussion en session plénière, ont également été organisés afin de réfléchir et d'apporter des propositions concrètes concernant la vie du laboratoire. Des thèmes aussi variés que « les sources de financement », « l'accueil des entrants », « la politique d'enseignement », « l'organisation des nouveaux locaux » ou « la vie du site web » ont été abordés. Bon nombre de propositions faites à l'occasion de ces ateliers ont été mises en place depuis.

F. Legrand
I. Cossin
N. Regnault

FÊTE DE LA SCIENCE



Les champs disciplinaires du laboratoire - la physique de l'infiniment grand & de l'infiniment petit - captivent le grand public. Pour répondre à sa mission de diffusion scientifique, le laboratoire organise donc chaque année, à l'occasion de la "fête de la science", trois journées portes ouvertes qui permettent d'accueillir les scolaires (jeudi & vendredi) et les familles et le grand public (samedi).

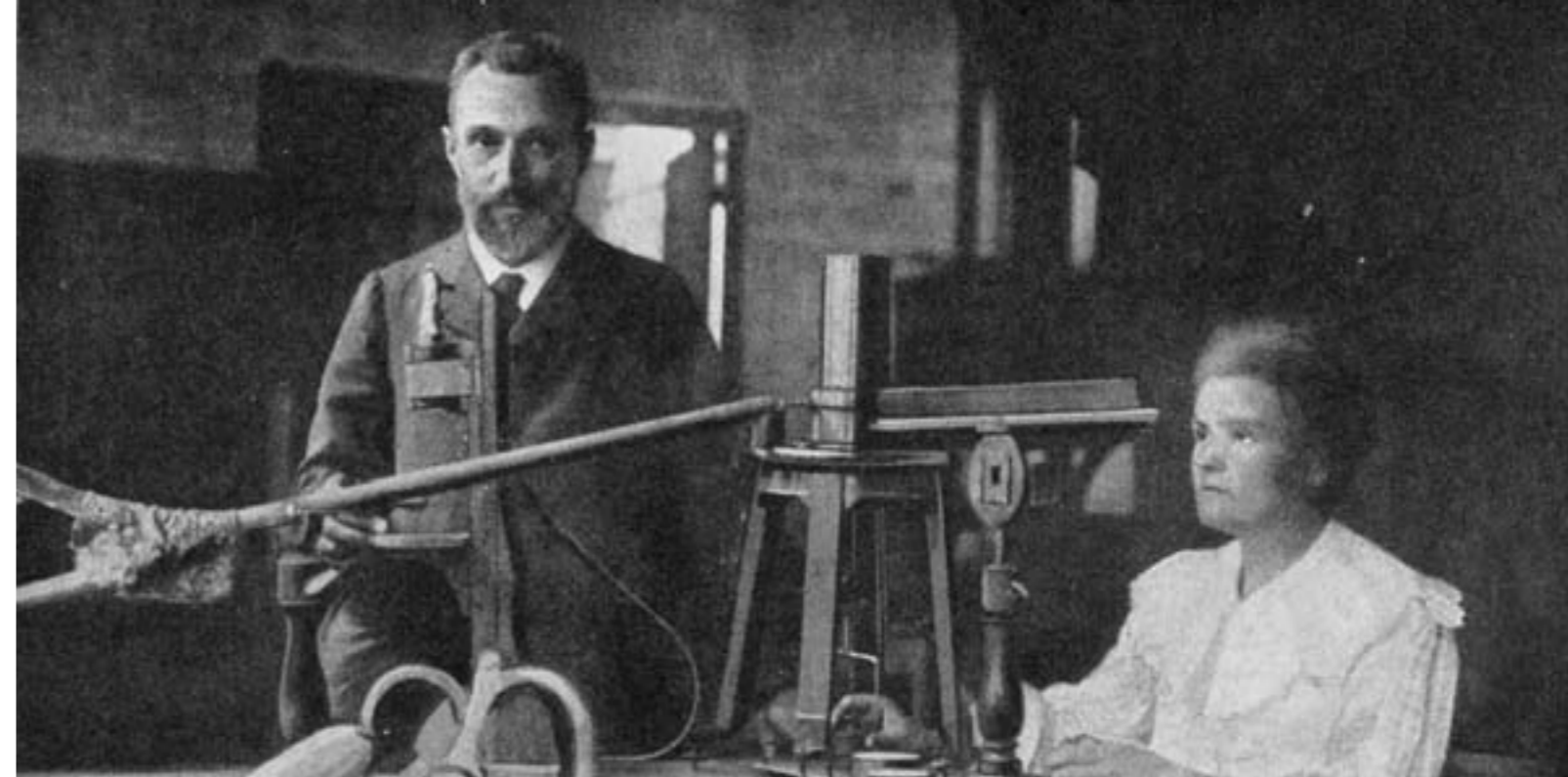
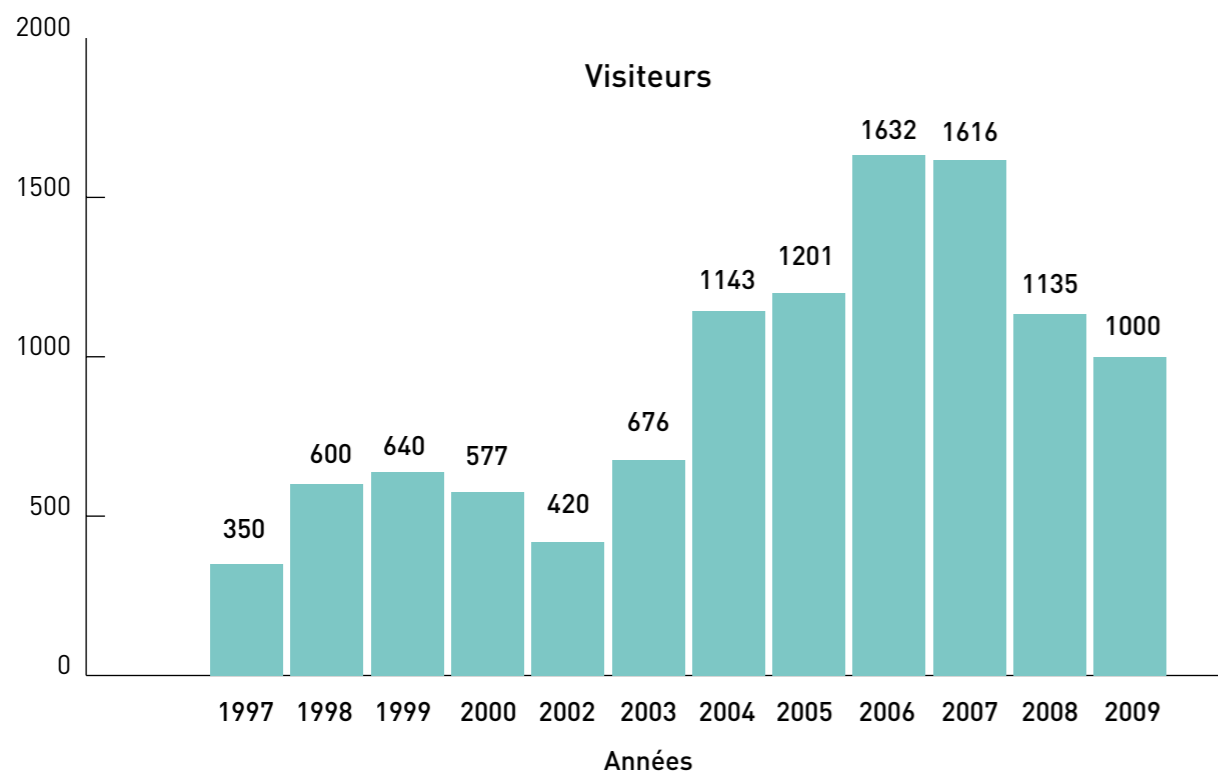
Les thèmes choisis étaient pour 2008 « De quoi est fait l'Univers » et pour 2009 « Aux origines de l'univers : quelles évolutions, quelles révolutions ? » Les groupes scolaires sont sollicités à travers les académies et par le biais des établissements déjà venus les années précédentes et le grand public est contacté par une campagne publicitaire auprès de la Ville de Paris. Grâce à ces contacts, le LPNHE accueille environ un millier

de visiteurs, avec un pic de 1 632 visiteurs lors de l'Année Mondiale de la Physique en 2005.

Pour ce rendez-vous récurrent, une équipe de plus de 30 personnes (physiciens et ITA) est mobilisée. Le format adopté ces dernières années s'articule autour d'un large programme :

- visites guidées,
- ateliers pédagogiques,

- expositions,
 - cycle de conférences,
 - visite de l'accélérateur de Jussieu,
 - visite de la source d'ions multichargés de Paris,
 - projection de films,
 - expériences contre intuitive,
 - rallye cosmique
- Les visites sont guidées par un physicien du laboratoire, chercheur, enseignant ou thésard, qui explique, à travers une exposition mise en place à



LARADIOACTIVITE.COM

cette occasion, l'objet des recherches (particules élémentaires, forces, évolution de l'univers), mais aussi les outils et méthodes de ces recherches (éléments de détecteurs, techniques expérimentales).

Dans les ateliers pédagogiques on aborde la physique ou l'instrumentation sous un aspect plus concret. Le public principalement ciblé est le milieu scolaire. Les élèves explorent un thème particulier abordé au laboratoire : « mesure de la masse d'un électron à l'aide d'un double-décimètre », « les rayons cosmiques », « Conception Fabrication Assisté par Ordinateur d'une hélice avec une fraiseuse à commande numérique ».

En 2008 et en 2009, l'exposition « Nom de code LHC : la machine à remonter le temps » a été présentée en coïncidence avec la mise en route progressive du Large Hadron Collider du CERN, à Genève, et ses expériences associées. C'est un événement majeur pour la physique des particules mondiale et pour notre laboratoire et l'exposition présente donc de façon globale l'accélérateur,

les questions de physique qu'il a pour but d'élucider et les expériences elles-mêmes.

Dans le cadre de l'Année Mondiale de l'Astronomie 2009 (AMA09), nous avons proposé au grand public quatre manifestations d'envergure :

- l'exposition « Voyage au centre de la Galaxie » du service d'Astrophysique du CEA élaborée en partenariat avec le CNES, a été présentée sur le parvis de l'université pendant plus d'un mois, afin de toucher le plus grand nombre d'étudiants, visiteurs et personnels du campus.
- La projection du film « Les Télescopes de l'invisible » du CNRS, également présentée sur le parvis de Jussieu a permis de faire découvrir l'expérience HESS, dans laquelle notre laboratoire joue un rôle majeur.
- un rallye cosmique a permis à un large public de 7 à 107 ans de découvrir en famille les activités d'astro-particules du laboratoire.
- La projection du film « L'exploration de l'univers depuis le Mauna Kea (Hawaï) », réalisé par un physicien français, a été commentée par un

membre du groupe de cosmologie du laboratoire, engagé sur des observations à Hawaï.

Les conférences grand public abordent les recherches menées au laboratoire en permettant d'approfondir certains sujets (supernovae, accélérateurs, univers relativiste, antimatière, neutrinos, physique quantique ...).

Enfin en partenariat avec l'Institut des NanoSciences de Paris et avec le Laboratoire Kastler Brossel, nous organisons chaque année la visite de l'accélérateur SAFIR (Van de Graaf) de Jussieu et celle de l'accélérateur SIMPA, Source d'Ions Multichargés de Paris. Ces équipements servent à des recherches sur la matière organisée (structure atomique, couches minces, dynamique des interactions ions/matière).

Ces « journées portes ouvertes » à l'occasion de la Fête de la Science sont l'occasion de dialoguer avec des publics variés, souvent avides de connaissances nouvelles et intéressés aux questionnements et aux avancées de nos disciplines.

Ce site destiné au grand public sous le label « Monsieur tout le monde rencontre la radioactivité » a été créé en 2001 à l'initiative de physiciens du LPNHE (J. Laberrigue-Frolow et Ch. de la Vaissière) et du CEA (Y. Sacquin). Hébergé et maintenu depuis l'origine par l'éditeur scientifique EDP-Sciences, il a bénéficié aussi depuis sa création du soutien continu de l'IN2P3.

Site de vulgarisation scientifique, « laradioactivite.com » vise à offrir une information scientifique aussi abordable que possible sur le phénomène de la radioactivité, et sur des questions de société liées à l'énergie nucléaire et aux déchets radioactifs. Bien qu'elle soit un phénomène naturel, la radioactivité et ses applications engendrent des peurs dont certaines sont irrationnelles. Sans minimiser les risques et les précautions à prendre, l'objectif des auteurs est de répondre à ces peurs à travers une information objective présentée avec un souci pédagogique.

Le site, qui comporte plus de 400 pages illustrées, se distingue par

la variété des thèmes abordés : description du phénomène et des lois de la radioactivité, histoire des découvertes, nature des rayonnements, radioactivité dans l'environnement, effets sur le vivant (doses et radioprotection), applications médicales (diagnostics et thérapies), industrielles, scientifiques et culturelles. Du côté de l'énergie nucléaire et de la gestion des déchets radioactifs, de nombreux aspects sont couverts allant des principes de la fission aux recherches sur la gestion future des déchets, en passant par les réacteurs, les combustibles, l'analyse des accidents dont celui de Tchernobyl, les questions de prolifération, etc ...

Depuis mai 2009, un outil d'évaluation fourni par le moteur de recherche Google a permis de disposer d'informations précises sur la fréquentation du site. Cette fréquentation se situe en moyenne à 500 visiteurs par jour et 4 minutes par visite. L'infléchissement marqué de la fréquentation au moment du baccalauréat, montre la prédominance d'un public

jeune (classes de première et de terminales). 75 % des visiteurs accèdent au site par les moteurs de recherche, et en particulier celui de Google. Pour améliorer la fréquentation, il faudrait que chaque page du site dispose de mots-clés et d'une description propre, ce qui n'est pas le cas actuellement. Un développement technique est prévu à cet effet.

Avec le soutien de l'IN2P3, une traduction du site est en cours pour toucher un public anglophone. Actuellement, un tiers des pages, les plus fondamentales, ont été traduites. En 2009, le site a reçu le renfort de trois jeunes physiciens du CNBG (F. Perrot et S. Roudeau) et de SUBATECH (F. Lefèvre), deux laboratoires de l'IN2P3 impliqués dans les applications de la radioactivité et des applications des techniques du nucléaire.

C. de la Vaissière



LES MASTERCLASSES



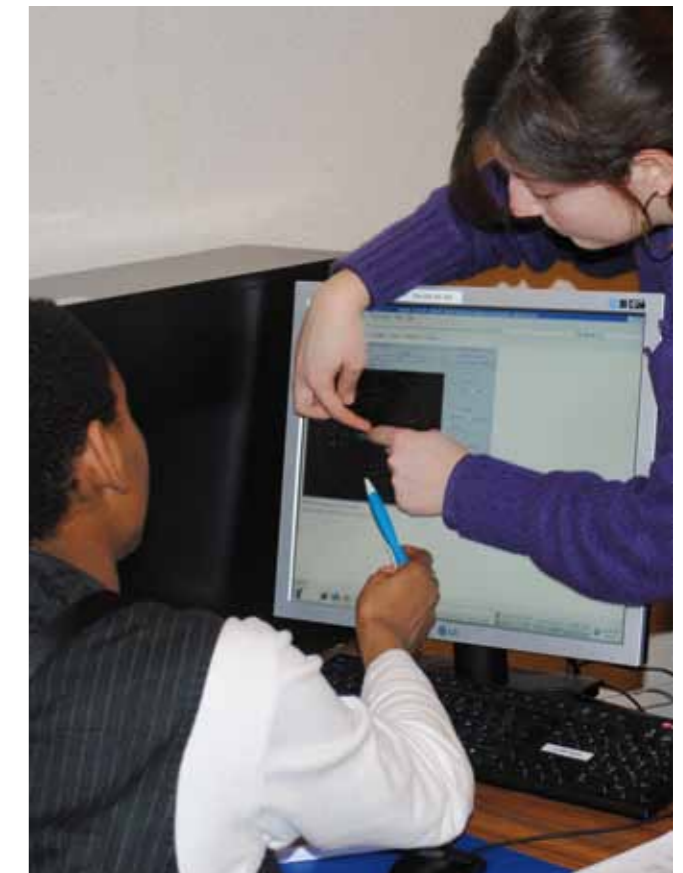
Les lycées découvrant la recherche en physique des particules : les Masterclasses au LPNHE

En mars 2009, le LPNHE a participé pour la première fois au programme européen des Masterclasses. Les Masterclasses sont organisées depuis 5 ans en Europe par EPPPOG (Groupe européen de sensibilisation à la physique des particules). Une vingtaine de pays y participent, à

travers 70 instituts ou laboratoires qui accueillent plus de 4 000 élèves pendant les 3 semaines où se déroulent les Masterclasses. A l'initiative de Didier Lacour, coordinateur national pour l'IN2P3, la France, et en particulier le LPNHE, ont rejoint ce programme. 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 réalistes pendant une journée dans un laboratoire. Le

LPNHE a accueilli deux classes en mars 2009, une classe de première S du lycée Suger à Saint Denis (93) et une classe de seconde du lycée Chaptal à Paris.

Le programme d'une journée se déroule en deux parties. La matinée est consacrée à une présentation des activités du laboratoire, puis à un cours d'introduction à la physique des particules, des notions sur les accélérateurs et sur les détecteurs de particules. Ces cours leur présentent un domaine totalement nouveau



pour eux, non enseigné au lycée, et en même temps les prépare pour la session de travail de l'après midi lors de laquelle ils vont travailler sur une analyse de physique. Après une pause lors de laquelle les élèves peuvent rencontrer d'autres personnels du laboratoire, il s'agit de faire travailler des binômes devant des postes de travail sur des vraies données de physique des particules. A la fin de la journée, comme dans une collaboration internationale, les élèves reçus dans les différents laboratoires européens participant à la journée (il y a typiquement 4 ou 5 laboratoires participant en parallèle au programme lors d'une journée des Masterclasses) vont comparer puis combiner 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 orientées vers

le LHC, et une distribution des prix. Chaque élève repart avec un Cd-rom (en plusieurs langues, dont le français) comportant l'ensemble des données analysées et du matériel pédagogique interactif sur la physique des particules, les accélérateurs et les détecteurs.

Les lycéens ont réalisé des mesures à partir des données prises par l'expérience Delphi au collisionneur LEP. A partir d'une représentation graphique des événements de Delphi, il s'agit de classer les désintégrations du boson Z0 et de mesurer ses rapports de branchement en paires de quarks, électrons, muons ou taus. Pour cela, ils sont encadrés par des membres du laboratoire, la plupart du temps par des étudiants en thèse ou des jeunes chercheurs qui les aident à interpréter les informations, très nouvelles pour eux, qui sont disponibles dans les représentations graphiques des événements. Cet

encadrement est indispensable à la bonne réussite des journées. En plus des événements issus des collisions prises au LEP, les élèves ont analysé quelques événements provenant des simulations des collisions au LHC dans le détecteur ATLAS. Dans les années futures, les événements LEP seront remplacés par des données d'ATLAS.

Les journées ont été très appréciées par les élèves et leurs enseignants, et ils ont souhaité renouveler l'expérience en 2010. Le laboratoire continuera à participer aux Masterclasses.

D. Lacour
I. Nikolic

LES CONFÉRENCES

Conférences NEPAL

Le LPNHE participe au programme NEPAL (Noyaux Et Particules au Lycée) de l'IN2P3. Les physiciens du laboratoire sont ainsi régulièrement sollicités pour des exposés introductifs à certains aspects de la physique des particules ou des astroparticules dans les lycées de la région parisienne.

Ces exposés rencontrent un vif succès (20 interventions en 2008 et 2009).

Titre conférence	Professeur	Lycée	Classe	Intervenant	Date
Quelles énergies pour le XXI ^e siècle ?	M. Chelli	Lycée Saint-Exupéry Créteil	1 ^{ère}	D. Maurin	29-01-2008
Quelles énergies pour le XXI ^e siècle ?	M ^{me} Hermann	Lycée Jean Perrin Saint-Ouen-L'Aumône	BTS	D. Maurin	15-02-2008
D'où viennent les rayons cosmiques ?	M. Bello-Roufai	Lycée Georges Braque Argenteuil	Seconde	F. Vannucci	15-04-2008
Quelles énergies pour le XXI ^e siècle ?	M. Adam	Lycée Pompidou, Villeneuve-la-Garenne	1 ^{ère} S Terminale S	J-E. Augustin	31/03/2008
Le destin des étoiles	O. Gewirtz	Lycée Chaptal 75008	PTSI	P. Schwemling	19-11-2008
Comprendre et utiliser les rayonnements	O. Gewirtz	Lycée Chaptal 75008	PTSI	N. Regnault	21-11-2008
Quelles énergies pour le XXI ^e siècle ?	O. Gewirtz	Lycée Chaptal 75008	PTSI	D. Maurin	18-11-2009
LHC : la physique à l'aube d'une nouvelle révolution ? (1/2)	M. Squinabol M. Rocca	Lycée en Forêt Montargis	Seconde	B. Laforge	21-11-2008
Les premiers instants de l'univers en laboratoire (2/2)	M. Squinabol M. Rocca	Lycée en forêt Montargis	Seconde	B. Laforge	21-11-2008
Le destin des étoiles	M ^{me} Blanzat	Lycée Claude Bernard 75016	Prépa	S. Bongard	12-12-2008
LHC : la physique à l'aube d'une nouvelle révolution ?	demande directe au laboratoire	Lycée Einstein, Sainte-Geneviève-des-Bois	Terminale	F. Vannucci	12-12-2008
Quelles énergies pour le XXI ^e siècle ?	M ^{me} Massini	Lycée Van Gogh Ermont	1 ^{ère} S	S. Bongard	09-01-2009
LHC : le big bang en labo	M ^{me} Plotard	Lycée Albert Schweitzer Le Raincy	Seconde	B. Laforge	09-03-2009
Quelles énergies pour le XXI ^e siècle ?	M ^{me} Chelli	Lycée Saint-Exupéry Créteil	3 classes de 1 ^{ère}	F. Vannucci	19-03-2009
Les premiers instants de l'univers en laboratoire	M ^{me} Alecian	Lycée Stanislas 75006	1 ^{ère} S	F. Vannucci	25-03-2009
Le destin des étoiles (2 confs)	I. Debier	Lycée Maurice Rondeau Bussy-St-Georges	Seconde, 1 ^{ère} Terminale	S. Bongard	03-11-2009
Quelles énergies pour le XXI ^e siècle ?	C. Dupont	Jean Jaurès Argenteuil	Seconde, 1 ^{ère} et Terminale	D. Maurin	11-12-2009
LHC : la physique à l'aube d'une nouvelle révolution ?	R. Ambroise	Lycée Jean Zay Aulnay-sous-bois	Terminale S	B. Laforge	N/A
Comprendre et utiliser les rayonnements	A. Poirier	Jacques Amyot Melun	Terminale S	F. Vannucci	15-12-2009

Communications grand public, émissions scientifiques, interventions vers le public scolaire, site web, pièce de théâtre

Pierre Astier

- Article pour « La Recherche » (SNe et Energie noire, août 2008)

Christophe Balland

- « Univers lumineux, univers sombre », Université Populaire de S^{te} Geneviève-des-bois, S^{te} Geneviève-des-Bois, mars 2009

François Brun

- Animation lors de la clôture de l'Année Mondiale de l'astronomie à Paris 6

Sylvain Chaty

- Les étoiles, nos lointaines origines, Fête de Lutte Ouvrière, Presles, 31 mai 2009

Jacques Chauveau

- RFI - Microméga - 12 octobre 2008, à propos des prix Nobel de physique 2008

Michael Joyce

- « Bar de la science » sur « Les nouvelles énigmes du Big-Bang » dans le cadre de l'année mondiale de l'astronomie, Paris, mars 2009

Didier Lacour

- Coordinateur national du programme MasterClasses

Jean-Michel Levy

- « Une promenade au pays des quanta », conférence grand public, Fête de la Science, octobre 2008
- « La relativité, une histoire de temps », conférence grand public, Fête de la Science, octobre 2009
- Organisation des journées Physique et Interrogations Fondamentales (SFP), décembre 2008
- Edition des compte-rendus des Rencontre Physique et Interrogations Fondamentales de la SFP

Nicolas Regnault

- Supernovae et Energie Noire. Images de la Physique 2008
- « L'énergie noire », conférence grand public, Lycée Chaptal, 2008

Melissa Ridel

- Consultante scientifique pour l'émission de France 3 « C'est pas sorcier » consacrée à la physique des particules et au cern, en 2007

Philippe Schwemling

- « LHC : la machine à remonter le temps », conférence Népal au lycée Louis de Broglie à Marly-le-Roy, 31 mars 2008
- « Le destin des étoiles », conférence Népal au lycée-collège Chaptal, 19 novembre 2008
- « Le destin des étoiles », conférence Népal au lycée Henri Matisse à Montreuil, 30 mars 2009
- « Les étoiles, nos lointaines origines », Fête de Lutte Ouvrière, Presles, 31 mai 2009

François Vannucci

- « Marcel Proust et les sciences », Cabourg, août 2008
- Cycle de conférence « la physique au LHC », Cordeliers, 2008
- « Physique de l'infiniment petit », Université de Lille, février 2008,
- Conférences Népal : Melun, le Vésinet, Stanislas...
- Pièces de théâtre Istanbul, Blois, St-Ouen, Bagnolet...
- France Inter : le téléphone sonne, octobre 2008
- Radio Suisse Romande en novembre 2008
- « Masse manquante de l'univers et le LHC », L'univers invisible, Unesco Paris, juillet 2009

Reynald Pain

- « La terre est ronde », Classe CE2, Paris, mars 2009
- « Vie et mort des étoiles », Classe 6^e, Paris, juin 2009

Contributions à des ouvrages de vulgarisation

François Vannucci

Mémoires d'un déraciné, collaboration aux mémoires de Charpak, Odile Jacob, juin 2008

Reynald Pain

Participation au n° spéciale "Énergie noire" de la "Recherche" n° 422 (septembre 2008)



Crédit photo

Atlas[®] cern : 12, 14, 19

Auger[®] : 07, 68, 78

Babar[®] slac : 07, 40

Jean-charles Cuillandre[®] CFHT : 07, 52, 54, 59, 64

Derrue[®] LPNHE : 90, 135

Hess : 07, 70, 74

Pierre kitmacher : 02, 08, 10, 30, 82, 87, 102, 104, 106, 107, 111, 116, 118, 140, 142, 161

Lacour : 07, 88, 91, 120, 127, 130, 136

LPNHE : 07, 77, 114, 149, 156, 159, 160

Lhcb : 44

Libre de droit : 47

Nb : 84

Reuters[®] : 25

Super kamiokande[®] : 34, 36, 37

Tevatron[®] fermilab : 20, 26

Directeur de la publication :

Reynald Pain

Comité de rédaction :

Julien Guy

François Toussenet

Bertrand Laforge

Jean-Michel Levy

Coordination éditoriale :

Isabelle Cossin

Conception graphique :

Violaine Cardot

Couverture :

Caméra du télescope HESS

Publié par :

Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Énergies

Ce document est consultable sur le site du laboratoire :

<http://lpnhe.in2p3.fr>

Impression :

Imprimerie RGP

75 avenue de la Division Leclerc

92160 Antony

2^e trimestre 2011



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>

